



Materiały pierwszego panelu ekspertów
w ramach prac nad
Narodowym Programem Leśnym

KLIMAT

Lasy i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse

redakcja naukowa
prof. dr hab. Kazimierz Rykowski

Sękocin Stary, 18 czerwca 2013 roku
Instytut Badawczy Leśnictwa

Prace nad Narodowym Programem Leśnym sfinansowała
Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych
w ramach projektu „Program Rozwoju Leśnictwa” (BLP-393)

Redakcja językowa: *Antonina Arkuszewska*

Projekt graficzny: *Ewa Moczarska*

Zdjęcie na okładce:

Copyright © by Instytut Badawczy Leśnictwa 2014

ISBN 978-83-62830-18-3

Nakład: 500 egzemplarzy

Instytut Badawczy Leśnictwa

Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

tel. +48 22 7150300, fax +48 22 7200397

www.ibles.pl

Skład i łamanie: *Ewa Moczarska*

Druk i oprawa: Expol, ul. Brzeska 4, 87-800 Włocławek

Spis treści

- 7 **List Ministra**
- 9 **Narodowy Program Leśny zarys koncepcji, cele, założenia, struktura, organizacja prac**
prof. dr hab. Kazimierz RYKOWSKI – Instytut Badawczy Leśnictwa
- 33 **Opracowania ekspertów: SESJA 1**
- 35 Klimat w Polsce w XXI wieku – prawdopodobne kierunki zmian; perspektywa klimatów lokalnych
dr inż. Małgorzata LISZEWSKA – Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego, Uniwersytet Warszawski, Warszawa
- 45 Prawdopodobne zmiany zasięgów występowania gatunków drzewiastych – konsekwencje dla hodowli lasu
Prof. dr hab. Jerzy SZWAGRZYK – Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Instytut Bioróżnorodności Leśnej, Zakład Botaniki i Ochrony Przyrody
- 55 Charakterystyka stanu zasobów drzewnych w Polsce, prognoza ich rozwoju oraz rozmiaru użytkowania do 2070 roku (las państwowe, lasy niepaństwowe)
prof. dr hab. Tomasz BORECKI – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny
prof. dr hab. Edward STĘPIEŃ – Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, Warszawa
- 75 Wpływ sposobów zagospodarowania (odnowienia, pielęgnacji, użytkowania) na bilans węgla w lasach, potencjał sekwestracji i gromadzenia węgla
prof. dr hab. Bogdan BRZEZIECKI – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny
- 107 **Opracowania ekspertów: SESJA 2**
- 109 Ekstremalne stany pogody a zmiany klimatyczne – stan i perspektywy; szkody klimatyczne: huragany, śniegołomy, powódzie, susze, niskie i wysokie temperatury
prof. dr hab. Zbigniew W. KUNDZEWICZ – Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Poznaniu; Poczdamski Instytut Badań nad Konsekwencjami Klimatu w Poczdamie (Niemcy)
- 140 Efektywność fotosyntezy a zmienność geno- i ekotypowa gatunków drzewiastych: możliwości zwiększania sekwestracji węgla w ekosystemach leśnych za pomocą inżynierii genetycznej
Dr hab. Justyna NOWAKOWSKA, prof. IBL – Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych

- 156 Możliwości zwiększania sekwestracji węgla w ekosystemach leśnych w warunkach zmian klimatycznych. Gromadzenie węgla w glebie, ochrona materii organicznej
Dr inż. Józef WÓJCIK – Instytut Badawczy Leśnictwa, Samodzielna
Pracownia Chemii Środowiska Leśnego,
- 174 Dynamika populacji owadów oraz ocena ich funkcji ekologicznych w ekosystemach leśnych w związku ze zmianami klimatycznymi
Dr hab. Jacek HILSZCZAŃSKI, prof. IBL – Instytut Badawczy Leśnictwa,
Zakład Ochrony Lasu
- 189 Obserwowane i prawdopodobne zmiany występowania mikroorganizmów chorobotwórczych w związku ze zmianami klimatycznymi oraz ocena ich funkcji ekologicznych w ekosystemach leśnych; potencjalne rozprzestrzenianie się gatunków inwazyjnych
prof. dr hab. Zbigniew SIEROTA – Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład
Ochrony Lasu
- 199 Wpływ zmian klimatycznych według wybranych scenariuszy IPCC (A2, B1, A1B) na zasoby wodne w obszarach leśnych w Polsce – możliwy wpływ na ekosystemy leśne w perspektywie do 2030 roku i w dalszej
dr inż. Tomasz WALCZYKIEWICZ – Instytut Meteorologii i Gospodarki
Wodnej Państwowego Instytut Badawczy
- 215 **Opracowania ekspertów: SESJA 3**
- 217 Wartości substytucyjne drewna
dr Władysław STRYKOWSKI, prof. nadzw. – Instytut Technologii Drewna
w Poznaniu
- 231 Zalety i wady drewna w budownictwie mieszkaniowym i przemysłowym; uszlachetnianie, drewno konstrukcyjne – stan i perspektywy
mgr inż. Andrzej NOSKOWIAK – Instytut Technologii Drewna w Poznaniu,
Zakład Badania i Zastosowań Drewna
- 245 Wykorzystanie biomasy leśnej w energetyce – stan i perspektywa do roku 2030 i dalej – do 2080 roku. Uwarunkowania ekonomiczne, organizacyjne, techniczne, rola instrumentów wsparcia
dr Hanna BARTOSZEWICZ-BURCZY, dr Jan SOLIŃSKI – Instytut
Energetyki, Warszawa
- 258 Współspalanie paliw konwencjonalnych i biomasy drzewnej. Między zrównoważonym rozwojem a ekonomią
dr inż. Wojciech CICHY – Instytut Technologii Drewna, Poznań

266 Opracowania ekspertów: SESJA 4**267 Udział lasów Polski w ochronie klimatu**

mgr inż. Tomasz KOWALCZEWSKI – Ministerstwo Środowiska,
mgr inż. Marcin ŻACZEK – Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania
Emisjami w Instytucie Ochrony Środowiska, Warszawa

296 Plantacje drzew i krzewów szybko rosnących jako alternatywa biomasy z lasu, czyli nowe źródła energii odnawialnej – stan obecny, możliwości, bariery i perspektywa rozwoju

prof. dr hab. Janusz GOŁASZEWSKI, prof. dr hab. Stefan SZCZUKOWSKI,
prof. dr hab. Mariusz STOLARSKI – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
w Olsztynie

313 Możliwości poszerzenia bazy surowcowej dla przemysłów drzewnych – inwestycje własne na przykładzie plantacji drzew szybko rosnących IP Kwidzyn

dr Andrzej SAMBORSKI – International Paper Kwidzyn

315 Znaczenie biomasy leśnej w realizacji wymogów pakietu klimatyczno-energetycznego w Polsce; udział drewna w produkcji energii. Stan, perspektywy, uwarunkowania, bariery, zachęty, udział w dywersyfikacji źródeł i bezpieczeństwie energetycznym (perspektywa krajowa i lokalna)

mgr inż. Ryszard GAJEWSKI – Polska Izba Biomasy, Prezes Zarządu

330 Sprzedaż drewna energetycznego z Lasów Państwowych

Andrzej BALLAUM – Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych

335 Podsumowania i rekomendacje**353 Aneksy****353 Aneks 1. Sprawozdanie z organizacji i przebiegu panelu KLIMAT****356 Aneks 2. Stała lista instytucji i osób zapraszanych do uczestnictwa w panelach ekspertów w ramach prac nad Narodowym Programem Leśnym****363 Aneks 3. Lista uczestników****375 Aneks 4. Biogramy**

List Ministra

Szanowni Państwo,

Jako Minister Środowiska odpowiedzialny za leśnictwo w naszym kraju, uznałem za stosowne podjęcie prac nad Narodowym Programem Leśnym.

Idea Narodowych Programów Leśnych powstała wraz z koncepcją trwałego i zrównoważonego rozwoju, w trakcie Konferencji Narodów Zjednoczonych na temat Środowiska i Rozwoju (UNCED) w 1992 r., jako narzędzie polityki leśnej tworzone w oparciu o współuczestnictwo, partnerstwo i współpracę wszystkich zainteresowanych stron w danym kraju. Na zasadność opracowania Narodowych Programów Leśnych wskazała Europejska Komisja Leśnictwa FAO (1997), Strategia dla leśnictwa Komisji Europejskiej (1998), Ministerialny Proces Ochrony Lasów w Europie (2007).

Brak Narodowego Programu Leśnego w polskich regulacjach staje się coraz bardziej dotkliwy w konfrontacji leśnictwa z tworzonymi długo i średniookresowymi strategiami rozwoju kraju. Ma to szczególnie ważne znaczenie w kontekście nieuchronnych zmian klimatycznych. Rola lasów, zajmujących około 1/3 powierzchni kraju, jest w tych strategiach nie dość mocno wyrażana. Znaczenie lasów w środowisku przyrodniczym i gospodarce zobowiązuje do całościowego spojrzenia i stanowi uzasadnienie zorganizowania szerokiej debaty nad kierunkami ochrony, rozwoju i sposobami użytkowania zasobów leśnych w Polsce.

Prace nad Narodowym Programem Leśnym są szansą na współtworzenie, w poczuciu odpowiedzialności, ekonomicznie opłacalnych, przyrodniczo pożądanych i społecznie akceptowanych zasad zarządzania dobrem publicznym jakim są lasy. Celem podejmowanych prac jest stworzenie wizji polskiego leśnictwa, a w istocie całego sektora leśno-drzewnego i ochrony przyrody w lasach, w perspektywie XXI wieku.

Właściwością Narodowych Programów Leśnych jest otwartość oraz przejrzystość wszystkich działań, zarówno w trakcie opracowywania koncepcji, jak i realizacji Programu. Pierwszym i zasadniczym etapem prac będzie szereg konferencji panelowych w ramach pracy badawczej pt. „Program Rozwoju Leśnictwa”, realizowanej przez Instytut Badawczy Leśnictwa i finansowanej z funduszu leśnego. Budowany Narodowy Program Leśny będzie miał charakter kroczący i nie zamknie się w określonym horyzoncie czasu, a w oparciu o stały monitoring i długookresowe badania będzie podlegał cyklicznej ocenie, co umożliwi jego stałe doskonalenie.

Do tworzenia takiej wizji zapraszam wszystkich związanych z lasami i gospodarką leśną, produkcją i użytkowaniem drewna, zainteresowanych ochroną przyrody oraz korzystających z materialnych i duchowych wartości lasu.

Minister Środowiska
(Marcin KOROLEC)

Narodowy Program Leśny zarys koncepcji, cele, założenia, struktura, organizacja prac

prof. dr hab. Kazimierz RYKOWSKI

Instytut Badawczy Leśnictwa

Niektóre aspekty obecnej gospodarki leśnej i potrzeby na XXI wiek

Nie zaczynamy od zera

W ostatnim dwudziestoleciu polskie leśnictwo dokonało zasadniczej reorientacji celów i zasad swojego działania na wielu płaszczyznach: gospodarczej, prawnej, organizacyjnej, przyrodniczej, społecznej. Nowy kształt polskiej gospodarki leśnej nakreśliła ustawa o lasach (1992, 1997) oraz „Polityka leśna państwa” (PLP) (1997). Obydwa dokumenty w chwili, kiedy powstawały, były najbardziej kompleksowymi, wyczerpującymi, o współczesnym podejściu do gospodarki leśnej, regulacjami, które wielokrotnie, na tle podobnych światowych i europejskich opracowań, były przywoływane, jako powód do dumy. Uwzględniały wszystkie najważniejsze treści międzynarodowej polityki leśnej i kierunki reformowania leśnictwa. „Polityka leśna państwa” wyrastała z ducha „Zasad leśnych” konferencji UNCED (United Nations Conference on Environment and Development) z Rio (1992), ministerialnych konferencji w Strasburgu i Helsinkach. Dokument ten odzwierciedlał i sankcjonował zmiany, które w latach 1990–1997 następowały

w polskim leśnictwie w wyniku politycznego otwarcia się Polski i aktywnego uczestnictwa w formułowaniu nowej, europejskiej i światowej polityki leśnej. W dużym jednak stopniu pozostał martwy¹.

Diagnoza, czyli jaka jest terażniejszość?

Wymienione dokumenty nie uchroniły lasów przed kolejnymi zakusami władzy, przejawiającymi się koncepcjami bądź prywatyzacji lasów, bądź zmiany ustroju Lasów Państwowych, bądź też nowych podatków lub łączenia z sektorem finansów publicznych, wstrząsającymi zarówno administrację leśną, jak i opinię społeczną. Ustawa o lasach i „Polityka leśna państwa” były bezsilne, żadnemu z tych zagrożeń nie zapobiegły, nie rozstrzygnęły sporów, ani nie rozwiązały konfliktów. W każdym z tych przypadków potrzebne były specjalne akcje ze zbieraniem podpisów, mobilizacją środowiska zawodowego i społecznymi protestami. To w obronie lasów polskich powstało w 2001 roku Stowarzyszenie Ruch Obrony Lasów Polskich, a następnie inicjatywa ustawodawcza o narodowym charakterze zasobów naturalnych (2001).

Sztandarowe przedsięwzięcia, które miały pokazać nową twarz polskiego leśnictwa – oprócz „proekologicznej” ustawy o lasach (1992, 1997) i „Polityki leśnej państwa” (1997), jak: powołanie leśnych kompleksów promocyjnych (Zarządzenie nr 30 o LKP, 1994), programów ochrony przyrody w nadleśnictwie (1996), skodyfikowanie ekologizacji gospodarki leśnej [Zarządzenie nr 11 (1995, 1999), nr 47A o odnowieniach naturalnych (2005)] oraz takie spektakularne działania na rzecz ochrony przyrody jak programy małej retencji w lasach, restytucja jodły w Sudetach, restytucja cisa, reintrodukcja głuszcza, reintrodukcja rysia, wszystkie te regulacje i działania przeszły w gruncie rzeczy bez echa. Nie uchroniły gospodarki leśnej przed utratą „suwerenności” na ok. 40% powierzchni lasów, które znalazły się pod specjalnym nadzorem nowych administratorów ochrony przyrody w postaci specjalnej administracji państwowej zarządzającej siecią Natura 2000.

Trudno utrzymywać, że mamy znakomite prawo leśne, skoro jest tak mało skuteczne. Dlaczego było tak trudno znaleźć społeczne poparcie dla koncepcji pro-ekologicznego leśnictwa, prezentowanego we wskazanych dokumentach, o czym świadczy brak zainteresowania środowisk pozaleśnych regionalnymi programami operacyjnymi „Polityki leśnej państwa”? Jakie efekty w konfrontacji „leśnicy – ochroniarze” czy „leśnicy – drzewiarze” przyniosło ustawowe zrównanie ważności wszystkich funkcji lasu?

Wielkoobszarowa ochrona przyrody nie zaistniała, jako idea wywodząca się z „trwale zrównoważonej” gospodarki leśnej (ustawa o lasach, 1997) i trudno wskazać jej praktyczne implikacje. Uzasadnienie takiej formy ochrony nie znalazło zrozumienia w kręgach przyrodników, a gospodarka leśna nie przeciwstawiła się temu własną, skuteczną strategią.

W okresie transformacji gospodarka leśna nie znalazła odpowiedniej do swojej rangi pozycji w strukturach władzy i polityce państwa. Istniejące dokumenty nie uwzględnia-

¹ Rykowski K. 2001. Narodowe Programy Leśne – idea, cel, zakres, znaczenie. Postępy Techniki w Leśnictwie, nr 80, Problematyka Narodowych Programów Leśnych, s. 7

ły lasów w koncepcjach rozwoju kraju. Lasy stały się obszarem konfrontacji różnych grup interesu, wyrażających swoje preferencje co do sposobu i zakresu użytkowania, jak i co do potrzeb oraz metod ochrony leśnej przyrody. Różnice te nasilają się w miarę cywilizacyjnego rozwoju kraju.

Problematyka leśna jest pomijana zarówno w planach perspektywicznych rozwoju kraju („Polska 2030. Wyzwania rozwojowe”; „Polska 2030. Trzecia Fala Nowoczesności”), jak i w strategiach sektorowych („Strategia Zrównoważonego Rozwoju Wsi, Rolnictwa i Rybactwa na lata 2011–2020”; „Bezpieczeństwo Energetyczne i Środowisko”).

Mamy do czynienia z zaniechaniem włączenia 1/3 powierzchni kraju w procesy rozwojowe i zaniechaniem użycia tego naturalnego kapitału jako narzędzia ekonomicznego, przyrodniczego i społecznego postępu. A przecież dla niektórych regionów – jedynego możliwego narzędzia! Dla lokalnych społeczności w regionach o lesistości 40–60% lasy i leśnictwo są źródłem dochodów, źródłem surowca i materiałów, lokalnym i odnawialnym źródłem energii, bezinwestycyjnym miejscem pracy, szansą na własną działalność gospodarczą i możliwością różnicowania tej działalności i inicjatyw gospodarczych, którym towarzyszą dodatkowe pozytywne efekty przyrodnicze i środowiskowe, zdrowotne, estetyczne. Strategie, które mają tworzyć perspektywy konstytucyjnie zadeklarowanego zrównoważonego rozwoju, nie dostrzegły unikatowego związku, jaki istnieje między lasem drewnem, energią, lokalną aktywnością ekonomiczną, zatrudnieniem, środowiskiem, klimatem, przyrodą i społecznymi potrzebami rekreacji, wypoczynku i kontemplacji piękna krajobrazu. Rzeczywista synergia tkwiąca w tym związku czyni z lasu fenomen przyrodniczo-gospodarczo-społeczny niepowtarzalny i nie dający się niczym zastąpić w dążeniu do gospodarczej i przyrodniczej równowagi. Pominiecie lasów i leśnictwa w planach perspektywicznych rozwoju kraju jest dowodem niezrozumienia istoty naturalnego kapitału, jakim są lasy, stanowiące zasób odnawialny, i jego rzeczywistej i potencjalnej roli w życiu kraju. Może to mieć głębokie negatywne skutki dla trwałości zarządzania lasami i dla ich społecznej użyteczności.

Nie sposób nie zapytać: dlaczego polska gospodarka leśna, tak konsekwentnie reformowana i starająca się dopasowywać do społecznych oczekiwań, propagowana jako „najlepsza” w Europie i prezentowana jako wzorowa, nie istnieje w ważnych dokumentach politycznych państwa? Czy jest to sukces czy klęska dotychczasowej polityki leśnej?

Jakie ma być polskie leśnictwo XXI wieku? Kontynuacja tego, co jest, nie zmieni na lepsze tego, co ma być.

Narodowy Program Leśny – kontekst międzynarodowy

Prawie wszystkie najwyższej rangi dokumenty będące efektem międzynarodowych debat na tematy polityki leśnej, zawierają odniesienia i rekomendacje dotyczące narodowych programów leśnych (NPL). I to od dawna: tak jest w przypadku Agendy 21 i rozdziału 11 o przeciwdziałaniu wylesianiu, tak jest w przypadku „Zasad leśnych” UNCED, procesu IPF (Intergovernmental Panel on Forests, 1993–1997), specjalnej sesji Zgromadzenia Ogólnego ONZ (UN General Assembly Special Session, 1997). Ustalenia wymienionych gremiów dały początek jednemu z najważniejszych proce-

sów we współczesnym leśnictwie – procesowi decentralizacji i „uspołeczniania” zarządzania i gospodarowania lasami. Zawarta w dokumencie UNCED sugestia wskazuje na potrzebę przechodzenia od scentralizowanego, państwowego modelu planowania działań w leśnictwie do demokratycznego, zdecentralizowanego modelu, opartego na uczestnictwie w procesie zarządzania lasami wszystkich zainteresowanych grup społecznych. Takie podejście do gospodarki leśnej mieści się w szerszej koncepcji demokratyzacji i uspołecznienia zarządzania zasobami naturalnymi. Dokumenty UNCED uznają współuczestnictwo ludzi i społeczną kontrolę zarządzania dobrami naturalnymi (lasami) za jeden z najważniejszych warunków na drodze do realizacji idei trwałego i zrównoważonego rozwoju.

W raporcie z IV sesji IPF znajdujemy rozwinięcie koncepcji narodowych programów leśnych oraz listę elementów, które powinny w nich się znaleźć (UN-CSD-IPF IV, 1997):

- stworzenie mechanizmów zapewniających uczestnictwo w planowaniu i zarządzaniu lasami wszystkich zainteresowanych stron;
- decentralizacja planowania, podejmowania decyzji oraz zarządzania oraz zaangażowanie regionalnych i lokalnych struktur samorządowych;
- zgodność planowania leśnego z konstytucyjnymi i prawnymi podstawami państwa;
- uznanie oraz poszanowanie praw zwyczajowych i tradycji lokalnych społeczności, ludzi związanych z lasem, właścicieli lasów itp.;
- respektowanie i zabezpieczenie tytułów prawnych własności;
- ustanowienie skutecznych mechanizmów koordynacji oraz sposobów rozwiązywania konfliktów.
- Ponadto, w warunkach europejskich, uznaje się za ważne²:
- zharmonizowanie NPL z polityką państwa i zobowiązaniami międzynarodowymi (NPL może służyć do wypełniania takich zobowiązań);
- integrację z krajowym programem trwałego i zrównoważonego rozwoju całej gospodarki;
- przestrzeganie partnerstwa i współuczestnictwa;
- holistyczne i międzysektorowe podejście.

Jakkolwiek w każdym kraju istnieją rozproszone, cząstkowe programy czy regulacje prawne normujące gospodarkę leśną zgodnie z koncepcją trwałego i zrównoważonego zagospodarowania, zawierające wybrane elementy z powyższej listy, to według FAO (1999), nie są one adekwatne do koncepcji NPL. Istotą NPL jest bowiem praktyka leśna – permanentny (iterative – powtarzalny) proces stosowania, kontroli i doskonalenia zasad, które nie są dane raz na zawsze, interaktywność z otoczeniem, zarówno gospodarczym, jak i społecznym, decentralizacja decyzji i dewolucja władzy (przekazywanie władzy w dół struktury hierarchicznej), otwartość, partnerstwo i współzarządzanie.

² Niektórzy autorzy, np. Glück P., Oesten G., Schanz H. and Volz K.-R. 1999. Formulation and implementation of National Forest Programmes. Vol II: State of the Art in Europe. EFI Proceedings No. 30; Solberg B. and Rykowski K, 2000. Institutional and legal framework for forest policies in ECA region and selected OECD countries – a comparative analysis. The World Bank Group. http://bankwatch.org/documents/ibrd_fin.pdf.

Kontekst europejski

Na poziomie europejskim o narodowe programy leśne upominają się i je rekomendują paneuropejskie konferencje ministerialne na temat ochrony lasów tzn. rezolucje H1 z Helsinek i L2 z Lizbony. Idea NPL jest wspomagana przez europejską strategię leśnictwa oraz zalecenia Rady Europy w sprawie rozwoju terenów wiejskich. Narodowe programy leśne są traktowane przez Unię Europejską jako główny instrument wdrażania do praktyki zasad trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów (Sustainable Forest Management – SFM) poprzez uwzględnienie wszystkich międzynarodowych uzgodnień, które UE i jej członkowie podpisali. O doniosłości koncepcji NPL świadczy uruchomienie specjalnego projektu badawczego w ramach europejskiego programu współpracy w dziedzinie badań naukowych Unii Europejskiej – COST Action E19. Decyzja ta wynika z zaleceń zawartych w „Strategii leśnictwa” Unii Europejskiej oraz dyrektywie Rady Europy w sprawie wspierania rozwoju obszarów wiejskich, które mówią o potrzebie tworzenia NPL przez państwa członkowskie.

Problematyką NPL zajął się również Główny Komitet Koordynacyjny Ministerialnych Konferencji na temat Ochrony Lasów w Europie (proces pan-europejski lub dawniej proces helsiński). Poszukiwanie definicji koncepcji, przegląd europejskiej specyfiki w gospodarce leśnej oraz identyfikacja poziomów odniesienia przy średnio- i długoterminowym planowaniu leśnym, a także osadzenie gospodarki leśnej w ogólnym kontekście ekonomicznym i społecznym danego kraju, umożliwiły nakreślenie modelu NPL jako „cyklicznego, samodoskonalącego się procesu rozwoju – trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów”.

Koncepcja NPL jest postrzegana jako ważny krok na drodze tworzenia nowego paradygmatu współczesnego leśnictwa – leśnictwa społecznego, opartego na partnerstwie i współdziałaniu wszystkich zainteresowanych stron i grup społecznych, opartego na decentralizacji decyzji i podejściu międzysektorowym. Otwarcie się leśnictwa na społeczne i środowiskowe problemy wykracza poza tzw. ekologizację leśnictwa (na której zakończył się w Polsce proces nowego podejścia do gospodarki leśnej). Jest to nowe wyzwanie dla polityki leśnej: znalezienia partnerów, instrumentów i inicjatyw finansowych, znalezienia nowych mechanizmów dla procesów decyzyjnych, podzielenie się odpowiedzialnością i korzyściami.

Kontekst krajowy

Czy w Polsce istnieje narodowy program leśny w rozumieniu FAO/IPF? O całościowy program dla gospodarki leśnej upominała się „Polityka leśna państwa” (1997), mówiąc o potrzebie strategicznego programu rządowego (rozdz. IV, pkt 15): „Osiąganie przez leśnictwo celów ważnych dla całego państwa, do których należy zapewnienie bezpieczeństwa ekologicznego [...] a także celów ważnych dla zaspokajania oczekiwań społecznych wobec ciągłości świadczenia przez lasy różnorodnych użytków i usług, uzasadnia objęcie priorytetowych celów leśnictwa strategicznym programem rządowym. Strategiczny Program Rządowy dotyczyłby kształtowania przestrzeni leśnej kraju oraz

integrował priorytetowe cele ekologiczne, produkcyjne i społeczne gospodarki leśnej, budował podstawy realizacji długotrwałej polityki leśnej państwa oraz stałby się na początku trzeciego tysiąclecia trwałym fundamentem przestrzennej struktury przyrodniczej kraju i warunków życia społeczeństwa”. Strategiczny program rządowy dla leśnictwa nigdy nie powstał, podobnie jak nie zrealizowano wiele innych zapisów „Polityki leśnej państwa”.

Narodowym programem leśnym nie są strategie rozwoju leśnictwa czy strategie rozwoju Lasów Państwowych, których kilka opracowano w ostatnich latach i żadnej z nich nie przyjęto jako obowiązującej. Były to na ogół plany rozwoju jednej branży czy wręcz jednej organizacji gospodarczej, wyizolowanej z kontekstu społecznego i kontekstu gospodarczego reszty kraju, przygotowywane przez samych zainteresowanych i dla samych siebie. Polska gospodarka leśna, jakkolwiek oprzyrządowana w regulacje uwzględniające większość pro-ekologicznych i pro-środowiskowych zaleceń międzynarodowych, rozwija się od pewnego czasu w istocie „do wewnątrz”, dla samej siebie, bez niezbędnego szerszego otwarcia na polityczne, ekonomiczne i społeczne procesy zachodzące w jej otoczeniu. Program o takim charakterze i celach nie mógł zresztą powstać w łonie centralnie zarządzanego, państwowego „przedsiębiorstwa”, mającego pozycję naturalnego monopolisty, który gospodaruje na obszarze 80% lasów w Polsce. Taki program może powstać w wyniku powszechnej dyskusji o lasach i gospodarce leśnej, z udziałem przedstawicieli wszystkich, istotnych dla polskich lasów grup społecznych, stron i sił ekonomicznych, społecznych i politycznych. Takiej dyskusji w Polsce dotychczas nie podjęto. Próba uruchomienia takiej debaty jest niniejsza inicjatywa i prowadzone od 2013 roku prace nad Narodowym Programem Leśnym.

O potrzebie programu narodowego (rządowego, strategicznego), opartego na społecznej zgodzie, wydają się świadczyć realne konflikty, z którymi polskie leśnictwo ma do czynienia: konflikt wokół Puszczy Białowieskiej, Tatrzańskiego Parku Narodowego czy Doliny Rospudy, a szerzej – wokół leśnych obszarów chronionych i ich ekonomiczno-społecznych funkcji, oraz konflikt między Lasami Państwowymi – instytucją państwową o pozycji monopolisty, a prywatnym sektorem przerobu drewna (Senacka Komisja Ochrony Środowiska, listopad 1999). Potencjalne pola konfliktu otworzyła eksternalizacja wartości rekreacyjnych lasów przy jednoczesnej internalizacji kosztów ich utrzymania, ochrony i zagospodarowania, dwuwładza stworzona przez regulacje prawne w odniesieniu do zwierzyny i łowiectwa w kontekście gospodarki leśnej, nakładanie się kompetencji w ochronie przyrody czy też wypełnianie sprzecznych zaleceń i postanowień licznych porozumień i konwencji dotyczących lasów (np. konwencji o różnorodności biologicznej i konwencji o zmianach klimatycznych).

Największy konflikt, jaki zagraża polskiemu leśnictwu związany jest z procesami prywatyzacyjnymi, wynikającymi z reformowania się gospodarki państwa i przechodzenia z systemu planowania centralnego i dominującej własności państwowej do systemu rynkowego i dominującej własności prywatnej. Brak narodowego programu leśnego, uzgodnionego w otwartej, wielostronnej debacie, z uwzględnieniem różnych opcji politycznych, opinii wszystkich zainteresowanych stron i grup interesu sprawia, że obrona własności państwowej, podjęta przez środowisko leśników, postrzegana jest jako obrona Lasów Państwowych, tzn. interesów grupowych, nie zaś jako obrona interesu publicznego.

Punkt wyjścia

Celem prac podjętych nad Narodowym Programem Leśnym jest stworzenie wizji polskiego leśnictwa w perspektywie do 2030 i dalej do 2080 roku, przy otwartym udziale wszystkich zainteresowanych w jej tworzeniu. Chodzi o dalekosiężny, strategiczny program rozwoju lasów i gospodarki leśnej, a w zasadzie o zintegrowany program dla całego sektora leśno-drzewnego oraz program ochrony przyrody w lasach. W warunkach postępującej globalizacji, w czasach głębokich transformacji gospodarczych i przekształceń środowiskowych, wobec przyspieszających zmian klimatycznych i zmian preferencji społecznych, perspektywa gospodarowania narodowym majątkiem, który rozciąga się na obszarze ok. 1/3 powierzchni Polski, staje się sprawą strategiczną o kluczowym znaczeniu dla przyszłości kraju. Perspektywa ta dotyczy nie tylko grupy zawodowej odpowiedzialnej za lasy, ale każdego z nas, bo dotyczy naszych dzieci i wnuków.

...i punkty widzenia

Projekt prac nad Narodowym Programem Leśnym proponuje spojrzenie na las i gospodarkę leśną znacznie szersze niż zwykle, perspektywiczne plany rozwoju. Przede wszystkim proponuje dostrzeżenie odmienności gospodarki leśnej, rozpatrując ją z wielu punktów widzenia. Rozpiętość uzyskiwanych korzyści z lasu i zakres świadczonych usług oraz jedyna w swoim rodzaju żywa i skomplikowana struktura przedmiotu gospodarowania sprawia, że trudno jest porównać gospodarkę leśną z jakąkolwiek inną, bo nie pasuje w istocie do wyobrażeń o produkcji ani przemysłowej ani rolniczej. Nie służy również wyłącznie ochronie środowiska czy ochronie przyrody. Cechy te coraz wyraźniej wyodrębniają gospodarkę leśną z tradycyjnych podziałów resortowych. Poszerzając stale swoje społeczne użyteczności (ostatnio: przeciwdziałanie zmianom klimatycznym), leśnictwo nie w pełni odpowiada także słownikowym definicjom działu gospodarki, sektora czy branży.

Leśnictwo jest gospodarowaniem dziką przyrodą, a ściślej – przyrodą stosunkowo najmniej zmienioną przez człowieka, na wielkich obszarach i w długich okresach czasu, przy czym produkt utożsamia się z warsztatem produkcyjnym, a całość spełnia niezastępowalne funkcje społeczne, środowiskowe i ochronne. Żadne techniczne rozwiązania nie zastąpią lasów w roli największego na lądzie „pochłaniacza” węgla z atmosfery i żywego, przyjaznego zarówno dla środowiska, jak i dla człowieka, jego „magazynu”. Rozwijając sektor leśno-drzewny możemy mieć do czynienia z samowzmacniającym się procesem: „zwiększona produkcja drewna – zwiększa jego przetwarzanie – zwiększa substytucję materiałów wysokoemisyjnych – zwiększa substytucję kopalnych źródeł energii”. Zwiększona produkcja drewna w jednym miejscu, z wykorzystaniem obszarów poza lasem oraz zadrzewień, zwiększa możliwości ochrony przyrody w innym. A na każdym etapie procesu poprawia środowisko, zwiększa zatrudnienie, wzmacnia inicjatywność lokalną i rozwój regionalny. A cały proces może być powtarzany wielokrotnie, bo jest odnawialny. Nie wolno nie zauważyć, że ochrona przyrody może być nie słabością i hamulcem rozwoju, ale jego siłą.

Produkcja w otwartej przestrzeni, trwająca sto lat, narażona jest na działanie niekontrolowanych czynników zewnętrznych, obarczona jest niepewnością i ryzykiem, a jeśli takie gospodarowanie ma być poprawne, nie rabunkowe, to nie jest wysokodochodowe, nie przynosi bogactwa, ale służy bezpieczeństwu i poprawia jakość życia. Należy pamiętać, że ekstensywny charakter produkcji leśnej, ryzyko z tytułu naturalnych zakłóceń, długi okres zwrotu nakładów, przy niskiej stopie zysku (1–2%), czynią z lasów mało atrakcyjny przedmiot inwestycji kapitałowej. Trzeba też wiedzieć, że las, jako przedmiot gospodarowania, wymyka się jednoznacznym ocenom. Inwestycje leśne nigdy nie znalazły właściwego dla siebie rachunku ekonomicznego, a las nigdy nie został w pełni wyceniony. Jego wartość jest silnie związana ze skalą przestrzeni i czasu: hektar lasu to zaledwie plama zieleni w krajobrazie, którą można zastąpić bardziej wydajnym polem kukurydzy; sto hektarów lasu to gospodarstwo, które może dać trwały dochód i wyżywić rodzinę; 20–30 tys. ha lasu może dać zatrudnienie i utrzymanie setkom rodzin, dostarczać drewno dla licznych przemysłów, tworzyć miejsca rekreacji i wypoczynku, chronić rośliny i zwierzęta w rezerwatach i parkach, zachować zasoby genowe dzikiej przyrody i zaspokajać jeszcze wiele innych potrzeb materialnych i duchowych. 9 mln ha lasu to „strategiczne zasoby naturalne o narodowym charakterze” (patrz: ustawa z dnia 6 lipca 2001 r.) i dziedzictwo przyrody; a 3,5 mld ha lasów to część systemu podtrzymującego życie na planecie Ziemia. O ważności skali czasu przekonują się ci, którzy inwestując, ponoszą wyłącznie koszty, zyski bowiem zbiorą dopiero następne pokolenia. Tak więc w wartość lasu powinna być wpisana zarówno wartość subiektywna – „tu i teraz”, jak i wartość obiektywna, niezależna od naszych potrzeb, jak podtrzymywanie życia w biosferze nawet w odległej przyszłości. Trudno to ocenić w jednostkach monetarnych, można natomiast docenić w kategoriach międzypokoleniowej solidarności i odpowiedzialności. Wartości lasu z pewnością nie wyznacza cena drewna czy gruntu, ale ekonomiści boją się mówić, że las jest „bezcenny”, lub że ma wartość obiektywną (wartość sama w sobie; *intrinsic value*).

Jeśli szukalibyśmy modelu samopodtrzymującej się działalności gospodarczej, a taka jest idea trwałości i równowagi rozwoju (lub rozwoju zrównoważonego – *sustainable development*), to może nim być z pewnością gospodarka leśna. Nie ma większego ryzyka w twierdzeniu, że jest to dzisiaj jedyna dziedzina ludzkiej aktywności, która, dobrze zarządzana, może być samowystarczalna i poprzestać na „dostawach” wyłącznie energii słońca, co dla zarządców i właścicieli lasów powinno być atrakcyjną perspektywą, a dla polityków myślących o przyszłości źródłem optymizmu.

Siłą polityczną gospodarki leśnej powinny być jej związki z innymi branżami, ze środowiskiem przyrodniczym, tworzącym warunki życia społeczeństw, oraz z ochroną przyrody. Lasy i gospodarka leśna warunkują istnienie i służą licznym dziedzinom i branżom produkcji materialnej (patrz: interesariusze w strukturze projektu; ryc. 2): wielu przemysłom przetwarzającym drewno, produkującym i użytkującym papier i jego wyroby, w tym oświacie, edukacji, kulturze i sztuce. Wspomagają rolnictwo, rozwój regionalny i rozwój terenów wiejskich, turystykę i rekreację, gospodarkę komunalną, ochronę zdrowia, budownictwo, energetykę, obronność. Wymienione działy przechwytują wartości zewnętrzne leśnictwa i wartości te nie są już identyfikowane jako dobra generowane przez lasy i gospodarkę leśną. Dlatego potrzebny jest uzgodniony program

i wzajemne wsparcie wszystkich zainteresowanych. Użytkowanie przyrody bowiem i jej ochrona to nie są wykluczające się działania o sumie zerowej: można zarówno więcej produkować, jak i więcej chronić. I takie podejście proponuje projekt prac nad Narodowym Programem Leśnym.

Kilka pytań i wątpliwości...

Treścią prac nad Narodowym Programem Leśnym powinno być poszukiwanie odpowiedzi na wiele, z pozoru trywialnych, ale w perspektywie XXI wieku, fundamentalnych pytań. Co to jest „las” dzisiaj, a czym będzie za lat 50? Co jest „produktem”, a co „warsztatem produkcyjnym” w gospodarce leśnej i jak te relacje będą się kształtować w przyszłości? A może do produkcji drewna wystarczą drzewa? Czy istnienie lasu jest wystarczającą wartością i jak ją wycenić? Czy nie należałoby zdefiniować na nowo takich pojęć, jak „las wielofunkcyjny”, „leśnictwo wielofunkcyjne”, „użytkowanie lasu” czy „korzyści ekosystemowe”? Czy nie należałoby inaczej spojrzeć na „urządzenie lasu” czy „urządzenie ekosystemu leśnego”, a może urządzenie zlewni lub krajobrazu? Czy „planowanie leśne” ma pozostać w granicach lasu i dotyczyć wyłącznie hodowli, użytkowania, odnawiania i ochrony drzewostanów? Czy można chronić przyrodę, użytkując ją jednocześnie? A może, patrząc w przyszłość, należałoby zapytać o status dobra publicznego w strukturach władzy, o odpolitycznienie zarządzania lasami, tak jak apolityczne są lasy, a także o potrzebę oderwania gospodarki leśnej od bieżącej polityki i od nadzoru jakiegokolwiek resortu. Czy branży leśnej nie należałoby nadać charakteru międzysektorowego i ustanowić jednego gospodarza/zarządcę, zarówno obszarów gospodarczych jak i chronionych?

W perspektywie zmian klimatycznych z pewnością należy zadać pytanie o definicję dóbr i usług leśnych i określanie ich wartości, nie uciekając od zwiększania produkcji drewna, również poza lasem, jako wektora poprawy klimatu, czy od poszerzania obszarów chronionych, finansowanych przez tego samego zarządcę. Czy dyskusja o przyszłości lasów i leśnictwa nie powinna sięgać do struktury władzy państwowej i wskazać poziom, z którego należałoby zarządzać takim majątkiem i tym samym nadać mu stosowną rangę? Debata powinna dotyczyć wartości zewnętrznych traconych na rzecz innych użytkowników oraz ceny za ochronę warunków życia materialnego i duchowego.

W Narodowym Programie Leśnym chodzi o wizję zaakceptowaną przez społeczeństwo i przyjętą przez wszystkie siły polityczne. Wymaga to zaangażowania i czynnego udziału zarówno organów władzy, struktur samorządowych, organizacji pozarządowych i wszystkich zainteresowanych, tak ażeby ustalenia obowiązywały wszystkie rządy i opcje polityczne aktualne i przyszłe.

Takie podejście zobowiązuje do poddania pod szeroką dyskusję, w ramach prac nad Narodowym Programem Leśnym, między innymi następujących tez:

1. Doktryna o „konfliktowości funkcji lasu” (Polityka leśna państwa) jest hamulcem w zarządzaniu dziką przyrodą: czy użytkowanie i ochrona to są działania o sumie zerowej (czy więcej produkcji musi oznaczać mniej ochrony, i odwrotnie: więcej ochrony – mniej produkcji?).

2. Doktryna o wartości lasu (wg Polityki leśnej państwa) uszczupla jego wartość rzeczywistą i degraduje jego znaczenie cywilizacyjne. Czy wartość lasu to tylko włożona praca ludzka i dobra rynkowe? Może lasy mają wartość obiektywną, niezależną od interesów gospodarza i od cen na drewno? Są – *per se* – elementem cywilizacji?
3. Doktryna o wielofunkcyjności lasu ogranicza wielofunkcyjne leśnictwo; las wielofunkcyjny istnieje z natury rzeczy, niezależnie od gospodarza. Czy wielofunkcyjne leśnictwo oznacza utrzymywanie wszędzie i zawsze wielofunkcyjnego lasu? A może polega na rozwijaniu, stosownie do potrzeb i możliwości, w różnym miejscu i czasie, różnych funkcji lasu?
4. Równoważenie rozwoju wymaga zróżnicowanego leśnictwa. Czy rozwój gospodarki leśnej nie powinien następować w wyniku różnicowania i różnorodności działań: leśnictwo zonalne (zróżnicowane geograficznie), leśnictwo podmiejskie (miejskie, rekreacyjne), leśnictwo produkcyjne (surowcowe, drzewostanowe) lub plantacyjne (intensywne, klonalne), leśnictwo ochronne (ekosystemowe, rezerwatowe). A może lasy o ukierunkowanych funkcjach w wielofunkcyjnym krajobrazie? Tak zróżnicowana gospodarka leśna powinna być prawdopodobnie regulowana odpowiednio zróżnicowanymi dokumentami techniczno-gospodarczymi a konsekwencją takiego podejścia być może, powinna być zmiana założeń przyjętych przy opracowywaniu regionalizacji przyrodniczo-leśnej oraz regionalizacji gospodarczo-społecznej (albo regionalizacji funkcji lasu).
5. Istniejące pojęcia i ich definicje z zakresu gospodarki leśnej nie w pełni opisują dzisiejszą przyrodniczo-gospodarczo-społeczną rzeczywistość. W kontekście zmian klimatycznych potrzebne jest ujednolicenie w dokumentach regulujących polską gospodarkę leśną głównych pojęć, zwłaszcza, takich jak las (las, ekosystem leśny, drzewostan), leśnictwo (trwałe, wielofunkcyjne, trwałe zrównoważone itp.), użytkowanie (tzw. użytkowanie zrównoważone, użytkowanie główne, uboczne, niedrzewne), ochrona (ochrona czynna, bierna, ochrona lasu, ochrona przyrody), funkcje lasu/usługi ekosystemowe, obszary funkcjonalne, i innych. W obszar zarządzania i planowania leśnego należy włączyć inne tereny, takie jak np. (zgodnie z definicjami FAO, MCPFE, CBD, IPCC) „tereny zadrzewione” (other wooded land), „drzewa poza lasem” (trees outside of forest), plantacje leśne (planted forest).
6. Dotychczasowe zmiany w polskim leśnictwie oscylują między skrajnościami: od potępionego leśnictwa surowcowego do ekologizacji wszystkiego i za wszelką cenę. Kolejność funkcji lasu wymienioną w ustawie przyjęto jako hierarchię ważności funkcji: czy ta hierarchia ma obowiązywać wszędzie i zawsze? Preferencje dla którejkolwiek funkcji lasu powinny określać cele społeczne leśnictwa ustanawiane w otwartej debacie. Istnieje potrzeba zarządzania całą zmiennością struktury i funkcji lasów. Racjonalne zagospodarowanie lasu powinno zachować leśnictwo półnaturalne/ekosystemowe i jednocześnie rozwijać leśnictwo surowcowe/plantacyjne, wraz z całym spektrum działań pośrednich – czy nie taka jest istota leśnictwa wielofunkcyjnego?
7. Prawo leśne i „okołołeśne” jest rozproszone i niespójne. Czy nie bardziej potrzebna jest nowa konstrukcja prawa, niż kolejne nowelizacje? W zakresie ochrony przyrody i gospodarowania zwierzyną obowiązujące prawo ustanowiło dwóch gospodarzy

w lasach: w pierwszym przypadku administrację leśną i państwową administrację ochrony środowiska, w drugim administrację leśną i Polski Związek Łowiecki. Kompetencje i programy nakładające się w ochronie przyrody, mnożą poziomy decyzji i sprawiają chaos w zarządzaniu i odpowiedzialności. Rozstrzygnięcia wymaga również ustawowa niejasność odpowiedzialności za dziką zwierzynę w stanie wolnym. Ustawa o lasach w art. 6.1 mówi o gospodarce leśnej, która jest „działalnością w zakresie (...) gospodarowania zwierzyną”. Natomiast art. 1 ustawy „Prawo łowieckie” mówi, że „gospodarowaniem zasobami zwierząt łownych w lesie zajmuje się łowiectwo”. Czy niejasności te nie są przyczyną konfliktów?

8. Gospodarka leśna niedostatecznie uczestniczy w rozwoju gospodarczym kraju. Czy nie świadczą o tym kilkakrotnie już zakusy na „kasę” leśną? A ostatnio nowelizacja ustawy o lasach pod koniec 2013 roku, zobowiązująca Lasy Państwowe do wpłaty do budżetu państwa w 2014 i 2015 po 800 PLN³? A dlaczego nie po 700 lub 900 mln PLN? Czy wielkości w znowelizowanej ustawie wynikają z obowiązujących regulacji czy jest to doraźne i arbitralne rozwiązanie? Czy nie czas określić prawne ramy i finansowe wzajemne zobowiązania: z jednej strony uregulować wkład finansowy w rozwój gospodarki i ochrony przyrody w Polsce, pochodzący z nadwyżek wypracowanych przez Lasy Państwowe, z drugiej – określić zobowiązania państwa wobec Lasów Państwowych jako inwestora w tworzenie ogólnospołecznych wartości? Jeśli Lasy Państwowe same nie zreformują swojej polityki, to będą reformowane doraźnie przez innych i według ich zasad.

Niezbędne jest opracowanie międzysektorowych strategii, które utworzą ramy programowe dla współdziałania całego sektora leśno-drzewnego z całą gospodarką a zwłaszcza w relacji do:

- przemysłu: głównie przemysłu drzewnego, papierniczego i meblowego, oraz budownictwa i materiałów budowlanych, z uwagi na substytucyjne wartości drewna w stosunku do energochłonnych materiałów i surowców (stal, cegła, cement);
- energetyki: zwłaszcza w zakresie generowania energii odnawialnej i wartości substytucyjnych drewna w stosunku do źródeł kopalnych (opracowanie programu mobilizacji zasobów drzewnych państwowych i prywatnych);
- rolnictwa i obszarów wiejskich: przede wszystkim w związku ze zmianami w użytkowaniu ziemi (związanymi ze zwiększoną wydajnością w rolnictwie) i możliwościami nowych zalesień oraz plantacyjnej uprawy drzew leśnych i upraw energetycznych, jak również rozwojem zadrzewień, generowaniem miejsc pracy i alternatywnych dochodów;
- turystyki i rekreacji: głównie z uwagi na zapotrzebowanie na dziką przyrodę i „naturalność” w parkach i rezerwach, jako największych atrakcji turystycznych;
- rozwoju regionalnego: z uwagi na różnicowanie źródeł rozwoju w zależności od stopnia lesistości regionu, wzmacnianie aktywności ekonomicznej na bazie gospodarki leśnej i pozyskiwanych surowców i produktów oraz możliwościami zmniejszania bezrobocia; wzmacnianie leśnej własności prywatnej i włączenie prywatnej gospodarki leśnej w nurt przemian.

³ Patrz: <http://www.lasy.gov.pl/zakladki/aktualnosci/lasy-panstwowe-wspomoga-budzet-panstwa>.

9. Lasy są apolityczne i zarządzanie lasami nie powinno być związane z wynikami politycznych wyborów. Pożądane jest uniezależnienie Lasów Państwowych od bieżącej koniunktury politycznej i ustanowienie wspólnego zarządu nad użytkowaniem i ochroną dzikiej przyrody w Polsce. Ustanowienie jednego gospodarza nad lasami produkcyjnymi i chronionymi umożliwi: zwiększanie użytkowania w jednym miejscu oraz wzmożoną ochronę w innym. Tym samym nadwyżki finansowe wypracowane przez lasy mogłyby pozostać w ochronie przyrody i stanowić udział Lasów Państwowych w budżecie państwa. Czy nie jest to prosta realizacja konstytucyjnej zasady równoważenia rozwoju?
10. Badania leśne są niedoinwestowane i rozproszone: nie istnieje skoordynowany, długookresowy, interaktywny (w relacji do praktyki leśnej) i interdyscyplinarny (w relacji do nauk przyrodniczych spoza leśnictwa oraz nauk humanistycznych), wielokierunkowy program badawczy, obejmujący sektor leśno-drzewny i ochronę przyrody w lasach. Program taki powinien stanowić dla Narodowego Programu Leśnego podstawę do bieżącej autokorekty. W ramach takiego programu powinny być tworzone strategie i plany, jak np. adaptacji do zmian klimatycznych, modyfikacji Krajowego Programu Zwiększania Lesistości, Krajowego Programu Zadrzewień, ustanawiania leśnych obszarów funkcjonalnych, sieci lasów referencyjnych, i inne.

Projekt prac nad Narodowym Programem Leśnym: cele, założenia, struktura, organizacja prac

Narodowy Program Leśny jest budowany zgodnie z następującymi zasadami (UN-CSD-IPF, 1997, § 10):

- spójności z konstytucyjnym porządkiem prawnym oraz międzynarodowymi uzgodnieniami i regulacjami;
- spójności z narodowym programem trwałego rozwoju całej gospodarki;
- współuczestnictwa, partnerstwa i współpracy wszystkich zainteresowanych stron (grup społecznych, grup interesu, indywidualnych zainteresowanych itp.);
- całościowości (holistyczny) i międzysektorowości podejścia do rozwoju i ochrony lasów;
- długoterminowym i interaktywnym procesem planowania, realizacji i monitoringu.

Cele

Celem ogólnym podejmowanych prac jest stworzenie wizji rozwojowej polskiego leśnictwa i całego sektora leśno-drzewnego, jego kierunków i priorytetów, w perspektywie do 2030 roku i dalej do 2080. Narodowy Program Leśny ma służyć podniesieniu jakości życia poprzez tworzenie najlepszych do tego warunków środowiska, wielokierunkowe użytkowanie lasów oraz ochronę leśnej przyrody w zgodzie z zasadami trwałości i rozwoju.

Główne cele są następujące:

1. Stworzenie warunków dla wzrostu konkurencyjności i poprawy pozycji sektora leśno-drzewnego w gospodarce narodowej; uczynienie z lasów i gospodarki leśnej narzędzi ekonomicznego rozwoju; aktywizacja obszarów wiejskich na bazie sektora leśno-drzewnego; mobilizacja zasobów drzewnych, zwiększenie produkcji i dostaw drewna dla przemysłów i odbiorców indywidualnych.
2. Pełne wykorzystanie potencjału lasów, gospodarki leśnej i drewna do spowalniania zmian klimatycznych i przeciwdziałania ich skutkom; wzmocnienie udziału sektora leśno-drzewnego w zapewnianiu bezpieczeństwa energetycznego; stworzenie podstaw rozwoju „zielonej ekonomii”.
3. Poszerzenie i wzmocnienie społecznych korzyści z tytułu ochrony różnorodności biologicznej w lasach i kształtowania środowiska; stworzenie warunków i mechanizmów ochrony przyrody w lasach przez kontrolowane i zróżnicowane korzystanie z jej dóbr i usług; łagodzenie i unikanie konfliktów przez różnicowanie zagospodarowania lasów w dążeniu do zwiększania zarówno rozmiarów użytkowania, jak i obszarów chronionych.
4. Wzmocnienie w świadomości społecznej roli lasów, leśnictwa i zastosowań drewna jako infrastrukturalnego (międzysektorowego) czynnika rozwoju całego kraju, jako elementów wyższej jakości życia, jako źródła kultury materialnej oraz jako fizycznej i duchowej odnowy i rekreacji.
5. Przystosowanie programów kształcenia zawodowego do potrzeb gospodarczych i do potrzeb ochrony przyrody w lasach oraz upowszechnienie systemu kształcenia ustawicznego; zwiększenie skuteczności leśnej edukacji społeczeństwa.

ROZWINIĘCIE CELÓW

Narodowy Program Leśny dotyczy całego sektora leśno-drzewnego oraz ochrony przyrody w lasach. Oznacza to potrzebę wspólnego, strategicznego podejścia i harmonizowania zarówno produkcji drewna, kierunków jego użytkowania, wzmacniania usług ekosystemowych lasu, jak i rozwoju form ochrony przyrody w lasach. Do 2020 r. produkcja drewna powinna zostać istotnie zwiększona (do 45 mln m³ w 2020 r. i 50–55 mln m³ do 2050 r.), stosownie do potencjału produkcyjnego i przyrostowego zasobów drzewnych (bieżący przyrost roczny miąższości grubizny brutto wynosi 7,8 m³/ha i ma tendencję wzrostową, pozyskanie zaś ok. 4,5 m³/ha; wyniki wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu (WISL 2011) wskazują, że miąższość drzewostanów w Polsce jest większa niż dotychczas sądzono. We wzroście użytkowania lasów tkwi potencjał tworzenia nowych miejsc pracy: do 2020 roku można utworzyć ok. 10 000 miejsc pracy w sektorze leśnym, co w wyniku powiązań z przerobem drewna może dać ok. 70 000 nowych miejsc pracy ogółem w polskiej gospodarce. Wszystkie operacje leśne powinny być ekonomicznie opłacalne, ekologicznie poprawne i społecznie akceptowalne; potrzebny jest w tym względzie zwiększony wysiłek edukacyjny. Produkcja drewna powinna być zorientowana również na potrzeby rynku, a nie wynikać jedynie z potrzeb hodowlanych; w tym celu należy zróżnicować w przestrzeni i czasie metody zagospodarowania lasu. Rozwój leśnictwa powinien następować poprzez jego przestrzenne i czasowe

różnicowanie, stosownie do warunków przyrodniczych, gospodarczych i zapotrzebowań społecznych. Należy tworzyć warunki do uruchomienia produkcji drewna poza ekosystemami leśnymi, w tym w zadrzewieniach (potrzebny jest krajowy program zadrzewieniowy); umożliwi to również zwiększenie obszarów chronionych i bardziej skuteczną ochronę różnorodności biologicznej. Produkcja drewna i ochrona przyrody w lasach nie mogą być działaniami o sumie zerowej: leśnictwo wielofunkcyjne stwarza możliwości zarówno zwiększania produkcji, jak i zwiększania obszarów chronionych. Może to częściowo nastąpić w ramach zwiększania lesistości, gdyż potencjał zalesieniowy ocenia się na ok. 2 mln ha. Należy opracować nowe produkty na bazie drewna i jego komponentów: dotyczy to drewna konstrukcyjnego (substytucja stali), budowlanego (substytucja betonu, cegły), papieru, bioenergii (substytucja węgla, ropy, gazu) i bio-rafinerii (produkcja biopaliw), biodegradowalnych polimerów i biomateriałów na bazie celulozy i ligniny, jak również produkcji paszy oraz farmaceutyków. W interesie gospodarki leśnej leży kształtowanie wysokiej wartości dodanej w łańcuchach produktów na bazie drewna i innych surowców leśnych. Aktywność ekonomiczna oparta na zasobach leśnych, zwłaszcza produkcja drewna oraz usługi środowiskowe, dywersyfikuje źródła dochodu i stwarza nowe możliwości na rynku lokalnym, zarówno dla poszukujących naturalnych surowców i produktów, jak i poszukujących naturalnego środowiska dla rekreacji i turystyki. Ochrona przyrody i konfliktowość funkcji lasu nie może być hamulcem rozwoju, zwłaszcza terenów wiejskich, ani na poziomie kraju, ani też na poziomie regionów. Zalesianie, zadrzewianie i lokalne przetwórstwo drewna stanowi ważny potencjał zatrudnieniowy na rynku pracy. Nowe możliwości ekonomiczne i społeczne (miejsca pracy) dla gospodarki leśnej stwarza adaptacja kraju do zmian klimatycznych, zwłaszcza zmniejszanie emisji, zwiększanie sekwestracji węgla, przechowywanie węgla w produktach drzewnych, budownictwo drewniane i zapotrzebowanie na drewno energetyczne. Spalanie drewna powinno być ostatnim etapem kaskadowego użytkowania tego surowca. Należy stworzyć „horyzontalną”, politykę leśną, która będzie identyfikować wartości zewnętrzne lasu i gospodarki leśnej poprzez utworzenie międzysektorowych strategii rozwoju z następującymi resortami: rolnictwa i rozwoju wsi, rozwoju regionalnego, budownictwa, gospodarki, sportu i turystyki, kultury i dziedzictwa narodowego. Potrzebna jest również współpraca z ministerstwem zdrowia, edukacji narodowej, nauki i szkolnictwa wyższego, finansów, skarbu i obrony narodowej. Efektem końcowym prac będzie uzgodniony przez zainteresowane strony dokument, który zostanie przedłożony ministrowi środowiska i dyrektorowi generalnemu Lasów Państwowych.

Założenia ogólne

1. NPL stanowi kontynuację dotychczasowych wysiłków i korzysta z osiągnięć w formułowaniu i realizacji koncepcji trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów w Polsce.
2. NPL harmonizuje wszystkie działania w zakresie konwencji, traktatów, porozumień i innych zobowiązań międzynarodowych dotyczących leśnictwa, ochrony przyrody

- w lasach, kształtowania środowiska naturalnego, rozwijając wielofunkcyjność i integralny charakter gospodarki leśnej.
3. NPL obejmuje wszystkie lasy w Polsce i respektuje specyfikę leśnictwa polskiego (dominacja własności publicznej, przyrodnicze zróżnicowanie, wielofunkcyjne użytkowanie); wzmacnia możliwości realizacji przez LP równie ważnych funkcji lasu – ekonomicznych, środowiskowych i społecznych; wzmacnia prywatną gospodarkę leśną i stwarza warunki do jej lepszego rozwoju.
 4. NPL wspiera decentralizację planowania, podejmowania decyzji oraz zarządzania; sprzyja angażowaniu krajowych, regionalnych i lokalnych interesariuszy i struktur samorządowych oraz organizacji pozarządowych, zainteresowanych lasami i gospodarką leśną, stwarza warunki do współuczestnictwa w planowaniu, w ocenie zarządzania i do współodpowiedzialności.
 5. Wartość lasów i zadania gospodarki leśnej są wielokierunkowe i mają charakter międzysektorowy; integralnym elementem NPL są powiązania ze strategicznymi programami rozwoju innych sektorów, zwłaszcza w zakresie: rolnictwa i rozwoju terenów wiejskich, gospodarki i energetyki, rozwoju regionalnego, budownictwa, przemysłu (w tym głównie przerobu drewna), transportu, edukacji, zdrowia, turystyki i rekreacji.
 6. NPL tworzy perspektywę uczestnictwa lasów i gospodarki leśnej w spowalnianiu i przeciwdziałaniu zmianom klimatycznym; tworzy warunki aktywnego przeciwdziałania poprzez zwiększanie sekwestracji i przechowywania węgla, jak również redukcji emisji gazów szklarniowych (GHG) poprzez wykorzystanie właściwości drewna substytucyjnych w stosunku do wysokoemisyjnych materiałów i produktów oraz kopalnych źródeł energii.
 7. NPL sprzyja różnicowaniu gospodarki leśnej stosownie do geograficzno-przyrodniczej zmienności lasów, ich funkcji oraz potrzeb społecznych; NPL tworzy warunki, w których gospodarka leśna jest społecznie akceptowalna, środowiskowo bezpieczna i ekonomicznie opłacalna, zarówno na poziomie kraju i regionów, jak i lokalnie; założenie to wynika z konstytucyjnej zasady trwałego i zrównoważonego rozwoju kraju.
 8. NPL promuje rozwój naukowych podstaw leśnictwa oraz zapewnia stałe uczestnictwo nauki w przygotowywaniu decyzji w oparciu o najlepszą wiedzę, wprowadza mechanizmy umożliwiające bieżącą ocenę skutków podejmowanych decyzji i prowadzonej polityki, co czyni leśnictwo zdolne do autokorekty.
 9. NPL ma charakter kroczący i nie zamyka się w określonym horyzoncie czasu; w oparciu o stały monitoring i długookresowe badania wprowadza cykliczne oceny i umożliwia ciągłe doskonalenie metod zagospodarowania i zarządzania oraz dostosowywania leśnictwa do przyrodniczych i ekonomicznych uwarunkowań oraz społecznych oczekiwań.
 10. NPL sytuuje lasy i leśnictwo w strukturach państwa, stosownie do ich roli w gospodarczym i społecznym rozwoju, bezpieczeństwie ekologicznym, ochronie klimatu oraz ważności dla rozwoju innych sektorów, czego wykładnikiem jest odpowiedzialność gospodarki leśnej za użytkowanie i ochronę dzikiej przyrody na obszarze 1/3 powierzchni kraju.

Założenia szczegółowe

1. Narodowy Program Leśny w swoich założeniach dotyczy lasów i obszarów leśnych (oraz drzew poza lasem) i prowadzonej w nich gospodarki leśnej z uwzględnieniem różnic wynikających z praw własności, regulacji prawnych oraz cech organizacji, respektując i potwierdzając jednocześnie wiodącą rolę Państwowego Gospodarstwa Leśnego „Lasy Państwowe” w polskiej gospodarce leśnej.
2. NPL stwarza mechanizmy realizacji zobowiązań wynikających z ratyfikowanych międzynarodowych konwencji i obowiązujących regulacji dotyczących lasów, w tym zwłaszcza ramowej konwencji o zmianach klimatycznych (FCCC) oraz konwencji o różnorodności biologicznej (CBD).
3. NPL jest spójny z krajową strategią ochrony różnorodności biologicznej i wskazuje sposoby jej realizacji w lasach na bazie działań gospodarczych leśnictwa oraz w powiązaniu ze stosownymi planami ochrony przyrody.
4. NPL jest płaszczyzną rozwiązywania konfliktów i doskonalenia relacji: „ochrona przyrody – gospodarka leśna”, „prywatny przemysł drzewny i użytkownicy drewna – państwowe gospodarstwo leśne”, „hodowla lasu – gospodarka łowiecka”, „ochrona lasu – rekreacja i turystyka” i innych.
5. NPL rozwija leśnictwo wielofunkcyjne, w tym zwłaszcza operowanie opcjami rozwojowymi w ramach:
 - 1) optymalizowania struktury lasu, która zapewnia spełnianie przez las wszystkich funkcji jednocześnie i w tym samym miejscu;
 - 2) optymalizowania struktury lasu odpowiednio do wskazanych funkcji, które mogą być intensyfikowane stosownie do potrzeb i możliwości.
6. Użytkowanie lasu wg NPL oznacza pobieranie dóbr i korzystanie z usług, co odbywa się zarówno w sferze wartości rynkowych (zaspokajania potrzeb materialnych), jak i wartości nie podlegających komercjalizacji lub dotychczas nie urynkowionych (zaspokajanie potrzeb infrastrukturalnych, zdrowotnych i duchowych człowieka).
7. NPL wskazuje relacje oraz kierunki powiązań sektora leśno-drzewnego z innymi działami gospodarki, zwłaszcza takimi jak rolnictwo, rozwój wsi i terenów wiejskich, przemysł drzewny, budownictwo, rozwój regionalny, energetyka, turystyka i rekreacja, zdrowie, kultura i dziedzictwo narodowe, edukacja. NPL jest dokumentem programowym dla prac nad włączeniem lasów i gospodarki leśnej w obecne i przyszłe strategie rozwoju Polski.
8. Do najważniejszych zadań NPL w okresie do 2030 i dalej do 2050 r. należy:
 - 1) zwiększenie udziału lasów i gospodarki leśnej w ograniczaniu skutków zmian klimatycznych oraz strategii adaptacji gospodarki kraju do tych zmian poprzez:
 - a) zwiększanie pochłaniania CO₂,
 - b) zwiększanie wykorzystania drewna jako substytutu wysokoemisyjnych materiałów i surowców konstrukcyjnych (stal, beton),
 - c) zwiększanie udziału biomasy drzewnej w kształtowaniu bezpieczeństwa energetycznego kraju;

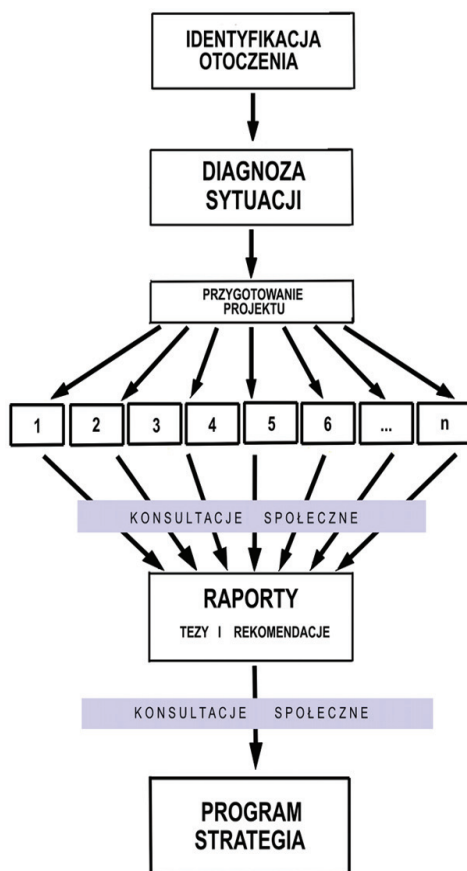
- 2) wykorzystanie lasu i gospodarki leśnej jako narzędzia rozwoju gospodarczego; uczestniczenie gospodarki leśnej w rozwoju wsi i terenów wiejskich, stymulowanie inicjatyw gospodarczych, tworzenie miejsc pracy; głównym narzędziem realizacji tego zadania powinien stać się zweryfikowany pod tym kątem oraz z punktu widzenia adaptacji gospodarki do zmian klimatycznych „Krajowy Program Zwiększania Lesistości” oraz skoordynowany z zagospodarowaniem i planowaniem przestrzennym krajowy program zadrzewień, który pilnie należy opracować.
 - 3) uczynienie z lasu i gospodarki leśnej narzędzia ochrony przyrody w lasach; stworzenie prawnych, organizacyjnych i technologicznych przesłanek do realizacji zasady wywodzącej się z celu konwencji o różnorodności biologicznej: „ochrona przyrody przez jej racjonalne użytkowanie”.
9. W ramach NPL następuje doskonalenie i praktyczne wykorzystanie kryteriów i wskaźników (KiW) trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów (TZZL), jako miary zmian struktury i funkcji lasów zachodzących pod wpływem wewnętrznych i zewnętrznych czynników.

Struktura projektu i algorytm realizacji

Projekt jest realizowany według metody „zarządzania przyszłością” FORSIGHT (ryc. 1) i składa się z 5 etapów: I – identyfikacja otoczenia, II – diagnoza sytuacji, III – przygotowanie projektu i panele ekspertów, IV – raporty (tezy i rekomendacje), V – właściwy program/strategia.

Wstępna analiza społeczno-gospodarczego otoczenia lasów i gospodarki leśnej (etap I) wyłoniła 16 głównych grup interesu (ryc. 2) oraz 40 grup głównych interesariuszy, a także wskazała na silne związki między nimi.

W tak zidentyfikowanym otoczeniu lasów i gospodarki leśnej dokonano diagnozy sytuacji (etap II). Analizie poddano obowiązujące regulacje prawne, główne konflikty (gospodarka leśna – ochrona przyrody; gospodarka leśna – przemysł



Główny algorytm realizacji projektu
(wg Narodowy Program FORESIGHT "Polska 2020"; IPPT PAN, 2008, zmieniony)
1, 2, ..., n – panele eksperckie

Ryc. 1. Algorytm realizacji projektu „zarządzania przyszłością” według metody FORSIGHT



Ryc. 2. Społeczno-gospodarcze i środowiskowe otoczenie lasów i gospodarki leśnej

drzewny) oraz istniejące rządowe projekty strategii rozwoju kraju i strategii sektorynych. Z diagnozy wynikało jasno, że:

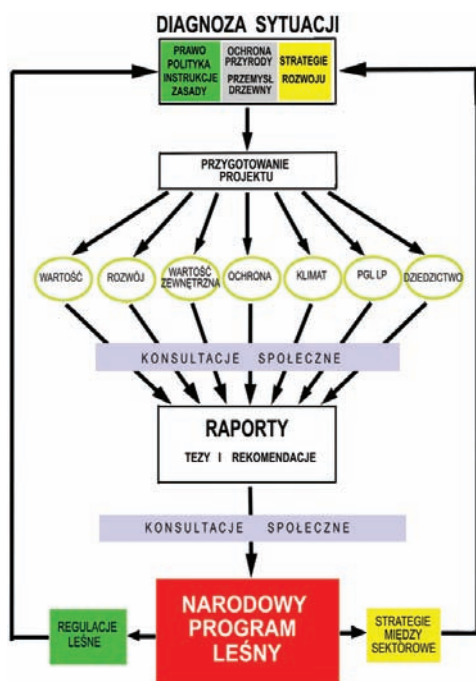
1. Ochrona środowiska nie traktuje lasu ani gospodarki leśnej jako narzędzi ochrony przyrody;
2. Strategie gospodarcze krajowe i strategie sektorowe nie traktują lasu ani gospodarki leśnej jako narzędzi rozwoju gospodarczego.

Na podstawie analiz określono obszary problemowe dla głównej fazy projektu – paneli ekspertów (etap III). Hasłowe ujęcie głównych obszarów problemowych, z których każdy stał się jednocześnie przedmiotem panelu ekspertów, prezentuje rycina 3.

Z każdego panelu jest przygotowywane sprawozdanie oraz synteza w postaci rekomendacji do Narodowego Programu Leśnego (etap IV) (ryc. 4). W miarę wyłaniania się nowych problemów lub problemów wymagających pogłębionych analiz i uzgodnień tworzone będą pod-panele ekspertów. Końcowym produktem (etap V) będzie doku-



Ryc. 3. Obszary problemowe – panele ekspertów



Ryc. 4. Schemat autokorekty Narodowego Programu Leśnego

ment w postaci propozycji „Narodowego Programu Leśnego”, który zostanie przekazany do Ministerstwa Środowiska oraz Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych, z przeznaczeniem dla Sejmu, Rady Ministrów i Kancelarii Prezydenta RP. Zakończenie prac zaplanowano na grudzień 2015 roku.

Panele ekspertów

Zaplanowano 8 paneli ekspertów, w trakcie których zostanie zaprezentowanych ok. 120 opracowań. Do wzięcia udziału w pracach paneli zapraszani są przedstawiciele wszystkich grup społecznych zainteresowanych lasami, dobrami i usługami leśnymi, zwłaszcza drewnem, przedstawiciele ośrodków naukowych, samorządów, stowarzyszeń zawodowych, organizacji pozarządowych, politycy oraz przedstawiciele rząd i grup społecznych. Liczba, problematyka i proponowany zakres merytoryczny paneli może ulec zmianie w wyniku debat i rozwoju procesu społecznych konsultacji. Wszystkie panele są równie ważne z punktu widzenia poruszanej problematyki, a ich kolejność w prezentowanej koncepcji jest przypadkowa i nie jest odbiciem jakichkolwiek preferencji.

PANEL EKSPERTÓW KLIMAT. LASY I DREWNO A ZMIANY KLIMATYCZNE: ZAGROŻENIA I SZANSE

Zakres: konsekwencje zmian klimatycznych dla hodowli i ochrony lasu; wpływ na strategię użytkowania; właściwości i warunki pochłaniania oraz przechowywania węgla; wartości substytucyjne w relacji do wyczerpywanych i wysokoemisyjnych źródeł energii oraz materiałów i surowców; możliwości intensyfikacji produkcji drewna; produkcja drewna poza ekosystemami leśnymi; rola plantacji i zadrzewień; cykl życia produktów drzewnych – kaskadowe użyt-

kowanie drewna; nowoczesne technologie wytwarzania produktów drewnopochodnych (materiałów kompozytowych) nowej generacji; możliwości spowalniania zmian oraz kierunki adaptacji lasów i leśnictwa do zmian klimatycznych.

PANEL EKSPERTÓW WARTOŚĆ.

LASY JAKO CZYNNIK ROZWOJU CYWILIZACJI: WSPÓŁCZESNA I PRZYSZŁA WARTOŚĆ LASÓW

Zakres: koncepcje przyrody a społeczny wymiar lasu; lasy we współczesnej filozofii przyrody; wartość i wartościowanie lasu – metody i potrzeby, stan obecny i perspektywy; przestrzenno-czasowa zmienność wartości lasu; kapitał naturalny i wartości samostne; antropologiczne podstawy systemów wartości; aksjologia lasu; las jako *sacrum*; zarządzanie lasami w sytuacji napięcia między biocentryzmem a antropocentryzmem; infrastrukturalna wartość lasu w krajobrazie; wartości publiczne a społeczne i prawne normy zarządzania; las w hierarchii potrzeb; wielość wartości a przestrzenno-czasowa zmienność zarządzania; lasy i gospodarka leśna w zagospodarowaniu przestrzennym; funkcje lasu a grupy interesu; wartości/efekty zewnętrzne lasu i gospodarki leśnej; prawo leśne i prawo „okołołeśne” – stan, oczekiwane zmiany; współczesna i przyszła wartość lasów – wymiar materialny i duchowy.

PANEL EKSPERTÓW DZIEDZICTWO.

LASY I GOSPODARKA LEŚNA W KULTURZE I DZIEDZICTWIE NARODOWYM

Zakres: kulturotwórcza rola lasu w dziejach cywilizacji; las w historii, kulturze i sztuce polskiej; las w muzyce; wartości estetyczne lasu; elementy etyki i kultury w kontaktach z lasem; sylwetka współczesnego użytkownika lasu; znaczenie lasu dla sztuki i literatury; słowotwórstwo od-leśne; las w kulturze ludowej; kultura łowiecka jako element kultury narodowej; leśne kulinaria; parki/krajobrazy kulturowe i pomniki historii; zasoby archeologiczne w lasach; las jako źródło artystycznej inspiracji; drewno jako medium artystyczne; lasy i drzewa w wierzeniach religijnych i ludowych; system ochrony przyrody zintegrowany z systemem ochrony historycznych zabytków i kultury materialnej; wartości obronne i patriotyczno-edukacyjne.

PANEL EKSPERTÓW OCHRONA.

LASY I GOSPODARKA LEŚNA JAKO NARZĘDZIA KSZTAŁTOWANIA ŚRODOWISKA NATURALNEGO I OCHRONY PRZYRODY

Zakres: wpływ zagospodarowania lasu na ochronę przyrody; analiza dokumentów techniczno-gospodarczych z punktu widzenia ochrony przyrody w lasach; co znaczy „użytkowanie różnorodności biologicznej wg CBD? Ochrona przyrody leśnej a użytkowanie lasu – pojęcie użytkowania; ochrona lasu a ochrona przyrody – *casus*: kornik drukarz; program ochrony przyrody w nadleśnictwie – sukces czy klęska?; gospodarka leśna na obszarach „natura 2000”: zamierzenia i rzeczywistość; ochrona przyrody wobec zmian klimatycznych; lasy i gospodarka leśna w zagospodarowaniu przestrzennym; ochrona przyrody

w zrównoważonej gospodarce: wspomaganie czy hamowanie rozwoju?; konserwatorska ochrona przyrody w lasach – stan i perspektywy; ochrona przyrody w lasach niepaństwowych; rola i znaczenie korytarzy ekologicznych w ochronie przyrody; gospodarka łowiecka: ochrona przyrody, gospodarowanie/zarządzanie zwierzyną czy rekreacja?

PANEL EKSPERTÓW ROZWÓJ.

LASY I GOSPODARKA LEŚNA JAKO INSTRUMENTY EKONOMICZNEGO I SPOŁECZNEGO ROZWOJU

Zakres: stan i perspektywy rozwoju sektora leśno-drzewnego w Polsce – koncepcja „zielonej gospodarki” (biogospodarki); lasy i gospodarka leśna jako narzędzia aktywizacji i rozwoju ekonomicznego i społecznego w różnej skali terytorialnej: kraju, regionów, obszarów wiejskich i społeczności lokalnych; rola lasów prywatnych; mobilizacja zasobów drzewnych i możliwości zwiększania użytkowania; możliwości intensyfikacji produkcji drewna; innowacyjna gospodarka drewnem; lasy w rozwoju społeczno-ekonomicznym obszarów zurbanizowanych; model współpracy przemysłu drzewnego z gospodarką leśną; strategia sektora leśno-drzewnego w okresie koniunktury i dekonunktury na rynku drzewnym; prywatne przedsiębiorstwa leśne – stan obecny, bariery i możliwości rozwoju; czy można wyżyć z lasu prywatnego?; nadzór nad lasami prywatnymi; rozwój, struktura i możliwości zwiększenia użytkowania zasobów leśnych w Polsce w perspektywie roku 2080; regulacja użytkowania lasu – stan i perspektywy; zalesienia – droga do zrównoważonego rozwoju terenów wiejskich i poszerzanie sektora prywatnego w leśnictwie; nowe bazy surowcowe: plantacje drzew poza lasem oraz zadrzewienia; użytkowanie leśnych surowców niedrzewnych – aspekty ekonomiczne, społeczne, rekreacyjne.

PANEL EKSPERTÓW ORGANIZACJA.

WIZJA LEŚNICTWA W POLSCE.

WIZJA I MISJA PAŃSTWOWEGO GOSPODARSTWA LEŚNEGO LASY PAŃSTWOWE

Zakres: status, funkcje i misja Lasów Państwowych jako zarządcy dóbr i usług lasów publicznych; rola LP w relacji do prywatnej własności leśnej; analiza systemu zarządzania i nadzoru: Ministerstwo Środowiska (Departament Leśnictwa i Ochrony Przyrody) – DGLP – RDLP – nadleśnictwo; centralizacja polityki leśnej a dewolucja planowania i procesu decyzyjnego; gospodarka finansowa: tworzenie oraz kierunki podziału środków z funduszu leśnego; zasada samofinansowania w perspektywie 2030 i dalej 2080; rola banku danych o lasach i rola BULiGL); ewolucja wizji gospodarki leśnej w Polsce oraz misji Lasów Państwowych w ich historii – wyzwania przyszłości; formy społecznego nadzoru nad PGLLP; generowanie wartości dodanej w relacji: gospodarka leśna – użytkowanie lasu – produkt końcowy, oraz jej wielkość i kierunki przepływu; sposoby i zakres udostępniania lasów; przegląd i analiza systemów sprzedaży drewna; przegląd regulacji i analiza statutu PGLLP; znaczenie leśnych obszarów funkcjonalnych (LKP) i ich powiązanie z krajowymi obszarami funkcjonalnymi; plan urządzania lasu jako narzędzie współpracy międzysektorowej, planowania przestrzennego i promocji leśnictwa w gospodarce i rozwoju społecznym kraju.

PANEL EKSPERTÓW WSPÓŁDZIAŁANIE.**LASY I GOSPODARKA LEŚNA****JAKO MIĘDZYSEKTOROWE INSTRUMENTY ROZWOJU KRAJU**

Zakres: przegląd sektorów gospodarki narodowej i określenie ich związków z leśnictwem w kontekście rozwoju społeczno-gospodarczego kraju; lasy i leśnictwo w rachunkach narodowych i środowiskowych; wartość produkcji leśnej i wartości (efekty) zewnętrzne leśnictwa – udział lasów i leśnictwa w tworzeniu wartości dodanej i produktu krajowego brutto (PKB); rodzaje i siła powiązań leśnictwa z sektorami gospodarki narodowej i innymi działami gospodarczej i społecznej aktywności (rolnictwo, gospodarka, rozwój regionalny, transport, budownictwo energetyka, sport i rekreacja, kultura i dziedzictwo narodowe, zdrowie, edukacja, nauka i szkolnictwo wyższe, obrona narodowa); znaczenie społeczno-ekonomiczne lasów i gospodarki leśnej oraz ich współudział w realizacji zadań poszczególnych sektorów i działów; identyfikacja problemów kluczowych i priorytetów dla przyszłych, wspólnych działań – strategie międzysektorowe.

PANEL EKSPERTÓW NAUKA.**BADANIA LEŚNE, KSZTAŁCENIE I LEŚNA EDUKACJA SPOŁECZEŃSTWA;****PROGRAM BADAWCZO-WDROŻENIOWY NA RZECZ****NARODOWEGO PROGRAMU LEŚNEGO**

Zakres: w ramach prac nad Narodowym Programem Leśnym powinien powstać długookresowy program badań (15–20-letnich) respektujący specyfikę lasu jako przedmiotu badań wyjątkowo przyrodniczo złożonego i silnie ulegającego wpływom zewnętrznym, oraz specyfikę gospodarki leśnej jako dziedziny zajmującej się organizmami długowiecznymi, o długim cyklu wzrostu i rozwoju oraz długoletnich procesach produkcyjnych, w warunkach zmian środowiska i społecznych potrzeb i preferencji. Skoordynowane, spójne merytorycznie oraz wspólnie przygotowane i zaakceptowane przez ośrodki naukowe badania w sektorze leśno-drzewnym i w ochronie przyrody w lasach powinny odpowiadać na współczesne, ale przede wszystkim przyszłe wyzwania i zawierać m.in. następującą problematykę: identyfikacja potrzeb badawczych sektora leśno-drzewnego i ochrony przyrody w lasach na najbliższe dziesięciolecie; praktyka a eksperyment badawczy w gospodarce leśnej; jak być obserwatorem i uczestnikiem (uczyć się poprzez działanie i poznawać przez uczestnictwo) – wspólne zadania praktyki i nauk leśnych; warunki koewolucji praktyki i myśli/nauki leśnej; otwarty, świadomy dialog w całym procesie badań i dochodzenia do innowacji – wyzwalanie wyobraźni, kreatywności i aktywności; metodologia równowagi i nierównowagi – w poszukiwaniu nowego paradygmatu; wielokryterialne wartościowanie lasów i ich wielostronnych użyteczności; sposoby „urynkowania” wszystkich użyteczności lasu; łańcuch leśno-drzewny jako narzędzie rozwoju gospodarki kraju/regionu/obszaru funkcjonalnego, źródło zatrudnienia, alternatywnych przychodów, ekonomicznej i społecznej wartości dodanej. Jako kierunek badań preferowany program powinien uwzględnić gospodarowanie zasobami leśnymi oraz efektywną gospodarkę drewnem w warunkach zmian klimatu.

Konsultacje społeczne i warunki pracy paneli ekspertów

W celu zapewnienia pełnej transparentności prac i opracowywanych dokumentów, oraz umożliwienia szerokiego społecznego udziału w pracach nad Narodowym Programem Leśnym i ułatwienia społecznych konsultacji uruchomiono stronę internetową www.npl.ibles.pl, która służy do zamieszczania wszystkich informacji i materiałów związanych z Narodowym Programem Leśnym, głosów w dyskusji nad materiałami NPL, organizacji dyskusji internetowych oraz „czatów” z autorami eksperckich opracowań. Na stronie zamieszczane są pełne teksty opracowań ekspertów na 3–4 tygodnie przed terminem panelu. Obrady są transmitowane on line oraz utrwalane i upubliczniane na stronie www.npl.ibles.pl, a także archiwizowane na nośnikach elektronicznych dostępnych dla wszystkich zainteresowanych. Na stronie znajdują się raporty z obrad, rekomendacje i sprawozdania z przebiegu paneli wraz z materiałami video. Wszystkie materiały opublikowane na stronie www.npl.ibles.pl do dnia 30 czerwca 2015 roku będą brane pod uwagę przy opracowywaniu końcowego sprawozdania z prac nad Narodowym Programem Leśnym. Do grudnia 2013 roku odbyły się dwa panele ekspertów: KLIMAT i WARTOŚĆ. Materiały z każdego panelu, poza stałą obecnością na stronie www.npl.ibles.pl, zostaną opublikowane w formie książkowej w serii wydawniczej IBL „Materiały z prac nad NARODOWYM PROGRAMEM LEŚNYM”. Niniejsza publikacja jest pierwszym tomem z tej serii.

Organizacja obrad

Z uwagi na bogaty materiał merytoryczny paneli ekspertów (każdy panel prezentuje 15–20 opracowań) oraz możliwość wcześniejszego zapoznania się z materiałami na stronie www.npl.ibles.pl, jak również w związku z przesunięciem akcentu w pracach nad Narodowym Programem Leśnym z wysłuchiwanie referatów na dyskusje i umożliwienie wymiany poglądów możliwie dużej liczbie uczestników, ustala się następujący przebieg obrad:

1. Tekst opracowania nie powinien przekraczać 15 stron (Times New Roman 12, pojedyncza interlinia).
2. Wszyscy Uczestnicy paneli proszeni są o wcześniejsze zapoznanie się z materiałami w postaci pełnych tekstów eksperckich opracowań, znajdujących się na stronie internetowej Narodowego Programu Leśnego: www.npl.ibles.pl, zakładka: „Panele” – np. „Klimat” – „Opracowania”.
3. Czas prezentacji (Power point) poszczególnych referatów wynosi 10 minut. Należy w nim zawrzeć główne tezy, uzasadnienia i propozycje. Prezentacje prosimy przysłać do sekretariatu najpóźniej na dzień przed datą panelu z uwagi na potrzebę zsynchronizowania obrazu filmowego ze slajdami.
4. Obrady są podzielone na 4 sesje. Po każdej sesji przewidziana jest dyskusja i przerwa na kawę (po sesji II przewidziany jest lunch).
5. Po sesji IV przewiduje się dyskusję nad całością prezentowanych materiałów. Maksymalny czas wystąpień w trakcie debat 3–4 minuty.

6. Możliwe jest złożenie w postaci elektronicznej treści wystąpień oraz innych opracowań i materiałów z zakresu obrad panelu do sekretariatu NPL.
7. Obrady będą rejestrowane na nośnikach elektronicznych oraz prowadzona będzie transmisja internetowa online (patrz: link na stronie www.npl.ibles.pl).
8. Wszystkie wypowiedzi i materiały pisane pozostaną w dokumentacji projektu i będą rozpatrywane przy formułowaniu raportów z poszczególnych paneli oraz raportu końcowego.
9. Po zakończeniu projektu przewiduje się publikację materiałów w postaci monografii przedmiotowych.
10. Z uwagi na potrzebę sporządzenia listy ekspertów uczestniczących w przedmiotowych panelach uprzejmie prosimy o przesłanie biogramu (ok. 1/2 strony) wraz ze zdjęciem na adres sekretariatu NPL sekretariat_npl@ibles.waw.pl.

Uwagi dla ekspertów

Opracowania ekspertów powinny spełniać następujące warunki (nie dotyczy w równym stopniu wszystkich zadań):

1. **Przegląd problematyki z zakresu zleconego zadania:**
 - tło międzynarodowe,
 - dotychczasowe krajowe osiągnięcia/porażki,
 - stan bieżący, ocena,
 - obszary wymagające dodatkowego rozpoznania naukowego i analiz;
2. **Koncepcje rozwiązania/doskonalenia/zmiany stanu rzeczy:**
 - uzasadnienie merytoryczne,
 - wskazanie aktorów działania,
 - potrzeby działań operacyjnych do 2030 roku oraz w perspektywie do 2080,
 - konsekwencje/skutki, ew. koszty;
3. **Propozycje zmian w istniejących regulacjach i systemach zarządzania:**
 - wskazanie miejsca i zapisu, który powinien ulec zmianie lub stanowić nowy zapis (rekomendacje do nowelizacji wskazanych dokumentów regulujących gospodarkę leśną w Polsce: ustawa o lasach, „Polityka leśna państwa”, zapisy w instrukcjach, zasadach, zarządzeniach),
 - propozycje działań edukacyjnych/promocyjnych/badawczych;
4. **Wnioski/stwierdzenia końcowe/synteza:**
 - rekomendacje dla NPL: do **2030 – poziom legislacyjny**, i w perspektywie do **2080 roku – kierunkowa wizja**.

Opracowania ekspertów

SESJA

1

Klimat w Polsce w XXI wieku – prawdopodobne kierunki zmian; perspektywa klimatów lokalnych

dr inż. Małgorzata LISZEWSKA

Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego,
Uniwersytet Warszawski, Warszawa

Wstęp

Klimat jest ważnym czynnikiem wpływającym na rozmaite dziedziny życia. Zmienność klimatu wynika głównie z jego wewnętrznej dynamiki, natomiast same zmiany klimatu są wymuszone przez różne czynniki zewnętrzne, między innymi przez działalność człowieka. Obserwacje meteorologiczne z ostatnich kilkudziesięciu lat wskazują na ocieplenie klimatu w skali globalnej, wzrost średniego poziomu morza i zmniejszenie zasięgu pokrywy śnieżnej na Półkuli Północnej. Rozkład tych zmian jest zróżnicowany regionalnie. Zmiany parametrów meteorologicznych są różne w poszczególnych regionach.

Do zrozumienia i oszacowania wpływu zmian i zmienności klimatu na systemy zarówno naturalne, jak i te tworzone i kontrolowane przez człowieka, szczególnie pomocne są rekonstrukcje i projekcje parametrów klimatycznych. Używa się w nich numerycznych modeli klimatu opartych na równaniach fizycznych. W przypadku klimatu rozpatrujemy długie skale czasowe, interesują nas pewne statystyki zmiennych klimatycznych w ważnych dla nas regionach oraz w różnych okresach. Wartości prognozowane są odnoszone do wartości, które już zaistniały w przeszłości. Dla niektórych systemów przyrodniczych, takich jak np. lasy, szczególnie istotne są dłuższe horyzonty czasowe.

Modele

Modele ogólnej cyrkulacji atmosfery i oceanu stanowią najbardziej zaawansowane narzędzia nowoczesnej klimatologii. Ewolucję systemu klimatycznego opisują równania hydrodynamiki i termodynamiki. Modele zawierają moduły oddziaływania klimatu z różnymi rodzajami podłoża oraz moduły przemian chemicznych. Zmiany parametrów meteorologicznych w czasie można opisać za pomocą równań prostej w przestrzeni trój-

wymiarowej. Są to modele globalne, które symulują zachowanie się układu w skali kuli ziemskiej, do oszacowań w skali regionalnej konieczne jest stosowanie metod przejścia do skal mniejszych.

W podejściu dynamicznym wykorzystuje się regionalne modele klimatyczne o wysokiej rozdzielczości przestrzennej, obecnie rzędu 10–50 km, które pobierają warunki początkowe i brzegowe z globalnych projekcji klimatycznych. Za pomocą modeli regionalnych, uwzględniających geograficzne szczegóły regionu (np. topografię, użytkowanie terenu), można opisać zjawiska klimatyczne związane z tymi szczegółami, które nie są symulowane przez modele ogólnej cyrkulacji pracujące w siatkach o znacznie większych oczkach (np. cyrkulację powietrza w skali regionalnej). Zaletą podejścia dynamicznego jest spójność opisu fizycznego rozważanych procesów klimatycznych.

Symulacje klimatu obarczone są w znacznym stopniu niepewnością wynikającą z niedostatecznej wiedzy o procesach oraz zjawiskach naturalnych i antropogenicznych. Błędy i obciążenia związane są również z ograniczeniami metod numerycznych oraz komputerów.

Nie istnieje model doskonały, nie znamy jedyne wiarygodnego scenariusza, dlatego przy wszelkich rozważaniach i ocenach tego, co może się zdarzyć w przyszłości, należy brać pod uwagę różne możliwości rozwoju (Carter, 2007). Stosuje się podejście wiązkowe, polegające na analizie wyników przynajmniej kilku różnych modeli regionalnych, zagnieżdżonych w różnych modelach globalnych. Pozwala to uwzględnić niepewność związaną z samymi modelami, wynikającą przede wszystkim z różnic w opisie parametrów fizycznych w poszczególnych modelach.

Tabela 1. Symulacje wykorzystane do opracowania scenariuszy klimatycznych dla Polski. Opracowane scenariusze klimatyczne dla Polski są udostępnione poprzez interaktywną bazę danych w ICM (<http://klimat.icm.edu.pl>)

	Model regionalny	Referencje	Model globalny	Referencje
1	2	3	4	5
1	RM5.1	Radu i in. 2008	ARPEGE	http://www.cnrm.meteo.fr/gmgec/arpege/arpege.html
2	DMI-HIRHAM5	Christensen et al 2007	ARPEGE	
3	MPI-M-REMO	Jacob 2001, Jacob i in. 2001	ECHAM5	http://www.mpimet.mpg.de/en/wissenschaft/modelle/echam/echam5.html
4	KNMI-RACMO2	Meijgaard i in. 2008	ECHAM5	
5	SMHIRCA	Kjellström i in. 2005, 2011	BCM	Furevik et al 2003
6	DMI-HIRHAM5	Christensen et al 2007	BCM	
7	METO-HC_HadRM3Q0	Collins i in. 2006	HadCM3Q0	http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/climate-models/hadcm3
8	ETHZ-CLM	Böhm et al, 2006	HadCM3Q0	

Modele klimatyczne są bardzo kosztowne – wymagają komputerów dużej mocy. Związane jest to z koniecznością wykonywania długich obliczeń. Dzięki obecnym możliwościom komputerów przeprowadzono wiele symulacji regionalnych dla różnych regionów świata, w tym Europy.

Niniejsze opracowanie oparte jest na regionalnych symulacjach klimatycznych wykonanych w ramach projektu EU ENSEMBLES (<http://www.ensembles-eu.org>) przy założeniu scenariusza emisji SRES A1B, który uwzględnia równowagę różnych źródeł energii. Symulacje przeprowadzone dla scenariusza A1B odzwierciedlają obraz średnich zmian w stosunku do scenariuszy skrajnych A2 i B1. Wybrano 7 modeli regionalnych z warunkami brzegowymi z 4 modeli globalnych (tab. 1). Wiązka skonstruowana jest tak, że zawiera po dwie różne symulacje regionalne dla każdego modelu globalnego (w tabeli oznaczonych różnymi kolorami). Zastosowano dodatkowe przetwarzanie statystyczne wyników symulacji w celu redukcji błędów systematycznych.

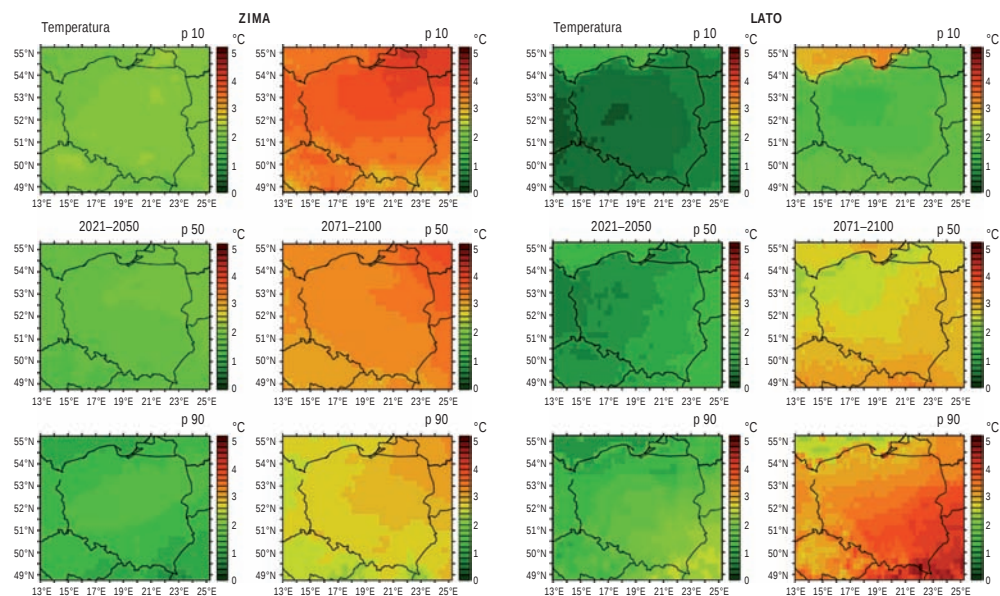
Prawdopodobne kierunki zmian klimatu

Do analizy zmian temperatury można zastosować percentyle 10., 50. i 90. Percentyl 10. wskazuje wartości temperatury, poniżej których występuje 10% wszystkich wartości temperatury w danym czasie, percentyl 50. to wartość środkowa (mediana), dzieli wszystkie możliwe wartości na połowę, natomiast percentyl 90. odcina 10% największych wartości temperatury w badanym okresie. Rycina 1 pokazuje mapy różnic wartości percentyli (10., 50., 90.) temperatury powietrza zimą i latem [°C] pomiędzy prognozą na lata 2021–2050 oraz 2071–2100 a okresem referencyjnym 1971–2000. Widoczne jest ocieplenie, którego należy się spodziewać w obu okresach i obu sezonach, wyraźnie większego w ostatnim trzydziestoleciu. W przypadku zimy zdecydowanie większych przyrostów należy oczekiwać w zakresie temperatur niskich (percentyl 10.), najsilniejszych w Polsce północno-wschodniej, do 2,5°C w środkowym okresie i powyżej 4,5°C w ostatnim trzydziestoleciu. Spodziewany wzrost środkowych i wysokich wartości temperatury zimowej jest bardziej jednorodny w przypadku całego kraju i nieco mniejszy, około 1,5°C w latach 2021–2050 i około 3,5°C w okresie 2071–2100 w przypadku percentylu 90. Wzrost niskich temperatur latem, reprezentowanych przez percentyl 10. będzie dochodzić do około 1°C w latach 2021–2050 i do około 3°C w 2071–2100. Większy będzie wzrost temperatur wysokich, zwłaszcza w Polsce południowo-wschodniej, od 2,5°C w pierwszym badanym okresie do ponad 4,5°C pod koniec stulecia.

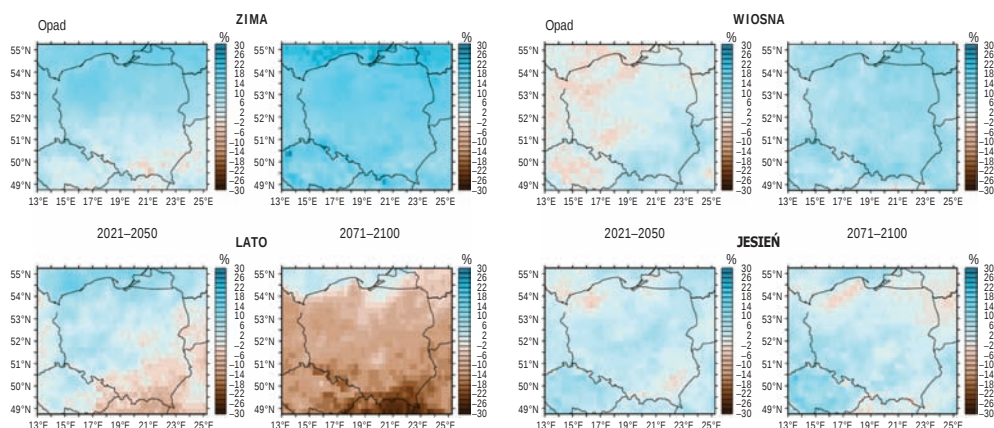
Rycina 2 prezentuje rozkład przestrzenny względnych zmian opadu. Wyniki wskazują na zwiększenie opadu zimowego, dochodzące do około 10% w części północnej kraju w latach 2021–2050 i do ponad 20% w części wschodniej w latach 2071–2100. Ponadto dobrze widoczne jest zmniejszenie opadu pod koniec stulecia latem, największe na południowym wschodzie. W przypadku pór przejściowych zauważa się nieznaczny wzrost opadów, największy wiosną w trzydziestoleciu 2071–2100.

Na rycinach 4, 5 i 6 przedstawiono rozkład przestrzenny najdłuższych okresów suchych i mokrych oraz długości okresu wegetacyjnego. Na mapy naniesiono granice krain

przyrodniczo-leśnych (ryc. 3). Pokazano stan danego wskaźnika w okresie referencyjnym 1971–2000 oraz jego zmiany w trzydziestolecie 2041–2070. Na rycinie 4 można zauważyć strefę usytuowaną wzdłuż wschodniej granicy, w której wyraźne jest wydłużenie okresów bezopadowych (najdłuższych okresów z opadem < 1 mm/dobę), a na rycinie 5 – skrócenie okresów mokrych, zwłaszcza w południowej części Polski.



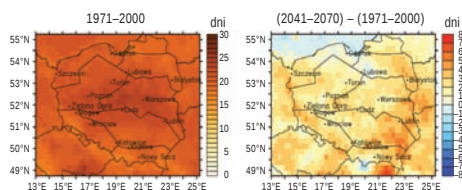
Ryc. 1. Różnice wartości percentyli (10., 50., 90.) temperatury powietrza [°C] spodziewanych w okresach 2021–2050 oraz 2071–2100 w stosunku do okresu referencyjnego 1971–2000; dla zimy (lewy panel) i lata (prawy panel)



Ryc. 2. Względne zmiany opadu [%] w poszczególnych porach roku w okresach 2021–2050 oraz 2071–2100 w stosunku do okresu referencyjnego 1971–2000



Ryc. 3. Krainy przyrodnicze

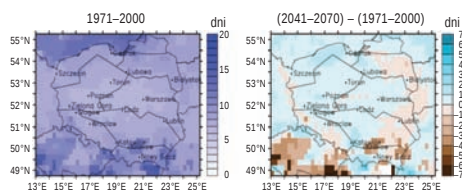


Ryc. 4. Najdłuższy okres bezopadowy w roku w okresie referencyjnym 1971–2000 oraz różnica między okresem 2041–2070 a okresem referencyjnym

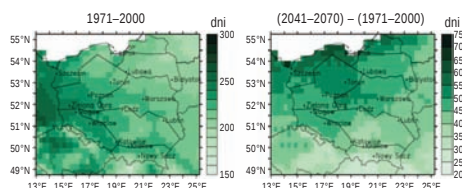
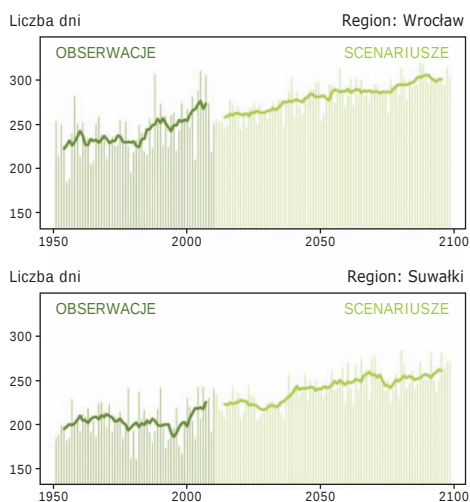
Okres wegetacyjny będzie się wydłużać, większych zmian należy się spodziewać w północnej części kraju (ryc. 6). Na rycinie 7 pokazano ponadto długość okresu wegetacyjnego w latach 1951–2100 w Polsce południowo-zachodniej, gdzie jest on najdłuższy, oraz w Polsce północno-wschodniej – gdzie jest najkrótszy. Tendencja symulowanych zmian długości okresu wegetacyjnego w XXI wieku jest wyraźnie zgodna z tendencją obserwowaną w okresie 1951–2010.

Rycina 8 prezentuje prostą statystykę opisową zmian długości okresu wegetacyjnego (wykresy pudełkowe) w krainach przyrodniczych.

Wydłużenie okresu aktywnego wzrostu roślin jest związane z jego wcześniejszym początkiem w roku. Na rycinie 9 przedstawiono zmiany terminu rozpoczęcia okresu



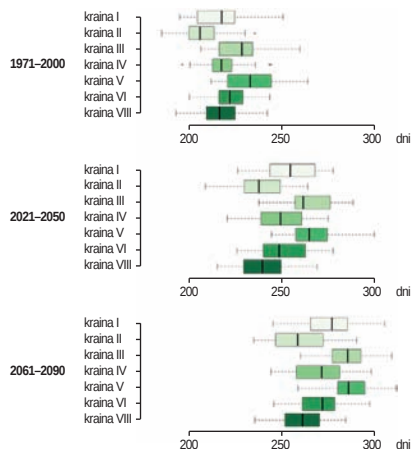
Ryc. 5. Najdłuższy okres mokry (opad > 1 mm/dobę) w roku w okresie referencyjnym 1971–2000 oraz różnica między okresem 2041–2070 a okresem referencyjnym

Ryc. 6. Długość okresu wegetacyjnego, $T > 5^{\circ}\text{C}$, w okresie referencyjnym 1971–2000 oraz różnica między okresem 2041–2070 a okresem referencyjnymRyc. 7. Długość okresu wegetacyjnego, $T > 5^{\circ}\text{C}$, w Polsce południowo-zachodniej (region Wrocławia) oraz północno-wschodniej (region Suwałk)

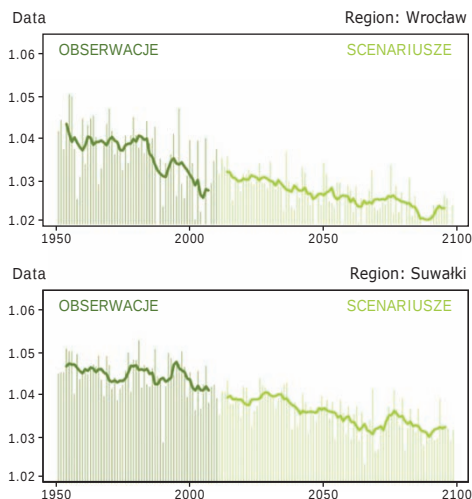
wegetacyjnego w regionie Wrocławia, gdzie okres ten zaczyna się najwcześniej, oraz w regionie Suwałk – polskiego bieguna zimna.

Symulacje wskazują na zwiększenie maksymalnych opadów dobowych w XXI wieku (ryc. 10), w przypadku krainy VIII. Wzrost ten jest tam najbardziej widoczny, jednocześnie warto zwrócić uwagę na dużą zmienność opadów maksymalnych w tym regionie w ostatnim trzydziestoleciu.

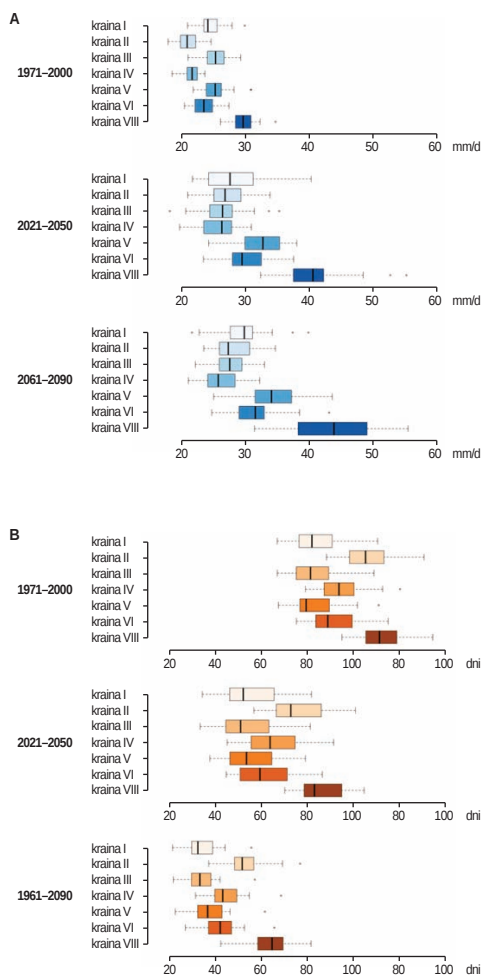
Z ocieplaniem się klimatu związane jest zmniejszenie liczby dni w roku z pokrywą śnieżną (ryc. 10.).



Ryc. 8. Długość okresu wegetacyjnego, $T > 5^{\circ}\text{C}$, wykresy pudełkowe dla krain przyrodniczo-leśnych w trzech okresach trzydziestoletnich



Ryc. 9. Początek okresu wegetacyjnego ($T > 5^{\circ}\text{C}$), w Polsce południowo-zachodniej (region Wrocławia) oraz północno-wschodniej (region Suwałk)



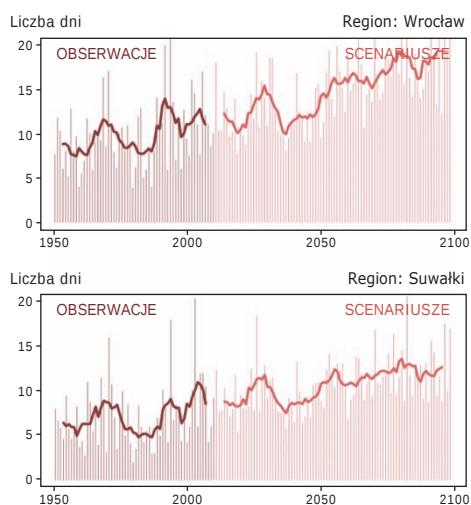
Ryc. 10. Maksymalny opad dobowy w roku (A) oraz liczba dni z pokrywą śnieżną (B), wykresy pudełkowe dla regionów leśnych w trzech okresach trzydziestoletnich

W przypadku temperatury bada się również długość okresów gorących, z temperaturą maksymalną powyżej 25°C, oraz okresów mroźnych, z temperaturą minimalną ujemną. Rycina 11 ilustruje maksymalny czas trwania okresów gorących, natomiast rycina 12 okresów mroźnych w Polsce południowo-zachodniej (region Wrocławia) oraz północno-wschodniej (region Suwałk). Symulacje wskazują na wydłużenie okresów gorących, a skrócenie okresów z ujemną temperaturą minimalną.

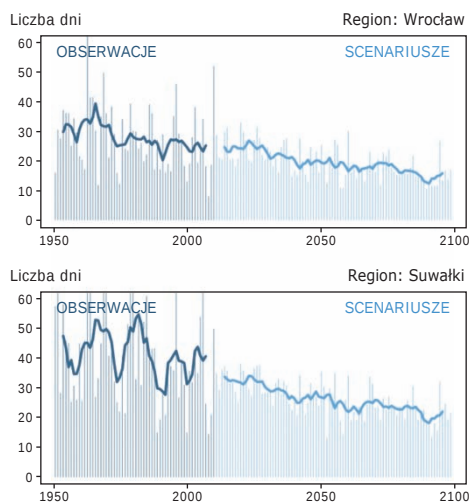
Jednym z parametrów klimatycznych ważnych dla stabilności lasów jest wiatr, który często bywa sprawcą poważnych szkód abiotycznych w drzewostanach. Niestety symulacje wiatru za pomocą modeli klimatycznych obciążone są wielką niepewnością. Rycina 13 pokazuje histogramy średniej i maksymalnej dobowej prędkości wiatru dla Krakowa w okresie 2001–2010, określonej na podstawie sześciu wybranych symulacji regionalnych. Nazwy symulacji zostały podane w legendzie, są one odniesione do obserwacji. Widoczna jest rozbieżność wykresów, szczególnie w przypadku maksymalnej prędkości wiatru.

W ramach projektu PROZA (UDA-POIG.01.03.01-00-140/08-00, Jakubiak i in.) zostały wykonane badania mające na celu powiązanie symulacji wiatru z obszarami występowania najpoważniejszych szkód wiatrowych (Zachara i in. 2013). Między innymi wyznaczono trzy obszary o różnych typach zniszczeń spowodowanych przez wiatr (ryc. 14): obszar „wielkich szkód”, usytuowany w północnej części RDLP Olsztyn, obszar „średnich szkód” – na granicy RDLP Warszawa, Łódź i Radom, oraz obszar „nie-wielkich szkód” – na terenie RDLP Piła.

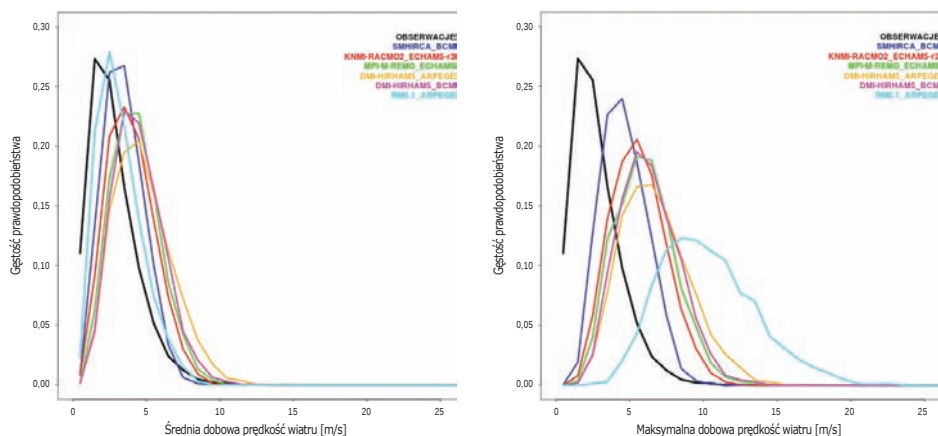
Ryciny 15, 16 i 17 przedstawiają, odpowiednio, wartości 90. percentyla średniej dobowej prędkości wiatru oraz liczby dni w roku z wiatrem o prędkości maksymal-



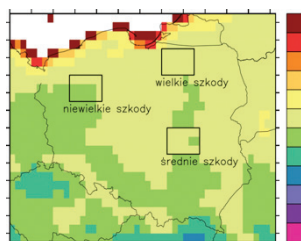
Ryc. 11. Najdłuższy okres w roku z temperaturą maksymalną większą od 25°C, w Polsce południowo-zachodniej (region Wrocławia) oraz północno-wschodniej (region Suwałk)



Ryc. 12. Najdłuższy okres w roku z temperaturą minimalną mniejszą od 0°C, w Polsce południowo-zachodniej (region Wrocławia) oraz północno-wschodniej (region Suwałk)



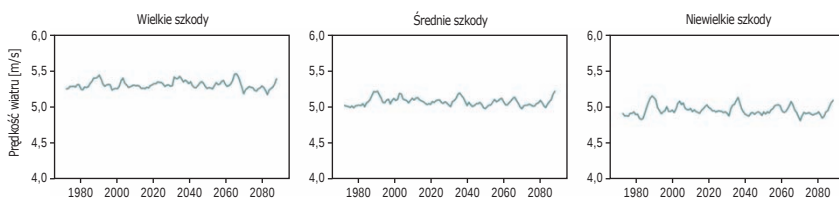
Ryc. 13. Histogramy średniej dobowej (lewy panel) i maksymalnej dobowej (prawy panel) prędkości wiatru dla Krakowa w okresie 2001–2010: obserwacje i symulacje regionalne



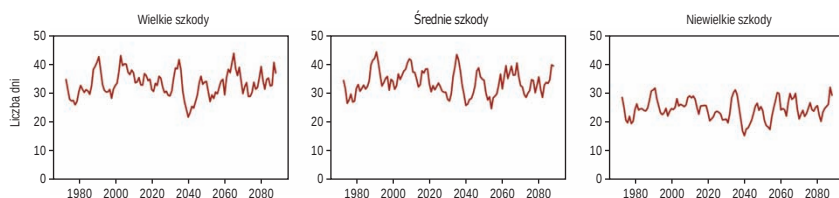
Ryc. 14. Średnia prędkość wiatru w okresie 1971–2000, percentyl 90. (na rysunku naniesiono obszary o różnym nasileniu szkód spowodowanych przez wiatr w lasach)

nej przekraczającej 15 i 20 m/s. Przebiegi zostały wygładzone filtrem średniej ruchomej opartej na 5 punktach. Można zauważyć, że modele klimatyczne symulują silniejszy wiatr w obszarach z większymi szkodami. Jest to widoczne zarówno na wykresach średniej do-

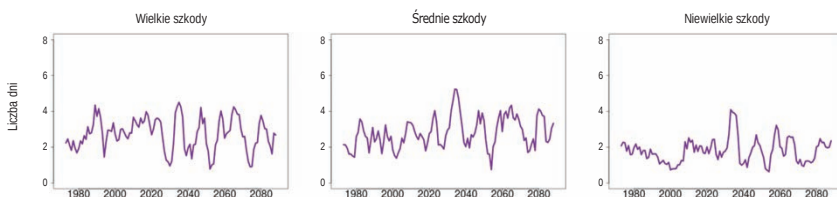
bowej prędkości wiatru, jak i na wykresach wskaźników określających liczbę dni w roku z wiatrem maksymalnym o prędkości ponad 15 i 20 m/s.



Ryc. 15. Wartości 90. percentyla średniej dobowej prędkości wiatru w latach 1971–2090 w trzech regionach o różnym nasileniu szkód leśnych



Ryc. 16. Wartości 90. percentyla liczby dni w roku z wiatrem maksymalnym o prędkości ponad 15 m/s w latach 1971–2050 w trzech regionach o różnym nasileniu szkód leśnych



Ryc. 17. Wartości 90. percentyla liczby dni w roku z wiatrem maksymalnym o prędkości ponad 20 m/s w latach 1971–2050 w trzech regionach o różnym nasileniu szkód leśnych

Podsumowanie

Przedstawiono pewne prawdopodobne opisy przyszłego świata oparte na wynikach symulacji hydrodynamicznych modeli atmosfery i oceanu. Nie są to prognozy stanu klimatu w przyszłości. Obarczone są niepewnością związaną z naszym niedoskonałym poznaniem praw fizycznych rządzących atmosferą i środowiskiem, jak również wynikającą z szeregu założeń wstępnych, np. dotyczących rozwoju ekonomicznego świata, a co za tym idzie scenariuszy emisji gazów cieplarnianych i innych zanieczyszczeń do atmosfery. Stanowią jedynie przybliżenie tego, co może nas czekać, i dlatego należy ostrożnie podchodzić do ich interpretacji.

Analiza scenariuszy zmian klimatu pokazuje wyraźną tendencję wzrostową temperatury powietrza w Polsce, zróżnicowaną sezonowo i regionalnie. Przebieg wskaźników klimatycznych odpowiada ociepleniu klimatu, np. wydłużeniu okresu aktywnego wzrostu roślin i jego wcześniejszy początek, zmniejszenie liczby dni z pokrywą śnieżną. W przypadku opadu i indeksów z nim związanych zmiany są bardziej dyskusyjne, niemniej modele wskazują na pewne zwiększenie opadów zimowych i zmniejszenie opadów letnich pod koniec stulecia. Widoczny jest też zróżnicowany przestrzennie wzrost maksymalnych opadów dobowych.

Wszystkie przetworzone zmienne i wskaźniki klimatyczne dla Polski dla okresu 1971–2100 są dostępne poprzez serwis klimatyczny na stronie <http://klimat.icm.edu.pl>. Serwis zawiera również dane obserwacyjne w regularnej siatce prostokątnej o rozdzielczości przestrzennej ok. 25 km.

Literatura

- Böhm U., M. Kücken, W. Ahrens, A. Block, D. Hauße, K. Keuler, B. Rockel, A. Will, 2006. CLM – the climate version of LM: Brief description and long-term applications. COSMO Newsletter, 6, 225–235.
- Carter T.R., 2007. General guidelines on the use of the scenario data for climate impact and adaptation assessment, IPCC-TGICA.
- Christensen O.B., M. Drews, J.H. Christensen, K. Dethloff, K. Ketelsen, I. Hebestadt, A. Rinke 2007. The HIRHAM Regional Climate Model Version 5 (beta), Technical Report 06–17, 22 pp., Danish Meteorological Institute (<http://www.dmi.dk/dmi/tr06-17.pdf>).
- Collins M., B.B.B. Booth, G. Harris, J.M. Murphy, D.M.H. Sexton, M.J. Webb. 2006. Towards quantifying uncertainty in transient climate change. Clim. Dyn., DOI 10.1007/s00382-006-0121-0 (for HadCM3.0 description).

- Furevik T., M. Bentsen, H. Drange, I.K.T. Kindem, N.G. Kvamstø, A. Sorteberg, 2003. Description and validation of the Bergen Climate Model: ARPEGE coupled with MICOM, *Clim. Dyn.*, 21, 27–51.
- Jacob D., 2001. A note to the simulation of the annual and inter-annual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 77, 1–4, 61–73.
- Jacob D., U. Andrae, G. Elgered, C. Fortelius, L.P. Graham, S.D. Jackson, U. Karstens, Chr. Koepken, R. Lindau, R. Podzun, B. Rockel, F. Rubel, H.B. Sass, R.N.D. Smith, B.J.J.M. Van den Hurk, X. Yang, 2001. A Comprehensive Model Intercomparison Study Investigating the Water Budget during the BALTEX-PIDCAP Period. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 77, 1–4, 19–43. 1.4.
- Jakubiak B., W. Cieřlikiewicz, L. Herman-Iżycki, P. Lech, W. Rudnicki, Waldemar Treder, 2011. Cele, zadania i wstępne wyniki projektu PROZA, 13 s. Konferencja nawodnieniowa w Tleniu, 2011.
- Kjellström E., Bärring, L., Gollvik, S., Hansson, U., Jones, C., Samuelsson, P., Rummukainen, M., Ullerstig, A., Willén U., Wyser, K., 2005. A 140-year simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3). *Reports Meteorology and Climatology*, 108, SMHI, SE-60176 Norrköping, Sweden, 54 pp.
- Kjellstrom E., Nikulin M.G., Hansson, U., Strandberg, G., Ullerstig, A., 2011. 21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations, *Tellus*, 63A, 24–40.
- Meijgaard E. van, L.H. van Uft, W.J. van de Berg, F.C. Bosveld, B.J.J.M. van den Hurk, G. Lenderink, A.P. Siebesma, 2008. The KNMI regional atmospheric climate model RACMO, version 2.1. KNMI Technical Report 302, 43 pp. Available from KNMI, Postbus 201, 3730 AE, De Bilt, The Netherlands, <http://www.knmi.nl/bibliotheek/knmipubTR/TR302.pdf>.
- Radu R., Déqué, M., Somot, S., 2008. Spectral nudging in a spectral regional climate model. *Tellus*. 60A(5): 885–897, doi: 10.1111/j.1600-0870.2008.00343.x.
- Rockel B., Woth K. 2007. Extremes of near-surface wind speed over Europe and their future changes as estimated from an ensemble of RCM simulations. *Climatic Change*, 81: 267–280.
- Zachara T., Liszewska M., Gil W., 2013, Wskaźniki wiatrowe szacowane na podstawie regionalnych symulacji klimatu a szkody od wiatru w polskich lasach (w druku).

Prawdopodobne zmiany zasięgów występowania gatunków drzewiastych – konsekwencje dla hodowli lasu

Prof. dr hab. Jerzy SZWAGRZYK

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Instytut Bioróżnorodności Leśnej,
Zakład Botaniki i Ochrony Przyrody

Przegląd problematyki

Tło międzynarodowe

Wpływ zmian klimatu – już stwierdzonych i przewidywanych w przyszłości – na lasy jest od co najmniej 20 lat częstym tematem publikacji naukowych (Solomon i Shugart 1993, Kienast i in. 1996, Thuiller i in. 2006), a waga tej problematyki w ostatnich latach wyraźnie wzrasta (Milad i in. 2011, Hannewinkel i in. 2013). Zmianom klimatycznym przypisuje się, przynajmniej częściowo, wzrost tempa przyrostu drzewostanów (Spiecker 1999, Pretzsch 2009). Zjawisko to przyczynia się do wzrostu produkcji drewna i, w pewnej mierze, do zwiększania pochłaniania dwutlenku węgla przez lasy (McMahon i in. 2010). Wzrost tempa przyrostu drzew może się także wiązać ze skróceniem czasu ich życia (Allen i in. 2010). Drzewa mogą ulegać działaniu patogenów czy owadów w młodszy wiek niż dotychczas.

Prognozy przesunięcia granic zasięgowych gatunków drzew związane z globalnymi zmianami klimatycznymi różnią się, nawet jeżeli odwołują się do tych samych scenariuszy zmian klimatu (McKenney i in. 2009, Iverson i in. 2011). Widać to dobrze na przykładzie prognoz dotyczących buka zwyczajnego; praktycznie wszystkie prognozy zgadzają się w tym, że potencjalny zasięg buka obejmie południową i środkową Skandynawię, kraje bałtyckie oraz większą część Białorusi (Thuiller i in. 2006, Kramer i in. 2010); większe rozbieżności dotyczą zmiany południowych i zachodnich granic tego zasięgu, czyli problemu, skąd buk miałby się w przyszłości ewentualnie wycofać (Kramer i in. 2009, Hannewinkel i in. 2013).

W odniesieniu do wielu gatunków drzew czy zbiorowisk leśnych stwierdzono już istotne przesunięcie granic zasięgowych, szczególnie w górach (Lenoir i in. 2008, Beckage i in. 2008, Randin i in. 2013). Dokładniejsza analiza wykazuje jednak, że w wielu

przypadkach przesunięcie zasięgu w górę ma raczej charakter regeneracji po dawnych sztucznych zabiegach powodujących przesunięcie zasięgu w kierunku niżu (Chauchard i in. 2010).

Niektóre gatunki drzew, pozostając w granicach swoich naturalnych zasięgów, wykazują ilościową ekspansję (Abrams 1998, Iverson i in. 2011). Z drugiej strony, inne gatunki w warunkach zmieniającego klimatu radzą sobie gorzej niż dawniej. Zmiany klimatyczne już doprowadziły do zwiększonej śmiertelności drzew w terenach zagrożonych suszą (Lebourgeois i in. 2003, Moore, Allard 2008, Williams i in. 2012), a udział ilościowy gatunków bardziej wrażliwych na ekstremalne warunki pogodowe wyraźnie się zmniejsza (Allen i in. 2010, Bertini i in. 2011).

Tematem najczęściej poruszonym w związku z wpływem zmian klimatycznych na lasy jest spodziewana większa częstotliwość zjawisk pogodowych o charakterze ekstremalnym i wynikająca z tego większa rola naturalnych zaburzeń w dynamice zbiorowisk leśnych. Ekologia naturalnych zaburzeń jest ostatnio bardzo szybko rozwijającą się dziedziną wiedzy (Pickett, White 1985, Johnson, Miyanishi 2007). Rola tego typu zjawisk w kształtowaniu składu i struktury lasów okazuje się być znacznie większa niż dawniej sądzono (Dale i in. 2001, Franke, Köstner 2007, Seidl i in. 2011). Efekty większej częstości występowania naturalnych zaburzeń mogą okazać się w dłuższej perspektywie czasu najbardziej znaczącą konsekwencją globalnych zmian klimatycznych dla leśnictwa w naszej części Europy.

W obliczu wzrostu znaczenia zjawisk o charakterze katastrofalnym tym większego znaczenia nabiera problem stabilności zbiorowisk leśnych (Solomon i in. 2009). Jednym z najważniejszych działań zmierzających do zwiększenia stabilności drzewostanów jest rozpraszanie ryzyka hodowlanego. Znaczenie różnorodności gatunkowej dla utrzymania produkcji pierwotnej ekosystemu na w miarę stabilnym poziomie jest od dawna podkreślane w ekologii (Yachi, Loreau 1999, Loreau i in. 2003). Także leśnicy od pewnego czasu uznają zwiększenie różnorodności gatunkowej drzewostanów za istotny składnik rozproszenia ryzyka hodowlanego. Nie będzie to jednak łatwe, bo w obliczu zmian klimatycznych lokalna różnorodność gatunkowa drzew może ulec zmniejszeniu (McKenny i in. 2009).

Stan bieżący; ocena

Z perspektywy Polski tematyka wpływu zmian klimatycznych na lasy przedstawia się znacznie mniej wyraziście. Pochodzących z Polski publikacji naukowych na ten temat jest niewiele, mimo że polscy naukowcy byli wśród pionierów tego typu badań przed 20 laty (Brzeziecki i in. 1993). Znacznie częściej tematyka ta jest przedmiotem opracowań przeglądowych czy ekspertyz.

Dotychczasowe skutki zmian klimatycznych w lasach Polski dają się oszacować jedynie w sposób pośredni i przybliżony. W pewnym stopniu zmiany klimatu mogły przyczynić się do już stwierdzonego u nas, podobnie jak w wielu krajach Europy, zwiększonego tempa przyrostu drzew oraz do wzrostu zasobności drzewostanów (Socha, Durło 2012). Ponieważ jednak na zwiększenie tempa przyrostu drzew wpływają też niewątpli-

wie inne czynniki (Brzeziecki 1999), a jednym z nich jest coraz lepsze gospodarowanie w lasach, ocena roli czynnika klimatycznego w tym procesie nie jest łatwa.

Prawdopodobnym efektem negatywnym dotychczasowych zmian klimatycznych może być z kolei wzmożone zamieranie drzewostanów świerkowych (Durło 2011) i spadek udziału tego gatunku w lasach (Raport o stanie lasów 2011). Tutaj również do zmian klimatycznych dołączają niewątpliwie inne czynniki, sprawiając, że rola klimatu w zmniejszeniu udziału świerka w naszych lasach nie jest jednoznaczna.

Jedynie w przypadku buka, jaworu i dębu bezszypułkowego, spośród gatunków drzew leśnych posiadających w naszym kraju naturalne granice zasięgowe, głównym czynnikiem ograniczającym zasięg mogą być warunki klimatyczne. W pozostałych przypadkach (granice zasięgu jodły czy świerka) mamy raczej do czynienia z nałożeniem się czynnika historycznego, oddziaływań między gatunkami oraz wpływu człowieka (Ralska-Jasiewiczowa 2004); w takich przypadkach przyszłe zmiany zasięgu nie muszą być powiązane ze zmianami klimatu. Jeżeli będą z nimi powiązane, to raczej w sposób negatywny; w przyszłości znaczna część Polski może znaleźć się poza granicami naturalnego zasięgu świerka, jeżeli klimat znacząco się ociepli, a wzrost ilości opadów nie zrównoważy skutków wzmożonej ewapotranspiracji.

Naturalne granice zasięgu buka i jaworu dziś już nie istnieją, ponieważ gatunki te wprowadzono również do lasów na Mazurach, Podlasiu i wschodnim Mazowszu (SILP 2011). Co więcej – gatunki te w obszarach, do których je wprowadzono, dobrze rosną, przeżywają, obradają i zaczynają się odnawiać w sposób naturalny (Tarasiuk 1999). To, co pokazują mapy udziału gatunków w lasach, to jedynie bardzo wyraźne gradienty częstości występowania – buk w północno-wschodniej Polsce stanowi w składzie gatunkowym lasów znikomą domieszkę, podobnie jak jawor. Inaczej przedstawia się jedynie przypadek świerka, bowiem na Pomorzu w składzie gatunkowym lasów gatunek ten ma znacznie większy udział niż na wielu terenach leżących w granicach jego naturalnego zasięgu.

W perspektywie wpływu przyszłych zmian klimatycznych na lasy najważniejsze są nie linie na mapie, którymi wykreślano granice zasięgów, ale gradienty częstości występowania gatunków drzew w lasach. Różnice w udziale ilościowym są w sumie znacznie bardziej interesujące i ważniejsze niż przebieg linii granicznych. Można też przypuszczać, że będą się w przyszłości silnie zmieniać; w niektórych obszarach Polski będzie następował spadek udziału danego gatunku w lasach, a w innych wzrost. Już obecnie obserwujemy takie tendencje w składzie gatunkowym odnowień naturalnych.

Kwestia naturalnego odnawiania drzew jest tutaj kluczowa; gatunek, który się naturalnie odnawia, przechodzi przez gęste sita ustawione przez samą przyrodę. Jeżeli warunki nie będą mu sprzyjały, nie odnowi się naturalnie. Prowadząc odnowienie sztuczne, pomagamy drzewom uniknąć początkowego sita naturalnej selekcji; oznacza to między innymi, że jesteśmy w stanie wprowadzić w danym miejscu gatunek, który w perspektywie następnych dziesięcioleci sobie w tym miejscu nie poradzi. Krótko mówiąc, jesteśmy w stanie forsować rozwiązania błędne z perspektywy przemian zachodzących w przyrodzie, które przyroda sama wyeliminowałaby na wstępie, a które my, dzięki naszej technice i wytrwałości, jesteśmy w stanie przyrodzie narzucić. Tyle że dalekosiężne skutki tych rozwiązań mogą być dla nas bardzo niekorzystne.

Trzeba wziąć pod uwagę, że system na którym opiera się sztuczne odnawianie lasu – poczynając od granic rejonów nasiennych, poprzez zasady selekcji drzew aż po doświadczenia proveniencyjne – jest systemem bardzo sztywnym, dopasowanym do statycznej wizji przyrody. System ten ukierunkowany jest na zapewnienie leśnictwu sadzonek, które rosną szybko i charakteryzują się dużą przeżywalnością za młodu. To, że tempo wzrostu w młodym wieku nie przesądza o osiągnięciach drzew danej proveniencji w wieku rębności pokazał już w swoim podręczniku H. Pretzsch (2009). Znacznie bardziej złożony charakter ma drugi aspekt selekcjonowania drzew, czyli przeżywalność. Jeżeli za dobrą przeżywalność w młodym wieku drzewa płacą obniżoną odpornością na czynniki stresowe w wieku dojrzałym, mogą z tego wynikać poważne problemy w przyszłości. Los wielu drzew doborowych i drzewostanów nasiennych świerka istebniańskiego w Beskidzie Śląskim w latach 2007–2010 powinien skłaniać do refleksji.

Brak uwzględnienia roli zmieniającego się klimatu dotyczy nie tylko gospodarki nasiennej i szkółkarstwa. Zasady hodowli lasu były tworzone w oparciu o priorytet funkcji produkcji surowca drzewnego wysokiej jakości. Zagadnienia stabilności drzewostanów były w nich uwzględniane, ale nie odgrywały głównej roli. Ponieważ jednym ze spodziewanych efektów zmian klimatycznych ma być wzrost częstości występowania zjawisk o charakterze ekstremalnym (Dobrowolska 2008, Schelhaas 2008, Anderson-Texteira i in. 2013), to jednym z najważniejszych zadań hodowli lasu w przyszłości powinno być przyjęcie rozwiązań zwiększających stabilność drzewostanów i zbiorowisk leśnych (Rykowski 2010, Miład i in. 2011). Tymczasem tkwiące u podstaw współczesnych reguł hodowli lasu dążenie do produkcji surowca dobrej jakości wymaga między innymi utrzymywania drzewostanów w dużym zwarcie, co w dłuższej perspektywie, w obliczu spodziewanych zmian klimatycznych może przyczynić się do osłabienia ich odporności.

Drugim słabym punktem współczesnej hodowli lasu jest brak wykorzystania potencjału ponad połowy rodzimych gatunków drzew. Gatunki te nie są zaliczane do kategorii gatunków „lasotwórczych”, zatem odgrywają w naszym leśnictwie rolę marginalną (Czerepko 2008). Tutaj także daje znać o sobie priorytet dążeń do wzrostu produkcji i wartości technicznej drewna. Status gatunków lasotwórczych mają u nas te drzewa, które nie tylko wykazują duży udział w składzie drzewostanów, ale też produkują cenny surowiec drzewny, a reguły ich hodowli zostały wypracowane w toku ponad dwustuletniej praktyki. Gatunki takie jak trześnia *Cerasus avium* – mimo że mogą dostarczyć bardzo cennego surowca i są stosunkowo szeroko rozpowszechnione w lasach, chociaż mało liczne (Zajączkowski, Zajączkowski 2008) – znajdowały się przez długi czas poza zakresem zainteresowań hodowli lasu.

Interpretacja map przyszłych zmian zasięgów drzew wymaga uwzględnienia szeregu założeń, które poczyniono w toku ich konstruowania. W większości przypadków zakładano, że optymalne dla danego gatunku warunki występują w centrum jego geograficznego zasięgu, natomiast na granicach zasięgowych warunki środowiskowe zbliżają się do granic tolerancji danego gatunku (Solomon i in. 1993). Założenie to oparte jest na bardzo słabych przesłankach; co więcej, wyniki niektórych przeprowadzonych niedawno badań zdecydowanie je podważają (Koeckemann 2008). Wyciąganie na podstawie map przewidywanych zmian zasięgów zbyt daleko idących wniosków dla praktyki leśnej byłoby zatem działaniem ryzykownym.

W perspektywie najbliższego stulecia gatunkami rosnącymi w naszych lasach będą zapewne w ogromnej większości te same gatunki, które rosną w nich obecnie. To, czy do naszych lasów wkroczy na przykład dąb burgundzki lub dąb omszony, jest raczej dendrologiczną ciekawostką niż poważnym problemem z zakresu hodowli lasu. Natomiast relacje między rosnącymi u nas gatunkami mogą podlegać radykalnym zmianom. Zmiany te nie muszą mieć charakteru ciągłego ani kierunkowego; gatunki mogą lepiej rosnąć i przeżywać w jednym okresie, a gorzej w innym. Mogą nastąpić przesunięcia dotyczące preferencji niektórych siedlisk; gatunki, związane obecnie głównie z siedliskami świeżymi mogą – w przypadku zwiększenia częstotliwości występowania susz – znaleźć swoje miejsce na siedliskach o większym uwilgotnieniu. Na siedliskach świeżych, na podłożu piaszczystym, gdzie pojemność wodna gleb jest niewielka, zestaw występujących tam gatunków może nawet ulec zmniejszeniu.

Ważnym aspektem spodziewanych zmian klimatycznych jest wzrost zakresu wahań czynników klimatycznych, zwiększenie liczby lat wybitnie suchych i wybitnie mokrych oraz przeplatanie serii zim łagodnych zimami surowymi. W takich warunkach lepiej poradzą sobie zapewne gatunki o szerszym zakresie tolerancji i większej odporności na stres (Brzeziecki 2000). To, że sosna pospolita jest najważniejszym drzewem naszych lasów, może w przyszłości okazać się korzystne. Sosna jest bowiem gatunkiem o bardzo szerokim zakresie tolerancji, który zapewne będzie sobie radził z suszami, upałami czy nawrotami mrozów lepiej niż większość rodzimych gatunków środkowej Europy. Natomiast świerk pospolity staje się w wielu rejonach bardziej podatny na zagrożenia, gorzej przeżywa, a przez to jest słabszym konkurentem dla innych gatunków drzew. W rezultacie tych zmian jego udział ilościowy spadł znacząco w wielu obszarach, gdzie świerk był do niedawna ważnym składnikiem drzewostanów (Brzeziecki i in. 2010).

Obszary wymagające dodatkowego rozpoznania naukowego i analiz

W przypadku przewidywanego wpływu globalnych zmian klimatycznych na lasy stojimy przed wyzwaniem, które przerasta znacznie te problemy, z którymi gospodarka leśna musiała się mierzyć w przeszłości. Najtrudniejszym aspektem tej sytuacji jest to, że zakumulowana przez dziesięciolecia wiedza, która w przeszłości była tak przydatna do uporania się z innymi wyzwaniami, tym razem może się okazać mało użyteczna, a w niektórych przypadkach – jeżeli będziemy ją traktować w sposób zbyt ortodoksyjny – nawet szkodliwa. Globalne zmiany klimatyczne dramatycznie uwytłumiają to, o czym stopniowo przekonywaliśmy się przez dziesięciolecia rozwoju nauki, że przyroda jest dynamiczna, że las podlega ciągłym zmianom. Wiele z tego, czego się w przeszłości dowiedzieliśmy i nauczyliśmy, wymaga nie tyle odrzucenia, ile przemyślenia na nowo i wplecenia w nowy kontekst teoretyczny. Jest to wyzwanie ogromne, nie da mu się sprostać od razu.

W Ameryce badacze zajmujący się naukami leśnymi od paru lat pracują już nad założeniami nowego programu, który ma poszukiwać odpowiedzi na wyzwania stawiane przez globalne zmiany klimatu (Solomon i in. 2009). Pomijając skalę wyzwań, problemy w Polsce i w innych krajach środkowej Europy mają podobny charakter. Także u nas

różne specjalności w obrębie nauk leśnych, nie tylko hodowla lasu, będą musiały się zmierzyć z tymi wyzwaniami na własnym podwórku.

Zanim przesuną się realne zasięgi gatunków – co zresztą w perspektywie kilkudziesięciu lat, dla których staramy się tworzyć prognozy, jest mocno wątpliwe – zajdą inne zjawiska, które mogą się okazać zdecydowanie bardziej istotne. Funkcjonowanie i status gatunków drzew w granicach ich geograficznych zasięgów mogą się bowiem zmienić w sposób radykalny. Pula gatunków będzie ta sama, ale frekwencja występowania poszczególnych gatunków, ich tempo wzrostu, przeżywalność (Williams i in. 2012), produkcja owoców i nasion czy odporność na działanie czynników zewnętrznych mogą się znacznie zmienić. To z kolei doprowadzi do sytuacji, w której relacje konkurencyjne między gatunkami drzew leśnych ulegną znacznym modyfikacjom. Niektóre gatunki rodzime wykażą zapewne ilościową ekspansję, tak jak stwierdzono to w przypadku klonu czerwonego w Ameryce Północnej (Abrams 1998). Inne gatunki zmniejszą swój udział ilościowy bądź też będą miały problemy z naturalnym odnawianiem (Bertini i in. 2011). Wszystko to przełoży się na dynamikę zbiorowisk leśnych oraz narzuci nowe ramy dla kształtowania składu gatunkowego i struktury drzewostanów.

Koncepcje zmiany stanu rzeczy

W warunkach globalnych zmian klimatycznych priorytetem w hodowli lasu powinny stać się dwie grupy działań:

- zwiększanie odporności ekosystemów leśnych na zaburzenia,
- rozpraszanie ryzyka hodowlanego poprzez racjonalne wykorzystanie całej puli obecnych u nas gatunków drzew.

Zwiększanie stabilności lasów powinno być priorytetem gospodarki leśnej w przyszłości. Działania mające na celu zwiększanie przyrostu czy poprawę technicznej jakości surowca drzewnego pozostaną ważne, ale drugorzędne. Nie oznacza to bynajmniej zmniejszenia pozyskania drewna; zwiększona częstość występowania naturalnych zaburzeń przełoży się zapewne na dalszy wzrost pozyskania drewna w cięciach przygodnych, a wiek rębności niektórych gatunków w niektórych siedliskach trzeba będzie być może skrócić, co też przełoży się na wzrost pozyskania.

Postulat zwiększania stabilności odnosi się przede wszystkim do drzewostanów młodych oraz do tych, które będą zakładane w przyszłości. Dopuszczenie do stosowania luźniejszej więzby sadzenia lub też do intensywniejszego przerzedzania młodych drzewostanów w celu uniknięcia nadmiernego skracania koron to niektóre z działań, których należałoby w przyszłości oczekiwać. Warto nadmienić, że przerzedzanie drzewostanów jest jednym z często stosowanych sposobów zwiększenia odporności drzew na suszę (Solomon i in. 2009). Być może w niedalekiej przyszłości zmiany klimatu zmuszą nas do sięgnięcia po tego typu metody.

Kolejnym ważnym działaniem powinno być zwiększenie udziału naturalnych odnowień w hodowli lasu. Jak już wspomniano, naturalne odnowienia przechodzą przez gęste sito selekcji narzucanej przez czynniki środowiskowe. To, że gatunek w danym miejscu i w danym czasie odnawia się naturalnie, albo też się nie odnawia, stanowi waż-

na wskazówkę dla hodowcy lasu. Odnowienie sztuczne jest pójściem na skróty; za początkowy sukces w postaci udanych upraw gatunku, który w zmieniających się warunkach nie powinien w danym miejscu rosnąć, możemy w przyszłości zapłacić rozpadem drzewostanów przed osiągnięciem przez nie wieku rębności. Argumenty, które wysuwa się zwykle na korzyść odnowienia sztucznego, a na niekorzyść odnowień naturalnych, że potomstwo drzew z wyselekcjonowanych drzewostanów da w przyszłości większe przyrosty i lepszą jakość surowca, są przejawem myślenia ukierunkowanego głównie na produkcję, przy ignorowaniu zagadnień stabilności. W warunkach zmian globalnych waga tych argumentów zapewne drastycznie się zmniejszy.

Rozpraszanie ryzyka hodowlanego na większą liczbę gatunków powinno wyjść poza schemat podziału drzew na gatunki „lasotwórcze” i inne. Identyfikacja typu roślinności i udziału gatunków drzew w drzewostanach, dokonywana na podstawie badań palinologicznych (Ralska-Jasiewiczowa i in. 2004) wskazuje bowiem, że układy gatunkowe, które uważamy za trwałe i jedynie możliwe w danych warunkach, powstały w gruncie rzeczy stosunkowo niedawno i były poprzedzone innymi, których obecnie nie obserwujemy albo wręcz uważamy je za nieprawdopodobne. W zmieniających się warunkach klimatu niektóre z gatunków, które obecnie pełnią jedynie rolę mało istotnych domieszek w drzewostanach, mogą z czasem znacznie zyskać na liczebności i stać się ważnym składnikiem drzewostanów. Wiele wskazuje na to, że może się tak stać w przypadku jaworu, którego udział ilościowy w lasach wynosi obecnie niewiele ponad 1% (Czerepko 2008), ale którego dynamika odnowienia na żyznych siedliskach stwarza perspektywę bardzo istotnego wzrostu jego liczebności (Niemtur i in. 2009). W dodatku jawor, w przeszłości gatunek niemal zapomniany przez przemysł drzewny, bije ostatnio rekordy cenowe na aukcjach częściej niż jakikolwiek inny gatunek drzewa. Patrząc na leśnictwo z perspektywy ekonomii gospodarowania warto zatem potraktować ten gatunek bardziej poważnie. Jawor jest jednak tylko przykładem; inne gatunki drzew mogą także w zmienionych warunkach klimatycznych odgrywać w lasach większą rolę niż obecnie.

Z punktu widzenia realizacji wspomnianych powyżej celów ważniejsze od zmiany zasad czy instrukcji wydaje się zmiana ogólnej atmosfery towarzyszącej ich stosowaniu. Ponieważ nie mamy wystarczającej wiedzy ani odpowiednich narzędzi do formułowania szczegółowych prognoz na temat tempa i zakresu przyszłych zmian w lasach, przedstawianie szczegółowych instrukcji postępowania byłoby na tym etapie przedwczesne. Znacznie lepszym rozwiązaniem byłoby zaakceptowanie tego, co Amerykanie nazywają „adaptive management”, a co polega na uznaniu, że wszelkie nasze działania w lesie mają w gruncie rzeczy charakter eksperymentu i że naszym obowiązkiem jest zarówno uczyć się na doświadczeniach z prowadzonych działań (w tym także na błędach), jak i na bieżąco modyfikować działania w oparciu o to, czego się już nauczyliśmy (Stankey i in. 2003).

Działania zmierzające do adaptacji gospodarki leśnej do zmieniającego się klimatu mogą być podejmowane na wszystkich szczeblach zarządzania. Szczególną rolę do odegrania mają jednak nadleśnictwa. W nich właśnie zgromadzony jest największy potencjał w postaci wieloletniego doświadczenia i wiedzy o specyfice warunków lokalnych. Zasady i instrukcje powinny być modyfikowane w takim kierunku, aby poszerzyć ramy

dla wykorzystania tego potencjału. Przy obecnym poziomie wykształcenia personelu Lasów Państwowych ryzyko związane z podejmowaniem przez ludzi tam zatrudnionych błędnych decyzji jest mniejsze, niż potencjalne korzyści wynikające z pełniejszego wykorzystania ich dobrego przygotowania zawodowego połączonego ze znajomością warunków lokalnych.

Wspomniane powyżej działania pociągają za sobą pewne koszty, rozumiane przede wszystkim jako rezygnacja ze spodziewanych zysków, ale niosą również pewne korzyści, przede wszystkim oszczędności wynikające z zaniechania pewnych działań lub też z wykonywania ich w sposób mniej intensywny, mniejszym nakładem środków i czasu pracy.

Zwiększając w lasach udział gatunków „domieszkowych”, nie uznawanych za gatunki lasotwórcze, oraz modyfikując zasady hodowli lasu w kierunku zwiększenia stabilności ekosystemów kosztem ograniczenia wielkości produkcji drewna lub obniżenia jakości surowca, trzeba będzie zrezygnować z części spodziewanych zysków. Te działania trzeba zapisać po stronie kosztów zmian.

Zwiększając stabilność ekosystemów leśnych, zmniejszamy zarazem nakłady potrzebne dla ratowania drzewostanów przed skutkami wystąpienia zaburzeń oraz w celu odtwarzania drzewostanów po zaburzeniach (Rykowski 2012). Wraz z wykorzystaniem na szerszą skalę naturalnych odnowień mogą to być bardzo znaczące oszczędności.

Stwierdzenia końcowe

1. W obliczu przewidywanych zmian klimatu trzeba się liczyć ze zmianą warunków funkcjonowania zbiorowisk leśnych i ze zmianami ról tworzących te zbiorowiska gatunków drzew. Nie ma jednak poważnych przesłanek, aby sądzić, że przesunięcie granic zasięgowych będzie miało istotne znaczenie dla naszych lasów w ciągu najbliższego stulecia.
2. Nawet jeżeli pula tworzących nasze lasy gatunków drzew się nie zmieni, zmieni się ich udział w drzewostanach oraz zakres siedlisk, na którym występują. Najbardziej zmieniają się zapewne relacje między gatunkami. Należy to uwzględnić w planowaniu hodowlanym, które powinno nabrać charakteru bardziej elastycznego i w większej mierze wykorzystywać potencjał wszystkich rosnących w naszych lasach gatunków drzew.

Literatura

- Abrams M.D. 1998. The Red Maple Paradox. *BioScience* 48: 355–364.
- Allen C.D., Macalady A.K., Henchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D.D., Hogg E.H., Gonzalez P., Fensham R., Zhen Zhang, Castro J., Demidova N., Lim J.-H., Allard G., Running S.W., Semerci A., Cobb N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259: 660–684.
- Andersen-Texteira K.J., Miller A.D., Mohan J.E., Hudiburg T.W., Duval B.D., DeLucia D.H. 2013. Altered dynamics of forest recovery under a changing climate. *Global Change Biology* DOI: 10.1111/gcb.12194.

- Bertini G., Amoriello T., Fabbio G., Piovosi M. 2011. Forest growth and climate change: Evidence from the ICP-Forests intensive monitoring in Italy. *iForest* 4: 262–267.
- Brzeziecki B. 1999. Wzrost żyzności siedlisk leśnych: zjawisko pozorne czy rzeczywiste? *Sylvan* 138, 11: 99–107.
- Brzeziecki B. 2000. Strategie życiowe gatunków drzew leśnych. *Sylvan* 144, 8: 5–14.
- Brzeziecki B., Zajączkowski J., Drozdowski S., Gawron L., Buraczyk W., Bielak K., Szeligowski H., Dzwonkowski M., Ostrowski J., Widawska Z. 2010. Operat dynamiki ekosystemów leśnych Białowieskiego Parku Narodowego. Maszynopis, 200 str., Warszawa.
- Brzeziecki B., Kienast F., Wildi O. 1995. Modeling potential impact of climate change on the spatial distribution of zonal forest communities in Switzerland. *Journal of Vegetation Science* 6: 257–268.
- Chauchard S., Beilhe F., Denis N., Carcaillet C. 2010. An increase in the upper tree-limit of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the Alps since the mid-20th century: A land-use change phenomenon. *Forest Ecology and Management* 259: 1406–1415.
- Czerepko J. (red.) 2008. Stan różnorodności biologicznej lasów w Polsce na podstawie powierzchni obserwacyjnych monitoringu. Sękocin Stary. Instytut Badawczy Leśnictwa.
- Dale V.H., Joyce L.A., McNulty S., Nelson R.P., Ayres M.P., Flannigan M.D., Hanson P.J., Irland L.C., Lugo A.E., Peterson C.J., Simberloff D., Swanson F.J., Stocks B.J., Wotton B.M. 2001. Climate change and forest disturbances. *BioScience* 51, 9: 723–734.
- Dobrowolska D. 2008. Rola zaburzeń w regeneracji lasu. Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa.
- Durlo G. 2011. Możliwości adaptacji drzewostanów świerkowych do zmieniających się warunków klimatycznych w Beskidzie Śląskim. *Prace i Studia Geograficzne* 47: 227–236.
- Franke J., Köstner B. 2007. Effects of recent climate trends on the distribution of potential natural vegetation in Central Germany. *International Journal of Biometeorology* 52: 139–147.
- Hannewinkel M., Cullmann D.A., Schelhaas M.-J., Nabuurs G.-J., Zimmermann N.E. 2013. Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change* 3: 203–207.
- Iverson L.R., Prasad A.M., Matthews S.N., Peters M.P. 2011. Lessons Learned While Integrating Habitat, Dispersal, Disturbance and Life-History Traits into Species Habitat Models under Climate Change. *Ecosystems* 14: 1005–1020. DOI: 10.1007/s10021-011-9456-4.
- Johnson E.A., Miyanishi K. (red.) 2007. *Plant Disturbance Ecology*. San Diego, Academic Press.
- Kienast F., Brzeziecki B., Wildi O. 1996. Long-term adaptation potential of Central European mountain forests to climate change; A GIS-assisted sensitivity assessment. *Forest Ecology and Management* 80: 133–153.
- Koeckemann B. 2008. Abundance, niche breadth and stress in the centre and at the border of the distribution range. A macroecological study on abundant and rare tree species. Göttingen Centre for Biodiversity, Biodiversity and Ecology Series B., Vol. 1.
- Kramer K., Degen B., Buschborn J., Hickler T., Thuiller W., Sykes M.T., deWinter W. 2010. Modeling exploration of the future of European beech (*Fagus sylvatica* L.) under climate change – range, abundance, genetic diversity and adaptive response. *Forest Ecology and Management* 259: 2213–2222.
- Lebourgeois F., Rathgeber C.B.K., Ulrich E. 2010. Sensitivity of French temperate coniferous forests to climate variability and extreme events (*Abies alba*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*). *Journal of Vegetation Science* 21: 364: 364–376.
- Lenoir J., Gegout J.C., Marquet P.A., de Ruffray P., Brisse H. 2008. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science* 320: 1768–1771.
- Loreau M., Mouquet N., Gonzalez A. 2003 – Biodiversity as spatial insurance in heterogeneous landscapes – Proceedings of the National Academy of Science USA, 100: 12765–12770.
- McKenney D.W., Pedlar J.H., Lawrence K., Campbell K., Hutchinson M.F. 2009. Potential Impacts of Climate Change on the Distribution of North American Trees. *BioScience* 57, 11: 939–948.
- McMahon S.M., Parker G.G., Miller D.R. 2010. Evidence for a recent increase in forest growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, DOI: 10.1073.pnas.0912376107.
- Milad M., Schaich H., Bürgi M., Konold W. 2011. Climate change and nature conservation in Central European forests; A review of consequences, concepts and challenges. *Forest Ecology and Management* 261: 829–843.

- Moore B., Allard G. 2008. Climate change impacts on forest health. Working paper FBS/34E, FAO, Rome.
- Niemtur S., Głaz J., Pierzchała M. 2009. Sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.) distribution in forest inspectorates of Carpathian natural forest region. *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich* 56: 59–70.
- Pickett S.T.A., White P.S. (red.) 1985. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. New York, Academic Press.
- Pretzsch H. 2009. Forest Dynamics, Growth and Yield. Berlin–Heidelberg, Springer.
- Ralska-Jasiewiczowa M., Latałowa M., Wasylkowa K., Tobolski K., Madeyska E., Wright H.E., Tuner C. (red.) 2004. Late Glacial and Holocene History of Vegetation in Poland Based on Isopollen Maps. Kraków, Instytut Botaniki PAN im. Wł. Szafera.
- Randin C.F., Paulsen J., Vitasse Y., Kollas C., Wohlgemuth T., Zimmermann N.E., Körner C. 2013. Do the elevational limits of deciduous tree species match their thermal latitudinal limits? *Global Ecology and Biogeography* 22, 8: 913–923. DOI: 10.1111/geb.12040
- Raport o Stanie Lasów w Polsce 2011. 2012. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych.
- Rykowski K. 2010. O przebudowie drzewostanów z różnorodnością biologiczną w tle. *Sylwan* 154, 4: 219–233.
- Rykowski K. 2012. Huragan w lasach: klęska czy zakłócenie rozwoju? *Sękocin Leśny*, Instytut Badawczy Leśnictwa.
- Schelhaas M. –J. 2008. Impact of natural disturbances on the development of European forest resources. Alterra, Wageningen, Alterra Scientific Contribution 23.
- Seidl R., Schnelhaas M.-J., Lexer M. 2011. Unravelling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Global Change Biology* 17, 9: 2842–2852.
- Socha J., Durlo G. 2012. How will climate change impact biomass increment by Norway spruce stands in Western Beskids? *Folia Forestalia Polonica*, 54 (2), 94–108.
- Solomon A.M., Birdsey R.A., Joyce L.A., Hayes J. (red.) 2009. Forest Service Global Change Research Strategy 2009–2019. USDA Forest Service, Research and Development, FS-917a.
- Solomon A.M., Shugart H.H. (red.) 1993. Vegetation Dynamics and Global Change. New York, Chapman and Hall.
- Spiecker H. 1999. Overview of recent growth trends in European forests. *Water, Air and Soil Pollution* 116: 33–46.
- Stankey G.H., Bormann B.T., Ryan C., Shindler B., Sturtevant V., Clark R.N., Philpot C. 2003. Adaptive Management and the Northwest Forest Plan. *Journal of Forestry*, 101(1): 41–46.
- Tarasiuk, S. 1999. Buk zwyczajny (*Fagus sylvatica* L.) na obrzeżach zasięgu w Polsce : warunki wzrostu i problemy hodowlane. Warszawa, Fundacja „Rozwój SGGW”.
- Thuiller W., Lavorel S., Sykes M.T., Araújo M.B. 2006. Using niche-based modeling to assess the impact of climate change on tree functional diversity in Europe. *Diversity and Distributions* 12: 49–60.
- Williams A.P., Allen C.D., Macalady A.K., Griffin D., Woodhouse C.A., Meko D.M., Swetnam T.W., Rauscher S.A., Seager R., Grissino-Mayer H.D., Dean J.S., Cook E.R., Gangodagamage C., Cai M., McDowell N. 2012. Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. *Nature Climate Change* DOI: 10.1038/NCLIMATE1693.
- Yachi S., Loreau M. 1999. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 96: 1463–1468.
- Zajączkowski K., Zajączkowski G. 2008. Występowanie czereśni ptasiej (*Cerasus avium* Moench) na terenie Lasów Państwowych. *Leśne Prace Badawcze* 69, 3: 211–223.

Charakterystyka stanu zasobów drzewnych w Polsce, prognoza ich rozwoju oraz rozmiaru użytkowania do 2070 roku (lasy państwowe, lasy niepaństwowe)

prof. dr hab. Tomasz BORECKI, prof. dr hab. Edward STĘPIEŃ

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny,
Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa, Warszawa

Wstęp

Człowiek od zarania swojego istnienia był i nadal jest związany z otaczającą go przyrodą. W swojej działalności i rozwoju uzależniony był od jej bogactwa i różnorodności. Istotną rolę w rozwoju ludzkiej cywilizacji odgrywały lasy. Można zaryzykować twierdzenie, że przez tysiące lat las był prawdziwym domem człowieka. To właśnie tam znajdował on pokarm, ochronę przed wrogami, dobre warunki do swojego rozwoju. Wraz z upływem czasu, gdy człowiek nauczył się uprawiać rośliny i udomowił wiele zwierząt, bezpośrednia zależność od lasu uległa znacznemu zmniejszeniu, ale nadal las jest ważnym elementem w rozwoju gospodarczym. W sposób szczególnie wyraźny zależność jakości życia od lasu, będącego znaczącą częścią otaczającej nas przyrody, zaczynamy rozumieć współcześnie.

Zarys historii rozwoju zasobów leśnych

Z dostępnych danych wynika, że jeszcze w XVI wieku lasy zajmowały 76 mln km², ale już w 1958 roku 44 mln km². Proces zmniejszania się powierzchni lasów nie uległ zahamowaniu. W latach 90. XX wieku średnia powierzchnia wylesień wynosiła 16 mln ha rocznie. W pierwszej dekadzie XXI wieku średnia powierzchnia wylesień spadła do około 13 mln ha rocznie, natomiast nowe uprawy leśne zakładane były na powierzchni ponad 7 mln ha średnio rocznie. Z zestawienia powyższych danych wynika, że obecnie roczna utrata powierzchni leśnej wynosi około 6 mln ha.

Zatrzymajmy się pokrótce na relacji las a człowiek w odniesieniu do ziem polskich. Kolonizacja ziem polskich przez plemiona przybyłe z południa miała miejsce

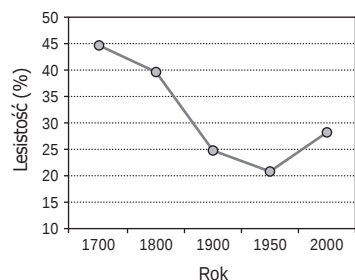
przed 6 tys. lat. Ziemie nasze były prawie w całości pokryte przez lasy, w których rosły wszystkie gatunki występujące obecnie w naszych drzewostanach. Plemiona przybyłe na ziemie polskie poszukiwały terenów najlepszych do uprawy roli, położonych najczęściej wzdłuż rzek. Początkowo zajmowane były tereny bezleśne, a gdy tych zabrakło, zaczęto wylesienia metodą wypalania.

Człowiek poszukiwał najżyźniejszych gleb, dlatego też rozpoczął wylesianie od terenów zajętych przez lasy liściaste. Na początku istnienia państwa polskiego lasy pokrywały 80% terenu kraju. Wylesione były tylko najżyźniejsze tereny Wyżyny Lubelskiej, Niziny Śląskiej, Wyżyny Małopolskiej, obszary czarnych ziem kujawskich i zachodniopomorskich. Rolnictwo bardzo szybko zmieniało tereny leśne w pola i osady. Szczyt osadnictwa przypadał na wiek XIV i XVI związany był z rozwojem przemysłu. Zaczęły powstawać pierwsze tartaki, wypalano potaż, w smolarniach uzyskiwano smołę, dziegieć. Z terenów polskich eksportowano duże ilości towarów pochodzących z lasów, szczególnie w wieku XVI. Kiedy bogata Europa zaczęła importować zboże, tereny leśne w Polsce zamieniane były na pola uprawne, żeby zwiększyć areal przeznaczony pod uprawy zbóż.

Szybkie uszczuplanie powierzchni leśnej spowodowało, że już w wieku XIV dostrzegano zagrożenia dla lasów i wprowadzono wiele przepisów ochronnych. Nakładano kary np. na sprawców pożarów leśnych.

Jeszcze w XVI wieku lesistość Polski wynosiła około 43%. Na początku wieku XIX lasy w Księstwie Warszawskim zajmowały 27%. Wzrastające zapotrzebowanie na płody lasu było bodźcem do wypracowywania właściwej gospodarki leśnej i zastąpienia rabunkowego pozyskiwania drewna doskonalszymi systemami (m.in. systemem zrębów zupełnych).

W okresie rozbiorów z terenów polskich zniknęło ponad 5 mln ha lasów. Przekształcono strukturę gatunkową drzewostanów, eliminując gatunki liściaste na rzecz gatunków iglastych, głównie sosny. W odradzającej się po I wojnie światowej Polsce lesistość wynosiła około 19%, a biedne państwo polskie eksploatowało lasy w celu zdobycia środków na rozwój gospodarki. Głównym źródłem finansowania reformy wprowadzonej przez Władysława Grabskiego w 1925 roku były wpływy z wyrębu lasów. Dalsza dewastacja lasów miała miejsce w czasie II wojny światowej.



Ryc. 1. Zmiany lesistości w Polsce

Lesistość Polski po wojnie, w nowych granicach państwa, była jedną z najniższych w Europie i wynosiła 20,7%. Od tego czasu powierzchnia polskich lasów ciągle rośnie (ryc. 1).

Obecnie lesistość wynosi ponad 29%, przy dużym zróżnicowaniu regionalnym. Lesistością wyższą od średniej krajowej charakteryzują się regiony zachodnie (województwo lubuskie), północne (zachodniopomorskie, pomorskie) i teren Bieszczadów.

W południowo-wschodniej i centralnej Polsce lesistość kształtuje się na poziomie nieco ponad 20%.

W okresie 65 lat zalesiono ponad 2,5 mln ha terenów, które ze względu na produkcję rolniczą były nieprzydatne jako tzw. grunty marginalne. W sposób bardzo wyraźny

wzrósł zapas drewna w polskich lasach, z około 900 mln m³ w roku 1945 do 2,3 mld m³ w roku 2010 (MŚ, BULiGL 2010). W drzewostanach podwoił się udział gatunków liściastych.

Szczególnie pozytywne zmiany w polskim leśnictwie zachodziły w latach 90. XX w. Model gospodarki leśnej wielofunkcyjnej, trwale zrównoważonej i proekologicznej, wprowadzono w Polsce zapisami *Ustawy o Lasach* z dnia 28 września 1991 roku. Model takiej gospodarki został zaakceptowany przez polski parlament w 1997 roku i stał się integralną częścią *Polityki Leśnej Państwa*. Model ten uzyskał również akceptację Kongresu Leśników Polskich w 1997 roku.

Charakterystyka stanu zasobów drzewnych w Polsce

Lasy Państwowe

Z zarysu historii wynika, że od wielu dziesiątków lat człowiek wpływał na lasy, co przyczyniało się zwykle do deforestacji i fragmentacji kompleksów leśnych, negatywnych zmian struktury gatunkowej i wiekowej oraz zaburzeń ładu przestrzennego kompleksów leśnych. Proces pozytywnych zmian w polskim leśnictwie rozpoczął się po II wojnie światowej. Zmiany te spowodowane były zalesieniem dużych obszarów i prowadzeniem przez lasy państwowe konsekwentnej polityki w zakresie gospodarki leśnej. W okresie od 1945 r. do 2010 r. powierzchnia lasów wzrosła z 6470 tys. ha do 9089 tys. ha, tj. o około 2620 tys. ha, co stanowi wzrost o ponad 40% (GUS 2010). W tym okresie nastąpił także 154% wzrost zasobów drzewnych kraju, tj. z 906 mln m³ w 1945 r. (GUS 2010) do 2304 mln m³ – w 2010 r. – według danych z wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasów wszystkich form własności (PGL Lasy Państwowe 2010). Znaczącemu wzrostowi powierzchni i miąższości w PGL Lasy Państwowe towarzyszyła poprawa ilościowego i jakościowego stanu zasobów (tab. 1).

Obecny stan lasów scharakteryzowano na podstawie wyników z aktualizacji powierzchni lasów i zasobów drzewnych w Lasach Państwowych według stanu na 1 stycznia 2010 r. (PGL Lasy Państwowe 2010b). Z danych tych wynika, że ogólna powierzchnia lasów pozostających w zarządzie PGL Lasy Państwowe wynosi 7 068 372 ha (tab. 1). W okresie od 1967 roku powierzchnia ta wzrosła z 6 465 742 ha o około 603 tys. ha (9,3%). Nastąpiły także wyraźne zmiany powierzchniowego udziału drzewostanów w wieku powyżej 40 lat. Zmniejszał się natomiast sukcesywnie udział drzewostanów I i II klas wieku, odpowiednio z 24,4% i 21,6% w 1967 r. do 10,9% i 15,3% w 2010 r. (Zajączkowski 2010a, PGL Lasy Państwowe 2010b). Liczby te świadczą o przewadze intensywności procesu starzenia nad procesem wyřębu drzewostanów. W latach 1967–2010 wyraźnie wzrastał bowiem udział powierzchni drzewostanów ponadstuletnich. Areal tych drzewostanów, razem z drzewostanami w KO, KDO i SP, zwiększył się z około 548 tys. ha w 1967 r. (8,4%) do 1038 tys. ha w 2010 r. (14,6%), tj. o około 89%, natomiast ich miąższość wzrosła w tym czasie ze 146 mln m³ (16,0%) do około 325 mln m³ grubizny brutto (18,5%), tj. o około 123% (tab. 1). Aktualnie w lasach w zarządzie PGL

Lasy Państwowe przeważają drzewostany w wieku od 41 do 80 lat (III i IV klasy wieku). Zajmują one obecnie odpowiednio 24,7% i 19,1%, wobec odpowiednio 19,1% i 14,6% ogólnej powierzchni PGL Lasy Państwowe w 1967 r.

Tabela 1. Udział powierzchniowy (P) i miąższościowy (M) drzewostanów poszczególnych klas wieku w PGL Lasy Państwowe w okresie 1967–2010 (Borecki, Dawidziuk 2011)

Klasy wieku		1967	1978	1990	2000	2010
Udział procentowy powierzchni/miąższości według klas wieku						
Powierzchnia leśna niezalesiona	P	3,2	1,5	1,3	1,0	1,4
	M	–	0,1	–	–	1,3*
I (1–20 lat)	P	24,4	21,6	14,4	12,2	10,9
	M	0,7	0,5	1,0	0,8	0,6
II (21–40 lat)	P	21,6	21,2	24,9	20,7	15,3
	M	15,4	12,8	14,3	12,8	9,2
III (41–60 lat)	P	19,1	21,5	20,4	22,4	24,7
	M	26,2	27,6	24,9	24,4	26,2
IV (61–80 lat)	P	14,6	16,0	17,8	19,4	19,1
	M	25,2	26,3	26,4	26,7	24,3
V (81–100 lat)	P	8,7	10,0	11,9	12,8	14,0
	M	16,5	18,6	19,3	19,3	19,9
VI i starsze – powyżej 100 lat	P	5,4	5,2	6,0	7,7	8,6
	M	10,8	10,0	10,2	12,4	13,4
KO, KDO, SP	P	3,0	3,0	3,3	3,8	6,0
	M	5,2	4,1	3,9	3,6	5,1
Ogółem	P	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	M	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Powierzchnia w ha; miąższość w tys. m ³ grubizny brutto						
Ogółem	P	6 465 742,0	6 653 618,0	6 800 290,0	6 920 192,0	7 068 372,0
	M	912 703,3	1 016 545,1	1 261 774,1	1 461 037,3	1 747 797,9

* Razem z przestojami.

Kształtowanie się przeciętnej zasobności oraz średniego wieku drzewostanów w PGL Lasy Państwowe w okresie 1967–2010 wg gatunków panujących zamieszczono w tabeli 2.

Zmiany w strukturze wiekowej skutkują wzrostem średniego wieku i przeciętnej zasobności drzewostanów (tab. 2). W okresie 1967–2010 przeciętna zasobność na powierzchni leśnej wzrosła ze 141 m³/ha do 247 m³/ha, a średni wiek z 46 do 60 lat. Zmalała przy tym różnica między przeciętnym wiekiem drzewostanów iglastych i drzewo-

stanów liściastych. Zmiany w strukturze wiekowej skutkują wzrostem średniego wieku i przeciętnej zasobności drzewostanów.

Tabela 2. Przeciętna zasobność oraz średni wiek drzewostanów w PGL Lasy Państwowe w okresie 1967–2010 według gatunków panujących

Gatunki (grupy rodzajowe)	1967		1978		1990		2000		2010	
	m ³ /ha	lat	m ³ /ha	lat	m ³ /ha	lat	m ³ /ha	lat	m ³ /ha	lat
So, Md	129	45	140	46	178	51	211	56	251	60
Św	254	56	247	56	250	56	268	60	288	62
Jd, Dg	268	71	251	79	243	78	264	83	345	84
Razem iglaste	144	47	152	48	186	52	216	57	252	61
Bk	233	80	233	81	258	81	257	80	285	77
Db, Js, Kl, Jw	153	58	169	59	192	62	203	64	227	66
Gb	127	49	152	56	205	61	217	66	241	71
Brz, Ak	104	35	133	40	160	45	163	46	189	50
Ol	132	39	144	42	176	45	189	48	226	51
Os	111*	34*	164	45	204	52	209	53	249	59
Tp	–	–	46	14	127	24	155	29	197	42
Razem liściaste	153	53	166	55	195	58	202	60	229	61
Ogółem (na powierzchni zalesionej)	146	48	155	49	188	53	213	57	250	61
Ogółem (na powierzchni leśnej)	141	46	153	49	186	52	211	57	247	60

* Razem z topolą.

W 2010 roku gatunki iglaste zajmowały 76,8%, a liściaste – 23,2% ogólnej powierzchni leśnej. W porównaniu z rokiem 1967 udział gatunków iglastych zmalał o około 5,5%, liściastych zaś o tyle wzrósł (tab. 3).

Na nizinach przeważają drzewostany z sosną jako gatunkiem panującym, które w skali PGL Lasy Państwowe zajmują 69,4% powierzchni. Natomiast w górach najliczniej występują drzewostany z panującym świerkiem (5,3% powierzchni). Wśród drzewostanów liściastych najwięcej jest drzewostanów z panującym dębem (7,4%), brzoza (5,5%) oraz bukiem (5,3%). Z kolei dane dotyczące miąższości grubizny brutto wskazują, że z ogólnej miąższości grubizny brutto (1 747 797,9 tys. m³) na gatunki iglaste przypada 78,5% (tab. 4). Udział gatunków liściastych w tym wymiarze wzrósł z 18,5% w 1967 r. do 21,5% w 2010 r. Ogólne zasoby drzewne w PGL Lasy Państwowe w tym okresie zwiększyły się z 912,7 mln m³ do 1747,8 mln m³, tj. o 91%, przy wzroście powierzchni lasów o 9,3% (Zajączkowski 2010, PGL Lasy Państwowe 2010b).

Lasy w Polsce występują na terenach o najsłabszych glebach, tzw. typowych glebach leśnych, na których inne formy wykorzystania w produkcji roślinnej są nieopłacalne. Znajduje to swoje odzwierciedlenie w strukturze siedliskowych typów lasu. W struk-

turze tej przeważają siedliska borowe (około 22%) i borów mieszanych (około 30%). Siedliska lasów mieszanych zajmują około 35%, a siedliska lasowe, w tym olsy i olsy jesionowe – około 13%.

Tabela 3. Udział powierzchni (P) i miąższości (M) w PGL Lasy Państwowe w okresie 1967–2010 według gatunków panujących

Gatunki (grupy rodzajowe)		1967	1978	1990	2000	2010
Procentowy udział powierzchni/miąższości						
So, Md	P	72,6	71,6	70,9	69,3	69,4
	M	64,2	64,6	67,4	69,5	69,5
Św	P	7,2	7,1	6,3	5,5	5,3
	M	12,7	11,3	8,4	6,8	6,1
Jd, Dg	P	2,5	2,4	2,1	2,0	2,1
	M	4,6	3,9	2,7	2,4	2,9
Razem iglaste	P	82,3	81,1	79,3	77,8	76,8
	M	81,5	79,8	78,5	78,7	78,6
Bk	P	3,9	4,0	4,6	4,9	5,3
	M	6,1	6,0	6,2	5,7	6,0
Db, Js, Kl	P	5,2	5,5	6,2	7,2	7,4
	M	5,5	6,0	6,2	6,6	6,8
Gb	P	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3
	M	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Brz, Ak	P	4,1	4,6	5,1	5,9	5,5
	M	3,0	4,0	4,4	4,3	4,2
Ol	P	3,4	3,8	4,1	4,4	4,4
	M	3,0	3,5	3,9	3,9	4,0
Os	P	*0,6	0,3	0,2	0,2	0,1
	M	0,5	0,2	0,2	0,2	0,1
Tp	P	–	0,3	0,2	0,3	0,2
	M	–	0,1	0,3	0,3	0,2
Razem liściaste	P	17,7	18,9	20,7	22,2	23,2
	M	18,5	20,2	21,5	21,3	21,5
Ogółem	P	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	M	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Powierzchnia w ha; miąższość w tys. m ³ grubizny brutto						
Ogółem	P	6 465 742,0	6 653 618,0	6 800 290,0	6 920 192,0	7 068 372,0
	M	912 703,3	1 016 545,1	1 261 774,1	1 461 037,3	1 747 797,9

Lasy prywatne

Wiarygodnych danych o stanie lasów prywatnych dostarcza wielkoobszarowa inwentaryzacja stanu lasu przeprowadzona w latach 2006–2010 (PGL LP 2010a). Powierzchnia lasów prywatnych w Polsce wynosi ogółem 1,686 mln ha, co stanowi około 18% powierzchni ogółem. Powierzchnia leśna niezalesiona zajmuje w lasach prywatnych około 110 tys. ha, co stanowi około 6,5% ich powierzchni ogólnej. Zapas lasów prywatnych wynosi 349,5 mln m³, co stanowi około 15% zasobów w Polsce. Charakterystykę podstawowych parametrów lasów tej kategorii własności przedstawia tabela 4. W strukturze wiekowej tych lasów dominuje III klasa wieku, zajmująca około 37% w wymiarze powierzchniowym i około 45% w wymiarze miąższościowym. Drzewostany II klasy wieku zajmują odpowiednio 21% i około 16%, a IV klasy wieku – 17% i 23%. Przeciętna zasobność kształtuje się na poziomie około 207 m³/ha, średni wiek drzewostanów wynosi 44 lata. W strukturze gatunkowej gatunki iglaste zajmują 68,2%, w tym sosna 57,7%. Wśród gatunków liściastych przeważają olcha i brzoza, których udział wynosi ponad 15% (MŚ 2010). Lasy prywatne występują głównie na gruntach porolnych, relatywnie bogatszych niż gleby leśne, należy więc sądzić, że zajmują one siedliska żyzniejsze niż w Lasach Państwowych.

Tabela 4. Powierzchnia i miąższość oraz przeciętna zasobność na 1 ha w lasach prywatnych (MŚ. BULiGL 2010)

Rodzaj powierzchni	Klasa i podklasa wieku	Powierzchnia		Miąższość skorygowana brutto		Przeciętna zasobność
		ha	%	tys. m³	%	
Niezalesiona		109 680,0	6,5	2 636,9	0,8	24,0
Zalesiona	przestoje	–	–	3 206,9	0,9	–
	I a	59 634,0	3,5	102,5	0,0	1,7
	I b	115 077,0	6,8	4 155,1	1,2	36,1
	II a	142 962,0	8,5	16 385,6	4,7	114,6
	II b	206 502,0	12,3	38 062,3	10,9	184,3
	III a	305 464,0	18,1	74 743,4	21,4	244,7
	III b	312 856,0	18,6	82 401,5	23,6	263,4
	IV a	165 612,0	9,8	45 346,8	13,0	273,8
	IV b	124 962,0	7,4	36 232,4	10,3	289,9
	V a	68 960,0	4,1	21 758,1	6,2	315,5
	V b	35 618,0	2,1	11 868,9	3,4	333,2
	VI	17 801,0	1,1	6 525,7	1,9	366,6
	VII	3 539,0	0,2	1 750,0	0,5	494,5
	KO + KDO + BP	17 047,0	1,0	4 285,2	1,2	251,4
	Razem	1 576 034,0	93,5	346 824,4	99,2	220,1
Ogółem		1 685 714,0	100,0	349 461,3	100,0	207,3

Prognoza rozwoju zasobów do roku 2030 i prawdopodobne trendy zmian do 2060 r.

Współczesne leśnictwo powiązane jest z coraz większą liczbą grup społecznych i podmiotów gospodarczych zainteresowanych dostępem do określonych świadczeń lasu.

Istnieje wiele przesłanek, m.in. wzrost populacji ludności czy zasady zrównoważonego rozwoju, wskazujących na wzrost rangi i zakresu gospodarczych, ochronnych i społecznych zadań leśnictwa. Przedstawiciele, m.in. przemysłu drzewnego, rolnictwa, urbanizacji, komunikacji, gospodarki wodnej, ochrony zdrowia, ochrony przyrody, łowiectwa, turystyki i rekreacji, kierują się zazwyczaj własnymi racjami co do zakresu i intensywności szeroko rozumianego wykorzystania lasu i jego zasobów. To prowadzi do konkurencyjności żądań i zwykle stawia leśnictwo w sytuacji konfliktowej przy ustalaniu zadań, doborze środków ich realizacji oraz realnej ocenie możliwości i konsekwencji podejmowanych działań. Zwiększa się w związku z tym zakres zadań leśnictwa w planowaniu zrównoważonej gospodarki leśnej. Wynika to głównie ze zmieniających się realiów funkcjonowania leśnictwa, powodowanych m.in. poprzez wzrost niepewności i ryzyka, postępujące zmiany klimatu, liczne zjawiska wywołujące szkody w lasach i w środowisku leśnym. Sytuacje te stają się powodem konfliktu celów i zadań leśnictwa w aspekcie funkcji produkcyjnej, ochrony przyrody i krajobrazu, funkcji społecznych oraz powiązań z planowaniem przestrzennym.

W kontekście powyższych uwarunkowań sprawą bardzo aktualną staje się dbałość o stan zasobów, a ze względu na wzrost świadczeń lasu dla społeczeństwa w przyszłości, prognozowanie rozwoju zasobów leśnych musi być podstawowym elementem polityki leśnej Państwa. Właściwy ilościowy i jakościowy stan zasobów jest gwarantem możliwości pełnienia przez lasy wszystkich oczekiwanych społecznie funkcji.

Zarys problemów

Specyfika leśnictwa, zwłaszcza zaś długoterminowy charakter procesów wzrostu i rozwoju lasu, uświadamia potrzebę rozpoznawania kierunków i intensywności zmian, wywierających wpływ na strukturę lasu, rentowność gospodarki leśnej oraz poziom i jakość spełniania wielostronnych funkcji lasu. W tej sytuacji niezbędne jest opracowanie systemu kryteriów przydatnych do klasyfikacji lasu oraz formułowania priorytetów i weryfikacji celów i zasad prowadzenia gospodarki leśnej. System taki ułatwiać także powinien prognozowanie i monitorowanie zachodzących zmian oraz identyfikację skutków zagrożeń i zakłóceń, jakie mogą wystąpić. Zagadnienia te stanowić powinny treść analiz i decyzji urzędniowych podejmowanych w fazie tworzenia planów urzędzenia lasu.

W kontekście powyższych rozważań, jako przesłanki do sformułowania strategii rozwoju zasobów drzewnych w Polsce, można wskazać kilka aktualnych zagadnień wymagających rozstrzygnięcia, m.in.:

- 1) określenie uwarunkowań zrównoważonego rozwoju leśnictwa,
- 2) uściślenie metodyki kompleksowej oceny zasobów leśnych,

- 3) wyodrębnienie priorytetów w kształtowaniu rozwoju zasobów leśnych,
- 4) opracowanie prognoz realizacji zakładanych priorytetów (szczebel kraju i regionów).

Uwarunkowania zrównoważonego rozwoju leśnictwa (strategie, koncepcje) rozpatrywać należy na szczeblach globalnym, krajowym i regionalnym. Oczekiwać można, że uwarunkowania globalne spowodują wzrost znaczenia lasów oraz ich funkcji, rosnąć bowiem będzie zapotrzebowanie na drewno. Z drugiej strony nastąpi szybki wzrost zapotrzebowania na funkcje ochronne i społeczne. Sytuacja ta stanie się powodem wielu sprzeczności, jakie napotka leśnictwo. Pogląd ten uzasadniają m.in.:

- wyczerpywanie się źródeł energii (ropa, węgiel) i okresowy wzrost ich ceny,
- wzrost zapotrzebowania na drewno użytkowe i energetyczne o około 20%, co przewidują prognozy długookresowe; dotyczy to w sposób szczególnie dynamicznie rozwijających się krajów, m.in. Brazylii, Chin, Indii, Indonezji, z których część staje się importerami surowca drzewnego; wzrost zapotrzebowania spowoduje zapewne wzrost cen na światowym rynku drewna.
- zmniejszanie się powierzchni lasów świata, mimo wzrostu lesistości na kontynencie europejskim, zróżnicowane w poszczególnych krajach (Zaleski 2011),
- niepewność długookresowego prognozowania intensywności i konsekwencji zmian klimatu,
- niespójność regulacji prawnych odnoszących się do leśnictwa i lasów oraz relacji „człowiek – przyroda”, a także duże ich zróżnicowanie w różnych krajach.

Konieczność zwiększania produkcji energii ze źródeł odnawialnych wymusi wzrost zapotrzebowania na drewno przeznaczone na cele energetyczne. Problem ten dotyczy większości krajów Europy. Przykładem mówiącym o skali tego problemu mogą być Niemcy, gdzie zużycie drewna na cele energetyczne w okresie 1995–2008 zwiększyło się trzykrotnie. W gospodarstwach domowych Niemiec w 2008 roku spalono 22 mln m³ drewna, a przewiduje się, że w roku 2020 ilość ta wzrośnie do około 48 mln m³, natomiast doliczając przemysł, spalanych będzie 65 mln m³ drewna (Zaleski 2011).

Uwarunkowania globalne wymagają uściślenia na szczeblu krajowym. Dotyczy to w szczególności:

- możliwych (przewidywanych) scenariuszy zmian klimatu oraz oceny ich konsekwencji dla rozwoju leśnictwa i zasobów leśnych, m.in. dla struktury gatunkowej i zagrożenia pożarowego dużych kompleksów,
- uświadczenia, że w relacjach „las–człowiek”, wpływających na sposób postrzegania przyrody i lasu, obowiązywać powinny regulacje prawne, które nie spowodują pogorszenia jakości życia człowieka, np. w wyniku pozostawiania w lesie martwego drewna, które jako komponent ekosystemów jest pożądane. Rozstrzygnięcia w tym zakresie wymagają rozważań;
- ujednolicenia regulacji prawnych odnoszących się do lasów, w tym dotyczących zakresu i intensywności wykorzystania ich zasobów (ustawa o lasach i ustawa o ochronie przyrody),
- określenia poziomu dalszego zwiększania lesistości kraju dla zapewnienia prawidłowego funkcjonowania lasów w kontekście każdej funkcji,
- powiązania zagadnień związanych z rozwojem zasobów z planowaniem przestrzennym, z uwzględnieniem racjonalności wykorzystania gruntów marginalnych, two-

- zenia korytarzy ekologicznych, granic polno-leśnych, stref podmiejskich, lasów w regionach dużego uprzemysłowienia, infrastruktury komunikacyjnej,
- uświadomienia społeczeństwa, że produkcyjna funkcja lasu jest tak samo ważna jak funkcje pozostałe, a produkcja drewna jest czynnikiem stymulującym rozwój gospodarczy.

Uwarunkowania na poziomie regionalnym uwzględniać powinny:

- dostosowanie zasad planowania leśnego do zróżnicowanego obciążenia funkcjami pozaprodukcyjnymi i do stopnia skonfliktowania tych funkcji z funkcją produkcyjną,
- możliwości zalesienia gruntów marginalnych,
- sprecyzowanie zasad rozpoznawania i oceny zagrożeń ze strony otoczenia, w tym możliwości ochrony większych kompleksów przed pożarami.

Kompleksowa ocena zasobów leśnych wymaga zgromadzenia danych źródłowych oraz opracowania metodyki dotyczącej szczegółowości analizy obecnego stanu zasobów i klasyfikacji lasu. Dane źródłowe dla potrzeb charakterystyki stanu zasobów leśnych uzyskać można z hurtowni SILP, które w razie potrzeby mogą być uzupełnione danymi inwentaryzacji wielkoobszarowej. Szczegółowość klasyfikacji lasu umożliwić powinna charakterystykę wyróżnianych zbiorów drzewostanów, z uwzględnieniem, m.in., struktury wiekowej (klasy wieku) i gatunkowej (gatunki panujące, rzeczywiste bogactwo gatunkowe, różnorodność), struktury siedliskowej (stł, grupy siedlisk, forma stanu), rodzajów i obszaru kategorii ochronności, w tym obszarów Natura 2000, stanu zapasu rosnącego (zadrzewienie, jakość hodowlana i techniczna, stabilność), podziału na gospodarstwa oraz rodzajów gruntów (leśne, porolne). Podstawowy materiał źródłowy stanowić powinny odpowiednie zestawienia wg gatunków panujących i rzeczywistych.

Do oceny typu ilościowego zasobów niezbędny będzie dobór właściwych kryteriów, a do oceny jakościowego stanu zasobów wskaźniki pośrednie, wygenerowane na podstawie tych kryteriów. Ilościowa ocena zasobów dotyczy, m.in. zróżnicowania struktury wiekowej i gatunkowej, udziału siedlisk wg klas bonitacji, budowy pięterowej drzewostanów i wielkości zapasu rosnącego. Cechy jakościowe, m.in. różnorodność, stabilność, jakość i zróżnicowanie, powinny ułatwić obiektywizację decyzji regulacyjnych (pilność, kolejność, nabór), służących poprawie obecnego stanu zasobów. W efekcie wyróżnienie zbiorów drzewostanów umożliwić powinno prognozowanie rozwoju i zmian zasobów oraz ułatwienie decyzji regulacyjnych (pilność, kolejność, zasady naboru), z uwzględnieniem regionalnego zróżnicowania przewidywanych zagrożeń i ograniczeń.

Kompleksowa ocena zasobów, przeprowadzona w układzie krajowym, regionalnym (RDLP) lub większych kompleksów leśnych, np. kilku nadleśnictw, dostarczyć powinna informacji przydatnych w sensie diagnostycznym i prognostycznym. W sensie diagnostycznym informacje te pozwolą wyodrębnić przyczyny, które są powodem obecnego stanu zasobów, natomiast w sensie prognostycznym – ujawnić ograniczenia przyjętego kierunku rozwoju zasobów, dotyczące w szczególności zmian struktury wiekowej i poprawy stanu drzewostanów (skład gatunkowy, jakość, struktura, stan zapasu).

Wyodrębnienie priorytetów w procesie kształtowania pożądanego kierunku rozwoju zasobów leśnych powinno odbywać się w układzie krajowym i regionalnym. W układzie krajowym nadrzędną sprawą jest poprawa stanu lasów, w tym zwłaszcza kształtowanie ich stabilności oraz przestrzeganie zasady równomierności użytkowania w dłuż-

szych horyzontach czasowych. Powyższe postulaty nabierają szczególnego znaczenia w kontekście zarówno przewidywanych zmian klimatu, jak również potrzeby zalesiania gruntów nieprzydatnych rolniczo (marginalnych).

W układzie regionalnym jako priorytety obowiązywać powinny (Borecki, Stępień 2012):

- 1) równomierność użytkowania, przy uwzględnieniu istniejącej struktury wiekowej i obecnego stanu drzewostanów oraz ograniczeń wynikających ze zróżnicowania obciążenia funkcjami pozaprodukcyjnymi,
- 2) poprawa stanu zasobów zgodnie z możliwościami produkcyjnymi siedlisk i drzewostanów, przy uwzględnieniu lokalnych preferencji gatunkowych oraz potrzeb rozproszenia ryzyka związanego ze zmianami klimatu,
- 3) poprawa zaopatrzenia w surowiec drzewny.

W realizacji zakładanych priorytetów (szczebel kraju i regionów) możliwe do przyjęcia są dwie koncepcje. Koncepcja pierwsza preferuje zasadę postępowania „za lasem”, tj. rozwoju zgodnego z obecnymi realiami (struktura wiekowa, stan zasobów).

Koncepcja druga uwzględnia pożądany kierunek rozwoju zasobów, zakładając kształtowanie m.in. struktury wiekowej, gatunkowej, siedliskowej, stanu zapasu, budowy pionowej, przyrostu, etatu. Wymaga to opracowania scenariuszy urzędniowych uwarunkowań, oceny możliwości regulacji użytkowania pod kątem zaspokojenia oczekiwań odnośnie minimalizacji sprzeczności zasad równomierności i intensyfikacji oraz rozpoznania regionalnego zróżnicowania obciążenia lasu funkcjami pozaprodukcyjnymi.

Prognozy rozwoju zasobów drzewnych w Lasach Państwowych

Rozwój zasobów drzewnych zależy od przyjętych zasad realizacji wielofunkcyjnego gospodarstwa leśnego. W praktyce uwarunkowany jest aktualną strukturą wiekową lasów i stanem zasobów oraz związaną z tym intensywnością użytkowania rębego. Kształtowanie się intensywności użytkowania lasu w PGL Lasy Państwowe w okresie 1967–2010 przedstawiono w tabeli 5.

Z powyższych danych wynika, że w analizowanym okresie użytkowanie miało tendencję wzrastającą, osiągając w 2010 roku ponad 31 mln m³ netto, czyli prawie o 100% więcej niż w roku 1967. Analizując wskaźniki intensywności użytkowania lasu, wynoszące około 2,0–2,2% miąższości zasobów, uzasadnione jest stwierdzenie, że wzrost ten nie narusza trwałości zasobów, a jest następstwem poprawy stanu zasobów. Biorąc pod uwagę obecną strukturę wiekową lasów w zarządzie PGLLP, należy się spodziewać, że wielkość użytkowania rębego będzie rosła w następstwie zachodzącego procesu starzenia się.

Przyjęta koncepcja prognozowania rozwoju zasobów oparta jest na założeniu, że rozwój jest zgodny z obecnymi realiami (struktura wiekowa, stan zasobów). Kształtowanie się struktury powierzchni i miąższości w Lasach Państwowych według klas wieku w okresie 2011–2061 obrazują tabele 6 i 7 (Dawidziuk 2012). Dane zestawione w tabelach 6 i 7 wynikają z przyjętych z założeń metodycznych przedstawionych w publikacjach Boreckiego i Dawidziuka (2011) oraz Dawidziuka (2012).

Tabela 5. Intensywność użytkowania głównego w PGL Lasy Państwowe w okresie 1967–2009 (Borecki, Dawidziuk 2011)

Okres	Powierzchnia leśna (ha)	Miąższość zasobów drzewnych (tys. m ³ grubizny brutto)	Wysokość użytkowania głównego (tys. m ³ grubizny)		Intensywność użytkowania głównego (% miąższości)
			netto	brutto	
1967–1968	6 465 742	912 703,3	16 501	20 626	2,26
1978	6 653 618	1 016 545,1	19 909	24 886	2,45
1985	6 775 991	1 161 650,9	21 436	26 795	2,31
1990	6 800 290	1 261 774,1	15 863	19 829	1,57
1995	6 828 950	1 322 629,3	18 774	23 468	1,77
2000	6 920 192	1 461 037,3	24 097	30 121	2,06
2005	7 029 487	1 586 263,3	28 164	35 205	2,22
2010	7 064 445	1 747 797,9	31 188	38 985	2,23

Tabela 6. Struktura powierzchni drzewostanów w Lasach Państwowych według klas wieku rzeczywista w roku 2011 i przewidywana w latach 2021–2061 (Dawidziuk 2012)

Rodzaj powierzchni	Klasa wieku	Powierzchniowy udział klas wieku (w %); rok					
		2011	2021	2031	2041	2051	2061
Niezalesiona		1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4
Zalesiona	I (1–20 lat)	10,8	10,9	12,6	13,9	14,7	15,3
	II (21–40 lat)	15,0	13,7	13,6	14,8	17,1	18,7
	III (41–60 lat)	24,4	19,8	14,8	13,6	13,5	14,6
	IV (61–80 lat)	19,1	21,6	23,6	19,1	14,2	13,1
	V (81–100 lat)	14,2	14,7	14,2	16,4	17,6	14,0
	VI (101–121 lat)	5,8	5,4	5,9	5,8	5,8	6,9
	VII i starsze (ponad 120 lat)	3,0	3,3	3,4	3,5	3,6	3,6
	KO + KdO + SP	6,2	9,1	10,5	11,5	12,1	12,4
	Razem	98,5	98,5	98,6	98,6	98,6	98,6
Ogółem	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	tys. ha	7 072,4	7 112,4	7 152,4	7 182,4	7 212,4	7 242,4

W okresie najbliższych 50 lat przewiduje się wzrost ogólnej powierzchni leśnej o 170 tys. ha, tj. o około 2,5%. W prognozowanym okresie nastąpi znaczący wzrost udziału powierzchni drzewostanów I klasy wieku (z 10,8% do 15,3%) i II (z 15,0% do 18,7%). Pozytywną zmianą będzie także podwojenie udziału drzewostanów o strukturze KO, KdO i SP. Nastąpi natomiast wyraźne zmniejszenie się udziału drzewostanów III i IV klas wieku, łącznie z 43,5% do 27,7%. Udział drzewostanów V klasy wieku oraz drzewostanów starszych utrzyma się na podobnym poziomie (tab. 6).

Następstwem prognozowanych zmian powierzchni drzewostanów poszczególnych klas wieku będą zmiany struktury miąższościowej drzewostanów. W okresie najbliższych 50 lat nastąpi wzrost ogólnej miąższości o ponad 300 tys. m³, tj. o około 17%

(tab. 7). Przy niewielkich w zasadzie zmianach powierzchni, wzrost miąższości oznacza znaczne zwiększenie się średniej zasobności drzewostanów – z około 250 m³/ha do około 286 m³/ha, co jest następstwem zmian w strukturze wiekowej. W prognozowanym okresie nastąpi wzrost udziału miąższości drzewostanów V i starszych klas wieku oraz drzewostanów dwugeneracyjnych w KO i KdO i o strukturze przerębowej łącznie z 38,8% do 50,7%, natomiast zmniejszenie udziału miąższości drzewostanów III i IV klas wieku łącznie z 50,2% na 35,3%.

Tabela 7. Struktura miąższościowa drzewostanów w Lasach Państwowych według klas wieku w okresie 2011–2061 (Dawidziuk 2012)

Rodzaj powierzchni	Klasa wieku	Miąższościowy udział klas wieku (w %); rok					
		2011	2021	2031	2041	2051	2061
Niezalesiona		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Zalesiona	przestoje	1,1	1,5	1,0	0,9	0,9	0,9
	I (1–20 lat)	0,6	8,1	0,6	0,7	0,8	0,9
	II (21–40 lat)	9,0	21,3	8,1	8,8	10,5	11,9
	III (41–60 lat)	26,0	27,2	16,1	15,1	15,4	17,0
	IV (61–80 lat)	24,2	20,7	30,2	25,2	19,3	18,3
	V (81–100 lat)	20,1	8,3	20,4	24,2	26,6	21,7
	VI (101–121 lat)	8,9	5,1	9,2	9,3	9,5	11,6
	VII i starsze (ponad 120 lat)	4,7	7,5	5,2	5,6	5,9	6,1
	KO + KDO + BP	5,1	99,7	8,9	9,9	10,8	11,3
	Razem	99,7	100,0	99,7	99,7	99,7	99,7
Ogółem	%	100,0	1 930,7	100,0	100,0	100,0	100,0
	mln m ³	1 772,5	7 112,4	2 053,3	2 082,0	2 083,4	2 073,2

Lasy prywatne

Strukturę powierzchniową i miąższościową według klas wieku w lasach prywatnych w okresie 2011–2061 przedstawiono w tabelach 8 i 9 (Dawidziuk 2012). W okresie najbliższych 50 lat prognozowany jest znaczący wzrost ogólnej powierzchni lasów prywatnych o 550 tys. ha, tj. o około 32,6% (tab. 8). W wyniku przebiegu procesu starzenia się drzewostanów oraz dużych zalesień nastąpi wyraźna zmiana struktury klas wieku. W prognozowanym okresie nastąpi znaczący wzrost udziału powierzchni drzewostanów V i starszych klas wieku z 8,5% (2011) do 42,3% (2061). W wyniku zalesień wzrośnie udział drzewostanów I klasy wieku z 10,3% do 14,6%, a udział II klasy wieku utrzyma się na poziomie około 16,5%. Udział drzewostanów III i IV klas wieku, w wyniku procesu starzenia i wyrębu zmniejszy się z 53,9% do 21,7%.

Następstwem prognozowanych zmian powierzchni drzewostanów poszczególnych klas wieku będzie zmiana struktury miąższości. W okresie najbliższych 50 lat nastąpi wzrost ogólnej miąższości o około 277 tys. m³, tj. o prawie 80% (tab. 9). To spowoduje

znaczne zwiększenie się średniej zasobności drzewostanów z około 207 m³/ha do około 280 m³/ha, tj. do wielkości podobnej jak w Lasach Państwowych. W prognozowanym okresie nastąpi wzrost udziału mładości drzewostanów V i starszych klas wieku oraz drzewostanów dwugeneracyjnych w KO i KdO i o strukturze przerębowej, łącznie

Tabela 8. Struktura powierzchniowa drzewostanów według klas wieku w lasach prywatnych w okresie 2011–2061 (Dawdziuk 2012)

Rodzaj powierzchni	Klasa wieku	Powierzchniowy udział klas wieku (w %); rok					
		2011	2021	2031	2041	2051	2061
Niezalesiona		6,5	6,0	5,6	5,3	5,1	4,9
Zalesiona	I (1–20 lat)	10,3	12,7	17,5	16,3	15,4	14,6
	II (21–40 lat)	20,8	14,1	9,1	11,9	16,9	16,5
	III (41–60 lat)	36,7	27,5	17,6	12,3	8,1	11,0
	VI (61–80 lat)	17,2	25,1	29,4	22,6	14,8	10,7
	V (81–100 lat)	6,2	9,1	11,4	17,3	20,4	15,8
	VI (101–121 lat)	1,1	1,9	2,8	4,2	5,3	8,8
	VI i starsze (ponad 120 lat)	0,2	0,5	0,9	1,6	2,5	3,5
	KO + KDO + BP	1,0	3,1	5,7	8,5	11,5	14,2
	Razem	93,5	94,0	94,4	94,7	94,9	95,1
Ogółem	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	tys. ha	1 685,7	1 835,7	1 965,7	2 075,7	2 165,7	2 235,7

Tabela 9. Struktura mładościowa klas wieku drzewostanów w lasach prywatnych w okresie 2011–2061 (Dawdziuk 2012)

Rodzaj powierzchni	Klasa wieku	Mładościowy udział klas wieku (w %); rok					
		2011	2021	2031	2041	2051	2061
Niezalesiona		0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5
Zalesiona	przestoje	0,9	0,8	0,8	0,6	0,7	0,5
	I (1–20 lat)	1,2	0,7	1,6	1,5	1,4	1,4
	II (21–40 lat)	15,6	10,2	6,8	7,2	11,4	11,0
Zalesiona	III (41–60 lat)	45,0	33,0	20,9	14,5	9,4	12,1
	VI (61–80 lat)	23,3	33,0	38,7	29,5	19,0	13,4
	V (81–100 lat)	9,6	13,6	17,1	25,6	30,0	23,0
	VI (101–121 lat)	1,9	3,2	6,7	7,1	8,8	14,4
	VI i starsze (ponad 120 lat)	0,5	1,1	2,2	3,6	5,6	7,8
	KO+KDO+BP	1,2	3,7	6,6	9,8	13,1	15,9
	Razem	99,2	99,3	99,4	99,4	99,4	99,5
Ogółem	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	tys. ha	349,5	421,6	484,4	540,9	586,4	626,6

z 13,2% do 61,1%. Zmniejszeniu ulegnie natomiast udział miąższości drzewostanów II i III klas wieku, łącznie z 60,6% na 23,1%.

Prognoza rozmiaru użytkowania głównego w lasach Polski do roku 2070 oraz prawdopodobne skutki dla struktury zasobów

W procesie kształtowania rozmiaru użytkowania nadrzędną sprawą jest poprawa stanu lasów, w tym zwłaszcza ich stabilność oraz przestrzeganie zasady równomierności użytkowania w dłuższych horyzontach czasowych. Powyższe postulaty nabierają szczególnego znaczenia w kontekście zarówno przewidywanych zmian klimatu, jak również potrzeby zalesiania gruntów nieprzydatnych rolniczo (marginalnych). Rozmiar użytkowania można kształtować zgodnie z dwoma koncepcjami. Koncepcja pierwsza preferuje zasadę postępowania „za lasem”, tj. rozwoju zgodnego z obecnymi realiami (struktura wiekowa, stan zasobów). Można oczekiwać, że realizacja tej koncepcji powieli niewłaściwą strukturę wiekową oraz nie zapewni równomierności użytkowania, jak również nie spowoduje przyśpieszenia poprawy stanu zasobów. Koncepcja druga uwzględnia pożądaną kierunek rozwoju zasobów, m.in. strukturę wiekową, gatunkową, siedliskową, stan zapasu, budowę pionową, przyrost, etat. Wymaga to opracowania scenariuszy i oceny możliwości użytkowania rębego w długim horyzoncie czasowym rzędu 50–60 lat oraz uwarunkowań urządzińowych.

Prognoza rozmiaru użytkowania głównego w Lasach Państwowych według koncepcji pierwszej

Do prognozowania wielkości użytkowania głównego w Lasach Państwowych w latach 2011–2070 posłużyły dane BULiGL opracowane przez Zajączkowskiego (2010b). W kolejnych 10-letnich okresach prognozy, tj. 2011–2020, 2021–2030, 2031–2040, 2041–2050, 2051–2060, 2061–207, autor ten wykorzystał następujące dane:

- 1) startową powierzchniu-miąższościową tabelę klas wieku według stanu na 1 stycznia 2011 r.;
- 2) prognozowane powierzchnie zalesień;
- 3) wskaźniki intensywności użytkowania rębego i przedrębego według klas i podklas wieku;
- 4) miąższościowy udział w użytkowaniu rębnym rębni zupełnych oraz rębni złożonych;
- 5) przewidywaną strukturę drzewostanów po cięciach uprzętających drzewostanów z klasy odnowienia;
- 6) szacowany wzrost przeciętnej zasobności drzewostanów w klasach i podklasach wieku.

Prognozowane możliwości użytkowania głównego w Lasach Państwowych w okresie prognozy przedstawia tabela 10. W konsekwencji przyjętej metodyki w tabeli tej uwzględnione są ponadto informacje dotyczące zmian powierzchni i miąższości lasów oraz spodziewany bieżący przyrost miąższości i wskaźniki intensywności użytkowania głównego. Zawarte w tabeli prognozowane wielkości użytkowania rębного i przedrębного są następstwem głównie zmian struktury wiekowej oraz wzrostu powierzchni lasów. W okresie 60 lat powierzchnia lasów wzrośnie o około 352 tys. ha, tj. o około 5%, natomiast zapas o około 300 mln m³, tj. o około 17%. Prognozowana wielkość rocznego użytkowania rębного brutto zwiększy się z 20,9 mln m³ do 34,0 mln m³, tj. o około 63%, a przedrębного z 19,6 mln m³ do 21,7 mln m³, tj. o około 11%. Udział użytków rębnych w użytkowaniu głównym zwiększy się z około 52% do około 61%.

Tabela 10. Możliwości użytkowania głównego w Lasach Państwowych w okresie prognozy

Lata prognozy	Powierzchnia (tys. ha)	Miąższość (mln m ³ grubizny brutto)	Możliwość użytkowania (na 10 lat) (mln m ³ grubizny brutto/netto/%)			Spodziewany bieżący przyrost miąższości; m ³ grubizny brutto (ha/rok)	Intensywność użytkowania głównego (% miąższości rocznie)
			rębne	przedrębne	główne razem		
2011–2020	7 072,4	1 772,5	209,1	195,6	404,7	7,9	2,28
			167,3	156,5	323,8		
			51,7	48,3	100,0		
2021–2030	7 112,4	1 930,7	255,1	205,8	460,9	7,9	2,39
			204,0	164,7	368,7		
			55,3	44,7	100,0		
2031–2040	7 152,4	2 035,3	294,0	214,4	508,4	7,7	2,50
			235,2	171,5	406,7		
			57,8	42,2	100,0		
2041–2050	7 182,4	2 082,0	325,0	217,1	542,1	7,6	2,61
			260,0	173,7	433,7		
			60,0	40,0	100,0		
2051–2060	7 212,4	2 083,4	340,5	215,6	556,1	7,6	2,67
			272,4	172,5	444,9		
			61,2	38,8	100,0		
2061–2070	7 424,4	2 073,2	340,2	217,1	557,3	7,6	2,69
			272,1	173,7	445,8		
			61,0	41,0	102,0		

Prognoza rozmiaru użytkowania głównego w lasach prywatnych

Do prognozowania wielkości użytkowania głównego w lasach prywatnych w latach 2011–2070 wykorzystano dane z wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasów wszystkich kategorii własności opracowane przez Zajączkowskiego przy przyjęciu tych samych założeń metodycznych (Opracowanie metodyki 2012).

Prognozowane możliwości użytkowania głównego w lasach prywatnych w okresie prognozy przedstawia tabela 11. W tabeli tej uwzględnione są także informacje dotyczące zmian powierzchni i miąższości lasów oraz spodziewany bieżący przyrost miąższości i wskaźniki intensywności użytkowania głównego. Zawarte w tabeli wielkości prognozowanego użytkowania rębного i przedrębного są następstwem głównie zmian struktury wiekowej oraz wzrostu powierzchni lasów. W okresie 60 lat powierzchnia lasów prywatnych wzrośnie o około 549 tys. ha, tj. o około 32%, natomiast zapas o około 280 mln m³, tj. o około 80%. Prognozowana wielkość rocznego użytkowania rębного brutto zwiększy się z 1,4 mln m³ do 7,4 mln m³, tj. o około 430%, a przedrębного z 3,5 mln m³ do 4,7 mln m³, tj. o około 35%. Udział użytków rębnych w użytkowaniu głównym zwiększy się z około 30% do ponad około 60%.

Tabela 11. Możliwości użytkowania głównego w lasach prywatnych w okresie 2011–2070

Lata prognozy	Powierzchnia (tys. ha)	Miąższość (mln m ³ grubizny brutto)	Możliwość użytkowania (na 10 lat) (mln m ³ grubizny brutto/netto/%)			Spodziewany bieżący przyrost miąższości (m ³ grubizny brutto/ha/rok)	Intensywność użytkowania głównego (% miąższości rocznie)
			rębne	przedrębne	główne razem		
2011–2020	1686,7	349,5	14,1	34,7	48,8	6,9	1,40
			11,2	27,8	39,0		
			28,9	71,1	100,0		
2021–2030	1835,7	421,6	24,8	36,3	61,1	6,5	1,45
			19,9	29,0	48,9		
			40,5	59,5	100,0		
2031–2040	1965,7	484,4	37,8	36,9	74,7	6,5	1,54
			30,2	29,6	59,8		
			50,6	49,4	100,0		
2041–2050	2075,7	540,9	52,8	39,3	92,1	6,5	1,70
			42,2	31,5	73,7		
			57,3	42,7	100,0		
2051–2060	2135,7	586,4	64,8	42,7	107,5	6,7	1,83
			51,8	34,2	86,0		
			60,3	39,7	100,0		
2061–2070	2235,7	626,6	74,0	46,8	120,8	6,7	1,93
			59,2	37,4	96,6		
			61,2	38,8	100,0		

Symulacja prognozowanego rozmiaru użytkowania w relacji do przyrostu

W celu określenia relacji prognozowanego użytkowania w stosunku do spodziewanego przyrostu przeliczono wartości przyrostu zamieszczone w tabelach 10 i 11 na całą powierzchnię. Wielkość przyrostu grubizny brutto i netto na rok, w Lasach Państwowych i prywatnych oraz łącznie, wyrażoną w mln m³, a także stosunek realizowanego użytkowania do przyrostu (%), zamieszczono w tabeli 12.

Tabela 12. Stosunek użytkowania do spodziewanego przyrostu w okresie prognozy

Okres prognozy	Prognozowany przyrost grubizny (mln m ³ /rok) brutto/netto			Stosunek użytkowania do przyrostu (%)	
	las państwowe	las prywatne	ogółem	las państwowe	las prywatne
2011–2020	55,9	11,6	67,5	72	42
	44,7	9,3	54,0		
2021–2030	56,2	11,9	68,1	82	51
	45,0	9,5	54,5		
2031–2040	55,1	12,7	67,8	92	59
	44,1	10,2	54,3		
2041–2050	54,6	13,5	68,1	99	68
	43,7	10,8	54,5		
2051–2060	54,8	14,5	69,3	102	74
	43,8	11,6	45,4		
2061–2070	55,0	15,0	70,0	101	81
	44,0	12,0	56,0		

Prognozowana dla poszczególnych okresów wielkość spodziewanego przyrostu rocznego w lasach PGLLP utrzyma się na podobnym poziomie co obecnie, tj. około 56 mln m³ grubizny brutto, a około 44 mln m³ grubizny netto. W lasach prywatnych prognozowany przyrost będzie wzrastać z około 11,6 mln m³ obecnie do około 15 mln m³ grubizny brutto w roku 2070. W związku z tym przyrost ogółem w lasach Polski wzrośnie z około 67,5 do około 70 mln m³ grubizny brutto rocznie.

Intensywność użytkowania wyrażona stosunkiem użytkowania do przyrostu (%), będzie w prognozowanym okresie rosła: na gruntach Lasów Państwowych z około 70% (2011–2020) do około 100% w końcu okresu prognozy, a w lasach prywatnych z około 40% do około 80%. Wzrost intensywności użytkowania jest konsekwencją zmian struktury wiekowej lasów w Polsce, a szczególnie lasów prywatnych.

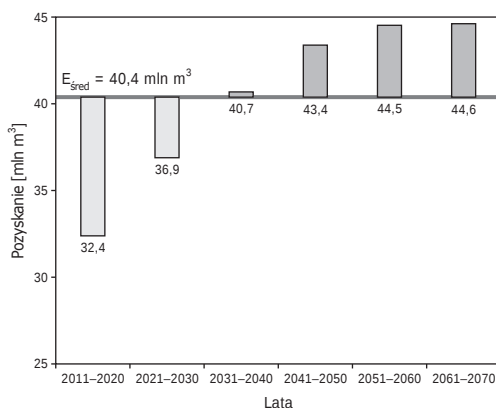
Prognoza rozmiaru użytkowania głównego w lasach PGLLP wg koncepcji drugiej

Koncepcja ta może być zastosowana tylko w lasach państwowych. Gospodarstwa prywatne są zbyt małe. Określając rozmiar użytkowania lasu, należy uwzględnić zarówno równomierność użytkowania, jak i jego intensyfikację. Przestrzeganie zasady równomierności jest istotne ze względu na potrzebę ciągłości dostaw surowca drzewnego. Równomierność użytkowania w dłuższym horyzoncie czasowym powinna być także zintegrowana z poprawą struktury wiekowej i gatunkowej lasów. Środkiem prowadzącym do spełnienia powyższych wymogów jest ustalenie wielkości średniego pozyskania na podstawie prognozowanego rozmiaru użytkowania w całym okresie 2011–2070 oraz określenie różnic między tą wielkością a rozmiarem prognozowanego pozyskania w poszczególnych okresach. W latach 2011–2020 i 2011–2030 prognozowane użytkowanie będzie mniejsze od wyliczonego średniego etatu odpowiednio o 8,0 mln m³ i 3,5 mln m³ rocznie. W pozostałych okresach prognozy wielkość użytkowania rocznego będzie większa od wyliczonej wartości średniej odpowiednio o 0,3 mln m³ (2031–2040), 3,0 mln m³ (2041–2050), 4,1 mln m³ (2051–2060) oraz 4,2 mln m³ (2061–2070).

W okresie 2010–2030, w konsekwencji przyjęcia tej koncepcji, w celu zrekompensowania niedoboru rozmiaru użytkowania, konieczne będzie wcześniejsze użytkowanie (przebudowa) drzewostanów młodszych, natomiast w okresie późniejszym konieczne będzie przetrzymanie odpowiedniej ilości drzewostanów na pniu. Wymaga to opracowania zasad szczegółowej klasyfikacji drzewostanów, uzasadniającej termin ich użytkowania (przebudowy), oraz określenie innych elementów czasowo-przestrzennych, dotyczących m.in. sposobu, pilności, kolejności, kryteriów naboru i intensywności cięć.

Skonkretyzowanie tej koncepcji będzie możliwe po szczegółowym rozpoznaniu obecnego stanu zasobów leśnych i mankamentów koncepcji pierwszej. Średni poziom użytkowania nie będzie obowiązujący dla całego okresu prognozy i powinien podlegać ciągłej modyfikacji stosownie do weryfikowanych na bieżąco prognoz możliwości użytkowania. Wariant ten umożliwia uwzględnianie dynamiki zmian w stanie lasów zachodzących pod wpływem realizacji zadań planowych oraz wymuszonych użytkowaniem przygodnym.

Realizacja użytkowania głównego w wysokości około 40 mln m³ grubizny netto rocznie (50 mln m³ brutto), równej wielkości średniego pozyskania przyjętego na podstawie prognozowanego rozmiaru cięć w latach 2011–2070, pozwoli na utrzymanie wskaźnika relacji



Ryc. 2. Prognoza wielkości użytkowania głównego (mln m³ netto rocznie) do 2070 roku (Dawidziuk 2012) oraz wielkość średnia dla zakładanego okresu prognozy

użytkowania do przyrostu na stałym poziomie około 90%. Podkreślić należy, że taki poziom użytkowania, utrzymujący się w długim horyzoncie czasowym spełni wymóg równomierność dostaw surowca, nie pogarszając ilościowego stanu zasobów, oraz przyczyni się do poprawy jego stanu jakościowego, m.in. struktury wiekowej, stabilności lasu i zwiększenia różnorodności biologicznej ekosystemów leśnych.

Literatura

- Borecki T., Dawidziuk J. 2011. Ocena rozwoju, produktywności, struktury i przeznaczenia zasobów leśnych. Zimowa Szkoła Leśna, Sesja III, Sękocin Stary, 17–19 marca 2009 r. Instytut Badawczy Leśnictwa.
- Borecki T., Stępień E. 2012. Metodyczne przesłanki strategii rozwoju zasobów leśnych w Polsce. Sylwan 12: 914–922.
- Dawidziuk J. 2012. Stan obecny oraz prognozy rozwoju i użytkowania zasobów leśnych. Zimowa Szkoła Leśna, Sesja I. Sękocin Stary, 17–19 marca 2009 r. Instytut Badawczy Leśnictwa.
- Dawidziuk J., 2012. Stan obecny zasobów leśnych oraz prognozy ich rozwoju i użytkowania. Zimowa Szkoła Leśna, Sesja IV. Sękocin Stary, 20–22 marca 2012 r.
- Główny Urząd Statystyczny. 2010. Leśnictwo. Informacje i opracowania statystyczne. Warszawa.
- Ministerstwo Środowiska. BULiGL 2010. Wielkoobszarowa inwentaryzacja stanu lasów (wyniki I cyklu, lata 2005–2009).
- PGL Lasy Państwowe. 2010a. Inwentaryzacja wielkoobszarowa lasów kraju wszystkich form własności (2005–2009). Warszawa.
- PGL Lasy Państwowe. 2010b. Wyniki aktualizacji stanu powierzchni i zasobów drzewnych w Lasach Państwowych na dzień 1 stycznia 2010 r. Warszawa.
- Zajączkowski S. 2010a. Zasoby drzewne Lasów Państwowych – stan obecny i perspektywy ich rozwoju. Biblioteczka Leśniczego, zeszyt 307. Warszawa, Wydawnictwo Świat.
- Zajączkowski S. 2010b. Opracowanie metodyki i prognozy rozwoju zasobów drzewnych oraz rozmiaru użytkowania głównego w PGL Lasy Państwowe w skali kraju i RDLP w okresie 2011–2071 – według dotychczasowych zasad regulacji. BULiGL, maszynopis.
- Zaleski J. 2011. Lasy i leśnictwo w roku 2030. W: Lasy Polski, Europy i Świata (red. A. Grzywacz). PTL: 5–16.

Wpływ sposobów zagospodarowania (odnowienia, pielęgnacji, użytkowania) na bilans węgla w lasach, potencjał sekwestracji i gromadzenia węgla

prof. dr hab. Bogdan BRZEZIECKI

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny

Wstęp

Problem zmian klimatu zachodzących pod wpływem działalności człowieka (spowodowanych wzmożoną emisją tzw. gazów cieplarnianych do atmosfery, pochodzących przede wszystkim ze spalania paliw kopalnych, tj. węgla, ropy i gazu) stał się w ostatnich czasach przedmiotem powszechnego zainteresowania, nie tylko specjalistów reprezentujących różne dziedziny nauki, gospodarki i świat polityki, ale również szerokich kręgów społecznych (Malmshiemer i in. 2008). Przyczynił się do tego m.in. obserwowany w ostatnich dziesięcioleciach wzrost częstotliwości różnego rodzaju anomalii pogodowych, takich jak huragany, powodzie, intensywne i długotrwałe susze, zanik lodowców i pokrywy śnieżnej w górach oraz na biegunach, wysychanie jezior i rzek itp. (por. Glick, Montaigne i Morell 2004). Przekonanie, że antropogeniczne zmiany klimatu są jednym z głównych czynników zagrażających człowiekowi i przyrodzie w skali globalnej, jest dzisiaj bardzo szeroko rozpowszechnione. Systematycznie rośnie też świadomość, że ludzkość musi jak najszybciej podjąć odpowiednie działania, których celem byłoby jeśli nie zahamowanie, to przynajmniej osłabienie tych niekorzystnych zjawisk i procesów.

W tym zakresie możliwe są dwa zasadnicze kierunki postępowania (Brzeziecki 2007; Malmshiemer i in. 2008; Candell, Raupach 2009; Köhl i in. 2010). Pierwszy z nich polega na ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych dzięki m.in. zastąpieniu energochłonnych technologii rozwiązaniami bardziej oszczędnymi oraz dzięki zwiększeniu produkcji energii ze źródeł odnawialnych. Drugi kierunek polega na usunięciu z atmosfery tych gazów szklarniowych, które już się w niej znalazły wskutek wcześniejszych i trwających aktualnie emisji, pochodzących z różnych źródeł.

W ramach obu tych kierunków szczególne miejsce zajmuje gospodarka leśna (Galiński 1995; Rykowski 1999; 2006; Brzeziecki 2007). Ta szczególna rola i znaczenie lasów

i gospodarki leśnej wynika stąd, że lasy mogą jednocześnie zapobiegać emisji gazów cieplarnianych i przyczyniać się do zmniejszenia ich ilości w atmosferze, a przy tym, równolegle i niejako przy okazji, wypełniać szereg ważnych funkcji środowiskowych i społecznych, takich jak ochrona gleb i wód, ochrona bogactwa przyrodniczego, rekreacja, produkcja surowca drzewnego na potrzeby gospodarki i wiele innych (Brzeziecki 2007; Malsheimer i in. 2008).

Adaptacja i mitygacja jako dwa aspekty zależności między zmianami klimatu i gospodarką leśną

Uwagi wstępne

W kontekście zmian klimatycznych, z punktu widzenia gospodarki leśnej, można wyróżnić dwa główne obszary problemowe (Malsheimer i in. 2008): 1) problem mitygacji, która polega na wykorzystaniu lasów oraz produkowanego w lasach surowca drzewnego do sekwestracji (magazynowania) węgla i do produkcji tzw. bioenergii (co związane jest z ograniczaniem emisji węgla do atmosfery), oraz 2) problem adaptacji, obejmującej przedsięwzięcia ukierunkowane na zachowanie zdrowia, odporności i vitalności ekosystemów leśnych w obliczu zmian klimatycznych i środowiskowych. W tym drugim obszarze mieszczą się działania mające na celu podniesienie odporności (rezystencji) drzewostanów na oddziaływanie szkodliwych owadów leśnych, chorób i pożarów oraz środki i metody pozwalające na zwiększenie rezyliencji ekosystemów leśnych, czyli zdolności do odbudowy i regeneracji po wystąpieniu wszelkiego rodzaju zaburzeń i katastrof. Potencjalnie istotnym, chociaż niewątpliwie na razie kontrowersyjnym, kierunkiem działań z zakresu adaptacji jest także wspomagana migracja (Leach, Almuedo i O'Neill 2011), polegająca na świadomym ułatwianiu przemieszczania się w przestrzeni geograficznej gatunków i pochodzeń lepiej zaadaptowanych (także poza zasięgiem ich „naturalnego” występowania), a także na zwiększaniu różnorodności genetycznej, gatunkowej oraz na tworzeniu refugium dla zagrożonych gatunków i ich proveniencji.

Tradycyjny priorytet hodowli lasu, czyli kształtowanie lasów zdolnych do wypełniania jednocześnie funkcji produkcyjnych oraz zadań ochronnych (w stosunku do wody, gleby, różnorodności biologicznej), a przy tym odznaczających się dużymi walorami estetycznymi, jest w dużym stopniu kompatybilny z funkcją sekwestracji węgla i redukcji zawartości gazów szklarniowych w atmosferze. Wszystkie etapy działań hodowlanych, poczynając od wyboru sposobu zagospodarowania lasu (zrębowy, przerębowy lub pośredni), poprzez wybór składu gatunkowego drzewostanu, strategii postępowania z pozostałościami zrębowymi, sposób przygotowania gleby, sposób wykonania trzebieży, na długości cyklu produkcyjnego kończąc, mogą być bowiem modyfikowane w taki sposób, aby zwiększyć ilość węgla zmagazynowanego w drewnie i ograniczyć wielkość jego emisji przez las. Największe efekty w tym zakresie można uzyskać w wyniku zalesienia różnych kategorii terenów dotychczas nie pokrytych lasem, ponieważ lasy

stanowią najbardziej efektywny, z punktu widzenia sekwestracji węgla i jego magazynowania, typ użytkowania ziemi.

Ze względu na zakres niniejszego opracowania, jego dalsza część dotyczy przede wszystkim problemu mitygacji. Jak jednak będzie można łatwo zauważyć, znaczna część działań z zakresu leśnictwa, ukierunkowana na mitygację zmian klimatycznych, wpływa, bezpośrednio lub pośrednio, na zdolności adaptacyjne lasów w stosunku do prognozowanych zmian klimatu.

Efekt mitygacji zmian klimatycznych, poprzez działania wchodzące w zakres gospodarki leśnej, można osiągnąć na dwa sposoby, które skrótowo dają się ująć jako prewencja i redukcja.

Funkcja prewencyjna

W stosunku do zmian klimatycznych lasy i leśnictwo mogą odegrać przede wszystkim rolę prewencyjną (zapobiegawczą). Rola ta polega na zapobieganiu emisji gazów cieplarnianych, m.in. dzięki *zastąpieniu* produktów, przy wytwarzaniu których potrzebne są duże ilości energii pozyskiwanej w wyniku spalania paliw kopalnych, produktami z drewna, które może być produkowane w sposób ciągły w ramach trwale zrównoważonej gospodarki leśnej, gwarantującej ciągłość istnienia lasów i pełnionych przez nie funkcji produkcyjnej, a jednocześnie dbającej o realizację innych ważnych funkcji ekosystemów leśnych, takich jak ochrona wód, powietrza, bioróżnorodności, czy zdolność do zaspokajania potrzeb społecznych w zakresie turystyki i rekreacji. Wyniki analizy cykliw życiowych produktów wskazują jednoznacznie, że drewno konstrukcyjne, płyty i panele oraz inne produkty leśne magazynują więcej węgla i wymagają zużycia mniejszej ilości energii produkowanej z surowców kopalnych, a ich użytkowanie wytwarza mniejszą ilość gazów cieplarnianych niż stal, cement, cegła czy winyl, których produkcja jest bardziej energochłonna i generuje większe ilości zanieczyszczeń (Malmsheimer i in. 2008).

W ramach funkcji prewencyjnej mieści się także *zastąpienie* energii produkowanej ze źródeł kopalnych energią pochodzącą ze spalania dendromasy. Możliwe są tu dwie opcje. Pierwsza z nich polega na wykorzystaniu wszelkiego rodzaju *pozostałości zrębowych* do produkcji energii, zamiast gromadzenia ich w lesie i dopuszczenia do naturalnego rozkładu lub ich utylizacji poprzez otwarte spalanie na powierzchniach zrębowych. Druga opcja polega na zastępowaniu paliw kopalnych, takich jak węgiel, gaz, ropa naftowa, dendromasą produkowaną specjalnie w tym celu w ramach tzw. plantacji energetycznych. Technologii, które mogą być zastosowane w celu produkcji energii z drewna jest wiele: bezpośrednie spalanie, hydroliza i fermentacja, piroliza, gazyfikacja, produkcja peletów i brykietów. Energia produkowana z drewna może być wykorzystana w gospodarstwach domowych, do ogrzewania lub chłodzenia pomieszczeń, do produkcji energii elektrycznej, w transporcie.

Przykładowo, w Stanach Zjednoczonych tworzone są programy federalne mające na celu wspieranie produkcji etanolu z celulozy (Malmsheimer i in. 2008). Zastąpienie paliw kopalnych biomasą pozwala na znaczące obniżenie emisji gazów szklarniowych:

zastąpienie 1 BTU¹ ropy naftowej równoważną ilością etanolu wyprodukowanego z celulozy pozwala zredukować całkowitą wielkość emisji gazów szklarniowych (CO₂, metan, tlenki azotu) o 90,9%. Biomasa, która można wykorzystać do produkcji etanolu, jest dostępna z różnych źródeł: pozostałości i odpadów zrębowych, drewna opałowego, odpadów powstających w przemyśle drzewnym, odpadów powstających w gospodarstwach domowych. Potencjalnym źródłem biomasy na cele energetyczne są także planacje drzew szybkorosnących, takich jak topole, wierzby, brzozy, olsze i sosny.

W ramach funkcji prewencyjnej mieszczą się także wszelkie działania, które prowadzą do obniżenia ryzyka wystąpienia różnego rodzaju zaburzeń i zakłóceń w ekosystemach leśnych, z pożarami na czele. Następstwem tego rodzaju zdarzeń jest z reguły wzmożona emisja gazów szklarniowych do atmosfery. Przy tym warto pokreślić, że zdecydowana większość prognoz dotyczących przyszłych zmian klimatycznych przewiduje wzrost częstotliwości występowania różnego rodzaju zdarzeń ekstremalnych, w tym pożarów. Odpowiednie programy i strategie w zakresie ochrony przeciwpożarowej mogą zapewnić znaczącą redukcję emisji CO₂, a przy tym przyczynić się do zachowania zdolności lasów do pełnienia funkcji związanych z ochroną leśnej bioróżnorodności, turystyką i rekreacją oraz produkcją drewna (Malsheimer i in. 2008).

Ważnym kierunkiem działań mieszczącym się w zakresie funkcji prewencyjnej jest niedopuszczanie do zamiany terenów leśnych w nieleśne. Lasy magazynują znacznie większe ilości węgla niż tereny rolnicze czy zurbanizowane. W latach 1850–1998, w skali globalnej, wylesienia spowodowały uwolnienie do atmosfery 136 miliardów ton węgla, co stanowi 33% całkowitej emisji w tym okresie. Stawia to wylesienia na drugim miejscu, po produkcji energii, na liście obejmującej wszystkie antropogeniczne przyczyny zwiększenia koncentracji gazów szklarniowych w atmosferze (Malsheimer i in. 2008).

Funkcja redukcyjna

Poza funkcją prewencyjną, bardzo istotna jest także funkcja redukcyjna lasów w stosunku do gazów szklarniowych już znajdujących się w atmosferze (chodzi tu przede wszystkim o dwutlenek węgla). Funkcja ta jest możliwa dzięki zjawisku sekwestracji (pochłaniania) węgla atmosferycznego i „uwięzienia” go w biomasie i w glebie, ale także we wszelkiego rodzaju materiałach i przedmiotach wyprodukowanych z drewna pozyskanego w lesie. Ze względu na dużą powierzchnię lasów, nawet niewielki wzrost wielkości sekwestrowanego i zmagazynowanego węgla na jednostce powierzchni składa się na znaczącą wielkość sumaryczną (Malsheimer i in. 2008).

Wielkość sekwestracji węgla przez drzewostany – w glebie, w ściółce, w drzewach martwych (leżących i stojących), a także w pniach, w gałęziach i w aparacie asymilacyjnym drzew żywych – jest przede wszystkim funkcją (naturalnej) produktywności (bonitacji) siedliska. Wszystkie typy lasów, bez względu na aktualny wiek, mogą wią-

¹ BTU – British Thermal Unit – jednostka energii używana głównie w Stanach Zjednoczonych. 1 BTU – ilość energii potrzebna do podniesienia temperatury jednego funta wody o jeden stopień Fahrenheita.

zać i magazynować węgiel, ale szczególną rolę mają drzewostany mieszane i różnowiekowe, ze względu na z reguły dużą sumaryczną powierzchnię aparatów asymilacyjnych drzew.

Zapewnienie odpowiednio wysokiego poziomu sekwestracji węgla w lasach wymaga w pierwszym rzędzie zachowania optymalnego zadrzewienia drzewostanów, dbania o dobry stan sanitarny lasu, ochrony naturalnej struktury gleby, a także minimalizacji różnego rodzaju strat wywołanych zamieraniem drzew, pożarami, działalnością owadów i chorobami. Gospodarka leśna, polegająca na rozważnym kontrolowaniu rozwoju drzewostanów i przemysłanej regulacji zagęszczenia drzew, może zapewnić ciągłą dostawę społecznie użytecznych produktów i dóbr o charakterze odnawialnym, przede wszystkim drewna wykorzystywanego na potrzeby konstrukcyjne, do produkcji płyt, paneli, papieru i energii, a jednocześnie przyczynić się do zachowania zdolności lasów do sekwestracji węgla w sposób trwały. Wzmocnienie roli redukcyjnej lasów w stosunku do gazów szklarniowych wymaga przede wszystkim zachowania trwałości istnienia lasów, w miarę możliwości zwiększając ich powierzchnię poprzez zalesianie gruntów porolnych i terenów zdegradowanych, np. w wyniku działalności przemysłu.

Pozyskiwanie surowca drzewnego w lasach wpływa na czasowe zmniejszenie ilości węgla zawartego w ekosystemie leśnym, co wynika z faktu usunięcia pewnej części materii organicznej. Zdecydowana większość tego węgla nie trafia jednak bezpośrednio do atmosfery, ale pozostaje nadal nieaktywna w odniesieniu do efektu cieplarnianego, wchodząc w skład różnych produktów wytworzonych z pozyskanego w lesie surowca drzewnego. Przykładowo, w przypadku drewna wykorzystanego na potrzeby konstrukcyjne lub do produkcji mebli, długość retencji węgla może wynosić dziesiątki lat; w przypadku drewna użytego do produkcji papieru czas ten jest z reguły krótszy.

Ze względu na zmiany klimatu korzyści związane z zastosowaniem drewna do wyrobu różnego rodzaju produktów potrzebnych człowiekowi wynikają z połączenia dwóch efektów: 1) magazynowania węgla w krótszym lub dłuższym czasie, oraz 2) substytucji w stosunku do innych materiałów, których wytworzenie jest bardziej energochłonne i wiąże się z większym poziomem emisji węgla. Zwłaszcza ten drugi efekt – możliwość ograniczenia wykorzystania energii pochodzącej z paliw kopalnych – powoduje, że produkty z drewna stanowią szczególnie interesującą i ważną pulę węgla.

Mitygacja – perspektywa globalna

Potencjalną rolę lasów w mitygacji zmian klimatycznych, z uwzględnieniem perspektywy globalnej, przedstawiają w syntetyczny sposób, na podstawie obszernego przeglądu literatury, Canadell i Raupach (2008). Jak podkreślają wspomniani autorzy, ekosystemy leśne stanowią ważny element globalnego cyklu węgla. Po pierwsze, ekosystemy lądowe, w tym głównie lasy, wiążą rocznie 3 miliardy ton węgla (3 Pg/rok)² pochodzenia antropogenicznego (asymilacja netto), czyli 30% całkowitej emisji CO_2 , powstającej ze spalania paliw kopalnych oraz będącej wynikiem procesów wylesieniowych (deforesta-

² 1 Pg = 1 petagram = 10^{12} kg = 10^{15} g.

cji). Po drugie, 4 miliardy hektarów lasów (4×10^3 mln ha, tj. 30% ogólnej powierzchni lądów) magazynuje ogromną ilość węgla, ponad dwukrotnie przekraczającą ilość węgla znajdującego się w atmosferze.

Jak zauważają Canadell i Raupach (2008), chociaż ochronna rola lasów względem klimatu nie budzi wątpliwości, to niełatwo jest określić, jak należałoby postępować, aby zahamować tempo wzrostu CO_2 w atmosferze i jaki jest globalny potencjał lasów w tym zakresie. Jako pierwsze przybliżenie maksymalnej puli węgla, jaka mogłaby być ponownie związana przez ekosystemy lądowe, można przyjąć tę ilość węgla, która została wyemitowana do atmosfery w wyniku przekształceń form użytkowania ziemi w czasach historycznych, tj. głównie w wyniku zamiany terenów leśnych na nieleśne. Wielkość tą szacuje się na 200 Pg C (Canadell i Raupach 2008). Zakładając, że trzy czwarte tej puli (150 Pg C) było wynikiem wylesień i że podobna wielkość mogłaby być ponownie związana w ekosystemach leśnych w ciągu najbliższych 100 lat na drodze odwrotnego procesu, tj. poprzez zalesienia, można oszacować, że w skali globalnej potencjał sekwestracji węgla wynosi 1,5 Pg/rok. Zrealizowanie tego (mocno hipotetycznego) scenariusza doprowadziłoby do zredukowania koncentracji CO_2 w atmosferze do poziomu 40–70 ppm do roku 2100. Rzeczywisty potencjał sekwestracji węgla przez lasy stanowi tylko ułamek (trudny do oszacowania) tej teoretycznej wielkości, przede wszystkim ze względu na użytkowanie ziemi w innych formach, takich jak rolnictwo, produkcja bioenergii, urbanizacja i infrastruktura, ochrona przyrody, oraz z uwagi na różnego rodzaju ograniczenia społeczne i kulturowe.

W zakresie mitygacji zmian klimatycznych z wykorzystaniem lasów możliwe są cztery globalne strategie (możliwe kierunki działań): 1) zwiększanie ogólnej powierzchni lasów poprzez zalesienia; 2) zwiększanie gęstości węgla w już istniejących lasach, zarówno w skali pojedynczego drzewostanu, jak i w skali krajobrazu; 3) zwiększenie wykorzystania produktów z drewna, pełniących rolę substytucyjną w stosunku do bardziej energochłonnych materiałów (przy wytwarzaniu których zużywa się duże ilości energii pochodzącej ze spalania paliw kopalnych); 4) zmniejszenie emisji węgla powodowanej wylesieniami i degradacją lasów (Canadell i Raupach 2008).

Z analiz zakładających różne ceny jednej tony CO_2 wynika, że do roku 2100 na drodze **zalesień** można by uzyskać efekt wiązania węgla w wysokości od 0,16 do 1,1 Pg/rok. Uzyskanie maksymalnych efektów w tym zakresie wymagałoby zalesienia nawet 231 mln ha gruntów. Z szacunków wykonanych przez IPCC (za Canadell i Raupach 2008) wynika, że efekt wiązania węgla w wysokości 0,12 Pg/rok w okresie do 2030 roku można uzyskać przy założeniu, że tona CO_2 kosztowałaby 20 \$, oraz więcej niż 0,24 Pg/rok, przy cenie wynoszącej 100 \$ za jedną tonę CO_2 . Powierzchnia potrzebna do zalesień powinna być bardzo duża. Przykładowo, Od początku lat 80. XX w. w Chinach wprowadzono lasy na drodze zalesień lub sukcesji naturalnej na powierzchni 24 mln ha, co pozwoliło na odwrócenie trwającego całe stulecie negatywnego trendu w zakresie emisji CO_2 i uzyskanie pozytywnego efektu wiązania węgla netto w wysokości 0,19 Pg/rok. Wielkość ta stanowi 21% chińskiej emisji węgla ze spalania paliw kopalnych w 2000 r.

Sekwestrację węgla netto można także uzyskać zwiększając gęstość węgla, zarówno w skali pojedynczego drzewostanu, jak i w skali krajobrazu, wdrażając odpowiednie

sposoby i strategię zagospodarowania lasów, takie jak wydłużanie cyklu produkcyjnego czy też bardziej skuteczna ochrona lasów przed różnego rodzaju zaburzeniami. Przykładowo, zwiększenie poziomu ochrony przeciwpożarowej oraz zmniejszenie użytkowania, co miało miejsce w USA w XX wieku, jakkolwiek uwarunkowane innymi czynnikami, spowodowało przyrost zasobów leśnych w okresie 1927–1990 w wysokości 15% (8,1 Pg C). Jak oceniają Canadell i Raupach (2008), ogólny biofizyczny potencjał sposobów zagospodarowania lasów w zakresie zwiększenia gęstości węgla jest znaczny i porównywalny z zalesieniami.

Optymalizację wkładu gospodarki leśnej w mitygację zmian klimatycznych zapewnia, jak podkreślają Canadell i Raupach (2008), połączenie działań mających na celu zwiększoną sekwestrację węgla w lasach oraz zwiększone zużycie drewna jako surowca i źródła bioenergii. Taka strategia jest szczególnie atrakcyjna w strefie umiarkowanej, w której ceny ziemi są wysokie, co bardzo ogranicza możliwość zalesień. Chociaż rola takich działań jest ograniczona (z powodu problemów związanych z ilościową oceną uzyskanych efektów w zakresie wiązania węgla) z punktu widzenia globalnych rynków węgla, to w narodowych strategiach mitygacji zmian klimatycznych, zwłaszcza gdy będą im towarzyszyć inne przedsięwzięcia i inicjatywy polityczne, może być znaczna. Przykładowo, działania mające na celu bardziej skuteczną ochronę przeciwpożarową lasów, polegające na usuwaniu dolnych warstw drzewostanów oraz wykonywaniu trzebieży, mogą być ważnym elementem programów wspierających produkcję bioenergii ze źródeł odnawialnych.

Ostatnim, z perspektywy globalnej, kierunkiem działań jest zmniejszenie tempa procesów wylesieniowych. Obecnie, w skali globu wylesia się 13 mln ha rocznie, przy czym dzieje się to prawie wyłącznie w lasach tropikalnych. Powoduje to emisję węgla netto w wysokości 1,5 Pg/rok (Canadell i Raupach 2008). Zmniejszenie tempa wylesień o 50% do roku 2050 oraz zatrzymanie wylesień w momencie, gdy powierzchnia leśna w danym kraju spadnie do 50% aktualnej wielkości, pozwoliłoby uniknąć emisji odpowiadającej 50 Pg. Z tej „50 : 50 : 50 : 50” oceny wynika, że nawet jeżeli proces wylesień będzie kontynuowany w ciągu najbliższych 40 lat, to potencjał mitygacyjny lasów jest duży, jako uzupełnienie działań zmierzających do zachowania, w sposób trwały, zdolności wiązania węgla przez lasy.

Połączenie wszystkich możliwych kierunków w ramach gospodarki leśnej mogłoby w perspektywie do roku 2030 r. zapewnić sekwestrację węgla na poziomie 0,4 Pg/rok przy cenie 20 \$ za tonę węgla oraz podwoić ten poziom przy cenie około 100 \$ za tonę CO₂. Taki poziom sekwestracji węgla, w którym 1/3 do 1/2 byłaby efektem zmniejszenia wylesień, stanowiłby odpowiednik 2–4% emisji prognozowanych do roku 2030 (20 Pg/rok). Znaczący udział (65%) w uzyskaniu tego efektu miałyby lasy tropikalne.

Trzeba jednak podkreślić, że mitygacja zmian klimatycznych poprzez działania z zakresu leśnictwa wiąże się z ryzykiem powrotu węgla zmagazynowanego w ekosystemach leśnych do atmosfery w wyniku różnego rodzaju zaburzeń, takich jak pożary czy gradacje owadów. Prawdopodobieństwo takich zdarzeń zwiększa się w obliczu zmian klimatycznych i przewidywanego wzrostu częstotliwości burz, wiatrów czy susz o charakterze ekstremalnym. Przykładowo, w przypadku Kanady wzrost powierzchni

lasów dotkniętych pożarami i gradacjami owadów, obserwowany w ostatnim okresie, spowodował, że leśnictwo kanadyjskie z roli pochłaniacza węgla (do roku 2000) zamieniło się w emitenta węgla netto. Sytuacja ta ma się nie zmienić w okresie najbliższych dwóch do trzech dziesiętności lat. Podobnie, wzrost zasobności lasów w zachodniej części Stanów Zjednoczonych, spowodowany skuteczną ochroną przeciwpożarową oraz będący wynikiem zmniejszenia użytkowania, spowodował, że stopień zagrożenia tych lasów pożarami jest obecnie 4 razy większy niż kiedyś. Dodatkowo, na podwyższone niebezpieczeństwo wystąpienia pożarów wpływa fakt wydłużenia okresów występowania podwyższonych temperatur w sezonie wegetacyjnym. Obserwowany obecnie i przewidywany dalszy wzrost zagrożenia lasów ze strony różnego rodzaju zaburzeń i katastrof powoduje konieczność rewizji poglądu, że nieprzebrane zasoby leśne zawsze i wszędzie będą mogły pełnić główną rolę w mitygacji zmian klimatycznych.

Podsumowując, szacunki dotyczące ilości pochłanianego węgla i stabilności jego puli zmagazynowanej w ekosystemach lądowych są obciążone dużą niepewnością. Z większości globalnych modeli klimatyczno-węglowych wynika, że w ciągu najbliższego stulecia ilość węgla związanego w biomasie będzie rosła, głównie dzięki zwiększonej koncentracji CO₂ w powietrzu. Tym niemniej, jak już stwierdzono, oceny w tym zakresie cechują się dużą niepewnością, a ponadto na dużych obszarach może nastąpić uwolnienie setek Pg C do końca bieżącego stulecia. Do obszarów tych należą bagienne lasy na glebach torfowych (*peat swamp forests*) w południowo-wschodniej Azji, dla których wszystkie modele zgodnie przewidują osuszenie. Jest to skądinąd dodatkowy argument za potrzebą ochrony klimatu (Canadell i Raupach 2008).

Chociaż sekwestracja węgla przez lasy jest zjawiskiem pozytywnym ze względu na zmiany klimatyczne, to trzeba zauważyć, że lasy, jako formacja roślinna, zmieniają parametry powierzchni ziemi, takie jak albedo oraz ewaporacja. Zmiany te nie są dla klimatu obojętne. Z modeli klimatycznych wynika, że wielkopowierzchniowe zalesienia w regionach borealnych mogą mieć zarówno pozytywny, jak i negatywny skutek dla klimatu, ponieważ ich skutkiem będzie zastąpienie jasnych, pokrytych śniegiem terenów ciemną powierzchnią lasów, w większym stopniu pochłaniającą promieniowanie słoneczne. Na odwrót, wzrost lesistości w strefie lasów tropikalnych wywołuje pozytywne sprzężenia i mechanizmy biofizyczne w postaci lepiej rozwiniętej warstwy chmur, odbijającej promienie Słońca. Tego rodzaju zależności jeszcze bardziej podkreślają znaczenie regionów tropikalnych w mitygacji zmian klimatycznych i wskazują na ujemne strony znaczących zmian form użytkowania ziemi w regionach borealnych oraz przekształceń albedo w rejonach umiarkowanych.

Leśnictwo, a szczególnie duże programy zalesieniowe, jak wszystkie inne wielkopowierzchniowe zmiany form użytkowania ziemi, mogą spowodować niepożądane efekty środowiskowe i socjoekonomiczne, które postawią pod znakiem zapytania oczekiwane korzyści w zakresie mitygacji zmian klimatu. Chodzi o takie skutki uboczne, jak zmniejszenie bezpieczeństwa żywnościowego, zmniejszenie przepływów wód w ciekach wodnych, zmniejszenie różnorodności biologicznej i spadek dochodów lokalnych społeczności. Z drugiej strony, dobrze przemyślane projekty sekwestracji węgla, pod warunkiem zapewnienia trwałości funkcji produkcyjnej lasów (surowiec drzewny, bioenergia), mogą skutkować licznymi korzyściami w postaci zwiększonych dochodów

ludności zamieszkującej tereny wiejskie, wzrostu walorów przyrodniczych i środowiskowych itp. Podstawą rozwiązywania ewentualnych problemów związanych z zalesieniami powinna być zasada trwałego i zrównoważonego rozwoju.

Jak podkreślają w podsumowaniu Canadell i Raupach (2008), potencjał sekwestracji węgla będzie zależał od tego, w jakim stopniu uda się pogodzić potrzebę ochrony klimatu z innymi korzyściami. Na wielkość tego potencjału znaczący wpływ mają wysokie ceny dwutlenku węgla, windowane przez ambitne cele w zakresie redukcji emisji, a także istnienie lub brak woli politycznej w zakresie włączenia gospodarki leśnej do programów mitygacyjnych. Z perspektywy globalnej niezbędne jest trwałe włączenie do tych programów lasów tropikalnych po to, aby można było w pełni wykorzystać potencjał mitygacyjny lasów w stosunku do zmian klimatycznych.

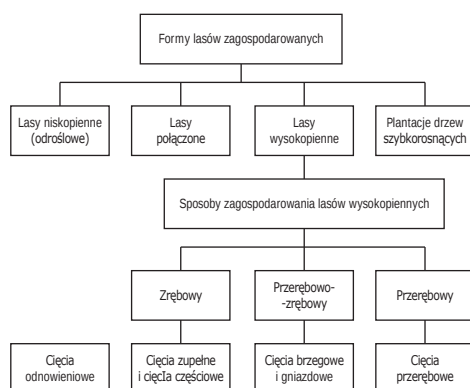
Problem mitygacji zmian klimatycznych z perspektywy leśnictwa środkowoeuropejskiego

Sposoby zagospodarowania lasów środkowoeuropejskich i ich ogólna charakterystyka

Biorąc pod uwagę rolę człowieka w kształtowaniu i funkcjonowaniu lasów występujących w warunkach środkowej Europy, można je podzielić na dwie zasadnicze kategorie. Pierwszą kategorię stanowią lasy naturalne, wyłączone spod bezpośredniego wpływu człowieka, nie użytkowane, co oznacza, że cała produkcja biologiczna (w tym drewno) pozostaje w nich na miejscu i ulega stopniowemu, naturalnemu rozkładowi. Drugą kategorię, powierzchniowo zdecydowanie dominującą, stanowią lasy zagospodarowane (użytkowane). Rozwój tych lasów odbywa się pod kontrolą człowieka, który dąży do tego, aby tak ukształtować skład gatunkowy i szeroko pojętą strukturę tych lasów, aby były one w stanie w maksymalnym stopniu zaspokajać różne potrzeby i oczekiwania społeczne (Jaworski 2011).

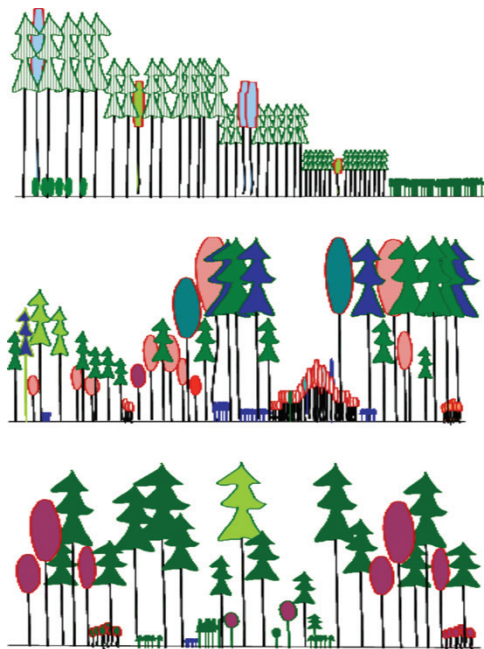
Różnorodność postaci i form użytkowania lasów zagospodarowanych przedstawiono na rycinie 1.

Zdecydowana większość drzewostanów występujących w naszym kraju obecnie reprezentuje lasy wysokopienne, charakteryzujące się tym, że większość drzew w nich występujących jest pochodzenia generatywnego (powstała z nasion) i została wprowadzona sztucznie (sadzenie, siew) lub powstała naturalnie (w wyniku inicjowanego i kierowanego przez człowieka lub spontanicznego sa-



Ryc. 1. Zróżnicowanie form i sposobów zagospodarowania lasów, ze szczególnym uwzględnieniem warunków środkowoeuropejskich (oryg.)

mosiewu). Obecnie wyróżnia się trzy główne sposoby zagospodarowania³ lasów wysokopiennych: sposób zrębowy, przerębowo-zrębowy i przerębowy (ryc. 2).



Ryc. 2. Budowa i zróżnicowanie strukturalne oraz gatunkowe drzewostanów zagospodarowanych w sposób (od góry): zrębowy, przerębowo-zrębowy i przerębowy (oryg.)

W przypadku zrębowego sposobu zagospodarowania starodrzew ulega stosunkowo szybkiej likwidacji w wyniku jednego lub kilku cięć, drzewostany mają budowę jedno- lub dwupiętrową i jedno- lub dwuwiekową strukturę oraz charakteryzują się zwarcie poziomym. Użytkowanie, odnowienie i pielęgnowanie są rozdzielone w czasie i w przestrzeni, odnowienie (zazwyczaj sztuczne, chociaż nie musi to być regułą) następuje w ciągu krótkiego czasu.

W przypadku zagospodarowania zrębowo-przerębowego drzewostan rębny usuwa się powoli, w ciągu długiego lub bardzo długiego okresu odnowienia drzewostany są przynajmniej okresowo wielopiętrowe i mniej lub bardziej różnowiekowe, wykorzystuje się w nich wiele lat nasiennych, w okresie odnowienia brak jest klas średnich, a po zakończeniu odnowienia brak jest klas starszych.

Sposób przerębowy charakteryzuje to, że nigdy nie wycina się na danej powierzchni lasu wszystkich drzew dojrzających do wycięcia, drzewostan zachowuje trwale zróżnicowaną strukturę wiekową i wymiarową (wysokościową, grubościową), zwarcie jest pionowe lub schodkowe, użytkowanie, odnowienie i pielęgnowanie stanowią jeden zabieg hodowlany, proces odnowienia zachodzi w sposób ciągły (wykorzystywane są wszystkie lata nasienne).

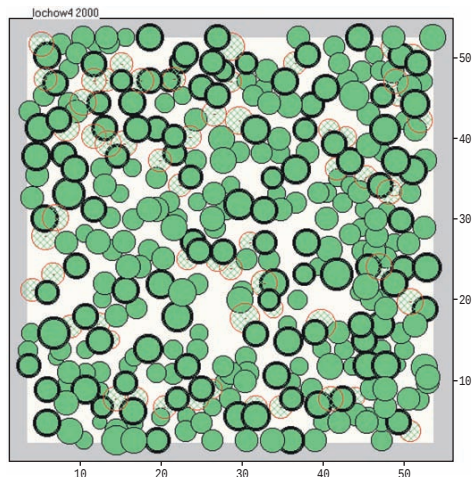
Zdecydowana większość drzewostanów występujących w naszym kraju jest zagospodarowana sposobem zrębowym, z wykorzystaniem dwóch zasadniczych rodzajów cięć odnowieniowych (pełnych i częściowych oraz ich kombinacji). Charakterystyczną cechą sposobu zrębowego jest to, że wszelkie czynności z zakresu odnowienia i pielęgnowania lasu rozdzielone są w przestrzeni i w czasie. Przez większość część cyklu życiowego drzewostanu wykonywane są w nim różnego rodzaju zabiegi pielęgnacyjne. Obejmują one przede wszystkim czyszczenia wczesne i późne (na etapie uprawy i młodnika) oraz trzebieże wczesne (w okresie tyczkowiny i drągowiny) i późne (w fazie drzewostanu dojrzewającego). Drzewostan, po zakończeniu w nim cięć pielęgnacyjnych,

³ Pod pojęciem sposobu zagospodarowania lasu rozumie się całokształt czynności gospodarczych z zakresu użytkowania, odnowienia i pielęgnowania, wykonywanych w ciągu całego cyklu produkcyjnego drzewostanu (Jaworski 2011).

wchodzi z reguły w okres tzw. ciszy (w tym czasie wykonywane są tylko ewentualne cięcia o charakterze sanitarnym), a po osiągnięciu dojrzałości rębnej rozpoczynają się w nim cięcia odnowieniowe.

Zgodnie z obowiązującymi aktualnie „Zasadami hodowli lasu” (2011), przy prowadzeniu cięć pielęgnacyjnych należy kierować się nadrzędną zasadą selekcji. W okresie uprawy i młodnika jest to selekcja negatywna, która wyraża się w dążeniu do ograniczenia i eliminacji występowania wszystkich niepożądanych (z hodowanego punktu widzenia) składników i elementów drzewostanu. W późniejszym okresie (w fazie wykonywania trzebieży) obowiązuje selekcja pozytywna, polegająca na tym, że najpierw wybiera się te wszystkie składniki drzewostanu, które z takich, czy innych względów uważa się za najbardziej wartościowe i warte popierania (drzewa dorodne), a następnie eliminuje z dalszego życia drzewostanu te elementy, które przeszkadzają w prawidłowym rozwoju elementów poświadanych, gwarantujących zachowanie wielofunkcyjnego charakteru drzewostanu (ryc. 3).

Sposób przerębowo-zrębowy oraz przerębowy spotyka się w warunkach polskich lasów znacznie rzadziej, najczęściej jest stosowany w odniesieniu do drzewostanów górskich i wyżynnych. Trzeba jednak podkreślić, że wszystkie omawiane tu metody zagospodarowania lasu mogą i są w praktyce modyfikowane na wiele różnych sposobów, co sprawia, że różnice między nimi ulegają niejednokrotnie zatarciu. Przykładowo, nawet w przypadku rębni zupełnej, po odpowiednich modyfikacjach, można uzyskać takie efekty, jakich oczekuje się w przypadku rębni złożonej (Brzeziecki, Uścian-Szaciłowski 2007, ryc. 4).



Ryc. 3. Graficzna ilustracja zasad trzebieży selekcyjnej obowiązującej w polskich lasach (por. ZHL 2011): czarna obwódka – drzewa dorodne; czerwona obwódka, zakreskowane – drzewa przeszkadzające w prawidłowym rozwoju drzew dorodnych; pozostałe – drzewa pożyteczne (oryg.)



Ryc. 4. Efekty modyfikacji rębni zupełnej polegającej na pozostawianiu wybranych elementów odnawianego drzewostanu – grup i kęp drzew dojrzałych, wartościowych płatów podrostów i nalotów powstałych pod okapem drzewostanu macierzystego, drzew gatunków domieszkowych i biocenotycznych itp. (fot.: autor)

Główne kierunki działań mitygacyjnych w warunkach leśnictwa środkowoeuropejskiego i ich ogólna charakterystyka

ZALESIENIA JAKO DZIAŁANIA ZWIĘKSZAJĄCE POCHŁANIANIE WĘGLA PRZEZ LASY

Teoretycznie, najprostszą i najbardziej efektywną opcją pozwalającą na zwiększenie tempa sekwestracji węgla przez lasy ogółem jest zamiana gruntów nieleśnych (grunty porolne, nieużytki przemysłowe) na tereny zalesione. Ponieważ duża część CO_2 wyemitowana do atmosfery w ostatnich kilkudziesięciu latach jest efektem wylesień dokonanych w różnych regionach kuli ziemskiej (głównie lasów tropikalnych), to efekt odwrotny można uzyskać przeprowadzając zalesienia terenów nieleśnych, niekoniecznie tych samych obszarów. Zalesienie gruntów, które dotychczas były użytkowane rolniczo (pola, łąki), prowadzi do usunięcia dodatkowej ilości węgla z atmosfery i jego akumulacji, zarówno w żywej biomasie (nadziemnej i podziemnej) zbiorowisk leśnych, jak i w glebach leśnych. Innymi słowy na terenach nowo zalesionych ogólna ilość węgla z czasem wzrasta tworząc magazyn węgla. Trzeba jednak pamiętać o tym, że nowe zalesienie działa jako pochłaniacz węgla tylko tak długo, jak długo ma miejsce wzrost i akumulacja biomasy. Z czasem następuje taki moment, kiedy straty węgla w wyniku procesów oddychania, zamierania drzew, zaburzeń takich jak pożary, wiatry, choroby i szkodniki, oraz planowego użytkowania zaczynają równoważyć akumulację węgla zachodzącą w wyniku procesów fotosyntezy.

Trzeba też podkreślić, że w początkowej fazie wzrostu nowych zalesień akumulacja węgla przebiega stosunkowo wolno. Musi upłynąć kilkanaście, a czasami nawet kilkadziesiąt lat, aby proces ten uległ wyraźniejszemu przyspieszeniu. Szacuje się, że w warunkach środkowoeuropejskich tempo sekwestracji węgla w glebach stanowiących dawne grunty orne wynosi około 0,3 T/ha/rok, przy czym może być ono bardzo zmienne. Tempo to jest wolniejsze niż tempo zmiany węgla w biomasie nadziemnej i trzeba upływu wielu dziesiątek lat, zanim nastąpi akumulacja węgla netto w dawnych glebach rolniczych. W przypadku lasów umiarkowanych i borealnych szybka akumulacja węgla ma miejsce na dnie lasu, ale większość tego węgla występuje w związkach, z których może być on łatwo uwolniony (np. w wyniku pożarów). Większa stabilizacja węgla jest zapewniona, jeżeli występuje on w połączeniach tworzących względnie trwale kompleksy z minerałami glebowymi. Procesy tworzenia takich połączeń przebiegają jednak bardzo wolno i wymagają upływu wielu dziesiątek lat. Efekt zalesień zależy także od poprzedniej formy użytkowania ziemi. Ogólnie można stwierdzić, że rzadziej uprawiane gleby dawnych nieużytków lub pastwisk zawierają większe ilości węgla niż intensywnie użytkowane pola.

Zalesienia stanowią ekstensywną metodę zwiększania zdolności lasów do pochłaniania dodatkowych ilości węgla. Wpływ zalesień na bilans węgla zależy przede wszystkim od wielkości powierzchni gruntów, które można zaleścić.

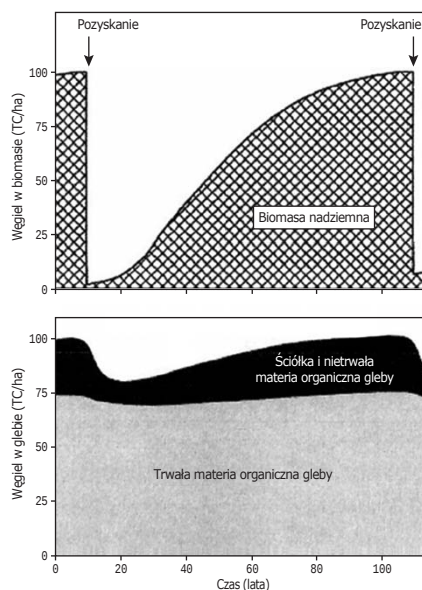
DZIAŁANIA SPRZYJAJĄCE AKUMULACJI WĘGLA W GLEBACH LEŚNYCH

Znaczną część całkowitej puli węgla znajdującego się w ekosystemach leśnych stanowi węgiel znajdujący się w glebach leśnych (ryc. 5).

Ilość węgla zawartego w glebie odpowiada w przybliżeniu takiej ilości węgla w biomase nadziemnej, jaka charakteryzuje drzewostany dojrzałe (rębne). Przy tym około 75% ilości węgla glebowego występuje w postaci względnie trwałych związków organicznych, charakteryzujących się dużym czasem retencji tego pierwiastka. Na tej podstawie można stwierdzić, że ochrona i maksymalizacja udziału zasobów węgla glebowego stanowi szczególnie efektywną i zasługującą na uwagę strategię ochrony węgla. Trzeba jednak zauważyć, że procesy akumulacji węgla w glebach leśnych trwają powoli i nie jest łatwo uzyskać ich przyspieszenie metodami gospodarki leśnej. W tym przypadku chodzi bardziej o ochronę już istniejących zasobów węgla w glebach leśnych i rezygnację z tych wszystkich działań, które są sprzeczne z tym postulatem. Z punktu widzenia hodowli lasu zasadnicze znaczenie ma dobór odpowiedniego do danej powierzchni sposobu przygotowania gleby. Generalnie im mniej inwazyjny i ingerujący w strukturę gleby sposób przygotowania gleby zostanie wybrany, tym lepiej z punktu widzenia ochrony zasobów węgla glebowego. We wszystkich tych przypadkach, kiedy stan gleby na to pozwala (gleby sprawne, pulchne, czynne biologicznie, nie zachwaszczone) można i należałoby w ogóle rezygnować z przygotowania gleby i sadzić bez przygotowania gleby.

W innych przypadkach pierwszeństwo należałoby dać punktowym metodom przygotowania gleby (talerze, placówki) przed metodami częściowymi (bruzdy, pasy, wałki), czy tym bardziej przed orką pełną, która musi być traktowana jako ostateczność i ograniczona do sytuacji naprawdę niezbędnych. Spośród nowych metod częściowej, mechanicznej uprawy gleby bardzo obiecująco wygląda metoda przygotowania gleby frezem leśnym, która pozwala na pozostawienie pasów gleby o nienaruszonej strukturze.

W tym kontekście szczególną uwagę należałoby zwrócić na tzw. specjalistyczne metody przygotowania gleby (rabaty, rabatowałki, kopce i kopczyki), stosowane w przypadku wysokiego poziomu wody gruntowej i mające na celu wyniesienie miejsc sadzenia na wysokość umożliwiającą normalny rozwój systemów korzeniowych młodych drzewek. W przypadku gleb torfowych i bagiennych, nadmiar wody skutecznie hamuje



Ryc. 5. Zmiany zasobów węgla w biomase nadziemnej i w glebie zachodzące w wyniku użytkowania na przykładzie drzewostanu świerkowego, rosnącego w warunkach środkowej Europy

tempo rozkładu materii organicznej zawartej w glebie, co skutkuje akumulacją węgla. Prace melioracyjne (różnego rodzaju rowy odwadniające) i/lub specjalistyczne metody przygotowania gleby z jednej strony umożliwiają zalesienie i uproduktywnienie takich terenów, z drugiej jednak strony wpływają stymulująco na procesy dekompozycji i rozkładu materii organicznej, gromadzonej w ciągu wielu dziesiątek, a nawet setek lat. Biorąc pod uwagę ten fakt, a także to, że w przypadku terenów charakteryzujących się wysokim poziomem wody gruntowej dochodzą jeszcze inne bardzo ważne funkcje środowiskowe, takie jak ochrona zasobów wodnych (ważna w kontekście ocieplenia i osuszenia klimatu) oraz zagrożonych elementów leśnej różnorodności biologicznej, postulat całkowitej rezygnacji ze specjalistycznych metod przygotowania gleby jest jak najbardziej uzasadniony. Alternatywną strategią zagospodarowania takich terenów jest pozostawienie ich do naturalnej sukcesji (por. odpowiednie zapisy w „Zasadach hodowli lasu” 2011). Nawet jeżeli na jej efekty trzeba będzie trochę dłużej poczekać i nawet jeżeli nie będą one na takim poziomie, jakiego można oczekiwać w przypadku bardziej aktywnych (i kosztownych) strategii zagospodarowania lasów, to końcowy bilans może się okazać korzystniejszy nie tylko z punktu widzenia ochrony środowiska, ale i z punktu widzenia ekonomii.

DZIAŁANIA ZWIĘKSZAJĄCE STABILNOŚĆ I ODPORNOŚĆ DRZEWOSTANÓW (PROFILAKTYKA HODOWLANA)

Do działań mających na celu zwiększenie zdolności lasów do pochłaniania węgla należą wszystkie te przedsięwzięcia i środki, które służą wzmocnieniu odporności istniejących lasów na wszelkiego rodzaju zaburzenia, takie jak huraganowe wiatry, pożary, gradacje owadów. Zdarzenia tego rodzaju prowadzą zawsze do uruchomienia węgla zawartego w biomasie i glebie, stanowiących znaczące źródło jego emisji do atmosfery. Ochrona ekosystemów leśnych oraz działania mające na celu poprawę stabilności i odporności drzewostanów mają z tego punktu widzenia podstawowe znaczenie, ponieważ potrzeba dziesiątek lat (w przypadku biomasy) lub setek (w przypadku gleby), aby odbudować ten poziom węgla, który utrzymywał się w ekosystemach leśnych przed wystąpieniem zaburzenia.

Gospodarka leśna dysponuje coraz lepszymi i coraz skuteczniejszymi systemami prognozowania, ostrzegania i zwalczania skutków różnego rodzaju zdarzeń (pożarów, gradacji owadów) zagrażających stabilności lasów zagospodarowanych. Nie oznacza to jednak, że lasy są stuprocentowo bezpieczne. O tym, że tak nie jest, świadczą liczne katastrofy dotyczące lasy w Polsce i na całym świecie (pożary, huragany, śniegołomy, gradacje owadów). W ostatnim czasie obserwuje się wyraźny wzrost częstotliwości i intensywności takich zdarzeń. Oczekuje się, że w związku z prognozowanymi zmianami klimatu i jego postępującą destabilizacją, zjawisko to ulegnie dalszemu zaostrzeniu. Sytuację pogarsza to, że w wyniku schematycznej gospodarki leśnej w przeszłości wiele dzisiejszych drzewostanów cechuje się dużą wrażliwością i podatnością na szkody różnego rodzaju.

Z hodowlanego punktu widzenia najlepszą opcją na dzień dzisiejszy wydaje się być strategia polegająca na maksymalnym różnicowaniu szeroko pojętej struktury drzewo-

stanów i całych zbiorowisk leśnych. Takie drzewostany cechują się znacznie większą odpornością i stabilnością niż drzewostany o uproszczonej strukturze i ubogim składzie gatunkowym. Nie chodzi tu nawet o zdolność do przeciwstawienia się czynnikom zakłócającym w momencie ich wystąpienia (określaną mianem rezystencji), co o tzw. rezylencję, czyli zdolność do regeneracji i powrotu do stanu równowagi, po ustąpieniu działania czynnika zakłócającego. Arsenal środków, jakimi w zakresie kształtowania zróżnicowanej struktury drzewostanów dysponuje hodowla lasu, jest naprawdę bogaty i możliwy do wykorzystania praktycznie na każdym etapie rozwoju drzewostanu (rębnie złożone, zmodyfikowana rębnia zupełna, odpowiednio ukierunkowane trzebieże, takie jak trzebież przerebnowa i trzebież przekształceniowa, trzebież grupowa), hodowla drzewostanów mieszanych, cechujących się jednostkową i grupową formą zmieszania, odnowienia łączone (naturalne i sztuczne na jednej powierzchni itd.). Działania z tego zakresu należałoby podejmować jak najszybciej i w jak najszerszym zakresie, bo na konkretne efekty takich działań trzeba czekać długo, a stopień zagrożenia drzewostanów już obecnie jest wysoki i nic nie wskazuje na to, żeby sytuacja miała się polepszyć, raczej odwrotnie.

Warto też podkreślić, że z punktu widzenia ekologii krajobrazu, zaburzenia naturalne i sztuczne stanowią integralną część dynamiki ekosystemu. Zaburzenia naturalne jako takie znajdują się w dużym stopniu poza kontrolą człowieka, ale podjęte w porę i odpowiednio zaplanowane działania profilaktyczne mogą modyfikować ich zasięg i uciążliwość.

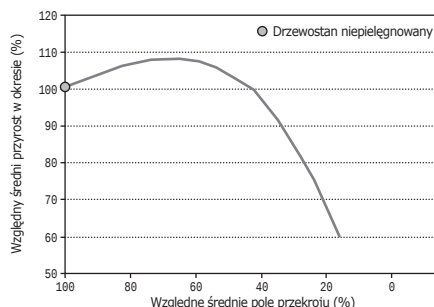
CIĘCIA PIELEGNACYJNE I ODNOWIENIOWE ORAZ ICH WPŁYW NA WIELKOŚĆ I TEMPO WIĄZANIA WĘGLA

Trzebieże

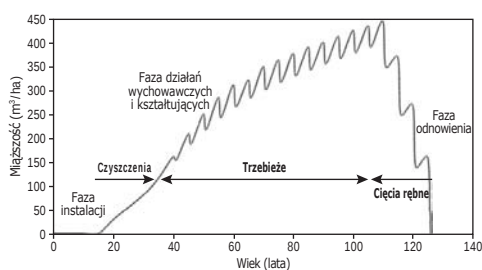
Jak wynika z wielu badań, wpływ trzebieży na produktywność drzewostanu w całym cyklu produkcyjnym w sensie ilościowym jest stosunkowo niewielki (Pretzsch 2009). Ilustracją tego może być rycina 6, z której wynika, że największy wpływ na zwiększenie produkcji drzewostanu (jednak nie przekraczający 10% produkcji drzewostanu niepielęgowanego) mają trzebieże umiarkowane i dosyć silne (20–30%).

Istotą zabiegów trzebieżowych jest poprawa warunków wzrostu wybranych drzew. Zasadniczym celem trzebieży jest zwiększenie wartości produkcji w drzewostanie w całym cyklu produkcyjnym kosztem czasowego zmniejszenia jego zasobności (ryc. 7).

Pojedynczy zabieg trzebieżowy zawsze prowadzi do (okresowego) zmniejszenia zasobów węgla znajdującego się w ekosystemie leśnym. Nawet chwilowe otwarcie dachu



Ryc. 6. Wpływ nasilenia trzebieży na przyrost drzewostanu (za: Schütz 2001a)



Ryc. 7. Zmiany zasobności drzewostanu w cyklu produkcyjnym, od momentu powstania drzewostanu do momentu zakończenia cięć odnowieniowych (rębnych). W wyniku każdego zabiegu trzebieżowego następuje czasowe obniżenie zasobności drzewostanu, rekompensowane z nawiązką jego przyrostem w okresie między kolejnymi cięciami (za: Schütz 2001a)

koron drzewostanu skutkuje przyspieszeniem rozkładu ściółki znajdującej się na dnie lasu dzięki zwiększonemu dostępowi światła i ciepła oraz w wyniku zmniejszenia dopływu martwej materii organicznej do dna lasu. W konsekwencji następuje czasowe zmniejszenie puli węgla zawartego w ściółce leśnej. Jedynie w przypadku węgla zawartego w glebie mineralnej wpływ trzebieży jest na ogół niewielki. Z drugiej strony, właściwie przeprowadzona trzebież wpływa na poprawę stabilności drzewostanu i zmniejszenie ryzyka wystąpienia szkód od wiatru i innych szkodliwych czynników.

Z powyższych uwag wynika, że w przypadku trzebieży można mówić tylko o względnym, tj. odniesionym do jakiegoś poziomu porównawczego, efekcie zwiększenia pochłaniania węgla. Innymi słowy, w skali drzewostanu i w krótkiej perspektywie czasowej, efekt zwiększonego pochłaniania węgla można osiągnąć zmniejszając nasilenie trzebieży w stosunku do obowiązujących do tej pory standardów. Takie działanie ma jednak też skutki uboczne, chociażby w postaci zmniejszonego pozyskania, które, przy założeniu, że jego wielkość całkowita ma być utrzymana na przyjętym poziomie, musi być zrekompensowane bardziej intensywnymi cięciami w innym miejscu.

Cięcia rębne

W wyniku końcowego użytkowania drzewostanu następuje usunięcie z lasu pewnej ilości biomasy i związanego w niej węgla. Biorąc pod uwagę wielkość puli węgla związanego w lasach, można w tym przypadku mówić o emisji. Nie zmienia to faktu, że w rzeczywistości węgiel ten nie powraca od razu bezpośrednio do atmosfery, lecz pozostaje nadal związany (krócej lub dłużej) w pozyskanym surowcu drzewnym i w wytworzonych z niego materiałach i produktach. Czas retencji węgla w produktach z drewna można optymalizować (wydłużać) poprzez wybór odpowiedniej strategii zagospodarowania surowca drzewnego.

Cięciom rębnym towarzyszy często naruszenie struktury gleby i zmiana warunków mikroklimatycznych bardziej intensywna niż w przypadku trzebieży. W pierwszym okresie po cięciach rębnych i przeprowadzeniu prac odnowieniowych straty węgla zawartego w glebie mogą przekraczać jego akumulację w biomase nadziemnej. Bilans węgla w dłuższej perspektywie czasu zależy od stopnia ingerencji w strukturę gleby oraz od produktywności drzewostanu. Użytkowanie wpływa na ilość węgla w glebie na dwa sposoby: pozostałości zrębne pozostawione na powierzchni gleby zwiększają pulę węgla zawartego w ściółce leśnej; uprawa gleby i naruszenie jej struktury prowadzi

do utraty zawartego w niej węgla, ponieważ pod wpływem tych działań wzrasta oddychanie gleby. Z literatury na temat wpływu użytkowania na ilość węgla zawartego w glebie wynika, że wpływ ten jest raczej niewielki i zależy od systemu pozyskania. Pozyskiwanie metodą całego drzewa powoduje małe zmniejszenie puli węgla w wierzchnich poziomach gleby. Pozyskiwanie metodą standardową, z pozostawieniem na miejscu pozostałości zrębowych, powoduje nieznaczne zwiększenie puli węgla znajdującego się w ściółce i w górnych poziomach gleby. Chociaż ilość węgla zawartego w glebie zmienia się w wyniku prac związanych z pozyskaniem, to z czasem zmiany te zanikają.

**POCHŁANIANIE WĘGLA PRZEZ LASY
W KONTEKŚCIE ZASADY WIELOFUNKCYJNOŚCI LASU,
ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM OCHRONY RÓŻNORODNOŚCI BIOLOGICZNEJ**

Chociaż zasada wielofunkcyjności lasów w obecnych czasach przyjęta jest powszechnie i trudno byłoby znaleźć kogoś, kto by ją kwestionował, to nie oznacza to jeszcze, że jest ona jednakowo przez wszystkich rozumiana. Generalnie można spotkać się z dwoma postawami w tym zakresie. Jeden pogląd, którego najwybitniejszym przedstawicielem w Polsce jest prof. Rykowski (2012), zakłada przestrzenne rozdzielanie (segregację) różnych funkcji lasów. Bardzo wielu zwolenników ma także zasada integracji głównych funkcji lasów, z dopuszczeniem możliwości uznania niektórych z nich za wiodące w danym, konkretnym przypadku (Bernadzki 1993; Schütz 2001b; Pretzsch i in. 2007). Jak stwierdzają Pretzsch i in. (2007), podczas gdy na świecie często występuje tendencja do rozdzielania plantacji służących intensywnej produkcji drewna od lasów pełniących funkcje przyrodnicze lub rekreacyjne, w lasach europejskich, ze szczególnym uwzględnieniem warunków panujących w środkowej Europie, dąży się do tego, aby pełniły one wiele różnych funkcji w tym samym miejscu⁴.

Z wielu przykładów przedstawionych wyżej wynika jednoznacznie, że działania gospodarcze sprzyjające zwiększonej sekwestracji węgla przez lasy nie kłócą się, a w wielu przypadkach idą w parze z działaniami mającymi na celu ochronę leśnej różnorodności biologicznej (jak wspomniane wyżej działania mające na celu wzrost różnorodności genetycznej i strukturalnej drzewostanów, ochrona torfowisk i terenów zabagnionych, wykorzystywanie naturalnych procesów sukcesyjnych do realizacji celów hodowlanych, pozostawianie części drzew do naturalnej śmierci i rozpadu itd.). Na tego typu działania zwraca się szczególną uwagę już od początku lat 90. XX w., w efekcie odejścia od surowcowego modelu gospodarki leśnej na rzecz modelu wielofunkcyjnego oraz w efekcie nowego ujęcia celów współczesnego gospodarstwa leśnego, w postaci koncepcji trwale zrównoważonej gospodarki leśnej, zakładającej, najogólniej rzecz ujmując, równorzędną funkcji produkcyjnych i pozaprodukcyjnych lasów. Konsekwentna realizacja założeń półnaturalnej hodowli lasu i promowanie proekologicznego modelu gospodarki leśnej z pewnością przyczyni się – w krótkiej i średniej perspektywie czasu – do zwiększenia

⁴ Pretzsch i in. (2007): "A characteristic feature of European, particularly Central European, forest and ecosystem management is the concept of integration. Whereas elsewhere in the world it is common to separate plantations for intensive wood production from forests for nature conservation or recreation, in European forests a multitude functions is supposed to be fulfilled at one and the same site".

szenia ilości węgla związanego w lasach, a tym samym do złagodzenia zmian klimatycznych, których potencjalną ofiarą mogą też być same lasy (Brzezicki 2008a i b).

Mitygacyjna rola lasów względem zmian klimatycznych w świetle badań symulacyjnych (warunki środkowej Europy)

Eksperyment 1.

Wpływ różnych strategii zagospodarowania lasów na długoterminowe wiązanie węgla na przykładzie ekosystemów leśnych Niemiec

Analizę wpływu trzech alternatywnych strategii zagospodarowania lasu na wielkość wiązania węgla w lasach niemieckich przeprowadzili ostatnio Köhl i in. (2010). Jak podają wspomniani autorzy, w chwili obecnej na 99,2% powierzchni niemieckich lasów prowadzi się gospodarkę leśną i pozyskuje się drewno. Około 20% powierzchni lasów zagospodarowane jest w sposób przerębowo-zrębowy i zrębowy, natomiast pozostałe 80% zagospodarowane jest sposobem zrębowym. Aby zbadać potencjał sekwestracji węgla niemieckich lasów w perspektywie czasowej odpowiadającej przeciętnej długości cyklu produkcyjnego, autorzy opracowania zdefiniowali trzy generalne strategie zagospodarowania lasów.

1. Strategia polegająca na dążeniu do maksymalizacji zysku (*maximum profit*). Przyjęto, że użytkowanie rębne jest dopuszczalne po osiągnięciu wieku co najmniej 50 lat w przypadku drzew iglastych i co najmniej 70 lat w przypadku drzew liściastych. Do użytkowania przystępuje się, gdy stopa zwrotu (*rate of return*) spada poniżej 2%. Do odnowienia wybiera się te gatunki drzew, które dają gwarancję uzyskania największych korzyści ekonomicznych. Przyjęta strategia zakłada kształtowanie drzewostanów jednogatunkowych i równowiekowych, odnawianych sztucznie za pomocą zrębów zupełnych (co odpowiada klasycznym założeniom „leśnictwa plantacyjnego” w jego skrajnym ujęciu).
2. Strategia maksymalnej rocznej renty leśnej netto (*maximum net annual forest rent*). Podstawą decyzji o przystąpieniu do końcowego użytkowania drzewostanu jest kształtowanie się rocznej renty leśnej. Tak długo, jak długo jej wielkość wzrasta, w drzewostanach wykonywane są trzebieże i nie wykonuje się cięć rębnych. Do odnowień wykorzystuje się gatunki, które w danych, lokalnych warunkach siedliskowych gwarantują najwyższe korzyści przy założeniu marginalnej stopy zwrotu wynoszącej 0%. Bierze się pod uwagę zarówno sztuczne, jak i naturalne odnowienie lasu.
3. Strategia leśnictwa ekosystemowego, w której głównym kryterium dojrzałości drzew do wycięcia (*diameter limit cut*) jest pierśnica docelowa. Decyzja o odnowieniu cięć rębnych oparta jest na kryteriach biologicznych i jest zgodna z koncepcją pół-naturalnej hodowli lasu. Drzewa są wycinane, gdy osiągną albo założoną pierśnicę minimalną (docelową), albo przyjęty wiek. Zakłada się odnowienie zgodne z potencjalną roślinnością naturalną dla danego siedliska. Celem przyjętej w tym wariantcie

strategii jest zachowanie ciągłości istnienia lasu, składającego się z drzewostanów o urozmaiconym składzie gatunkowym i zróżnicowanej strukturze wiekowej.

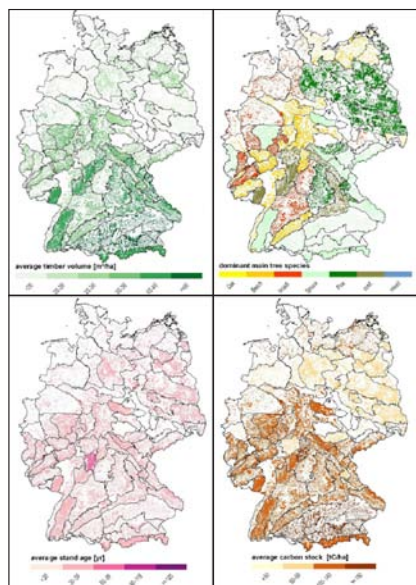
Dodatkowo, w przeprowadzonych badaniach uwzględniono dwa scenariusze rozwoju gospodarczego i cywilizacyjnego (wg IPCC, za Köhl i in. 2010).

1. Scenariusz A1B. W scenariuszu tym zakłada się bardzo szybki wzrost gospodarczy w przyszłości, wzrost populacji ludzkiej do połowy stulecia, a następnie spadek jej liczebności, a także szybkie wdrożenie nowych, bardziej efektywnych technologii. W scenariuszu tym przyjmuje się wyrównywanie międzyregionalnych różnic, wzrost potencjału gospodarczego oraz intensyfikację oddziaływań kulturowych i społecznych, przy malejących różnicach regionalnych pod względem stopy życiowej. Scenariusz A1B przewiduje dalsze wykorzystywanie energii pozyskiwanej zarówno ze źródeł odnawialnych, jak i nieodnawialnych (kopalnych), co w efekcie będzie prowadzić do dalszego, stopniowego wzrostu globalnej temperatury.
2. Zgodnie ze scenariuszem B1 różnice między poszczególnymi regionami będą stopniowo zanikać, a liczba ludności na świecie, podobnie jak w poprzednim scenariuszu, osiągnie maksimum w połowie stulecia, aby następnie zacząć spadać. W tym scenariuszu zakłada się szybki rozwój informatyzacji i usług, przy malejącym znaczeniu gospodarki materiałowej, a także szerokie wprowadzanie czystych technologii, efektywnych pod względem zużycia surowców. Ponadto, przyjmuje się, że zostaną znalezione globalne rozwiązania pozwalające na osiągnięcie trwałości ekonomicznej, społecznej i środowiskowej oraz większą sprawiedliwość, chociaż bez dalszych inicjatyw w zakresie ochrony klimatu. Scenariusz zakłada, że aktualny cel międzynarodowej polityki w zakresie ochrony klimatu, jakim jest niedopuszczenie do wzrostu temperatury o więcej niż 2°C (w porównaniu do średniej, jaka miała miejsce w okresie przedindustrialnym) zostanie rzeczywiście osiągnięty.

Celem symulacji przeprowadzonych przez Köhla i in. (2010) było przedstawienie potencjalnych kierunków rozwoju lasów w Niemczech do roku 2100, przy założeniu różnych scenariuszy klimatycznych oraz strategii zagospodarowania lasów. Parametry opisujące stan wyjściowy lasów (w roku 2000) zostały przyjęte na podstawie wyników inwentaryzacji wielkoobszarowej. Uwzględniono takie cechy, jak gatunek drzewa, klasa wieku, pierśnica i wysokość, miąższość, wielkość zasobów węgla, odnowienie, produktywność siedliska. Dane dotyczące najważniejszych czynników siedliskowych wpływających na rozwój lasu (żywność siedliska, wilgotność gleby, warunki klimatyczne) zostały uśrednione dla tzw. regionów wzrostu lasu (*forest growing regions*⁵), mniej lub bardziej homogennych jednostek przestrzennego zróżnicowania warunków produkcji leśnej.

Najważniejsze dane dotyczące stanu wyjściowego lasów [(przestrzenne zróżnicowanie zasobności drzewostanów, w m³/ha, główne gatunki drzew (świerk, sosna, dąb, buk, drzewostany mieszane), wiek drzewostanu (w odstopniowaniu co 30 lat), zasoby węgla (t/ha)] przedstawione są na rycinie 8. Warto podkreślić, że jest bardzo silna korelacja między przeciętną zasobnością drzewostanów a wielkością zasobów węgla.

⁵ Odpowiada w przybliżeniu pojęciu mezoregionu w polskich lasach



Ryc. 8. Przestrzenne zróżnicowanie głównych parametrów lasów niemieckich w 2000 r. (zasobność, dominujące gatunki drzew, średni wiek drzewostanów, średnia wielkość puli węgla – wartości uśrednione w ramach wyróżnionych regionów wzrostu lasu). Stan wyjściowy dla przeprowadzonych symulacji przyszłego rozwoju, zakładających różne strategie zagospodarowania lasów wg Köhl i in. (2010)

Na podstawie danych przedstawiających stan wyjściowy w 2000 r. autorzy opracowania przeprowadzili, za pomocą modelu wzrostu lasu SILVA (Pretzsch, Biber, Dursky 2002), symulację zmian zasobności drzewostanów, wielkości zasobów węgla, średniego wieku drzewostanów oraz dominujących gatunków drzew dla trzech scenariuszy zagospodarowania lasów oraz dwóch scenariuszy klimatycznych, opisanych wyżej. Wyniki prezentowane są na rycinach 9–12.

Jak łatwo zauważyć na podstawie ryciny 9, największy wzrost przeciętnej zasobności drzewostanów ma miejsce w scenariuszu zgodnym z założeniami półnaturalnej hodowli lasu (skład gatunkowy zgodny z potencjalną roślinnością naturalną, odnowienie naturalne, zróżnicowany skład gatunkowy i budowa drzewostanów). Najmniejszą przeciętną zasobnością charakteryzują się drzewostany w scenariuszu zakładającym maksymalizację zysku finansowego (kształtowanie drzewostanów jednogatunkowych i jednowiekowych, skrócony cykl produkcyjny, odnowienie sztuczne, dobór gatunków na podstawie kryteriów ekonomicznych). Wybór tej strategii pociągnąłby za sobą m.in. znaczne zmniejszenie obecnej wielkości zasobów węgla w południowych Niemczech.

Podobny obraz jak w przypadku średniej zasobności uzyskano także w odniesieniu do średniego wieku drzewostanów (ryc. 10).

Wyniki dotyczące zmian wielkości węgla w ekosystemach leśnych w warunkach lasów niemieckich przedstawia rycina 11. Tak, jak można się było tego spodziewać, największy przyrost wielkości węgla uzyskano w przypadku strategii opartej na założeniach półnaturalnej hodowli lasu (*diameter limit cut*). Strategia ta zakłada pozyskiwanie drzew w momencie osiągnięcia przez nie pierśnicy od 45 do 80 cm (w zależności od gatunku). Wynikiem tej strategii jest też istotne zwiększenie średniego wieku drzewostanów. Warto podkreślić, że największe pozytywne efekty w tym zakresie uzyskano w przypadku lasów występujących na nizinach, natomiast w przypadku lasów wyżynnych i górskich (występujących głównie na południu kraju) wspomniana strategia spowodowała w wielu przypadkach efekt odwrotny, tj. zmniejszenie zasobów węgla.

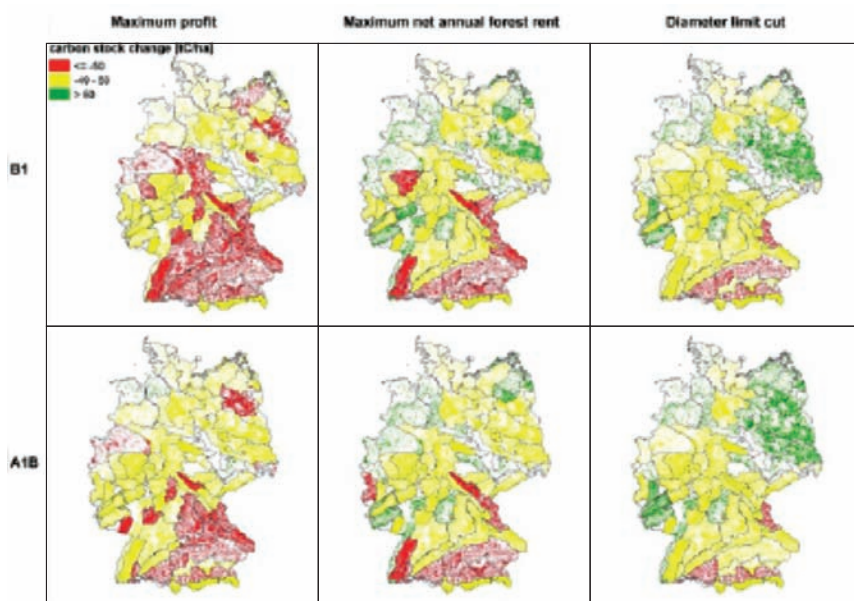
Jak wynika z ryciny 12, analizowane strategie zagospodarowania lasów preferują różny skład gatunkowy drzewostanów. W strategii opartej na założeniach „leśnictwa plantacyjnego” zdecydowanie dominuje świerk (zwłaszcza w scenariuszu A1B). Realizacja tej strategii musiałaby więc doprowadzić do sytuacji, w której niemal wszystkie lasy w Niemczech miałyby charakter litych świerczyn. Znacznie bardziej urozmaicony



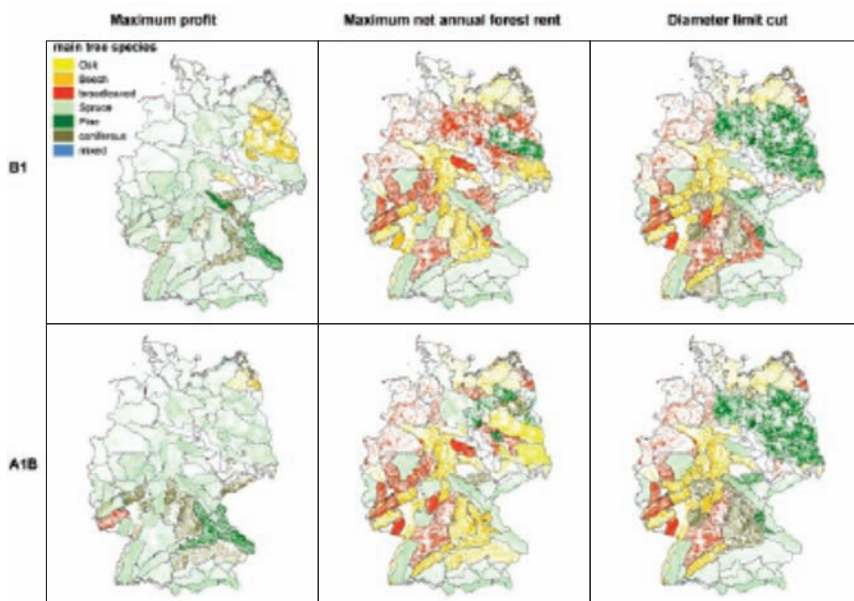
Ryc. 9. Średnia zasobność drzewostanów w lasach niemieckich w roku 2100, dla trzech różnych strategii zagospodarowania lasów (*maximum profit*; *maximum net annual forest rent*; *diameter limit cut*) oraz dwóch scenariuszy klimatycznych (B1 i A1B) (wg Köhl i in. 2010)



Ryc. 10. Średni wiek drzewostanów w lasach niemieckich w roku 2100, dla trzech różnych strategii zagospodarowania lasów (*maximum profit*; *maximum net annual forest rent*; *diameter limit cut*) oraz dwóch scenariuszy klimatycznych (B1 i A1B) (wg Köhl i in. 2010)



Ryc. 11. Zmiana wielkości zasobów węgla w lasach Niemiec w okresie 2000–2100, dla trzech różnych strategii zagospodarowania lasów (*maximum profit*; *maximum net annual forest rent*; *diameter limit cut*) oraz dwóch scenariuszy klimatycznych (B1 i A1B) (kolor czerwony – zmniejszenie o 50 tC/ha lub więcej; kolor żółty – zmiany w zakresie od –50 tC/ha do +49 tC/ha; kolor zielony – przyrost o 50 tC/ha i więcej) (wg Köhl i in. 2010)



Ryc. 12. Dominujące gatunki drzew lasach Niemiec w roku 2100, dla trzech różnych strategii zagospodarowania lasów (*maximum profit*; *maximum net annual forest rent*; *diameter limit cut*) oraz dwóch scenariuszy klimatycznych (B1 i A1B) (wg Köhl i in. 2010)

jest skład gatunkowy lasów w przypadku pozostałych dwóch strategii. Warto podkreślić, że w przypadku strategii zgodnej z założeniami półnaturalnej hodowli lasu autorzy przewidują dominację sosny na dużych obszarach w środkowo-wschodniej części Niemiec, graniczącej z naszym krajem.

Omawiając uzyskane wyniki, autorzy podkreślają, że decyzja odnośnie do wyboru „optymalnej” strategii zagospodarowania lasów musi opierać się na wielu kryteriach i dążyć do pogodzenia wielu interesów oraz potrzeb i oczekiwań, często sprzecznych, formułowanych przez licznych interesariuszy. Trwale zrównoważona gospodarka leśna musi brać pod uwagę różne funkcje lasów i zróżnicowane oczekiwania społeczne, takie jak produkcja surowca drzewnego, sekwestracja węgla, bioróżnorodność, ochrona gleb, wód i powietrza, turystyka i rekreacja. Jednym z większych problemów jest zagrożenie bioróżnorodności leśnej ze strony postępujących zmian klimatycznych i niewłaściwego zagospodarowania lasów. Dużym wyzwaniem dla gospodarki leśnej w przyszłości będzie adaptacja lasów do zmieniających się warunków klimatycznych, zabezpieczenie trwałości funkcji produkcyjnej na podstawach ekonomicznych oraz zachowanie i wzbogacanie różnorodności biologicznej.

W konkluzji autorzy eksperymentu zaznaczają, że wyniki uzyskane w warunkach Niemiec mogą być przeniesione do innych regionów, a także podkreślają, że gospodarka leśna dysponuje szerokim zakresem narzędzi i instrumentów, które mogą być wykorzystane do zmniejszenia ryzyka w perspektywie wieloletniej i zmniejszenia zagrożenia ze strony zmian klimatycznych. Działania adaptacyjne w przypadku lasów zagospodarowanych mogą obejmować prowadzenie cięć sanitarnych w zamierających drzewostanach oraz wprowadzanie gatunków lepiej przystosowanych do zmienionych warunków środowiskowych (przebudowa). W grę wchodzi także skracanie długości cyklu produkcyjnego, mające na celu przyspieszenie wprowadzania lepiej zaadaptowanych gatunków i pochodzeń, wykorzystywanie szerokiej bazy genetycznej oraz zakładanie stałych powierzchni do badań mających na celu sprawdzenie przydatności określonych genotypów w szerokim zakresie warunków klimatycznych.

Eksperyment 2.

Wpływ nasilenia trzebieży i długości cyklu produkcyjnego na wielkość wiązania węgla w warunkach środkowoeuropejskich

Problem wpływu podstawowych parametrów dotyczących trzebieży i cięć rębnych na tempo i wielkość wiązania węgla w lasach był i jest nadal przedmiotem intensywnych badań i analiz naukowych. Przykładem takich badań jest projekt *SilviStrat (Silvicultural Responce Strategies to Climate Change in Management of European Forests*, Kellomäki i Leinonen 2003), w ramach którego przeanalizowano takie parametry sposobów zagospodarowania lasów jak nawrót i nasilenie trzebieży oraz całkowita długość cyklu produkcyjnego. Badano także wpływ różnych scenariuszy klimatycznych (warunki standardowe oraz dwa scenariusze zakładające ocieplenie i osuszenie klimatu). Przykładowo, analizując wpływ długości cyklu produkcyjnego, przyjmowano najpierw wartość standardową, np. 120 lat dla sosny i świerka, 150 lat dla buka, 160 lat dla dębu, a na-

stępnie skracano lub wydłużano ten parametr o 1/4 w scenariuszach alternatywnych. W przypadku nasilenia trzebieży scenariusze alternatywne zakładały zmianę wielkości standardowej (wzrost lub spadek) o pewną wartość uzależnioną od gatunku drzewa: 33% dla sosny i świerka, 27% dla buka oraz 25% dla dębu.

Przykładem wyników uzyskanych w ramach projektu są dane przedstawione w tabeli 1, uzyskane dla drzewostanów dębowych w warunkach środkowoeuropejskich, a więc reprezentatywnych także dla naszego kraju.

Najważniejsze wnioski z przeprowadzonych badań są następujące.

Zmienione warunki klimatyczne (scenariusze ECHAM oraz HadCM2) wywierają stosunkowo niewielki wpływ (wzrost rzędu 10%) na badane parametry, tj. na zawartość węgla w biomase nadziemnej i glebie oraz w pozyskanym surowcu drzewnym (tab. 1).

Przeciętną zawartość węgla zawartego w biomase nadziemnej drzewostanów dębowych (parametr CAB) można zwiększyć, zmniejszając ogólną intensywność zagospodarowania lasu, tj. wydłużając cykl produkcji oraz zmniejszając nasilenie prowadzonych trzebieży. Ilość węgla zawartego w biomase nadziemnej w większym stopniu zależy od parametrów zagospodarowania niż od parametrów klimatycznych. Różnice między modelem gospodarki leśnej ekstensywnym (wydłużony cykl produkcji i zmniejszone nasilenie trzebieży) oraz intensywnym (skrócony cykl produkcji i zwiększone nasilenie trzebieży) w drzewostanach dębowych w warunkach środkowej Europy przekładają się na 3-krotne różnice w przeciętnej wielkości węgla związanego w biomase nadziemnej tych drzewostanów. Przykładowo, w odniesieniu do obecnych warunków klimatycznych, odpowiednie wartości wynoszą 44,3 oraz 124,4 Mg/ha (tab. 1).

Tabela 1. Wpływ nasilenia trzebieży, długości cyklu produkcyjnego oraz zmian klimatycznych (scenariusze ECHAM i HadCM2) na wielkość wiązania węgla w ekosystemach leśnych i w surowcu drzewnym na przykładzie drzewostanów dębowych rosnących w warunkach Europy Środkowej – projekt SILVISTRAT

Długość cyklu produkcyjnego		Nasilenie trzebieży								
		Obecne warunki klimatyczne			ECHAM			HadCM2		
		–	st	+	–	st	+	–	st	+
CAB	–	55,8	50,9	44,3	64,6	54,9	47,1	63,1	58,5	47,9
	st	93,6	84,0	69,9	103,3	88,8	73,7	104,0	89,5	75,0
	+	124,4	113,3	92,0	139,0	118,2	96,3	143,0	121,3	97,9
CS	–	184,3	183,1	180,9	182,2	180,0	177,4	183,8	182,6	179,3
	st	183,4	181,8	179,1	181,4	179,5	176,8	183,5	181,6	179,0
	+	183,0	181,4	178,6	181,1	179,1	176,3	183,1	181,1	178,4
Y	–	653,3	723,5	773,9	843,0	949,7	932,9	958,4	912,4	939,8
	st	668,1	811,1	882,9	1 086,9	1 093,1	1 087,2	1 007,3	1 025,8	1 118,9
	+	209,6	456,2	553,4	433,0	480,7	631,8	469,2	647,8	715,0

CAB – średnia zawartość węgla w biomase nadziemnej, w Mg/ha (1 Mg = 1 T); CS – średnia zawartość węgla w glebie leśnej, w Mg/ha; Y – sumaryczna produkcja biomasy drzewnej (dendromasy) w okresie 100 lat, w Mg/ha; „st” – standardowe nasilenie trzebieży oraz standardowa długość cyklu produkcyjnego; „+” i „–” – scenariusze zakładające zmiany standardowych parametrów trzebieży i cięć rębnych (por. tekst)

W stosunku do obecnie obowiązujących standardów, w warunkach środkowoeuropejskich można osiągnąć ok. 50% wzrost ilości węgla zmagazynowanego w biomase nadziemnej drzewostanów dębowych (wzrost z 84,0 do 124,4 Mg/ha), zmniejszając nasilenie trzebieży oraz wydłużając cykl produkcyjny. Trzeba jednak podkreślić, że efekt ten uzyskuje się kosztem znaczącej redukcji wielkości wyprodukowanego surowca drzewnego – prawie 4-krotne zmniejszenie, spadek z poziomu 811,1 do poziomu 209,6 Mg/ha (por. parametr Y, tab. 1). Warto też zwrócić uwagę, że obecnie parametry określające nasilenie trzebieży i długość cyklu produkcyjnego pozwalają osiągnąć niemal maksymalną wielkość biomasy produkowanego surowca (tab. 1). Wskaźnik ten można co prawda jeszcze nieco zwiększyć (o około 10%), ale odbywa się to kosztem zmniejszenia biomasy nadziemnej drzewostanu.

Ilość węgla zawartego w glebie (CS) jest stosunkowo stabilna, bez względu na rodzaj scenariusza. Największą ilość węgla w glebie i drewnie martwym przewiduje się dla scenariusza zakładającego brak użytkowania. W przypadku scenariuszy zakładających użytkowanie lasu, najwyższą wartość wiązania węgla w glebach uzyskano w wariancie zakładającym trzebieże o dużym nasileniu i krótki cykl produkcyjny (duży dopływ ściółki i pozostałości zrębowych). Najmniejszy wzrost ilości węgla w glebach przewiduje się dla wariantów zakładających długi cykl produkcyjny i małą intensywność trzebieży.

Dla oceny aspektów finansowych założonych wariantów zagospodarowania lasów ważny był generalny wniosek, że nie da się pogodzić dążenia do maksymalizacji produkcji drewna z dążeniem do maksymalnego pochłaniania węgla przez ekosystemy leśne. Innymi słowy zwiększenie wiązania węgla w ekosystemach leśnych wymaga poniesienia dodatkowych kosztów. Z przeprowadzonych analiz wynika, że koszty zwiększonego pochłaniania węgla przez lasy w niektórych przypadkach przekroczą nawet 100 euro w przeliczeniu na 1 Mg węgla (co znacznie przewyższa przewidywaną cenę rynkową dwutlenku węgla).

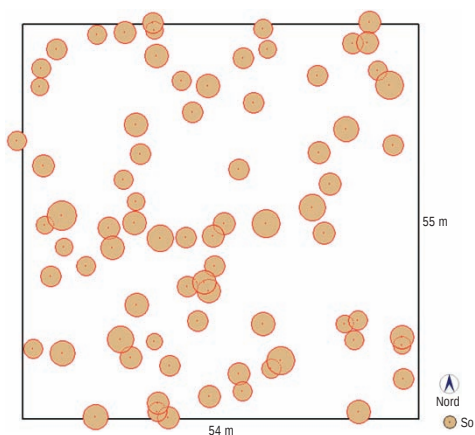
W warunkach środkowej Europy w okresie 100 lat największa ilość węgla zostanie pochłonięta w wariancie, który zakłada wprowadzanie na większości siedlisk dęba oraz umiarkowane nasilenie trzebieży. Najniższy poziom sekwestracji węgla przewiduje się dla wariantu zakładającego wprowadzanie tylko sosny i umiarkowane nasilenie trzebieży.

Do podobnych wniosków doszli także Zasada i in. (2009) po przeprowadzeniu analizy, która polegała na zbadaniu wpływu wieku rębności oraz nasilenia trzebieży na wielkość biomasy i sekwestrację węgla w 10-letniej perspektywie na przykładzie lasów nadleśnictwa Gubin. Autorzy doszli do wniosku, że zmniejszenie nasilenia trzebieży oraz wydłużenie wieku rębności prowadzi do wzrostu biomasy w krótkiej perspektywie czasowej. Odbywa się to kosztem drastycznego ograniczenia możliwości pozyskania drewna, co ma negatywny wpływ na wynik finansowy nadleśnictwa oraz na trwałość lasu rozpatrywaną w dłuższej perspektywie czasowej. W wyniku przeprowadzonych badań nie stwierdzono wpływu zmienionych parametrów użytkowania rębego i przedrębego na wielkość bieżącego przyrostu mądrości w okresie 10 lat, tj. na aktualny poziom sekwestracji węgla przez drzewostany.

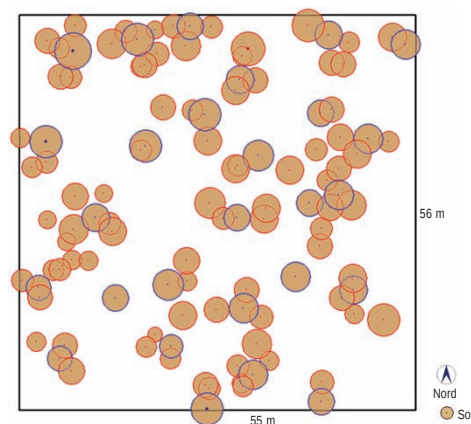
Eksperyment 3.

Wpływ parametrów trzebieży na sumaryczną wielkość produkcji drzewostanów sosnowych w perspektywie średniookresowej (10 lat)

Wpływ parametrów i sposobu wykonania trzebieży na ogólną produkcję drzewostanów sosnowych (na którą składa się bieżący przyrost miąższości oraz wielkość pozyskanego surowca) w okresie 10 lat zbadał, posługując się metodą eksperymentu symulacyjnego, Gruzeł (2013). Wspomniany autor wziął pod uwagę trzy sposoby wykonywania trzebieży: a) trzebież zgodna z zasadami przyjętymi w lokalnej praktyce leśnej (wariant



Ryc. 13. Wyznaczanie trzebieży wg ZHL: wariant TZHL, bezpośredni wybór drzew przeznaczonych do usunięcia (kolor czerwony), z pominięciem etapu wyboru drzew dorodnych (wg Gruzeł 2013)



Ryc. 15. Wyznaczanie trzebieży wg modelu Klädtke i Abetz: wariant TDOC, ograniczona liczba drzew dorodnych, oznaczenia jw. (wg Gruzeł 2013)

TZHL), b) zabieg odpowiadający klasycznym założeniom polskiej wersji trzebieży selekcyjnej wg Ilmurzyńskiego (1969) (wariant TILM) oraz c) trzebież przyszłościowa wg modelu Klädtke i Abetz (2004, 2010) (wariant TDOC). Graficzną ilustrację tych trzech wariantów przykładowym drzewostanie sosnowym przedstawiają rysunki 13–15.

Badania zostały zrealizowane na terenie nadleśnictw Krynki i Waliły, w RDLP Białystok. W pięciu drzewostanach, tworzących szereg rozwojowy od tyczkowiny do drzewostanu dojrzałego, autor założył po 2 powierzchnie próbne o wielkości 0,25ha każda, na których dokonał pomiaru podstawowych cech drzew, takich jak pierśnica, wysokość, współrzędne przestrzenne oraz przeprowadził klasyfikację hodowlaną drzew, z podziałem na drzewa dorodne, przeznaczone do usunięcia (szkodliwe) oraz drzewa pożyteczne. Analiza zebranych danych została wykonana za pomocą modelu rozwoju lasu BWINPro (Döbbeler i in. 2006). Model BWINPro umożliwił, m.in., przeprowadzenie eksperymentów symulacyjnych dotyczących wpływu 3 różnych sposobów parametryzacji zabiegów trzebieżowych na sumaryczną wielkość produkcji w drzewostanach sosnowych w okresie 10 lat od momentu wykonania zabiegów.

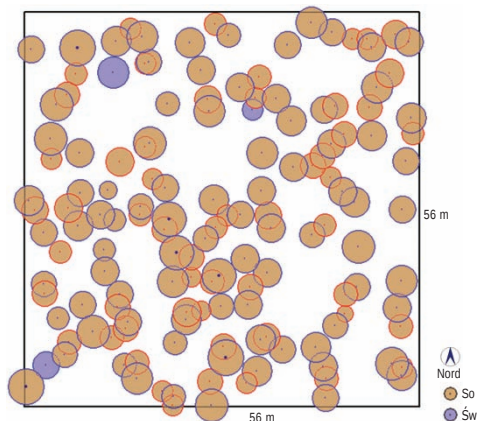
Uzyskane wyniki zostały przedstawione w syntetycznej formie w tabeli 2 (Gruzeł 2013). Wynika z nich, że sposób

wykonania trzebieży ma istotny wpływ na całkowitą wielkość produkcji, a pośrednio na wielkość węgla związanego w żywej biomase drzewostanu oraz w pozyskanym surowcu drzewnym. Pod tym względem najmniej korzystnie wypadła trzebież wyznaczona zgodnie z obowiązującymi zasadami hodowli lasu, odpowiednio zmodyfikowanymi przez miejscową praktykę leśną. Największą sumaryczną wartość produkcji leśnej uzyskano dla wariantu trzebieży docelowej, zrealizowanej zgodnie z założeniami modelu Klädtke i Abetza (2004, 2010). Realizacja trzebieży wg tego modelu prowadzi do istotnego zwiększenia wielkości pozyskania drewna (tab. 3), co odbywa się jednak kosztem wielkości przyrostu drzewostanu pozostającego po cięciu (tab. 4) oraz z reguły negatywnie wpływa na poziom zasobności drzewostanu po 10 latach od momentu wykonania symulowanych zabiegów.

Stosunkowo skromny materiał empiryczny oraz ograniczony do 10 lat horyzont czasowy przeprowadzonych badań o charakterze symulacyjnym nie pozwalają na wyciągnięcie bardziej ogólnych wniosków, tym niemniej wydaje się, że w kontekście głównego problemu niniejszego opracowania cytowane badania są interesujące i warte przytoczenia. Sugerują one możliwość takiego sterowania parametrami zabiegów trzebieżowych, aby można było uzyskać istotne statystycznie różnice w poziomie akumulacji węgla w różnych komponentach ekosystemu leśnego (ze szczególnym uwzględnieniem biomasy drzewostanu) oraz w puli pozyskanego surowca drzewnego.

Podsumowanie

Chociaż prognozy dotyczące przyszłych warunków klimatycznych cechują się dużym stopniem niepewności, to z analiz prowadzonych przez wiodące w zakresie badań klimatu ośrodki naukowe na świecie wynika, że prawdopodobieństwo kierunkowych zmian klimatu, spowodowanych nadmierną emisją gazów szklarniowych (w tym CO₂) do atmosfery, jest bardzo wysokie. Chociaż konsekwencje zmian klimatycznych mogą być różne, to przyjmuje się na ogół, że konsekwencje negatywne będą wyraźnie przeważały nad pozytywnymi, zwłaszcza w perspektywie globalnej. Stąd wynika postulat niedopuszczenia do zmian klimatycznych, a przynajmniej zatrzymania tego procesu na możliwie niskim poziomie (wzrost globalnej temperatury o nie więcej niż o 2°C w stosunku do okresu przedindustrialnego).



Ryc. 14. Wyznaczanie trzebieży wg klasycznej, polskiej wersji trzebieży selekcyjnej opracowanej przez Ilmurzyńskiego: wariant TILM, wyznaczanie drzew do usunięcia (kolor czerwony) po uprzednim wyborze drzew dorodnych (kolor niebieski), (wg Gruzel 2013)

Tabela 2. Suma planowanego pozyskania i bieżącego przyrostu okresowego (m^3/ha), z uwzględnieniem 10 powierzchni próbnych (reprezentujących drzewostany w wieku od 24 do 63 lat) i 3 wariantów zabiegów trzebieżowych

Wariant	μ	δ	V%	s.e.
TZHL	162,5 ^a	17,5	10,8	5,5
TILM	166,9 ^b	16,9	10,2	5,4
TDOC	178,4 ^c	14,6	8,2	4,6

μ – średnia; δ – odchylenie standardowe; V% – współczynnik zmienności; s.e. – błąd standardowy. Wyniki nieparametrycznego testu Friedmana dla zmiennych powiązanych oraz testu kolejności par Wilcoxon. $\chi^2 = 14,6$; $p = 0,0007$. Wyniki badań symulacyjnych uzyskanych za pomocą programu BWINPro (Gruzel 2013).

Tabela 3. Prognozowana wielkość pozyskania drewna (m^3/ha), z uwzględnieniem 10 powierzchni próbnych i 3 wariantów zabiegów trzebieżowych

Wariant	μ	δ	V%	s.e.
TZHL	46,6 ^a	6,4	13,7	2,02
TILM	45,3 ^a	17,9	39,5	5,66
TDOC	63,6 ^b	29,4	46,3	9,30

μ – średnia; δ – odchylenie standardowe; V% – współczynnik zmienności; s.e. – błąd standardowy. Wyniki nieparametrycznego testu Friedmana dla zmiennych powiązanych oraz testu kolejności par Wilcoxon. $\chi^2 = 7,80$; $p = 0,0202$.

Tabela 4. Symulowana wielkość bieżącego przyrostu okresowego (10 lat, m^3/ha), z uwzględnieniem 10 powierzchni próbnych i 3 wariantów zabiegów trzebieżowych

Wariant	μ	δ	V%	s.e.
TZHL	115,9 ^b	21,2	18,3	6,7
TILM	121,5 ^a	31,4	25,9	9,9
TDOC	114,9 ^b	33,5	29,2	10,6

μ – średnia; δ – odchylenie standardowe; V% – współczynnik zmienności; s.e. – błąd standardowy. Wyniki nieparametrycznego testu Friedmana dla zmiennych powiązanych oraz testu kolejności par Wilcoxon. $\chi^2 = 8,60$; $p = 0,0136$.

w ramach trwale zrównoważonej gospodarki leśnej, gwarantującej ciągłość istnienia lasów i pełnionych przez nie funkcji produkcyjnych, a jednocześnie dbającej o realizację innych ważnych funkcji obszarów leśnych, takich jak ochrona wód, powietrza i bioróżnorodności oraz zdolność do zaspokajania potrzeb społecznych w zakresie turystyki

Szczególna rola gospodarki leśnej w osłabianiu zmian klimatycznych polega na tym, że może ona mieć swój udział w zapobieganiu emisji gazów cieplarnianych i przyczyniać się do zmniejszenia ich ilości w atmosferze, a równocześnie gwarantować wypełnianie przez lasy całego szeregu ważnych funkcji gospodarczych, środowiskowych i społecznych, takich jak produkcja surowca drzewnego na potrzeby gospodarki, ochrona gleb i wód, ochrona bogactwa przyrodniczego, rekreacja, turystyka i wypoczynek.

Z punktu widzenia leśnictwa można wyróżnić dwa główne obszary problemowe dotyczące zmian klimatycznych. Pierwszy z nich to problem adaptacji lasów i gospodarki leśnej do zachodzących i przewidywanych zmian klimatycznych, drugi to problem mitygacji, czyli osłabienia tych zmian poprzez podejmowanie różnego rodzaju działań wchodzących w zakres szeroko rozumianej gospodarki leśnej. Obszary te nie są rozłączne, przeciwnie, istnieją między nimi liczne powiązania.

Efekt mitygacji (osłabienia) zmian klimatycznych, poprzez działania wchodzące w zakres gospodarki leśnej, można osiągnąć na dwa zasadnicze sposoby, które skrótno dają się ująć jako prewencja i redukcja.

Prewencyjna rola lasów i gospodarki leśnej polega na zapobieganiu emisji gazów cieplarnianych, m.in. dzięki zastąpieniu produktów, przy wytwarzaniu których potrzebne są duże ilości energii pozyskiwanej w wyniku spalania paliw kopalnych, produktami z drewna, które może być wytwarzane w sposób ciągły

i rekreacji. W ramach funkcji prewencyjnej mieszczą się także takie działania, jak zastępowanie energii produkowanej ze źródeł kopalnych energią pochodzącą ze spalania dendromasy, przedsięwzięcia prowadzące do obniżenia ryzyka wystąpienia różnego rodzaju zaburzeń i zakłóceń w ekosystemach leśnych (takich jak np. pożary) oraz niedopuszczanie do zamiany terenów leśnych w nieleśne.

Funkcja redukcyjna polega na zmniejszaniu zawartości dwutlenku węgla w atmosferze i jego sekwestracji (pochłanianiu) oraz „uwięzieniu” w biomasie i w glebach leśnych, a także we wszelkiego rodzaju obiektach, materiałach i przedmiotach wyprodukowanych z drewna pozyskanego w lesie. Zapewnienie odpowiednio wysokiego poziomu sekwestracji węgla w lasach wymaga w pierwszym rzędzie zachowania optymalnego zadrzewienia drzewostanów, dbania o dobry stan sanitarny lasu, ochrony naturalnej struktury gleby, a także minimalizacji różnego rodzaju strat wywołanych zamieraniem drzew, pożarami, działalnością owadów i chorób. Chociaż pozyskiwanie surowca drzewnego w lasach wpływa na czasowe zmniejszenie ilości węgla zawartego w ekosystemie leśnym, to jednak zdecydowana większość tego węgla pozostaje nadal nieaktywna pod względem efektu cieplarnianego, wchodząc w skład różnych produktów wytworzonych z pozyskanego w lesie surowca drzewnego. Przykładowo, w przypadku drewna wykorzystanego na potrzeby konstrukcyjne lub do produkcji mebli, długość retencji węgla może wynosić dziesiątki lat. W kontekście zmian klimatu korzyści związane z jak najszerszym wykorzystaniem drewna do wyrobu różnego rodzaju produktów i materiałów potrzebnych człowiekowi wynikają z połączenia dwóch efektów: 1) zmagazynowania węgla w ciągu krótszego lub dłuższego czasu, oraz 2) substytucji w stosunku do innych materiałów, których wytworzenie jest z reguły bardziej energochłonne i wiąże się z wyższym poziomem emisji węgla do atmosfery.

W skali globalnej, całkowity potencjał mitygacyjny lasów ocenia się na 1,5 PgC/rok. Wykorzystanie tego potencjału pozwoliłoby zmniejszyć stężenie dwutlenku węgla w atmosferze do poziomu 40–70 ppm do roku 2100. W rzeczywistości, ze względu na różnego rodzaju ograniczenia, możliwe jest zrealizowanie tylko niewielkiej części tego potencjału. Z perspektywy globalnej, w zakresie mitygacji zmian klimatycznych z wykorzystaniem lasów można wyróżnić cztery główne strategie (możliwe kierunki działań): 1) zwiększanie ogólnej powierzchni lasów poprzez zalesienia; 2) zwiększanie gęstości węgla w już istniejących lasach, zarówno w skali pojedynczego drzewostanu, jak i w skali krajobrazu; 3) zwiększanie wykorzystania produktów z drewna, pełniących rolę substytucyjną w stosunku do bardziej energochłonnych materiałów (przy wytwarzaniu których zużywa się duże ilości energii pochodzącej ze spalania paliw kopalnych); 4) zmniejszanie emisji węgla powodowanej wylesieniami i degradacją lasów.

W strefie umiarkowanej, a więc i w warunkach środkowej Europy, w przypadku której ceny ziemi są wysokie i jej podaż na cele zalesieniowe coraz bardziej ograniczona, optymalizację wkładu gospodarki leśnej w mitygację zmian klimatycznych może zapewnić przede wszystkim połączenie działań mających na celu zwiększoną sekwestrację węgla w już istniejących lasach oraz zwiększone zużycie drewna jako surowca i źródła bioenergii (pkt. 2 i 3).

Jak wynika z licznych badań symulacyjnych, wzrost gęstości węgla w lasach środkowoeuropejskich w stosunku do obecnej sytuacji jest możliwy, pod warunkiem za-

stosowania odpowiedniej strategii gospodarowania. Największy przyrost zasobności drzewostanów, a więc i zawartości węgla w ekosystemach leśnych, zapewnia strategia zbliżona do założeń półnaturalnej hodowli lasu, zakładająca odrzucenie kryteriów ekonomicznych, rezygnację z odnowienia sztucznego, kształtowanie drzewostanów o zróżnicowanej strukturze wiekowej i gatunkowej (odpowiadającej potencjalnej roślinności naturalnej) i wykorzystująca pojęcie indywidualnej dojrzałości rębnej (opartej na wieku lub wielkości docelowej pierśnicy).

Podobne efekty można także uzyskać w ramach istniejących sposobów zagospodarowania lasów, odpowiednio modyfikując parametry cięć pielęgnacyjnych (zmniejszając ich nasilenie) oraz cięć rębnych (wydłużając wiek rębności drzewostanów). Z przeprowadzonych symulacji wynika, że zmniejszając nasilenie trzebieży oraz wydłużając długość cyklu produkcyjnego w stosunku do obecnie obowiązujących standardów, w warunkach środkowoeuropejskich można osiągnąć ok. 50% wzrost ilości węgla zmagazynowanego w biomase nadziemnej drzewostanów. Efekt ten uzyskuje się kosztem znaczącej redukcji (prawie 4-krotnie) ilości wyprodukowanego surowca drzewnego. Stąd generalny wniosek, że nie da się pogodzić zachowania wielkości produkcji drewna na dotychczasowym poziomie z dążeniem do zwiększonego pochłaniania węgla przez ekosystemy leśne. Innymi słowy zwiększenie wiązania węgla w ekosystemach leśnych wiązałoby się z koniecznością poniesienia dodatkowych kosztów.

Istotną rolę w rozważaniach dotyczących możliwości zwiększenia pochłaniania węgla w ekosystemach leśnych odgrywa czynnik czasu i kwestia trwałości uzyskanego efektu. Nawet jeżeli w perspektywie krótkookresowej jakieś działania prowadzą do wzmożonego pochłaniania węgla przez ekosystemy leśne, to z reguły wpływa to negatywnie na trwałość lasu i jego funkcji w dłuższej perspektywie czasowej. Poza tym, mitygacja zmian klimatycznych poprzez działania z zakresu leśnictwa wiąże się zawsze z ryzykiem powrotu zmagazynowanego w ekosystemach leśnych węgla do atmosfery w wyniku różnego rodzaju zaburzeń, takich jak pożary czy gradacje owadów. Prawdopodobieństwo takich zdarzeń zwiększa się w obliczu zmian klimatycznych i przewidywanego wzrostu częstotliwości zdarzeń pogodowych o charakterze ekstremalnym. Obserwowany obecnie i przewidywany dalszy wzrost zagrożenia lasów ze strony różnego rodzaju zaburzeń i katastrof powoduje konieczność rewizji poglądu, że nieprzebrane zasoby leśne mogą bezwarunkowo i bez zastrzeżeń pełnić główną rolę w mitygacji zmian klimatycznych. Biorąc to wszystko pod uwagę, wydaje się, że z punktu widzenia ochrony klimatu, najbardziej efektywną i bezpieczną strategią jest dążenie do jak najszerzego wykorzystania drewna jako surowca oraz jako źródła energii bezpiecznej środowiskowo.

Piśmiennictwo

- Bernadzki E. 1993. Zwiększanie różnorodności biologicznej poprzez zabiegi hodowlano-leśne. *Sylvan* 3: 29–36.
- Brzeziecki B. 2007. Zmiany klimatu, węgiel i lasy. *Postępy Techniki w Leśnictwie* 98: 21–29.
- Brzeziecki B. 2008a. Wpływ wybranych metod zagospodarowania lasu i sposobów wykonywania operacji leśnych na bilans węgla w ekosystemach leśnych. W: *Udział leśnictwa w łagodzeniu zmian klimatycznych wywołanych efektem cieplarnianym*. Konferencja ZG SITLiD, Warszawa, s. 21–28.

- Brzeziecki B. 2008b. Działania dodatkowe zwiększające pochłanianie CO₂ w ekosystemach leśnych. Biblioteczka Leśniczego. SITLiD. DGLP. Wydawnictwo „Świat”. Warszawa. Zesz. 272: 1–14.
- Brzeziecki B., Uścian-Szaciłowski P. 2007. Zręby zupełne nowej generacji. *Las Polski* 12: 20–22.
- Candell J.G., Raupach M.D. 2008. Managing forests for climate change mitigation. *Science* 320: 1456–1457.
- Döbbeler H., Albert M., Schmidt M., Nagel J., Schröder J. 2006. BWINPro. Programm zur Bestandesanalyse und Prognose. Version 6.3. TU Dresden. Tharandt.
- Galiński W. 1995. Wpływ globalnego ocieplenia klimatu Ziemi i efektu cieplarnianego na lasy strefy klimatu umiarkowanego. *Las Polski* 9: 4–8.
- Glick D., Montaigne F., Morell V. 2004. Signs from Earth. *National Geographic* 8: 12–75.
- Gruzel M. 2013. Wpływ trzebieży na strukturę i wzrost drzewostanów sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). Praca doktorska. Zaoczne Studia Doktoranckie w Instytucie Badawczym Leśnictwa. Sękocin Stary.
- Ilmurzyński E. 1969. Szczegółowa hodowla lasu. Warszawa, PWRiL.
- Jaworski A. 2011. Hodowla lasu, t. I: Sposoby zagospodarowania, odnawianie lasu, przebudowa i przemiana drzewostanów. Warszawa, PWRiL.
- Kellomäki S., Leinonen S. 2002. Silvistrat Final Report. Management of European Forests Under Changing Climatic Conditions. Tiedonantoja/Research Notes 163. University of Joensuu. Faculty of Forestry. 477pp.
- Klädtker J., Abet P. 2004. Durchforstungshilfe 2004. Freiburg/Br. Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft.
- Klädtker J., Abet P. 2010. Durchforstungshilfe 2010. *Merkblätter der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg* 53: 1–12.
- Köhl M., Hildebrandt R., Olschofsky K., Köhler R., Rötzer T., Mette T., Pretzsch H., Köthke M., Dieter M., Abiy M., Makeschin F., Kenter B. 2010. Combating the effects of climatic change on forests by mitigation strategies. *Carbon Balance and Management* 5, 8: 1–9.
- Leech S.M., Almuedo P.L., O'Neill G. 2011. Assisted Migration: Adapting forest management to a changing climate. *BC Journal of Ecosystems and Management* 12(3):18–34.
- Malsheimer R.W., Heffernan P., Brink S., Crandall D., Deneke F., Galik Ch., Gee E., Helms J., McClure N., Mortimer M., Ruddell S., Smith M., Stewart J. 2008. Forest management solutions for mitigating climate change in United States. *Journal of Forestry* 10: 115–173.
- Pretzsch H. 2009. Forest dynamics, growth and yield. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag.
- Pretzsch H., Biber P., Dursky J. 2002. The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. *Forest Ecology and Management* 162: 3–21.
- Pretzsch H., Grote R., Reineking B., Rötzer Th., Seifert St. 2008. Models for forest ecosystem management: a European perspective. *Annals of Botany* 101: 1065–1087.
- Rykowski K. 1999. Rola ekosystemów leśnych oraz drewna w kontrolowaniu absorpcji i emisji węgla. Ogólnopolska Konferencja Naukowa. Łódź. 4–6.11.1999.
- Rykowski K. 2006. O wpływie zmian klimatycznych na lasy i leśnictwo. Biblioteczka Leśniczego. Zeszyt 244. SITLiD. DGLP. Wyd. Świat. Warszawa.
- Rykowski K. 2012. Czynniki środowiska przyrodniczego determinujące produkcję drewna. W: Przyrodnicze i gospodarcze aspekty produkcji oraz wykorzystania drewna – stan obecny i prognoza. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa. IV Sesja. Sękocin Stary. 20–22 marca 2012 r. s. 47–63.
- Schütz J.–Ph. 2001a. Waldbau I. Die Prinzipien der Waldnutzung und der Waldbehandlung. Skript zur Vorlesung Waldbau I. Professur Waldbau. ETHZ. Zürich.
- Schütz J.–Ph. 2001b. Polyvalenter Waldbau. Skript zur Vorlesung Waldbau IV. Professur Waldbau. ETHZ. Zürich.
- Zasada M., Bronisz K., Bijak Sz., Dudek A., Bruchwald A., Wojtan R., Tomusiak R., Bronisz A., Wróblewski L., Michalak K. 2009. Effect of the cutting age and thinning intensity on biomass and carbon sequestration – the Gubin Forest District case study. *Folia Forestalia Polonica*, ser. A, 51 (2): 18–24.
- Zasady hodowli lasu. 2011. CILP. Warszawa.

Opracowania ekspertów

SESJA

2

Ekstremalne stany pogody a zmiany klimatyczne – stan i perspektywy; szkody klimatyczne: huragany, śniegołomy, powodzie, susze, niskie i wysokie temperatury

prof. dr hab. Zbigniew W. KUNDZEWICZ

Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Poznaniu
Poczdamski Instytut Badań nad Konsekwencjami Klimatu w Poczdamie (Niemcy)

Wstęp

Ocieplenie klimatu w ostatnim 50-leciu, i to w każdej skali – od punktowej do globalnej – nie ulega wątpliwości, a wytłumaczyć je można przede wszystkim intensyfikacją efektu cieplarnianego. Zaobserwowano także liczne zmiany dotyczące ekstremalnych zjawisk pogodowych, które można zdefiniować jako sytuację, gdy pewna, interesująca nas zmienna charakteryzująca system klimatyczny osiąga jedną z najniższych lub najwyższych wartości w zakresie dotychczasowych obserwacji. Projekcje na przyszłość wskazują na jeszcze silniejsze ocieplenie i szereg efektów towarzyszących, w tym związanych z ekstremalnymi stanami pogody. Rozmiar przyszłych zmian klimatu zależy od tego, jak kształtować się będą: demografia, rozwój społeczno-ekonomiczny i polityka przeciwdziałania ociepleniu. Jeśli globalna emisja gazów cieplarnianych będzie dalej rosła w sposób niekontrolowany, ocieplenie może przybrać niebezpieczny rozmiar. Dlatego trzeba ograniczyć zmiany klimatu, poprzez osłabienie efektu cieplarnianego – redukcję emisji gazów cieplarnianych i zwiększenie sekwestracji dwutlenku węgla przez roślinność, a lasy w szczególności.

Jeśli pojawia się ekstremalne zjawisko pogodowe lub klimatyczne, popularną interpretacją medialną jest stwierdzenie, że odpowiedzialne są zmiany klimatu. Takie stwierdzenie nie zawsze jest jednak uzasadnione. Zmienność naturalna klimatu była i jest bardzo silna. Również w przeszłości pojawiały się zjawiska ekstremalne – potężne nawałnice, powodzie i susze. Można jednak stwierdzić, że w ocieplającym się klimacie wystąpienie ekstremalnego zjawiska jest bardziej prawdopodobne.

Niekiedy ekstrema pogodowe nie są ekstremami w sensie statystycznym, ale prowadzą do ekstremalnych konsekwencji. Zdarza się tak, jeśli silne zjawisko pogodowe (np. bardzo intensywny lub długotrwały opad, czy silny wiatr) oddziaływa na wrażliwy system, w którym mogą powstać duże straty. Podobnie, nie wszystkie ekstrema w sensie statystycznym muszą prowadzić do ekstremalnych konsekwencji (jeśli możliwość powstania strat jest znikoma).

Można zauważyć ogólną prawidłowość – zmianom wartości średnich klimatu (np. obserwowanemu od dziesięcioleci ociepleniu) towarzyszą zmiany częstości, intensywności, zasięgu, czasu trwania, i sezonowości występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych. Ponieważ, z definicji, zjawiska ekstremalne są rzadkie, więc nawet najbogatszy zbiór danych obserwacyjnych zawiera niewiele prawdziwie ekstremalnych wartości. A zatem nasze zaufanie do wniosków dotyczących ekstremów jest ograniczone. Dotyczy to zarówno obserwacji, jak i – w znacznie wyższym stopniu – projekcji, opartych na modelowaniu matematycznym.

Obserwacje ekstremalnych stanów pogody

Ekstrema temperaturowe

Występowanie ekstremów dobowych temperatury, tzn niskich wartości minimalnej dobowej temperatury powietrza i wysokich wartości temperatury maksymalnej odpowiada ociepleniu. Wzrostowi wartości średnich towarzyszy zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia temperatur ekstremalnie niskich i jednocześnie częstsze występowanie temperatur ekstremalnie wysokich.

Stuletnie globalne trendy zmian ekstremów temperatury dobowej powietrza (po wyłączeniu stacji zlokalizowanych na terenach zurbanizowanych) wyniosły: dla wartości maksymalnej $+0,082^{\circ}\text{C}/10$ lat, a dla wartości minimalnej $+0,179^{\circ}\text{C}/10$ lat (Easterling i in. 1997).

W ocieplającym się klimacie Polski zaobserwowano zmniejszanie się liczby ekstremalnie zimnych nocy i dni, a wzrost liczby ekstremalnie ciepłych nocy i dni. Dotyczy to również częstości występowania i czasu trwania fal upału. Nie wszędzie jednak zmiana trendu jest istotna statystycznie.

Trend wzrostowy zaobserwowano w przypadku dwóch indeksów: liczby dni z temperaturą powietrza $\geq 30^{\circ}\text{C}$ i długości nieprzerwanego okresu dni upalnych w roku (Graczyk 2013). Najwięcej dni upalnych w roku było w Poznaniu w roku 2006 (26). Po 25 dni upalnych zaobserwowano w Łodzi, Rzeszowie i Wrocławiu w roku 1994 oraz w Słubicach w latach 1994 i 2006.

Wibig (2012), na podstawie pomiarów z 21 stacji meteorologicznych w wieloleciu 1951–2006, stwierdziła trend wzrostowy liczby dni z $T_{\text{max}} > 30^{\circ}\text{C}$ w lipcu na więcej niż 60% stacji i w sierpniu na ponad 50% stacji. Na większości stacji stwierdzono także, że najdłuższy okres w roku z maksymalną dobową temperaturą przekraczającą 30°C coraz bardziej się wydłuża. Podobnie, na podstawie ponad 150-letniego okresu pomiarów w Krakowie, możemy zaobserwować tendencję zwiększania liczby dni

z $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$. Częściej występowały także temperatury jeszcze wyższe, przekraczające 35°C , które we wcześniejszych dziesięcioleciach notowane były bardzo rzadko (Cebulak, Limanówka 2007).

Mniejsze, choć znaczące, zmiany zachodziły w grupie indeksów związanych z występowaniem niskich wartości minimalnej dobowej temperatury powietrza. Zmniejszeniu uległy zarówno liczba dni bardzo mroźnych, jak i najdłuższy nieprzerwany okres takich dni w roku, przy przyjęciu wartości progowych -10°C i -15°C (Graczyk 2013). W ostatnich dwudziestu latach pomiarów, tj. w 20-leciu 1991–2010, na niemal wszystkich stacjach wartości tych indeksów były niższe niż w trzydziestoleciu 1961–1990. Natomiast najwyższe historycznie wartości indeksów, poza bardzo nielicznymi wyjątkami, były notowane przed 1991 rokiem. Na stacjach w różnych częściach Polski można było także zaobserwować tendencję spadkową liczby dni w roku z silnym mrozem ($T_{\min} < -15^{\circ}\text{C}$) (Limanówka 1999). Zmniejszenie liczby takich dni jest szczególnie widoczne po 1972 roku (Cebulak, Limanówka 2007). Ten sam kierunek zmian zaobserwowali Wibig i inni (2009) także w przypadku indeksów związanych z ekstremami chłodu, takich jak: liczba dni z $T_{\min} < -20^{\circ}\text{C}$ i $T_{\max} < -10^{\circ}\text{C}$, jednak istotność statystyczna współczynnika trendu spadkowego przekraczała 90% tylko dla pojedynczych stacji. Autorzy zwracają też uwagę, że z powodu zbyt dużej wieloletniej zmienności tych indeksów oraz częstego występowania wartości zerowych, ustalenie istotności statystycznej zmian tych indeksów jest trudne (Wibig i in. 2009).

W przypadku części indeksów związanych z terminami występowania przymrozków otrzymano wyniki niejednoznaczne. O ile w ostatnim 20-leciu ostatni wiosenny przymrozek występował najwcześniej w całym okresie pomiarów, a dla większości stacji trend był istotny statystycznie, o tyle testy statystyczne wykazywały istnienie istotnych statystycznie trendów, świadczących zarówno o opóźnieniu (10 stacji), jak i przyspieszeniu (1 stacja) terminu wystąpienia pierwszego jesiennego przymrozka.

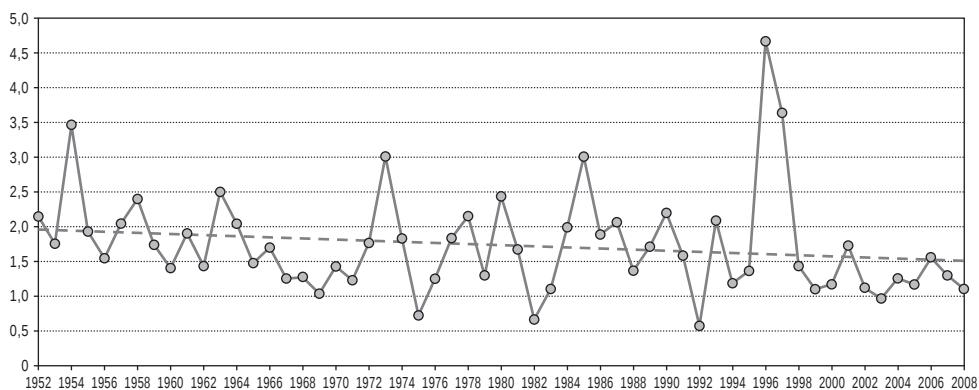
Zmiany pozostałych indeksów związanych z przymrozkami są wyraźne i zachodzą w kierunku ich rzadszego występowania w ostatnich latach. W przypadku obu tych charakterystyk dla większości stacji Graczyk (2013) stwierdził istotny statystycznie trend świadczący o wydłużaniu się okresu bezprzymrozkowego na 22 stacjach i trend spadkowy liczny dni z przymrozkiem na 28 stacjach.

Bielec-Bąkowska i Piotrowicz (2011) zbadały zmiany w czasie trwania przymrozków na obszarze Polski, analizując 20 stacji w okresie 1951–2006. Stwierdziły istotny statystycznie trend przyspieszenia początku okresu bezprzymrozkowego na 12 stacjach. Słabsze zmiany zanotowano dla końca okresu bezprzymrozkowego. Tylko dla 7 stacji opóźnienie wystąpienia pierwszego jesiennego przymrozka było istotne statystycznie, przy czym na 5 stacji pierwszy przymrozek jesienny opóźnił się w badanym okresie o ponad 11 dni. Jednocześnie na 2 stacjach (Chojnice, Suwałki) przymrozek taki występował o ponad 11 dni wcześniej. Zmiany w terminie początku i końca okresu bezprzymrozkowego spowodowały zwiększenie jego długości. Dla 60% stacji zmiana okazała się istotna statystycznie, a dla 4 stacji (Łódź, Kalisz, Hel, Wrocław) przyrost długości okresu bezprzymrozkowego wyniósł ponad 30 dni.

Ekstrema opadowe

W cieplejszym klimacie zaobserwowano intensyfikację cyklu hydrologicznego, tj. wzrost częstości występowania opadów intensywnych oraz wzrost liczby dni bez opadu. Dłuższe okresy posuszne przedzielane są intensywnymi opadami. Wzrosła średnia zawartość pary wodnej w cieplejszej atmosferze, a więc zwiększyła się pula wody, która może stanowić opad.

W wielu regionach zwiększył się udział dni z wysokim opadem (np. przekraczającym 95 percentyl) w sumie opadu rocznego. Odpowiada to zaobserwowanemu wzrostowi ilości pary wodnej w cieplejszej atmosferze powietrza (zgodnie z prawem Clausiusa-Clapeyrona). Jednak statystyki opadu podlegają silnej zmienności między latami i między dekadami. Intensywne opady w Europie wykazują złożoną zmienność i brak silnego schematu przestrzennego. Zmiany są zależne od regionu i od pory roku, jednak w wielu regionach dominuje tendencja wzrostu opadów intensywnych. Zmieniła się również struktura opadu: krótkie, izolowane deszcze uległy przegrupowaniu w dłuższe okresy z opadem, podczas których suma opadów jest większa niż dawniej.



Ryc. 1. Stosunek sum opadów letnich do zimowych w Poznaniu

Źródło: Pińskwar (2010).

Na znacznych obszarach charakter opadów zimowych zmienił się. Wskutek wzrostu temperatury zmalały opady śniegu i zmniejszyła się grubość pokrywy śnieżnej, a wzrosła objętość i częstotliwość zimowych deszczy. Taki efekt dostrzegamy też w Polsce. Zmienia się też czasowy reżim procesów hydrologicznych, a więc ich rozkład sezonowy; zmniejszył się stosunek opadów letnich do zimowych (ryc. 1). Wysokie opady zimowe (zwłaszcza deszcz, a nie śnieg) grożą powodzią i uruchamiają wzmożoną erozję, a niskie opady letnie – zagrażają suszą.

Powodzie, susze i pożary

Wszystkie problemy wodne można zaliczyć do trzech ogólnych kategorii: zbyt mało wody, zbyt dużo wody, lub – woda zbyt zanieczyszczona. Zmiany klimatu nie wywołują nowych jakościowo sytuacji. Należy raczej oczekiwać zmiany (wzrostu) częstotliwości występowania wymienionych trzech kategorii problemów wodnych, a także ich dotkliwości i ostrości.

Czynniki klimatyczne wpływające na ryzyko powodziowe obejmują pojemność wodną gleb (i zawartość pary wodnej w atmosferze), opady, ich intensywność oraz rozkład w przestrzeni i czasie. Parowanie, faza opadu (deszcz czy śnieg), topnienie śniegu, systemy cyrkulacji wody sekwencja temperatur (zamarzanie wody i topnienie śniegu lub lodu) również odgrywa rolę.

Fizyka sugeruje następującą regułę: jeżeli temperatura rośnie, a wraz z ociepleniem rośnie intensywność opadu, wówczas prawdopodobieństwo powodzi rośnie. Jednak weryfikacja tej reguły okazała się problematyczna – obserwacje nie potwierdzają tego przekonująco. Prawa fizyki orzekają, że cieplejsza atmosfera może pomieścić więcej wody. W cieplejszej atmosferze jest więc już większa zawartość pary wodnej, co prowadzi do wzrostu prawdopodobieństwa intensywnych opadów, które mogą spowodować powódź.

Zmiany klimatyczne mogą zwiększać ryzyko powodzi, gdyż w cieplejszym klimacie jest większa intensywność opadów. Jednak detekcja wpływu zmian klimatu na przepływy rzeczne nie jest łatwa, nawet w skali regionalnej, z powodu niskiego stosunku sygnału do szumu. Stosunkowo słaby sygnał klimatyczny (jeśli w ogóle istnieje) jest nałożony na silną zmienność naturalną i pozaklimatyczne czynniki, np. zmiany użytkowania terenu. Być może, na wykrycie trendów istotnych statystycznie trzeba będzie poczekać jeszcze kilka dziesięcioleci.

Ekstremalne zjawiska hydrologiczne – susze i powodzie, już stały się częstsze i bardziej niszczące w wielu regionach świata. Nasuwa się pytanie – w jakim stopniu za wzrost zagrożenia ze strony tych zjawisk odpowiedzialne są zmiany globalne, a w szczególności zmiany i wahania klimatu? Istnieje wiele czynników pozaklimatycznych, które zwiększają ryzyko suszy i powodzi, takie jak spadek zdolności do magazynowania wody w zlewni, wzrost powierzchni obszarów nieprzepuszczalnych i współczynnika odpływu, a także wzrost osadnictwa na terenach zagrożonych. Efektem zmian samych rzek i zmian użytkowania terenów w zlewni jest wyższy odpływ oraz szybszy i wyższy szczyt fali powodziowej, będącej odpowiedzią systemu na intensywny opad.

Oprócz wzrostu ryzyka nadmiaru wód oraz wzrostu ryzyka wystąpienia susz, które na niektórych obszarach stały się częstsze, bardziej intensywne i dłuższe z powodu zmniejszenia się ilości opadów, a także z powodu ocieplenia, powodującego wzrost parowania. W ostatnich latach zanotowano szereg dotkliwych wielkoobszarowych susz, tj. okresów, w których opad był znacznie niższy od wartości średniej, a dodatkowo występowały w tych okresach fale upałów, powodujące silny wzrost parowania. Dai i inni (2004) pokazali, że globalna powierzchnia obszarów bardzo suchych wzrosła ponad dwukrotnie od roku 1970.

W opublikowanych wynikach detekcji zmian przepływów maksymalnych jeszcze nie znaleziono wyraźnego i ogólnego śladu zmian klimatu. Niektóre studia pokazują

wzrost częstości i/lub intensywności przepływów maksymalnych, ale inne nie. W studiach detekcji zmian rocznych przepływów maksymalnych testem Manna-Kendalla Kundzewicz i inni (2005) znaleźli 27 przypadków statystycznie istotnego wzrostu przepływów, ale również 31 przypadków statystycznie istotnego spadku. Przeważnie jednak, bo aż w 137 przypadkach, nie było statystycznie istotnych zmian. Najwyższe przepływy w rzekach Europy zdarzały się znacznie częściej (na 46 stacjach) w ostatnich dwóch dekadach (1981–2000) niż w dwóch dekadach wcześniejszych (1961–1980) (maksyma na 24 stacjach).

Ostatnie dziesięciolecie wyraźnie pokazały wzrost częstości opadów intensywnych w Polsce, przekładający się na wzrost zagrożenia powodziowego, erozją wodną i osuwiskami. Znaczniejsze powodzie wystąpiły w latach 1997, 1998, 2001, 2007, 2010 (w tym: bardzo dramatyczne w 1997 i 2010). Susze w sezonie wegetacyjnym wystąpiły w 1992, 2003, 2006, 2008, 2011, a susza wiosenna w kwietniu i maju 2000.

Susza atmosferyczna, według wskaźnika standaryzowanego opadu (SPI), występuje w Polsce najczęściej w październiku i listopadzie. Natomiast susze silne i ekstremalne ($SPI \leq -1,5$) obserwuje się najczęściej w maju. W latach 1971–2005 w Łęborku i Olsztynie zaobserwowano aż 38 miesięcy z suszą silną i ekstremalną. Najbardziej intensywną suszę hydrologiczną zanotowano w Polsce w 1992 r. Głębokie, wielkoobszarowe susze meteorologiczne (M) i hydrologiczne (H) zaobserwowali również Tokarczyk i inni (2012) w IV 1974 (M), IV, VI 1976 (M), V–X 1982 (M, H), VI–VII 1983 (M, H), IV–V 1988 (M), V–VIII 1992 (M, H), IV–V 1993 (M, H), VI–VII 1994 (M, H), IV–VI 2000 (M, H), IV–IX 2003 (M, H) i IX–X 2005 (M). Susze atmosferyczne występują najczęściej wiosną i jesienią, a susze hydrologiczne i glebowe w okresie letnio-jesiennym.

Choć pożary lasu są w większości wzniecane przez człowieka, warunki pogodowe i akumulacja paliwa odgrywają zasadniczą rolę w zmianach ryzyka pożarowego. Występowanie coraz częstszych okresów suszy w lecie, z wysokimi temperaturami powietrza i silnymi wiatrami, sprzyja powstawaniu groźnych pożarów wielkoobszarowych. Od wielu lat jest obserwowana w Polsce tendencja wzrostowa liczby pożarów i ich powierzchni, sięgającej często daleko poza miejsce powstania pożaru, oraz wielkości strat pożarowych.

Inne ekstrema pogodowe

Od 1979 r. wzrosła liczba bardzo silnych wiatrów (quasi-trąb powietrznych; por. ryc. 2), jednak zaobserwowane zmiany na ogół nie są istotne statystycznie. Prawdopodobnie nastąpiła zmiana szlaku sztormów tzw. ekstrapikalnych w kierunku północnym. Jednak analiza trendów dotyczących występowania zjawisk w małej skali, ze względu na niejednorodność danych i niedostatki systemów monitorowania, nie jest w pełni godna zaufania.

Podsumowanie zaobserwowanych zmian różnych wskaźników ekstremów pogodowych dla środkowej Europy i Polski jest zawarte w tabeli 1. Sygnał zmiany klimatu jest jeszcze dość słaby w porównaniu do naturalnej zmienności klimatu.



Ryc. 2. Występowanie quasi-trąb powietrznych w Polsce w latach 1979–2007, wg H. Lorenc

Tabela 1. Podsumowanie projekcji zmian różnych wskaźników ekstremów pogodowych dla środkowej Europy i Polski (na podstawie Seneviratne i in. 2012)

Wskaźnik	Prognoza
Wskaźniki ciepła i zimna (dnem), T_{max}	Istnieje wysokie prawdopodobieństwo, że liczba ciepłych dni wzrośnie, a liczba zimnych dni zmaleje.
Wskaźniki ciepła i zimna (nocą), T_{min}	Istnieje bardzo wysokie prawdopodobieństwo, że liczba ciepłych nocy wzrośnie, a liczba zimnych nocy zmaleje.
Wskaźnik fal upałów (fal ciepła)	Istnieje średnie prawdopodobieństwo, że fale upałów (fale ciepła) wzrosną. Zmiany niektórych wskaźników nie są istotne statystycznie.
Wskaźnik opadów	Istnieje średnie prawdopodobieństwo, że opady intensywne wzrosną. Zmiany, zwłaszcza w lecie, niektórych wskaźników nie są istotne statystycznie.
Suchość	Istnieje średnie prawdopodobieństwo, że suchość wzrośnie. Zmiany nie będą jednak zano-towane wszędzie – istnieją różnice regionalne. Nie wszędzie i nie dla wszystkich wskaźni-ków zmiany są istotne statystycznie.

Projekcje ekstremalnych stanów pogody

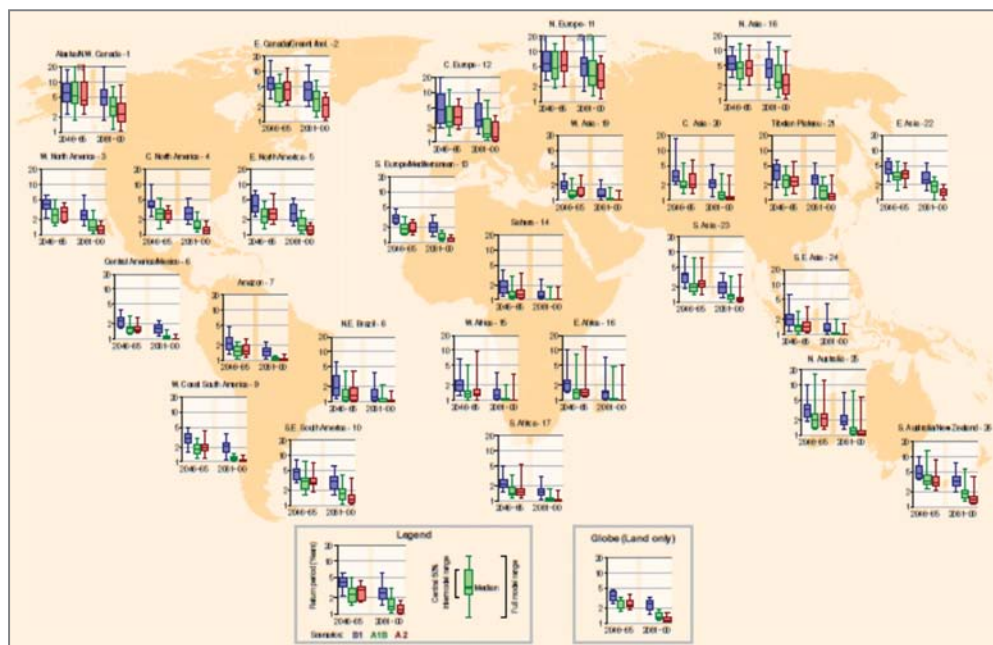
Ekstrema temperaturowe

Postępujący wzrost globalnej temperatury powietrza spowoduje w przyszłości dalsze niekorzystne zmiany: fale upałów będą występowały częściej niż obecnie, będą trwały dłużej oraz wzrośnie ich intensywność. W środkowej Europie pod koniec XXI wieku fale upałów mogą przypominać te obecnie występujące w południowej części Europy (Beniston i in. 2007). Dwie rekordowe fale upałów, które wystąpiły na terenie Europy w latach 2003 i 2010, nie notowane na tym terenie od co najmniej 500 lat (Bariopedro i in. 2010), posłużyły do zilustrowania, jak mogą wyglądać ekstremalnie gorące lata w przyszłości. Fale upałów o intensywności podobnej do obserwowanej w 2003 roku (7-dniowa anomalia temperatury równa 3,7 odchylenia standardowego) już w latach 2020–2049 mogą występować co 15 lat w zachodniej Europie i co 10 lat na wschodzie kontynentu. Jeszcze silniejsze upały, przypominające te z roku 2010 (7-dniowa anomalia temperatury równa 4,5 odchylenia standardowego), mogą w tym samym okresie wystąpić częściej niż raz na 30 lat, a w końcu XXI wieku mogą występować co 8 lat we wschodniej Europie i co 4 lata w zachodniej. Fale upałów, jakie wystąpiły w 2003 roku w zachodniej Europie czy w 2010 w Rosji, według modelowych projekcji nie będą w przyszłości wyjątkowymi zjawiskami. Choć rekordowo gorące lato 2003 jawiło się na znacznych obszarach Europy jako „skwar nie z tej Ziemi”, znacznie wykraczający poza zakres wcześniej obserwowanych temperatur, modelowe projekcje przewidują, że podobna, lub silniejsza, fala upałów pod koniec XXI wieku może zdarzać się średnio co drugi rok (Barriopedro i in. 2010).

Według analizowanych w pracy projekcji modeli klimatycznych zmiany charakterystyk termicznych związanych z ekstremami temperatury powietrza będą zachodziły w przyszłości w tym samym kierunku, co obserwowane obecnie. Wszystkie modele zgodnie wskazują wzrost temperatury w Polsce w przyszłości (Christensen i in. 2007) i to dla wszystkich pór roku, przy czym wzrost temperatury w zimie będzie najsilniejszy. Jednak właśnie w zimie odchylenia od trendu są najbardziej znaczące, bowiem niektóre zimy są bardzo łagodne, a inne – ciągle jeszcze (choć średnio – z mniejszą częstotliwością niż dawniej) bywają bardzo mroźne. Ocieplenie przejawia się również w spadku częstości i intensywności silnych mrozów.

Według projekcji za pomocą modeli klimatycznych okresy letnie w przyszłości będą bardzo upalne, a według projekcji przewidujących najmniejsze ocieplenie średnie wartości indeksów związanych z falami upałów będą podobne do rekordowych notowanych obecnie. Na niektórych obszarach Polski liczba dni w roku z maksymalną dobową temperaturą powietrza przekraczającą 30°C może podczas najbardziej upalnych lat osiągać nawet 60, a temperatury maksymalne powyżej 35°C w przyszłości mogą występować niemal każdego lata, nawet przez ponad 20 dni w roku. Średnia z 3 modeli pokazuje, że w latach 2061–2090 może być kilkakrotnie więcej dni upalnych i bardzo upalnych, a najdłuższy okres dni upalnych wydłuży się co najmniej dwukrotnie na ponad połowie stacji. Projekcje modeli różniły się bardzo wyraźnie i stworzony przez nie zakres możliwych wartości w przyszłości był szeroki. Innymi słowy, upał spowszednieje.

Wydłuży się okres bezprzymrozkowy, a zmniejszy się liczba dni z przymrozkami oraz liczba dni mroźnych w roku. Charakterystyki związane z występowaniem niskich wartości minimalnych dobowych temperatur powietrza także znacząco zmieniają się w projekcjach modeli klimatycznych dla przyszłości. Dużo rzadsze będą dni bardzo mroźne. Najważniejszą zmianą dotyczącą zimy może być bardzo duże zmniejszenie liczby dni bardzo mroźnych i ekstremalnie mroźnych, a także najdłuższych okresów mroźnych. Przeciętna zima za kilkadziesiąt lat będzie znacznie łagodniejsza niż w przeszłości i może przypominać najłagodniejsze zimy, jakie występują obecnie (Graczyk 2013). Na terenie Polski niejedna zima może być łagodna, bez bardzo niskich temperatur. Mimo to w projekcjach modeli najmroźniejsze zimy, jakie mogą wystąpić w przyszłości, przypominają te, które według dzisiejszych standardów są uważane za bardzo surowe. Według projekcji z użyciem modelu C4IRCA3, w którym zimy są najłagodniejsze, w latach 2061–2090 średnia liczba dób z $T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$ w niemal całej Polsce spadnie poniżej 1 dnia w roku, a na wielu stacjach nawet poniżej 0,5 dnia, co oznacza, że w zachodniej części Polski takie mrozy mogą występować tylko podczas najostrzejszych zim. Jeszcze rzadsze będą dni z temperaturą niższą od -15°C . Według modelu C4IRCA3 w latach 2061–2090 w znacznej części Polski takie dni praktycznie przestaną występować. Jednak według projekcji modelu METO-HC, który także przewiduje duży spadek liczby dni z $T_{\min} < -15^{\circ}\text{C}$, w przyszłości na wschodzie Polski oraz na terenach górskich i podgórskich mogą zdarzać się zimy, podczas których dni ekstremalnie mroź-



Ryc. 3. Projekcje rocznej częstotliwości przekroczenia maksymalnej temperatury dobowej, która w końcu XX wieku była przekraczana średnio raz na 20 lat. Okres kontrolny: 1981–2000. Horyzonty projekcji: 2046–2065 i 2081–2100. Trzy scenariusze emisji wg SRES: B1, A1B, A2. Wyniki uzyskano na podstawie 12 modeli GCM i porównaniu ich z CMIP3 (źródło: Seneviratne i in. 2012)

nych będzie nawet ponad 20, czyli tyle ile obecnie podczas zim uznawanych za ostre (Graczyk 2013).

Możemy spodziewać się, że w przyszłości nastąpi dalsza zmiana charakterystyk termicznych. Okres bezprzymrozkowy na badanym obszarze wydłuży się – według projekcji trzech modeli klimatycznych – o 40–70 dni. Będzie to wynikało z przesunięcia w czasie występowania pierwszego jesiennego i ostatniego wiosennego przymrozka. Przymrozki wiosenne na terenie Polski będą się kończyły – w zależności od modelu i regionu kraju – pomiędzy 50 a 110 dniem roku. Oznacza to, że przymrozki wiosną będą występowały średnio do końca marca. Jeszcze wcześniej, bo nawet w lutym, ostatni wiosenny przymrozek wystąpi nad samym Bałtykiem, a tylko nieznacznie później (połowa kwietnia) na pogórzach i na wschodzie Polski. Podobnie opóźni się pierwszy jesienny przymrozek i będzie występował pomiędzy połową października a początkiem grudnia.

Modele przewidują zmniejszenie liczby dni mroźnych w roku na terenie Polski o 10–30. Większe zmniejszenie liczby takich dni przewiduje tylko model METO-HC dla północno-wschodnich krańców Polski.

Z modelowych projekcji wynika, że należy oczekiwać dalszego zmniejszenia liczby ekstremalnie zimnych nocy i dni, a wzrostu liczby ekstremalnie ciepłych nocy i dni i fal upałów. Według raportu IPCC SREX (Seneviratne i in., 2012). Zakładając scenariusze emisji A2 i A1B, można stwierdzić, że bardzo gorący dzień (o temperaturze, która współcześnie przekraczana jest średnio raz na 20 lat) wystąpi pod koniec wieku 4–9 razy częściej w horyzoncie czasowym 2046–2065 (ryc. 3). W wartościach bezwzględnych temperatura bardzo gorącego dnia może wzrosnąć o 1–3°K w okresie 2046–2065, a o 3–5°K w okresie 2081–2100.

Ekstrema opadowe

Opad atmosferyczny, zasadniczy sygnał wejściowy do systemów hydrologicznych, nie jest reprezentowany z dobrą dokładnością w modelach klimatycznych obecnej generacji, a w konsekwencji nie możemy sporządzić precyzyjnej i wiarygodnej projekcji zmian procesów hydrologicznych, zwłaszcza w skali lokalnej (Milly i in. 2005).

Projekcje opadu i zmiennych zależnych od opadu (przepływ rzeczny, zasilanie formacji wodonośnych) uzyskane za pomocą różnych modeli klimatycznych są obciążone znacznie większą dozą niepewności niż projekcje temperatury. Dla wysokich szerokości geograficznych i części tropików modele klimatyczne zgodnie symulują kierunek zmian wielkości opadu, przewidując jej wzrost. Dla niektórych obszarów podzwrotnikowych i obszarów średnich szerokości geograficznych (np. dla basenu Morza Śródziemnego), modele klimatyczne zgodnie przewidują zmniejszanie się średniej rocznej sumy opadów. Między strefami, dla których prognozy są zgodne (należy do nich np. środkowa Europa, włącznie z Polską), leżą obszary, dla których symulacje z użyciem różnych modeli klimatycznych nie są zgodne nawet co do kierunku zmian, zwłaszcza projekcje sezonowe (np. dla lata). Modele przewidują, że roczne sumy opadów w Polsce nieco wzrosną, ale rozkład sezonowy zmian opadu nie będzie równomierny. Zgodnie z projekcją, opady zimowe wzrosną najbardziej, a opady w sezonie wiosennym i jesiennym

– wzrosną w stopniu nieco mniejszym. Scenariusze zmian opadu w Polsce sporządzone za pomocą różnych modeli różnią się mocno dla okresu letniego (czerwiec–sierpień). Tylko niektóre wskazują na wzrost opadów (inne na spadek). Projekcje klimatyczne dla Polski można, mimo nieuniknionej niepewności, podsumować następująco: projekcje ocieplenia dotyczą wszystkich pór roku, ale największy będzie wzrost temperatur zimą. Zimy będą bardziej wilgotne, a lata bardziej gorące i suche. Nawet, gdyby latem nastąpił mały wzrost opadów, wody będzie mniej ze względu na wyższe parowanie i transpirację. Jeśli natomiast ilość opadów nie wzrośnie, to wody będzie znacznie mniej.

Modelowe projekcje opadu średniego w lecie dla znacznej części Europy różnią się od projekcji maksymalnego opadu 24-godzinnego co do kierunku zmian. Nawet tam, gdzie suma opadu (roczna lub sezonowa) maleje, projekcje wskazują możliwość wzrostu zawartości pary wodnej w powietrzu i wzrost częstości i amplitudy opadów intensywnych (Kundzewicz i in. 2006). Modele przewidują, że w Polsce nawet jeśli nie wzrośnie suma opadów w sezonie letnim, to opady intensywne, np. mierzone jako maksymalny opad 24-godzinny, będą wyższe. Coraz większa część opadów w lecie może więc przypadać na opady o dużej intensywności. To może prowadzić do erozji wodnej, osuwisk terenu oraz do wzrostu zagrożenia powodziowego.

Projekcje wskazują także na wzrost zagrożenia suszą w sezonie wegetacyjnym. Wskutek redukcji pokrywy śnieżnej rośnie prawdopodobieństwo wystąpienia susz wiosennych i erozji wietrznej (gleby niepokrytej roślinnością). Nie ulega wątpliwości, że w cieplejszym świecie wzrośnie parowanie potencjalne. Parować będzie mogło więcej wody, jeśli woda będzie dostępna. Jeśli nie, to parowanie potencjalne (ilość wody, jaka mogłaby wyparować) różnić się będzie znacznie od parowania rzeczywistego (ilości wody, jaka istotnie wyparuje). Jeśli, jak wynika z prognoz, wzrośnie temperatura, a letni opad nie zwiększy się odpowiednio, to kłopoty z niedoborem wody będą się nasilać.

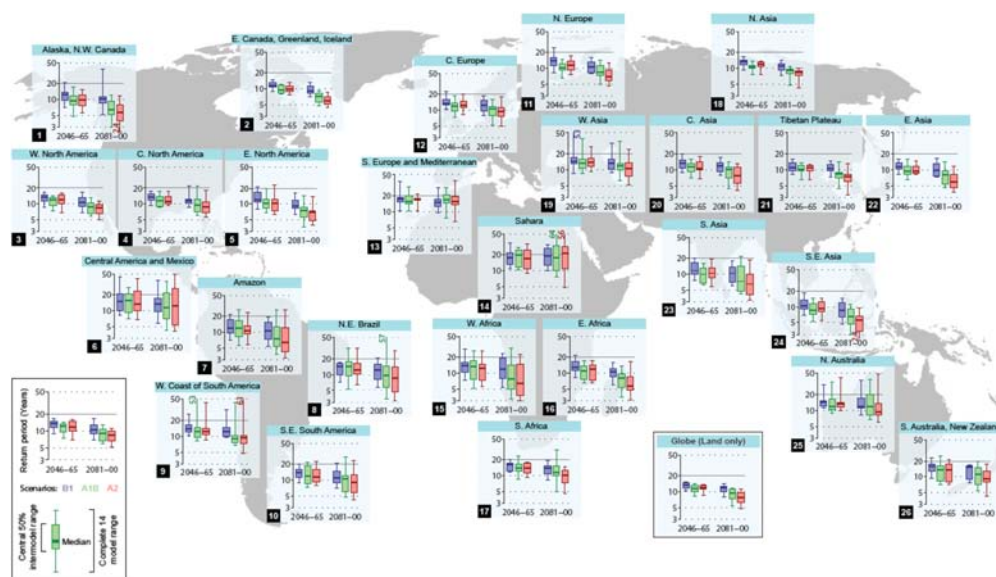
Rycina 4 przedstawia projekcje częstotliwości przekroczenia rocznego maksymalnego opadu 24-godzinnego, który w końcu XX wieku przekraczany był średnio raz na 20 lat.

W cieplejszym klimacie wzrośnie częstość opadów deszczu w zimie, a zmaleje częstość opadów śniegu. Zmiana fazy opadów zimowych spowoduje zmniejszenie zimowej retencji wody (w pokrywie śnieżnej) i zmianę sezonowego rozkładu przepływów w rzekach. Wzrośnie zimowy przepływ rzeczny, a pogłębią się niżówki (niskie przepływy w rzekach) w lecie i jesieni. Projekcje wskazują na skrócenie okresu zalegania pokrywy śnieżnej oraz zmniejszenie jej grubości, i to nie tylko na nizinach, gdzie już teraz zdarzają się długie okresy zimowe bez śniegu, ale także w górach, zwłaszcza na mniejszych wysokościach.

Projekcje zmian średniorocznego przepływu rzecznoego są dość podobne do projekcji opadów. W projekcjach można zauważyć wyraźne równoleżnikowe pasy wzrostu lub redukcji przepływów i znaczne obszary niezgodności modeli. Analiza średniorocznego przepływu nie odzwierciedla jednak wahań sezonowych, które mogą być bardzo duże i istotne dla możliwości zaspokojenia potrzeb wodnych pokrywy roślinnej, zmieniających się wraz ze zmianą pór roku.

Wpływ zmian klimatu na proces przepływu rzecznoego zależy od regionu i sezonu. Można oczekiwać wzrostu zmienności odpływu w przestrzeni i w czasie. Ogólny wniosek dotyczący zmienności przestrzennej można sformułować następująco: obszary

wilgotne staną się jeszcze bardziej wilgotne, a obszary suche staną się jeszcze bardziej suche. Zmienność czasowa również ulegnie zaostrzeniu – w wielu miejscach pora sucha stanie się bardziej sucha niż dotychczas, a pora deszczowa może przynieść jeszcze więcej deszczu.



Ryc. 4. Projekcje częstotliwości przekroczenia rocznego maksymalnego opadu 24-godzinnego, który w końcu XX wieku przekraczany był raz na 20 lat. Okres kontrolny: 1981–2000. Horyzonty projekcji: 2046–2065 i 2081–2100. Trzy scenariusze emisji wg SRES: B1, A1B, A2. Wyniki uzyskano na podstawie 14 modeli GCM w porównaniu z CMIP3 (źródło: Seneviratne i in. 2012)

Projekcje wskazują, że do połowy XXI wieku średnioroczny przepływ rzeczny i dostępność wody zmniejszy się o 10–30% na obszarach suchych w średnich szerokościach geograficznych i w suchych tropikach, natomiast wzrośnie o 10–40% w wysokich szerokościach geograficznych i w niektórych wilgotnych obszarach tropikalnych (Milly i in. 2005). Jeszcze bardziej znaczące zmiany nastąpią w dalszych dekadach XXI wieku. Szereg obszarów, na których już teraz panuje stres wodny, dotknie redukcja zasobów wody słodkiej z powodu zmian klimatu. Dotyczy to zarówno wód powierzchniowych (przepływów rzecznych i stanów wody w jeziorach), jak i zasilania podziemnych formacji wodonośnych.

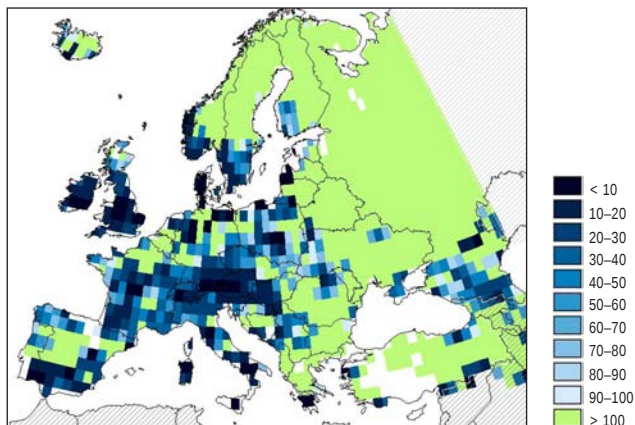
Z praw fizyki wynika, że projektowany wzrost opadów intensywnych niekoniecznie wpłynie na wzrost zagrożenia powodziowego w niektórych zlewniach i regionach. Bardzo prawdopodobne jest wcześniejsze wystąpienie szczytowych przepływów wiosennych.

Zmiany częstotliwości powodzi związane z klimatem są bardzo złożone i zależą od mechanizmów generujących. Ryzyko powodzi spowodowanych przez deszcze rośnie wraz z ich intensywnością, natomiast ryzyko powodzi roztopowych zmniejsza się wraz ze spadkiem grubości pokrywy śnieżnej. W przypadku wystąpienia zim mroźnych

i śnieżnych, jakie mimo ocieplenia klimatu, nadal się zdarzają w znacznej części Europy (2005–2006, 2009–2010, 2010–2011, 2011–2012), może wzrosnąć zagrożenie spowodowane deszczami późnojesiennymi i zimowymi.

Wraz z urbanizacją rosną przepływy rzeczne odpowiadające określonej opadowi. Wraz z ociepleniem intensywne opady stają się częstsze i silniejsze, więc zjawisko wysokiego stanu rzek powszedniejsze. W ostatnich dekadach częstotliwość powodzi znacznie się zwiększyła i ta tendencja raczej utrzyma się w przyszłości. Obecna „woda stuletnia” w przyszłości zdarzy się częściej. Analiza obszaru dynamicznej urbanizacji w USA pokazuje, że dawna woda tysiącletnia stała się w ciągu zaledwie półwiecza wodą dziesięcioletnią. Aby utrzymać pożądany poziom zabezpieczeń, trzeba wzmocnić system osłony.

Istnieją projekcje zmian ryzyka powodziowego w przyszłości. Hirabayashi i inni (2008) badali zmianę częstości występowania wysokich przepływów. Przyjmując jako bazę poziom przepływu 100-letniego, odpowiadający poziomowi przepływu w okresie porównawczym 1961–1990, dokonali porównania średniego okresu przekroczenia tego poziomu dla horyzontu 2071–2100. Według tych projekcji, w znacznej części Polski, Niemiec, Austrii, Szwajcarii, Francji i Włoch obecna woda 100-letnia (przewyższana średnio raz na sto lat) będzie zdarzać się częściej w przyszłości, natomiast w znacznej części wschodniej Europy i Skandynawii – rzadziej (ryc. 5). Projekcje wskazują, że dla 30% powierzchni Europy obecna woda stuletnia będzie zdarzać się częściej niż raz na 50 lat, a więc jej częstotliwość w ciągu 110 lat ulegnie co najmniej podwojeniu. Jednak prognozowanie tych zmian, podobnie jak demograficznych, ekonomicznych czy przyszłego użytkowania terenów zalewowych, w dłuższym horyzoncie czasowym jest bardzo niepewne.



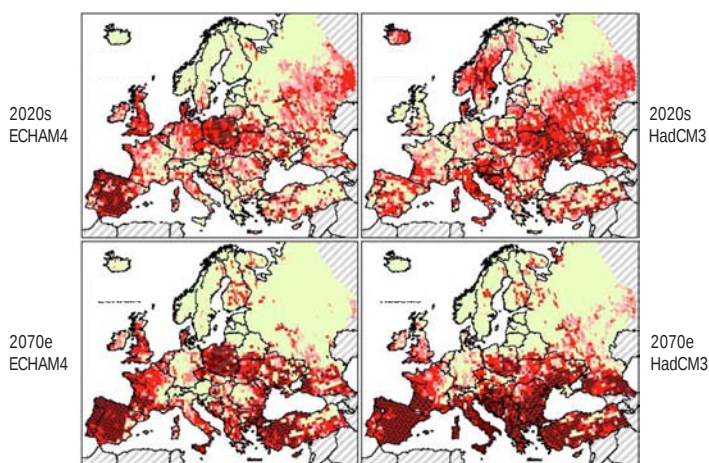
Ryc. 5. Zmiana średniego okresu przekroczenia tzw. przepływu 100-letniego, odpowiadającego przepływowi w okresie porównawczym 1961–1990, dla horyzontu 2071–2100 (na podstawie: Hirabayashi i in. 2008)

– rzadziej (ryc. 5). Projekcje wskazują, że dla 30% powierzchni Europy obecna woda stuletnia będzie zdarzać się częściej niż raz na 50 lat, a więc jej częstotliwość w ciągu 110 lat ulegnie co najmniej podwojeniu. Jednak prognozowanie tych zmian, podobnie jak demograficznych, ekonomicznych czy przyszłego użytkowania terenów zalewowych, w dłuższym horyzoncie czasowym jest bardzo niepewne.

Jeśli w Polsce wzrośnie suchość okresów letnich, jeśli częściej będziemy wychodzić z zimy bez wystarczającego zapasu wilgoci w glebie, brak wody wystąpi już wiosną, a sytuacja, gdy w lecie małe ciekły i małe zbiorniki wysychają, występować będzie częściej.

Przewiduje się wzrost wysychania gleb w okresach letnich, przede wszystkim w znacznej części obszarów położonych w średnich szerokościach geograficznych. Na podstawie projekcji klimatycznych należy się spodziewać w przyszłości zaostrzenia zjawisk ekstremalnych typu „zbyt mało wody”, w tym wydłużenia okresów suchych (bez

opadów lub z opadami znacznie poniżej wartości średnich), czy wydłużenia okresów suchych i jednocześnie gorących, co z uwagi na spotęgowane parowanie, jeszcze bardziej przyspieszy wystąpienie stresu wodnego. Spodziewać się także możemy, że w przyszłości deficyt wody występować będzie na znacznie większych obszarach niż obecnie i będzie bardziej intensywny. Według modelowych projekcji, globalna powierzchnia terenów objętych silną suszą ulegnie znacznemu zwiększeniu: 10-, a nawet 30-krotnie do końca wieku. Susza 100-letnia, określona na podstawie okresu kontrolnego 1961–1990, w różnych miejscach Europy będzie w przyszłości występowała częściej (na rys. 6 kolory czerwone) lub rzadziej (kolor zielony). Rycina 6 (Lehner i in. 2005) przedstawia zmiany okresu powtarzalności w porównaniu z okresem kontrolnym dla dwóch horyzontów czasowych (lata 2020–2030 i 2070–2080) i dla dwóch modeli (ECHAM4 i HadCM3).



Ryc. 6. Zmiany częstości suszy 100-letniej w Europie dla dwóch modeli (ECHAM4 i HadCM3) i dla dwóch horyzontów czasowych (lata 2020–2030 i 2070–2080). Kolor czerwony – wzrost częstości, kolor zielony – spadek częstości (źródło: Lehner i in. 2005)

Wzrost temperatury, któremu nie towarzyszy odpowiedni wzrost opadów, może prowadzić do występowania groźnych susz. „Przymiarką” do warunków cieplejszego klimatu było w Europie gorące i suche lato 2003, podczas którego zanotowano na znacznej części kontynentu wyraźny spadek produkcji pierwotnej (Ciais i in. 2005). Ociepleniu klimatu towarzyszy, przy pozostałych czynnikach nieulegających zmianie, wzrost parowania, więc aby można było wykorzystać pozytywne aspekty wzrostu temperatury, musiałyby także wzrastać opady.

Zaufanie do stwierdzenia, że suchość w lecie stanie się bardziej intensywna w przyszłości, jest umiarkowane, gdyż decydują o tym dwa procesy – zmniejszenie opadu i zwiększenie parowania terenowego.

Można spodziewać się, że wzrośnie ryzyko powodzi i suszy i nie ma w tym żadnej sprzeczności. Długotrwałe susze będą bowiem przerywane falami intensywnych opadów. Narastają zagrożenia związane zarówno z suszami – osłabiającymi stan zdrowotny drzewostanów, jak i z opadami nawałnymi – powodującymi szkody powodziowe. Roz-

miar szkód powodziowych i powstałych w następstwie suszy zależy m.in. od rodzaju i kondycji drzewostanów oraz warunków środowiskowych.

W cieplejszym klimacie obawiamy się wzrostu częstości pogody sprzyjającej pożarom, dłuższych sezonów, w czasie których występują pożary, a także wzrostu powierzchni narażonej na ryzyko pożaru. Projekcje wskazują na wyraźny wzrost epizodów suszy i fal upałów. W prawie całej Polsce wartość wskaźnika SSR (*Seasonal Severity Rating*) może wzrosnąć w okresie 2071–2100 o 40–60% w porównaniu z okresem 1961–1990 (EEA, 2012). W zmienionym klimacie można obawiać się wzrostu zagrożenia pożarowego (Schumacher, Bugmann 2006; Thonicke, Cramer 2006).

Inne ekstrema pogodowe

Projekcje na przyszłość związane z wiatrami obarczone są wysoką niepewnością. Tym niemniej, modele pokazują zmiany toru cyklonów, a także wzrost występowania najsilniejszych wiatrów.

Zaufanie do projekcji zmian silnych wiatrów jest dość niskie, ponieważ istnieje niewiele studiów projekcji ekstremalnych wiatrów, a te które istnieją, mają wiele słabości, natomiast wyniki uzyskiwane za pomocą różnych modeli różnią się.

Ocenia się, że dość prawdopodobne jest odchylenie szlaków silnych wiatrów w kierunku północnym.

Podsumowanie

Podsumowanie projekcji zmian różnych wskaźników ekstremów pogodowych dla środkowej Europy i Polski pokazuje tabela 2.

Tabela 2. Podsumowanie projekcji zmian różnych wskaźników ekstremów pogodowych dla Europy Środkowej i Polski (na podstawie: Seneviratne i in. 2012)

Wskaźnik	Prognoza
Wskaźniki ciepła i zimna (dnem), $T_{\max}$	Istnieje bardzo wysokie prawdopodobieństwo, że częstotliwość występowania ciepłych dni wzrośnie, a zimnych dni zmaleje. Prawdopodobnie zmiany w wyższych kwintylach $T_{\max}$ w lecie będą znacznie wyższe niż zmiany w kwintylach niższych. Wzrośnie więc zmienność $T_{\max}$.
Wskaźniki ciepła i zimna (nocą), $T_{\min}$	Istnieje bardzo wysokie prawdopodobieństwo, że częstotliwość występowania ciepłych nocy wzrośnie, a liczba zimnych nocy zmaleje.
Wskaźnik fal upałów (fal ciepła)	Istnieje średnie prawdopodobieństwo, że fale upałów (fale ciepła) będą częstsze i bardziej intensywne. Efekt zależy od wyboru wskaźników charakteryzujących fale upałów (fale ciepła).
Wskaźnik opadów	Istnieje średnie prawdopodobieństwo, że intensywność i częstotliwość występowania silnych opadów wzrośnie.
Suchość	Istnieje średnie prawdopodobieństwo, że suchość wzrośnie. Istnieje średnie prawdopodobieństwo, że wzrosną susze o krótkim czasie trwania.

Źródłem niepewności w projekcjach jest naturalna zmienność klimatu, niepewność dotycząca parametrów i struktury modeli klimatycznych i niepewność projekcji przyszłych emisji.

Na ogół projekcje dla najbliższych dziesięcioleci nie różnią się zbyt mocno, jeśli rozważyć różne scenariusze emisji. Dla dalszej przyszłości (drugiej połowy XXI w.) niepewność zdominowana jest przez niepewność związaną z modelami klimatycznymi, a nie przez niepewność związaną z przyszłymi emisjami. Skomplikowane sprzężenia zwrotne odgrywają wielką rolę w osłabianiu lub wzmacnianiu ekstremów.

Konsekwencje ekstremów pogodowych w lasach

Ekstrema temperaturowe

Zmiany ekstremów pogodowych wpływają bezpośrednio i pośrednio na pojawy szkodników i patogenów poprzez zmianę wartości odżywczej masy roślinnej, zmianę odporności roślin i interakcje w środowisku. Przyszłe konsekwencje działania szkodników będą również zależały od wpływu zmian ekstremów pogodowych na systemy drapieżnik–ofiara oraz źródło pokarmu–konsument (gospodarz–gość) i na patogeny. Wzrost częstotliwości zdarzeń ekstremalnych może zburzyć synchroniczność między wzrostem, rozwojem oraz reprodukcją gospodarzy i gości.

Bezpośredni wpływ wzrostu temperatury na szkodniki i patogeny obejmuje zmiany długości cyklu życia (szybkość rozwoju), gęstości i rozmiaru populacji, składu genetycznego i stopnia występowania. Wzrost temperatury w kierunku optimum dla danego gatunku owada przyspiesza rozwój jaj i larw, skraca czas rozwoju w fazach wrażliwych na działanie drapieżników i pasożytów, a przez to zwiększa szanse przeżycia. Przyspieszenie rozwoju zwiększa potencjał reprodukcyjny owadów, a szybszy przebieg cyklu życia umożliwia dodatkowe gradacje w ciągu roku. Warto jednak zauważyć, że wysoka temperatura podczas fal upałów może wywierać ujemny wpływ na populacje owadów, prowadząc do spowolnienia wzrostu, zmniejszenia płodności i prawdopodobieństwo przeżycia. Populacje owadów, dzięki przeżyciu zimy przez większą część populacji oraz dzięki większemu tempu wzrostu podczas cieplejszego sezonu, mogą rozszerzać swój zasięg w kierunku większej szerokości geograficznej i w kierunku obszarów wyżej położonych (Lindner i in. 2008).

Rozwój owadów-gości wymaga ścisłej synchroniczności z fenologią gospodarza (np. czas rozwoju larw i rozwijania się pąków). Temperatura, która może różnie wpływać na szybkość wzrostu owada i rośliny-gospodarza, może decydować o kształtowaniu się granic zasięgu owada. W warunkach zmian klimatu rośnie prawdopodobieństwo występowania asynchroniczności rozwoju roślin-gospodarzy i owadów-szkodników roślin.

Niebezpieczne są także szkody od przymrozków, szczególnie późnych. W ciągu 55 lat, w Beskidzie Śląskim zanotowano około 30 ekstremalnych epizodów pogodowych, z których co najmniej 12 odegrało istotną rolę w pogorszeniu stanu zdrowotnego drzew, a w konsekwencji – wpłynęło na destabilizację drzewostanów świerkowych

(Durło 2012). Późne przymrozki zanotowano np. w maju 2007 i w maju 2011. Im cieplejsze staną się zimy, tym dotkliwsze mogą być późne przymrozki, których jednak nie da się wykluczyć i w cieplejszym klimacie. Późne przymrozki powodują straty w uprawach leśnych. Przymrozki w Beskidzie Śląskim w maju 2007 (po cieplej zimie i bardzo ciepłym kwietniu) spowodowały szkody w drzewostanach wszystkich gatunków i wszystkich klas wieku, a najbardziej w drzewostanach bukowych i jodłowych (Durło 2012).

Wzrost temperatury wiosną i jesienią spowoduje wydłużenie sezonu wegetacyjnego. Jednak fale upałów i susze latem nie będą korzystne. Produkcja masy roślin będzie ograniczona przede wszystkim przez niedostatek wody – niezbędnej do fotosyntezy, a także przez wysoką temperaturę i niedostatek substancji pokarmowych. Można oczekiwać zmian we współzawodnictwie między gatunkami.

W upalne letnie dni, przy pełnym nasłonecznieniu, obserwuje się bardzo wysokie temperatury w przygrunтовой warstwie powietrza, które mogą doprowadzić do udaru cieplnego młodych roślin na powierzchniach odnowieniowych czy szkółkarskich. Durło (2012) informuje o obserwacji temperatury 65°C na powierzchni substratu w szkółce leśnej Wyrchzadeczka w Nadleśnictwie Wisła. Stres potęgują wielkie wahania temperatury między minimum a maksimum dobowym.

Ekstrema opadowe

Opady ulewne i nawałne, bez nasycenia retencji gruntowej, nie są korzystne. Woda szybko spływa, powodując erozję i nie poprawiając w znacznym stopniu uwilgotnienia gleby. Zabagnianie siedlisk leśnych powoduje trwałe szkody i lokalne przeobrażenie siedlisk. Wskutek podtopienia lub zalania terenu zmniejsza się drastycznie ilość tlenu w glebie, co w dłuższym okresie ogranicza respirację korzeni i w rezultacie zakłóca pobór wody oraz biogenów, prowadząc do osłabienia lub nawet zamierania roślin. Sprzyja to także rozwojowi chorób grzybowych, a pośrednio gradacji owadów. Następuje utrudnienie kiełkowania nasion. Poszczególne gatunki drzew różnie reagują na podtopienie i zalanie. Największą odpornością charakteryzuje się dąb szypułkowy i sosna zwyczajna. Najszybciej zamierają siewki i sadzonki drzew, a także przypowierzchniowe, drobne korzenie drzew i mikoryzy drzew dojrzałych. Istotny wpływ ma czas trwania warunków beztlenowych oraz temperatura wody. Przy krótkotrwałych (kilkudniowych) zalewach stan systemów korzeniowych nie ulega znacznemu pogorszeniu. Na rodzaj i rozmiar szkód duży wpływ mają też warunki pogodowe w okresie powodzi, bowiem od temperatury powietrza i wody zależy prędkość reakcji chemicznych i poziom niedoboru tlenu w glebie. Najbardziej szkodliwe są powodzie letnie, występujące w okresie intensywnego wzrostu drzew (Pierzgałski i in. 2012).

Jedną z największych powodzi w lasach była powódź w lipcu 1997 r. Powierzchnia terenów zalanych wówczas w dolinie Odry wynosiła 233,7 km² (z czego tereny leśne stanowiły 65,8%), a szkody związane z powodzią odnotowano na powierzchni ok. 1160 km² lasu (Ciołkosz, Bielecka 1998). Wprawdzie woda zalała przede wszystkim drzewostany liściaste (82%) na siedliskach łęgowych, przystosowane do wylewu rzeki, ale dotarła również do lasów iglastych na siedliskach borowych, o niewielkiej odporności na pod-

topienie. Wiśniewski (1998) przedstawił specyfikację szkód powodziowych, uwzględniając nie tylko szkody powstałe na terenach zalanych, lecz także na obszarach objętych gwałtownym przepływem wód w ciekach lub spływem powierzchniowym. Na terenach górskich szkody obejmowały zniszczenia pokrywy glebowej, erozję liniową na szlakach zrywkowych i w korytach cieków, ruchy masowe (np. spłynięcie 4 ha lasu w Nadleśnictwie Limanowa), a także zniszczenie infrastruktury technicznej. Na terenach nizinnych szkody dotyczyły przede wszystkim drzewostanów. W Nadleśnictwach Wołów, Oława i Miękinia lasy zostały wówczas zalane na łącznej powierzchni ok. 20 tys. ha, a głębokość wody sięgała do 1–1,5 metra. Długotrwała stagnacja zanieczyszczonej wody zaszkodziła wszystkim elementom ekosystemów leśnych. Szczególnie ucierpiały odnowienia, odrosty, podszyty, szkółki leśne. Łączne szkody w lasach związane z powodzią z 1997 r. oszacowano na 197 mln zł., czyli kwotę porównywalną z przeciętnym rocznym zyskiem Lasów Państwowych (Pierzgalski i in. 2012). Na straty finansowe składały się następujące szkody w wymiarze rzeczowym i kwotowym: naprawa 3006 km zniszczonych dróg (115,3 mln zł), odbudowa 4435 mostów i przepustów (13,2 mln zł), odbudowa 1007 km sieci melioracyjnej (8,3 mln zł), naprawa zabudowy technicznej 219 km potoków (13,2 mln zł), odbudowa 542 budynków (9,3 mln zł), odnowienia drzewostanów i zalesienia na powierzchni 25422 ha (29,1 mln zł), odtworzenie 73 ha szkółek leśnych (3,3 mln zł) i inne (3,3 mln zł). Wartości podane powyżej nie uwzględniają jednak takich strat jak zmniejszona produkcja drewna, skutki chorób grzybowych i gradacji owadów oraz ograniczenia pozaprodukcyjnych funkcji lasu. Wysokie szkody powodziowe w polskich lasach w wysokości 130 mln zł, zanotowano również w roku 2010.

Wzrost częstotliwości stresu wodnego i długotrwałe susze klimatyczne powodujące przesuszenie siedlisk należą do najważniejszych zagrożeń dla stabilności funkcjonowania ekosystemów leśnych. Niedobór wody powoduje osłabienie drzew, posusz i defoliację, a także wzrost podatności na rozwój chorób grzybowych i gradacje szkodników. Może prowadzić do masowego obumierania drzewostanów. Nasilanie się susz szkodzi szczególnie wrażliwym gatunkom drzew. Susze, w połączeniu z falami upału, negatywnie wpływają na dostępność biogenów w glebie i powodują wzrost utraty azotu przez nityfikację.

Bezpośrednie straty spowodowane suszami stanowią jedynie część strat, których czynnikiem inicjującym lub katalizatorem są susze. Istotna jest rola susz w łańcuchu chorobowym drzewostanów, a zamieranie drzew jest złożonym procesem, na który wpływ mają trzy grupy czynników (Sierota, Hilszczański, 2011): predyspozycyjne (siedlisko, wiek, genotyp rośliny, pogoda, immisje), inicjujące (anomalie pogody, wiatr, owady, genotyp patogenu), i współuczestniczące (inne grzyby, owady, immisje, anomalie pogody). Osłabienie drzew, którego przejawem jest m.in. defoliacja, a następstwem rozwój chorób grzybowych i gradacje szkodników, może prowadzić do masowego obumierania drzewostanów.

Durło (2012) rozważał wpływ klimatu na stabilność drzewostanów górskich w Beskidzie Śląskim, zauważając zagrożenie dla przyrostu drewna. W Beskidzie Śląskim przeważają siedliska górskie, a drzewostany zbudowane są przede wszystkim ze świerka. Świerk prowadzi nieoszczędną gospodarkę wodną – dla wyprodukowania 1 kg s.m. potrzebuje 360 litrów wody (więcej niż inne drzewa iglaste).

Mimo że wartości roczne wskaźników opadowych nie budzą obaw, to w mniejszej skali czasowej szereg zmian jest niekorzystnych. Dla formowania przyrostu rocznego u świerka ważna jest suma opadów w okresie maj–lipiec. W latach 1990–1996 suma opadów w każdym z tych miesięcy była poniżej średniej wieloletniej. Zaobserwowano wówczas redukcję sumy opadów w cieplej części roku na korzyść zimowych i ujemny bilans wodny w okresie wegetacyjnym. W latach suchych obserwowano ograniczenie przyrostu świerka, defoliację i wydzielanie się posuszu. Rozkład czasowy opadu był niekorzystny. Obserwowano długie ciągi dni bez opadu, przerywane ulewami, które szybko spływały w dół, nie odnawiając zasobów wody w glebie.

Świerk charakteryzuje się silną intercepcją: dobową sumę opadu na poziomie 0,1–3,5 mm nie jest rejestrowana przez deszczomierze pod koronami świerka. Na terenie Nadleśnictwa Wisła, na podstawie pomiarów pod okapem drzewostanu, Durło (2012) zauważył długie ciągi dni bezopadowych w okresie wegetacyjnym 2001–2010. W kwietniu i maju 2009 zdarzył się okres przekraczający 35 dni bez opadu. Okresy przekraczające 20 dni zaobserwowano w: sierpniu 2000, październiku 2005, lipcu 2006, wrześniu 2009 oraz na przełomie września i października 2010.

Szczególnie podatne na wpływ suszy są świerki, które mają duże potrzeby wodne i płaski system korzeniowy. W wyniku pojawiających się susz klimatycznych i glebowych świerki masowo wypadają z drzewostanów. Dla drzew liściastych, których udział wzrasta, najsilniejszymi czynnikami szkodliwymi są susze, duże dobowe różnice temperatur oraz oparzenia słoneczne.

Do innych zakłóceń abiotycznych zalicza się pożary oraz wiatr. Zmienić może się miejsce ich występowania, częstotliwość oraz amplituda. W warunkach zmiany klimatu, ekstremalne sytuacje pogodowe mogą stać się częstsze i bardziej ekstremalne, z negatywnymi konsekwencjami (bezpośrednimi i pośrednimi) dla lasów. W przypadku wystąpienia susz wielkoobszarowych pożary stają się bardziej niszczące.

Niewielkie pożary nie muszą powodować dramatycznych problemów. Następuje eliminacja gatunków współzawodniczących, wzrost pH i dostępności biogenów, a także wzrost hydrofobiczności, a w efekcie – spadek przepuszczalności gleby i wzrost podatności na erozję. Jednak wielkie pożary prowadzą do poważnych niekorzystnych skutków – utraty znacznej ilości materii organicznej, utraty składników pokarmowych oraz erozji i zmiany składu fauny glebowej.

Szczygieł (2012) podsumował statystyki, zauważając, że w latach 1948–2009 w polskich lasach powstało 260 106 pożarów, w wyniku których spaleniem uległo 310 879 ha. Straty wskutek pożarów szacuje się na około 2,5 mld złotych. W szeregu lat w tym okresie liczba pożarów w Polsce wynosiła więcej niż 10 000 incydentów rocznie. Najwięcej pożarów lasu (17 088) zaobserwowano w 2003, a także w latach: 2000 (12 428), 2005 (12 169), 1992 (11 858), 2006 (11 828), 1994 (10 245) i 2002 (10 101). Największą powierzchnię objętą pożarami zanotowano w 1992 r., a także w latach: 2003 (21 500 ha), 1996 (14 120 ha), 1948 (9 505 ha) i 1994 (9 171 ha).

Na wyraźny wzrost zarówno liczby pożarów, jak i powierzchni spalonej w Polsce w latach 1990–2009 bez wątpienia wpłynęły zmiany klimatyczne. W tym dwudziestoletnim okresie (tzn. w ciągu 32% całego okresu poddanego analizie) powstało aż 68,7% wszystkich odnotowanych pożarów, a ich powierzchnia stanowiła 55,4% ogólnej po-

wierzchni strawionej przez ogień. Rozkład przestrzenny pożarów lasów w Polsce pokazuje skupienie znaczniejszej liczby pożarów, np. w pasie ciągnącym się od Warszawy na południowy zachód (Szczygieł, 2012).

Analiza występowania pożarów w zależności od czynników drzewostanowych (Szczygieł 2012) wykazała, że najbardziej zagrożone są drzewostany w wieku do 40 lat na siedliskach borowych (Bs, Bw, Bśw, BMśw, BMw), w których gatunkiem panującym jest sosna. Najwięcej pożarów (58,4%) powstaje wiosną, osiągając maksymalną wartość w kwietniu – 24,3%, w porze absurdalnego i karalnego, ale wciąż dość częstego procederu wypalania traw. Następną porą roku, kiedy powstaje najwięcej pożarów – 32,4%, jest lato, z maksimum przypadającym w lipcu (15,4%).

W ostatnim dwudziestoleciu katastrofalne wielkoobszarowe pożary lasu miały miejsce w sierpniu 1992 r., kiedy ogień strawił niemal 30 tys. ha: aż ponad 9 tys. ha spustoszył pożar w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie, Kędzierzyn i Rudziniec (obecne woj. śląskie), a ponad 5 tys. ha pożar w Puszczy Noteckiej, w Nadleśnictwie Potrzebowice, Wronki i Krucz (obecnie woj. wielkopolskie).

Ryzyko pożaru, wyrażane np. jako wskaźnik pożarowy pogody (*Fire Weather Index*) zależy od zawartości wilgoci w ściółce i innych palnych substancjach na powierzchni gruntu i w glebie. Istotna jest też wilgotność powietrza (minimum występuje wczesnym popołudniem), temperatura popołudniowa (maksimum dobowe), opad za ostatnie 24 godziny (od południa do południa) i maksymalna prędkość średnia wiatru.

W dniach wystąpienia katastrofalnego pożaru lasu koło Kuźni Raciborskiej temperatura powietrza wynosiła od 33°C do 37°C, wilgotność względna powietrza poniżej 30%, a wilgotność ściółki osiągała miejscami minimalną możliwą wartość wynoszącą (6%; zob. Szczygieł 2012). Ogromny pożar Lasów Raciborskich w sierpniu 1992 był największy w skali krajowej i subkontynentalnej. Jednak w południowej Europie pożary są jeszcze bardziej niszczące. Na przykład, w roku 1985 w pięciu krajach południowej Europy spłonęły lasy o powierzchni niemal miliona hektarów.

Inne ekstrema pogodowe

Wzrost częstotliwości i intensywności wichur ma bezpośredni wpływ na szkodniki i patogeny. Na obszarach dotkniętych wiatrowałami i wiatrolomami, ekosystemy leśne ulegają destabilizacji, a warunki abiotyczne podlegają silnym zmianom. Zmienia się regionalna dynamika populacji owadów. Podczas gdy niektóre gatunki tracą swoje siedlisko, istnieje szeroki zakres mikrohabitatów dla innych organizmów. Zwiększa się ilość materiału do żerowania dla wielu znaczących szkodników (np. dla kornika drukarza *Ips typographus*), a więc wzrost ich populacji może być radykalny i mogą one spowodować wielkie szkody (Bouget, Duelli 2004). Atak kornika drukarza obejmuje najpierw zajęcie martwego drewna, a potem inwazję na zdrowe drzewa. Silne wichury nie tylko zwiększają częstość ataków szkodników, ale też powiększają częstość powstawania otwartych ran drzew – wrót dla patogenów.

Wiatrowały i wiatrolomy w środkowej Europie i w Polsce uwarunkowane są klimatem (wiatr), ale też gospodarką leśną i strukturą wiekową drzew. Zamarzanie i roz-

marzanie gruntu po rozpoczęciu sezonu wegetacyjnego, a także występowanie ciepłych późnych jesieni osłabiają drzewa.

Wystąpienie wiatrów o bardzo dużej prędkości może prowadzić do dużych strat. W lasach Europy szczególnie często spotyka się systemy cyklonalne średnich szerokości geograficznych w półroczu chłodnym (od października do marca). Wichury i śnieg powodują znaczne straty. Szacuje się, że w grudniu 1990 r. i w 1999 r. straty osiągnęły poziom, odpowiednio, 180 milionów i 200 milionów m³ drewna. W południowej Szwecji wichura w styczniu 2004 powaliła 70 milionów m³ drewna. Spowodowało to nie tylko wielkie straty zasobów drewna, ale też wysoki koszt usuwania wiatrowałów i wiatrołomów. Były również ofiary w ludziach. Istnieje ponadliniowa zależność między wzrostem temperatury a wzrostem szybkości wiatru (por. Schelhaas i in. 2010).

Podsumowanie

Złożone interakcje między temperaturą, opadem, dostępnością nutrientów, jakością rośliny, dynamiką owadów i zasięgiem występowania sprawiają, że prognozy są bardzo niepewne (Lindner i in., 2008).

Reasumując, zmiany klimatu mogą przyczynić się do wystąpienia gatunków inwazyjnych na nowych obszarach, zmiany częstości ataków szkodników i patogenów, a w rezultacie mogą wpływać na ekologię naturalnych wrogów i chorób, a także organizmów – wektorów. Wzrost temperatury wpływa na szybkość rozwoju owadów, gęstość i rozmiar populacji, skład genetyczny, szanse przeżycia i potencjał reprodukcyjny owadów, częstotliwość, ostrość i długotrwałość ataku szkodników oraz na obszar ich występowania. Mogą nastąpić zmiany zasięgu gatunków szkodników i patogenów, kolonizacja nowych siedlisk przez populacje reliktowe czy przez migrantów, mogą też pojawić się gatunki obce. Wzrost temperatury ponad optimum rozwoju owadów wpływa jednak ujemnie na szybkość wzrostu i vitalność szkodników, a także na rozkład i gęstość populacji z powodu asynchroniczności rozwoju roślin-gospodarzy i owadów roślinożernych. Wcześniejsze topnienie śniegu sprzyja owadom, które korzystają z dłuższego sezonu wegetacyjnego i wczesnego dostępu do żywności. Można oczekiwać wyższego prawdopodobieństwa wtórnego ataku szkodników, po defoliatorach, oraz wzrostu zasięgu gatunków pochodzenia śródziemnomorskiego. Deficyt opadu wpływa ujemnie na szanse przeżycia owadów hibernujących pod przykryciem śniegu. Wzrost prędkości wiatrów podnosi ryzyko ataku szkodników (np. kornik drukarz). Wyższe jest prawdopodobieństwo infekcji przez zranienia tkanek (Lindner i in. 2008).

Projekcje na przyszłość przewidują, że ekosystemy leśne poddane będą coraz większemu stresowi wodnemu z powodu czynników związanych z brakiem lub nadmiarem wody (susza, intensywny opad, powódź), w połączeniu z czynnikami pozaklimatycznymi (antropopresja, zmiana użytkowania terenu, osuszenie terenów podmokłych, zanieczyszczenia, fragmentacja siedlisk, nadmierna eksploatacja).

W Polsce, jak w całej środkowej Europie, produkcja pierwotna netto drzew iglastych może zmniejszyć się z powodu ograniczenia dostępności wody. Zapotrzebowanie drzew na wodę rośnie wraz ze wzrostem temperatury i ewapotranspiracji. Potrzeby wodne

podczas sezonu wegetacyjnego są zwykle wyższe niż opad, a więc jeśli wzrośnie temperatura nie będzie towarzyszył wzrost opadów, woda będzie barierą wzrostu w stopniu wyższym niż teraz.

Zmiana struktury opadu ma także bezpośredni wpływ na szkodniki i patogeny. Z jednej strony, uboższa, i bardziej krótkotrwała pokrywa śnieżna może prowadzić do redukcji liczebności owadów hibernujących w ściółce (Ayres, Lombardero 2000), co zmniejsza ryzyko szkód spowodowanych przez patogeny korzystające z izolacji przez pokrywę śnieżną. Z drugiej jednak strony, krótsze okresy zimowe, z powodu wzrostu temperatury i wcześniejszego topnienia śniegu, sprzyjają rozwojowi owadów, które mogą korzystać z wczesnej dostępności pokarmu i dłuższego sezonu wegetacyjnego. W odpowiedzi na zmianę klimatu możliwe jest zagrożenie patogenami pochodzenia śródziemnomorskiego, które mogą rozszerzyć swój zasięg geograficzny w kierunku północnym (Lindner i in. 2008).

W ciągu dziejów skład gatunkowy drzew w polskich lasach uległ wielkim zmianom – gatunki iglaste zostały wprowadzone sztucznie na siedliskach naturalnie zdominowanych przez gatunki liściaste. W warunkach zmian klimatu, w wyniku niekorzystnego rozwoju sytuacji, monokulturze sosnowej zagraża wzrost śmiertelności z powodu suszy, wysoka podatność na szkody związane z wiatrem, śniegiem i lodem, a także podatność na ataki grzybów i owadów. Bogactwo gatunkowe ma tendencję do zmniejszania się podczas okresów silnych suszy.

Zmiany klimatu prowadzą do zmian charakterystyk zakłóceń w ekosystemach – zmienia się częstotliwość i intensywność takich zjawisk, jak pożary lasu, nadmiar lub niedosyt wody, silne wiatry, wysyp szkodników. Zmiany cyklu hydrologicznego, takie jak wcześniejszy spływ wiosenny i niższe przepływy niżówkowe latem i jesienią, mają zasadnicze znaczenie dla ekosystemów leśnych.

Odpowiedź gatunków flory i fauny na zmiany klimatu zależy jednak od wielu pozaklimatycznych stresów, takich jak zmiana składu atmosfery (wpływająca na klimat) – dopływ azotu, rosnące stężenie dwutlenku węgla w atmosferze i zmiany stężenia ozonu; zanieczyszczenia; użycie środków chemicznych; eksploatacja ekosystemów; fragmentacja ekosystemów; modyfikacja siedlisk i zmniejszenie powierzchni części z ich; współzawodnictwo z agresywnymi gatunkami obcymi; wpływ nowych szkodników i chorób. Łączne występowanie wielu czynników bardzo utrudnia analizę, zwłaszcza że efekty nie muszą być addytywne.

Niekiedy dochodzi do interakcji między zmianą klimatu i gatunkami inwazyjnymi. Na przykład, jeśli pojawienie się inwazyjnych gatunków roślin przyczynia się do zwiększenia biomasy całkowitej, może wzrosnąć ryzyko pożaru. W systemach produkcji biologicznej rośnie liczba inwazyjnych chwastów, owadów i patogenów.

Zmiany klimatu mogą przewyższyć próg tolerancji fizjologicznej gatunków. Ryzyko wyginięcia gatunków może rosnąć, ponieważ niektóre gatunki mogą nie być w stanie zaadaptować się do warunków w miejscu, gdzie żyją, ani też migrować do warunków bardziej sprzyjających. Tempo wymierania gatunków obserwowane obecnie jest prawdopodobnie najwyższe w historii, choć interpretacja tego procesu nie ogranicza się do zmian klimatu. Istotne są również: inwazja agresywnych gatunków obcych, nadmierna eksploatacja, zanieczyszczenie środowiska, a także utrata części siedlisk lub znaczna ich

modyfikacja. Wzrasta śmiertelność drzew i zmienia się skład gatunkowy lasów. Trudno niekiedy oddzielić efekty zmian klimatu, struktury krajobrazu, użytkowania terenu i pokrycia powierzchni terenu. Wszystkie te grupy procesów zachodzą bowiem interaktywnie w tym samym czasie. Zmiany klimatu wpływają na produktywność terenów, co z kolei prowadzi do zmian użytkowania terenu. Te natomiast prowadzą do zmian pokrycia powierzchni terenu, wpływających na zmiany klimatu.

Wiele zjawisk klimatycznych, z biotycznymi konsekwencjami, powoduje straty, niwecząc przyrost z wielu lat. Stres uwarunkowany klimatycznie (np. przez susze i fale upału) prowadzi do spadku tempa wzrostu, do wzrostu śmiertelności drzew, zmiany częstotliwości i skali pożarów, wysypu owadów i ataku patogenów.

W lecie 2003 w znacznej części Europy wystąpiła fala rekordowych upałów i dramatyczna susza. W efekcie już latem 2003 zaobserwowano wzrost śmiertelności drzew na gorszych stanowiskach na południowych stokach pogórza przedalpejskiego we Francji. Rok później, w 2004, zanotowano kolejny wzrost śmiertelności drzewostanów spowodowany wysypem owadów, a po kilku latach – ponowną falę śmiertelności, wywołaną czynnikami biotycznymi i abiotycznymi.

Umiarkowany stres wodny może stymulować obronę drzewa, podczas gdy silny stres wodny może zmniejszyć odporność drzewa na ataki szkodników. Śmiertelność drzewa silnie zależy od długości trwania i czasu wystąpienia sytuacji stresowej, tzn. czy stres wodny występuje przed czy po infekcji i czy deficyt wodny kończy się, czy też nie, wkrótce po inokulacji. Często stres wodny drzew-gospodarzy powoduje jedynie wyzwolenie już obecnych, choć nieaktywnych, chorób i przejście do fazy patologicznej (Lindner i in. 2008).

Możliwości ograniczania zagrożeń

Lasy są szczególnie wrażliwe na zmiany klimatu. Długi czas ich życia nie pozwala na szybką adaptację do zmian środowiska. Adaptację trzeba więc planować na długo przed wystąpieniem przyszłych zmian. Lasy zarządzane dziś będą musiały radzić sobie z warunkami klimatu panującego za kilkadziesiąt lat i później. Projekcje klimatyczne na przyszłość, zwłaszcza dotyczące ekstremów pogodowych, są jednak obarczone znaczną dozą niepewności. Stąd, bardzo ważne jest monitorowanie zmian, umożliwiające aktualizację projekcji. Produktywność lasu będzie silnie zależeć od interakcji wyższych temperatur, zmian opadu i zmienności klimatycznej.

Przewiduje się zmiany zasięgów występowania współczesnych lasotwórczych gatunków drzew w Europie. W Polsce dotyczy to przede wszystkim sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) i świerka pospolitego (*Picea abies*). W wyniku zmian klimatycznych (zmiany temperatury i opadów) optimum ekologiczne świerka może przesunąć się na północ i wschód (Rykowski, 2008), a na południu Polski rola świerka może ulec ograniczeniu, a świerk będzie miał status tylko gatunku domieszkowego.

Następstwa już zaistniałych zmian środowiskowych i klimatycznych pokazały, że rośliny mają (ograniczoną) zdolność samoistnego przystosowania się do nowych warunków (adaptacja autonomiczna). Mogą zwiększyć zasięg korzeni, sięgając nieco dalej

i głębiej, przez to adaptując się do niedostatku wody. Istnieje jednak granica tolerancji braku lub nadmiaru wody, po której przekroczeniu następuje osłabienie, a nawet zamieranie drzew. W wyniku suszy lub zalania terenu występuje nasilenie gradacji owadów, osłabiające stan zdrowotny drzew.

W warunkach wzrostu stężenia CO₂ w powietrzu przymykają się aparaty szparkowe roślin, ograniczając stratę wody na transpirację. Poprawia się więc efektywność użycia wody przez rośliny. Jednak konieczność chłodzenia powierzchni liści, nagrzanych upałem towarzyszącym suszy, może prowadzić do otwarcia aparatów szparkowych.

Wrażliwość lasów na zmiany klimatu zależy od wpływu zmian klimatu na systemy leśne i od zdolności do adaptacji, obejmującej zarówno adaptację autonomiczną (samolistną i spontaniczną), jak i adaptację ukształtowaną w wyniku wdrożenia planowej polityki adaptacyjnej. W przypadku systemów szczególnie wrażliwych, a także znacznych zmian klimatu, autonomiczna adaptacja nie wystarczy.

Dalsze ocieplenie jest nieuchronne, a cykl produkcji drzewnej trwa bardzo długo, potrzebna jest zatem tzw. adaptacja antycypatywna (przewidyująca), tzn. uformowana w przewidywaniu zmian w przyszłości. Jednak projekcje klimatyczne na dalszą przyszłość, istotne dla gospodarki leśnej odpowiednio do czasu życia drzew, są bardzo niepewne, tym bardziej, im bardziej odległy jest rozważany horyzont czasowy. Schematy zmian temperatury, opadu i odpływu są skomplikowane, więc mimo osiągniętego postępu w zrozumieniu procesów i modelowaniu matematycznym niepewność projekcji pozostaje wysoka. Nie można więc oczekiwać pewnych i precyzyjnych wskazówek odnośnie optymalnego wyboru. Na pytanie: „adaptacja do czego?”, nie ma precyzyjnej odpowiedzi.

Mimo niepewności gospodarka leśna może, i powinna, racjonalnie adaptować się do zmieniającego się klimatu. Trudno oczekiwać, że niepewność projekcji radykalnie zmaleje w niedalekiej przyszłości, mimo stałego ulepszania modeli klimatycznych. Specjaliści gospodarki leśnej muszą podejmować decyzje w warunkach znacznej niepewności.

Niepewność projekcji związanych ze zmianami klimatu ma wpływ na praktyki adaptacji ekosystemów leśnych i gospodarki leśnej. Po pierwsze, nie można zakładać, że da się precyzyjnie określić zmiany charakterystyk klimatycznych w przyszłości. Po drugie, na podstawie dotychczasowego rozpoznania nie można dokładnie oszacować konsekwencji różnych polityk ochrony klimatu w dziedzinie zasobów leśnych. Potrzebna jest więc elastyczność planowania. Jest oczywiste, że lepsza adaptacja ekosystemów leśnych do istniejącej zmienności klimatu (np. zadowalające radzenie sobie z obecnymi suszami i powodzią) daje lepsze podstawy do ich adaptacji do przyszłych zmian klimatu. Chociaż nauka nie jest w stanie określić precyzyjnych i wiarygodnych projekcji, w niektórych krajach i w niektórych sektorach podejmuje się kroki w celu uwzględnienia zmian klimatu w praktyce projektowej. Wprowadza się modyfikacje do procedur projektowych, wzmacniając margines bezpieczeństwa.

Wraz z postępami nauki o klimacie i wzbogaceniem baz danych powiększa się dostępna informacja. Bardzo potrzebne są: współpraca multidyscyplinarna i transfer informacji w obie strony – od nauki do praktyki (rozpowszechnianie wiedzy o projekcjach zmian), i od praktyki do nauki (artykułowanie praktycznych potrzeb).

Działania adaptacyjne dotyczą reakcji zarówno na zagrożenia jak i szanse, które niosą ze sobą zmiany klimatu (np. przedłużenie sezonu wegetacyjnego). Przykładami

działań adaptacyjnych, odnoszących się w istocie do wszystkich elementów leśnictwa, są następujące: regeneracja lasu (włącznie z wyborem gatunków i genotypów), wycinka i zręb, planowanie gospodarki leśnej, ochrona lasu, infrastruktura i transport, szkółkarstwo oraz zarządzanie ryzykiem.

Millar i inni (2012) wyróżniają cztery zasadnicze kierunki adaptacji ekosystemów leśnych do zmian klimatu: wzmocnienie odporności, wzrost odnawialności, umożliwienie odpowiedzi ekosystemów na zmiany klimatu oraz odtworzenie procesów i funkcji mocno zmienionych ekosystemów.

Oczywistym obszarem adaptacji jest regeneracja lasu, która zapewnia możliwość bezpośredniego dostosowania składu gatunkowego lasu do zmieniających się warunków klimatycznych. Na etapie regeneracji decyduje się o wyborze gatunków, warunkującym różnorodność biologiczną. Trzeba wybrać gatunki charakteryzujące się lepszą tolerancją na oczekiwane zmiany (tzn. mające szerszą niszę) lub szczególnie dopasowane do specyficznych przyszłych warunków klimatycznych (Lindner i in. 2008).

Według Durło (2012), projekcje klimatyczne sugerują znaczne pogorszenie warunków klimatycznych, dyskwalifikujące świerk jako gatunek dominujący w drzewostanach regla dolnego do wysokości 800 m n.p.m. w Beskidzie Śląskim.

Jedną z rozważanych strategii jest zabezpieczanie się przed skutkami możliwych zmian poprzez zwiększanie różnorodności gatunków. Obecnie mamy w Polsce drzewostany monokulturowe, skład gatunkowy niedostosowany do siedliska, i charakterystyczną strukturę wiekową – dużo drzewostanów w średnich klasach wieku (Borecki, Stępień 2012). W perspektywie zarządzania ryzykiem zaleca się dywersyfikację, a więc stworzenie i utrzymanie ekosystemów leśnych z różnorodnym składem gatunków drzew, a także ich wieku i struktury. Takie prowadzenie gospodarki leśnej poprawia odnawialność lasów w kontekście zmian klimatu, wiąże się jednak z wyższym kosztem niż prowadzenie lasu o prostej strukturze, np. sosnowej monokultury. Zaleca się także adaptację poprzez wzrost różnorodności genetycznej sadzonek, np. poprzez mieszanie nasion różnej proveniencji, np. z sąsiednich regionów, użytych do produkcji. Powyższe należy jednak rozumieć jako wzbogacenie lokalnych źródeł nasion, a nie zastąpienie lokalnego materiału obcym.

Prognozowanie zmian klimatycznych oparte jest w głównej mierze na przesłankach teoretycznych i charakteryzuje się różnicowaniem ocen. W blisko 100-letnim okresie życia drzew należy się liczyć z występowaniem szerokiego zakresu ekstremalnych zjawisk hydrologicznych i ze znacznymi stratami. W celu ich ograniczenia niezbędne jest zwiększenie odporności lasu na gwałtownie przebiegające anomalie pogodowe oraz dostosowanie metod urządzania lasu do aktualnych, wieloletnich, regionalnie zróżnicowanych trendów zmian zasobów wodnych.

Ważna jest też adaptacja do zmian klimatu infrastruktury i transportu (Lindner i in. 2008). Stres związany z suszą można złagodzić, budując zbiornik retencyjny i kanały melioracji (nawadniających). Rozwój odpowiedniej sieci dróg umożliwia prowadzenie efektywnej gospodarki leśnej w małej skali, a także dostęp do działań sanitarnych (np. sprzątanie wiatrolomów).

W kontekście projekcji klimatycznych potrzebny jest rozwój systemów prewencji i ostrzegania, umożliwiających redukcję ryzyka pożarów w polskich lasach, w których powszechnie występujące monokultury sosnowe są bardzo podatne na ogień.

W IMGW-PIB opracowano system POSUCH@, umożliwiający detekcję suszy, analizę czasu trwania i intensywności suszy, ocenę podatności na suszę i postawienie prognozy zagrożenia suszą (Tokarczyk i in. 2012).

Adaptacja powinna umożliwić redukcję wrażliwości i podatności drzew i lasów, szczególnie w ekosystemach leśnych „szczególnej troski”, oraz gospodarkę różnorodnością biologiczną – wybór odpowiednich gatunków i proveniencji, ochronę dojrzałych stanowisk, ochronę kluczowych gatunków i grup funkcjonalnych, ochronę refugium i najbardziej zagrożonych gatunków poza swoimi siedliskami, oraz unikanie fragmentacji krajobrazu i tworzenie korytarzy różnorodności biologicznej, a także utrzymywanie zdrowia i witalności ekosystemów leśnych (Lindner i in. 2008). Istotna jest redukcja ryzyka zakłóceń abiotycznych i biotycznych (pożarów lasów, powalów, erozji, osuwisk), w tym zintegrowana osłona przeciwpożarowa na terenach leśnych i przyległych terenach nieleśnych, oraz ochrona przed szkodnikami i chorobami.

Koszty zapobiegania lub ograniczania strat w lasach spowodowanych zmianami klimatu, a w szczególności zakłóceniami stosunków wodnych, są wysokie. Obejmują one m.in. koszty budowy małej retencji i zapobiegania erozji oraz dodatkowe nakłady na gospodarowanie lasami wodochronnymi, eksploatację i konserwację urządzeń wodnych.

Adaptacja do zmian klimatu wymaga także prowadzenia pracochłonnych i kosztownych zabiegów związanych z przebudową i ochroną zasobów leśnych. Działania zapobiegające i ograniczające rozmiar strat związanych z czynnikami biotycznymi obejmują przedwczesny wyręb chorych drzew, przedsięwzięcia ochronne (opryski substancjami chemicznymi, wykładanie pułapek feromonowe itp.), zagospodarowanie obszarów kłeskowych, monitoring stanu lasu, poprawę infrastruktury.

Monitorowanie stanu zdrowotnego lasów, a także szkodników i chorób jest bardzo ważne, gdyż umożliwia szybką identyfikację szkodników (gatunków inwazyjnych) oraz dlatego, że wtórne czynniki uszkodzeń w osłabionych systemach mogą spowodować zagrożenie w wielkiej skali.

Istnieją trzy zasadnicze strategie redukcji ryzyka powodziowego: (1) wzmacnianie zabezpieczeń technicznych (obwałowania, zbiorniki retencyjne) na ile jest to możliwe technicznie i finansowo, w świadomości, że absolutne zabezpieczenie nie istnieje; (2) pogodzenie się z „życiem z powodzią”; (3) trwałe wycofanie się z terenów zagrożonych powodzią na tereny bezpieczne. Możliwe są też strategie mieszane.

Środki techniczne osłony przeciwpowodziowej znane są od tysiącleci i do dziś pozostają podstawą ochrony. Magazynowanie wody w zbiorniku pozwala wyrównać czasowy rozkład przepływów poprzez redukcję szczytu fali powodziowej i zwiększenie niskich stanów. Ponieważ powódzie rodzą się w zlewniach rzek, tam winny być skoncentrowane działania. Trzeba „złapać” wodę z obfitego deszczu, nie dopuszczając, by szybko dopłynęła do rzek. Pożyteczne są wszelkie formy zwiększenia możliwości magazynowania wody – również przez rozwój małej retencji i polderów, kształtowanie roślinności i zwiększanie przepuszczalności powierzchni. Zakaz budowy na tarasach zalewowych winien być rygorystycznie przestrzegany. Podejmuje się próby poprawy jakości i zwiększenia horyzontu czasowego prognoz.

Rośnie potencjał strat powodziowych, bo zabezpieczenia strukturalne (obwałowania, zapory i zbiorniki) budzą nieuzasadnione przekonanie o absolutnym bezpie-

czeństwie. Obwałowania dobrze zabezpieczają przed wezbraniem średniej wielkości, tzn. liczba powodzi w tym zakresie maleje. Obwałowania są tak projektowane, by przy właściwej eksploatacji wytrzymały np. wodę stuletnią. Jeśli jednak zdarzy się woda jeszcze większa, np. 300-letnia, obwałowanie może zawieść. Wał projektowany na powstrzymanie wody 300-letniej byłby droższy, ale też nie wystarczyłby, gdyby pojawiła się woda tysiącletnia. Jeśli powódź przerywa obwałowanie, zniszczenia są większe, niż byłyby bez obwałowań. Budowa obwałowań generuje rozwój ekonomiczny, gdyż ludność traktuje te zabezpieczenia jako niezawodne. W przypadku gdy fala powodziowa jest znacznie większa od założeń projektowych, nie da się uniknąć znacznych strat.

Istniejące procedury projektowania zabezpieczeń przed powodzią są tradycyjnie oparte na założeniu stacjonarności przepływów. Obwałowania powinny wytrzymać wodę N -letnią, tzn. przepływ o prawdopodobieństwie przekroczenia w pojedynczym roku $1/N$, gdzie N jest różne dla różnych krajów i różnych obszarów (od 10 do 10 000 lat). Często projektuje się osłonę na wodę 100-letnią. Jeśli pojawi się wyższa woda, obwałowania mogą nie wystarczyć.

Koncepcja wody N -letniej jako podstawy projektowania zasługuje na szczególną uwagę przy zmianie klimatu, bo wygodne założenie stacjonarności nie jest spełnione. Woda 100-letnia z przeszłości jest inna niż teraz i inna niż będzie w przyszłości. Gdyby udało się stworzyć wiarygodne projekcje zmian ekstremów hydrologicznych w cieplejszym świecie, to konsekwencje dla projektowania i gospodarki wodnej byłyby bardzo poważne.

W reakcji na wielkie powodzie w ostatnich dekadach wprowadzono dyrektywę powodziową UE, która zobowiązuje wszystkie kraje członkowskie Unii Europejskiej do przeprowadzenia oceny zagrożenia powodziowego oraz przygotowania map ryzyka i potencjalnych strat. Celem dyrektywy jest poprawienie bezpieczeństwa w krajach Unii, poprzez „zarządzanie ryzykiem powodziowym”.

Odpowiednio przemyślane działania zapobiegające zmianom klimatu i przeciwdziałające ich niekorzystnym skutkom (adaptacja do zmian klimatu) mogą, i powinny, być integralną częścią trwałego i zrównoważonego rozwoju. Mogą też wzmacniać się wzajemnie.

Wnioski końcowe

Dotychczasowe obserwacje pozwalają na sformułowanie stwierdzenia, że straty spowodowane ekstremami klimatycznymi wyraźnie wzrosły. Globalne straty spowodowane ekstremami klimatycznymi, po uwzględnieniu inflacji, wzrosły 8-krotnie między latami 60. a 90., zaś straty ubezpieczone – nawet 17-krotnie.

Zaobserwowano wzrost częstotliwości i skali ekstremalnych zjawisk pogodowych, a projekcje na przyszłość wskazują na szereg efektów związanych z ekstremalnymi stanami pogody.

Zmiany ekstremów klimatycznych będą zapewne miały większy wpływ na drzewa i lasy, niż zmiany wartości średnich.

W niniejszej pracy dokonano szczegółowych ilościowych ocen zmian wartości charakterystyk ekstremów pogodowych, zarówno w kontekście tendencji już zaobserwo-

wanych w istniejących zbiorach danych pomiarowych, jak i modelowych projekcji na przyszłość. Projekcje przedstawione są jednak nie jako prognoza, a raczej jako możliwa realizacja przyszłości, co do której panuje znaczna niepewność. Dlatego potrzebna jest analiza wyników uzyskanych dla różnych, niezależnych modeli.

Obserwowane w ostatnich dekadach ocieplenie w różnych skalach przestrzennych – od globalnej do punktowej, opisywane najczęściej jako wzrost średnich temperatur powietrza, znajduje swoje odbicie także w charakterystykach termicznych otrzymanych na podstawie analizy maksymalnych i minimalnych temperatur powietrza. Wiele indeksów związanych z występowaniem wysokich i niskich temperatur zmienia się zgodnie z ociepleniem. Rośnie liczba dni gorących, a okresy dni gorących ulegają wydłużeniu. Zmniejsza się liczba dni z temperaturami poniżej -10 i -15°C , a najdłuższe okresy z temperaturami powietrza poniżej tych progów ulegają skróceniu. Obserwujemy spadek liczby dni z przymrozkiem, wydłużenie się okresu bezprzymrozkowego i przyspieszenie terminu wystąpienia ostatniego wiosennego przymrozka. Jednak w przypadku terminu pojawienia się pierwszego jesiennego przymrozka sytuacja nie jest klarowna. Można znaleźć zarówno stacje, dla których istotne statystycznie zmiany trendu wskazują na jego opóźnienie (zdecydowana większość), jak i stacje, dla których zmiany trendu wskazują na przyspieszenie terminu przymrozków jesiennych.

Szacowanie charakterystyk ekstremów pogodowych z wyprzedzeniem sięgającym kilku dziesięcioleci wymaga zastosowania skomplikowanych modeli klimatycznych, których wyniki są także obciążone znaczną niepewnością. Modele te należy traktować nie tyle jako źródło dokładnych prognoz interesujących nas elementów klimatu, a raczej jako narzędzie do określenia orientacyjnych projekcji. Przy zastosowaniu kilku modeli, pochodzących z różnych ośrodków i korzystających z różnych danych, możemy jednak oszacować prawdopodobny zakres zmian tych parametrów klimatu w przyszłości.

Wszystkie modele są zgodne co do tego, że czeka nas cieplejsza przyszłość. Zmiany będą dotyczyły wszystkich pór roku. Najważniejszą zmianą dotyczącą zimy będzie bardzo duże zmniejszenie ilości dni bardzo mroźnych i ekstremalnie mroźnych, a także skrócenie najdłuższych okresów ze średnią temperaturą dobową poniżej określonych progów na całym analizowanym obszarze. Przeciętna zima za kilkadziesiąt lat będzie znacznie łagodniejsza niż w przeszłości i może przypominać najłagodniejsze zimy, jakie występują obecnie. Mimo to w projekcjach modeli najmroźniejsze zimy, jakie mogą wystąpić w przyszłości, przypominają te, które według dzisiejszych standardów są uważane za bardzo surowe: np. 20–30 dób w roku z minimalną temperaturą powietrza $< -15^{\circ}\text{C}$ we wschodniej Polsce.

Według projekcji za pomocą modeli klimatycznych okresy letnie w przyszłości będą bardzo upalne, a średnie wartości indeksów związanych z falami upałów, dla najłagodniejszych projekcji, będą podobne do rekordowych notowanych obecnie. Podczas najbardziej upalnych lat na niektórych obszarach liczba dni w roku z maksymalną dobową temperaturą powietrza przekraczającą 30°C może osiągnąć nawet 60. Temperatury maksymalne powyżej 35°C , które obecnie notowane są kilka razy na dziesięciolecie i to w niewielu stacjach meteorologicznych, w przyszłości mogą występować niemal każdego lata, a podczas najbardziej upalnego lata nawet przez ponad 20 dni w roku. Innymi słowy, upał spowszednieje.

Niepewność projekcji rośnie, jeśli pragniemy ją sporządzić w małej skali przestrzennej, np. dla konkretnego niewielkiego obszaru. Zmiany klimatu istotnie zwiększają zakres niepewności, wykraczając poza obszar objęty dotychczasowym doświadczeniem.

Istnieją znaczne trudności naukowe, uniemożliwiające – jak dotąd – jednoznaczne i niewątpliwe wykrycie sygnału klimatycznego w obserwacjach wysokich przepływów rzecznych. Dotychczasowe projekcje przepływów są obciążone znaczną niepewnością i zależne od modelu, jakiego używamy.

Z uwagi na słabość sygnału klimatycznego i silną zmienność naturalną detekcja zmiany i jej interpretacja są bardzo trudne. Wyzwaniem jest lepsza adaptacja do warunków istniejących obecnie, w świadomości, że ryzyko zmian w przyszłości jeszcze wzrośnie.

Modele klimatyczne nie zgadzają się jednak nawet co do kierunku zmian opadów atmosferycznych w części Europy, więc projekcje przepływów rzecznych i poziomu zagrożenia powodziowego są wysoce niepewne. Na wielkich obszarach spodziewany jest jednak wzrost opadów intensywnych.

Mimo zmasowanych wysiłków w kierunku redukcji ryzyka powodziowego i miliardów złotych zainwestowanych w systemy osłony, ekstrema powodziowe ciągle pozostają dużym problemem, powodując znaczne straty ludzkie i materialne.

Lasy są szczególnie wrażliwe na zmiany klimatu, a ich długi czas życia nie pozwala na szybką adaptację do zmian środowiska. Lasy urządzone dziś będą musiały radzić sobie z warunkami klimatu panującego za kilkadziesiąt lat i później. Projekcje klimatyczne na przyszłość, zwłaszcza dotyczące ekstremów opadowych i wiatru, są jednak obciążone znaczną dozą niepewności. Stąd, bardzo ważne jest monitorowanie zmian, umożliwiające aktualizację projekcji.

Literatura

- Ayres M.P., Lombardero M.J. 2000. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *Science of the Total Environment* 262(3), 263–286.
- Barriopedro D., Fischer E.M., Luterbacher J., Trigo R.M., García-Herrera R. 2011. The hot summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe. *Science* (8 April 2011) 6026(332), 220–224, doi: 10.1126/science.1201224.
- Beniston M., Stephenson D.B., Christensen O.B., Ferro C.A.T., Frei C., Goyette S., Halsnaes K., Holt T., Jylhä K.K.B., Palutikof J., Schöll R., Semmler T., Woth K. 2007. Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* 81: S1, 71–95.
- Bielec-Bąkowska Z., Piotrowicz K. 2011. Wieloletnia zmienność okresu bezprzymrozkowego w Polsce w latach 1951–2006. *Prace i Studia Geograficzne* 47, 77–86.
- Bouget Ch., Duelli P. 2004. The effects of windthrow on forest insect communities: a literature review. *Biological Conservation* 118(3), 281–299.
- Cebulak E., Limanówka D. 2007. Dni z ekstremalnymi temperaturami powietrza. W: *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*. Piotrowicz K., Twardosz R. red. Kraków, IGIPZ, Uniwersytet Jagielloński, 185–194.
- Christensen J.H. i in. 2007. Regional Climate Projections. W: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (red.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 847–940.

- Ciais P. i in. 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* (London), 437(7058), 529–533.
- Ciołkosz A., Bielecka E. 1998. Zastosowanie teledetekcji satelitarnej i systemu informacji geologicznej w określaniu zasięgu i skutków powodzi. W: *Zagrożenia klęskami żywiołowymi. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej Ministerstwa Ochrony Środowiska, Bielsko Biala*, 143–152.
- Dai A., K.E. Trenberth, T. Qian. 2004. A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of Hydrometeorology* 5, 1117–1130.
- Durło G.B. 2012. Wpływ obserwowanych i prognozowanych warunków klimatycznych na stabilność drzewostanów górskich w Beskidzie Śląskim. Kraków, Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego, s. 165.
- Easterling D.R., Horton B., Jones P.D., Peterson T.C., Karl R., Parker D.E., Salinger M.J., Razuvayev V., Plummer N., Jamason P., Folland C.K. 1997. Maximum and minimum temperature trends for the Globe. *Science* 277(5324), 364–367, doi: 10.1126/science.277.5324.364.
- EEA (European Environment Agency) 2012. *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012*, s. 300, ISBN 978-92-9213-346-7 doi: 10.2800/66071.
- Graczyk D. 2013. *Zmiany charakterystyk termicznych Polski. Rozprawa doktorska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu*.
- Hirabayashi Y., Kanae S., Emori S., Oki T., Kimoto M. 2008. Global projections of changing risks of floods and droughts in a changing climate. *Hydrological Science Journal* 53(4): 754–773.
- Kundzewicz Z.W., Graczyk D., Maurer T., Pińskwar I., Radziejewski M., Svensson C., Szwed M. 2005. Trend detection in river flow series: 1. Annual maximum flow. *Hydrological Science Journal*, 50(5), 797–810.
- Kundzewicz Z.W., Radziejewski M., Pińskwar I. 2006. Precipitation extremes in the changing climate of Europe. *Climate Research* 31, 51–58.
- Lehner B., Döll P., Alcamo J., Henrichs H., Kaspar F. 2006. Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated assessment. *Climatic Change* 75: 273–299.
- Limanówka D. 1999. Ryzyko występowania silnych mrozów w Polsce. W: *Zmiany i zmienność klimatu Polski. Ich wpływ na gospodarkę, ekosystemy i człowieka. Ogólnopolska Konferencja Naukowa, Łódź, 4–6 listopada 1999*, 123–128.
- Lindner M. i in. 2008. *Impacts of Climate Change on European Forests and Options for Adaptation. AGRI-2007-G4-06 Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development*.
- Millar C.I. i in. 2012. *Adaptation and Mitigation. W: Vose J.M., Peterson D.L., Patel-Weyand T. (eds). Effects of climatic variability and change on forest ecosystems: a comprehensive science synthesis for the U.S. forest sector. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-870. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station*. 125–192.
- Milly P.C.D., Dunne K.A., Vecchia A.V. 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature* 438, 347–350 (17 November 2005) doi: 10.1038/nature04312.
- Pierzgalski E., Tyszk J., Stolarek A. 2012. Powódzie i susze w lasach. W: Lorenc H. (red.) *Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju*. Warszawa, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, 243–255.
- Pińskwar I. 2010. *Projekcje zmian w ekstremach opadowych w Polsce*. Warszawa, Komitet Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk, s. 151.
- Rykowski K. 2008. *Climate change, forest, forestry relationships*. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych.
- Schelhaas M.-J., Hengeveld G., Moriondo M., Reinds G.-J., Kundzewicz Z.W., ter Maat H., Bindi M. 2010. Assessing risk and adaptation options to fires and windstorms in European forestry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15(7), 681–701, doi: 10.1007/s11027-010-9243-0
- Schumacher S., Bugmann H. 2006. The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps. *Global Change Biology* 12(8) 1435–1450.
- Seneviratne S.I. i in. 2012. *Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. W: C.B. Field i in. (eds). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge, UK, and New York, NY: Cambridge University Press.

- Sierota Z., Hilszczański J. 2011. Kierunki rozwoju ochrony lasu. W: Strategia rozwoju lasów i leśnictwa w Polsce do 2020 r. III Sesja Zimowej Szkoły Leśnej. 15–17.03 Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, dokument elektroniczny [www.ibles.pl/szkolazimowa/III_ZSL/.../sierota-hilszczanski.pdf].
- Szczygieł R. 2012. Pożary w lasach. W: Lorenc H. (red.) Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju. Warszawa, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, 256–264.
- Tokarczyk T., Szalińska W., Otop I. 2012. Ocena zagrożenia suszą w Polsce i prognoza jej rozwoju. W: Lorenc H. (red.) Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, 150–174.
- Wibig J., Podstawczyńska A., Rzepa M., Piotrowski P. 2009. Coldwaves in Poland – frequency, trends and relationship with atmospheric circulation. *Geographia Polonica*, 82, 47–59.
- Wiśniewski S. 1998. Skutki lipcowej powodzi 1997 w lasach. Materiały Międzynarodowej Konferencji Las i Woda, Kraków, 450–456.

Efektywność fotosyntezy a zmienność geno- i ekotypowa gatunków drzewiastych: możliwości zwiększania sekwestracji węgla w ekosystemach leśnych za pomocą inżynierii genetycznej

Dr hab. Justyna NOWAKOWSKA, prof. IBL

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych

Przegląd problematyki z zakresu zwiększania sekwestracji węgla w ekosystemach leśnych

Lasy na świecie generują znaczne korzyści ekonomiczne i zajmują niekwestionowane miejsce w dziedzictwie narodowym każdego państwa. Oprócz dostarczania surowca drzewnego, lasy pełnią ważną funkcję w ochronie jakości powietrza i wody, niwelują zmiany klimatu poprzez składowanie ogromnych ilości węgla w biomasie oraz tworzą warunki bytowania dla wielu gatunków roślin, mikroorganizmów i zwierząt.

Ze względu na produkcyjną wartość sortymentu drzewnego i długą żywotność drzew, produkty leśne można traktować jako towar wytwarzany w ramach modelu gospodarstwa rolnego, choć istnieje duża różnica między uprawami drzew leśnych a uprawami rolnymi – szczególnie wyraźnie widoczna w kontekście zastosowania rozwiązań nowoczesnej inżynierii genetycznej. Skuteczne wprowadzenie zmian genetycznych w rolnictwie, choć dla ograniczonej liczby cech i gatunków, może stanowić wyzwanie dla naukowców i zarządców związanych z sektorem leśnym w kontekście możliwości zastosowania drzew GMO w produkcji surowca drzewnego. Temat ten wzbudza jednak gorące dyskusje i gwałtowne reakcje, którym często brakuje poparcia obiektywnymi informacjami, zwłaszcza gdy informacje płynące ze świata nauki są ze sobą sprzeczne i podważają wzajemnie wiarygodność wyników.

Choć **termin biotechnologii** w leśnictwie można rozpatrywać pod wieloma aspektami (genomika, proteomika, metabolomika, klonowanie *in vitro*, selekcja drzew oparta na molekularnych markerach), w niniejszym opracowaniu – po krótkim opisie metodyki tworzenia drzew transgenicznych, przedstawione będą możliwości inżynierii genetycznej gatunków drzewiastych w Polsce i na świecie, z uwzględnieniem zwiększenia biomasy i w konsekwencji sekwestracji węgla.

Genetyczna transformacja roślin drzewiastych

Modyfikacja genomu roślin drzewiastych, czyli ich genetyczna transformacja, polega na wprowadzeniu specyficznej sekwencji obcego DNA do genomu komórki w celu otrzymania osobników o nowych cechach jakościowych. Informacja genetyczna danego gatunku, zawarta w DNA, może być wzbogacona w dodatkowe sekwencje genów, które są wprowadzone do komórki na drodze transformacji wektorowej (za pomocą bakterii *Agrobacterium tumefaciens*) lub bezwektorowej (przy użyciu strzelby genowej). Na ogół produkcja drzew transgeniczných jest ukierunkowana na wprowadzenie do komórek drzewa genu, którego produkt (białko) nadaje korzyści hodowlane.

Ważnym etapem, jaki poprzedza transformację komórek roślin drzewiastych, jest wyizolowanie sekwencji odpowiedniego genu, np. genu kodującego syntazę glutaminową lub genu toksyny Bt, kodującego białko toksyczne dla owadów z rzędu *Lepidoptera* (Gallardo i in. 1999). Poszukiwanie genów odpowiedzialnych za różne procesy metaboliczne w roślinie jest możliwe dzięki wykorzystaniu techniki mikromacierzy DNA (*DNA microarrays*). Technika ta umożliwia identyfikację i wstępną charakterystykę funkcji genów na poziomie transkrypcji. W ten sposób odkryto m.in. geny *Leafy*, kontrolujące proces kwitnienia u *Arabidopsis thaliana*, geny enzymów szlaku syntezy komponentów ściany komórkowej oraz wiele innych, odpowiedzialnych za procesy wzrostu i rozwoju roślin pod wpływem działania hormonów, takich jak auksyny, gibereliny, etylen i kwas abscysynowy (Campbell i in. 2004).

W końcowym etapie wyhodowane rośliny transgeniczne poddawane są weryfikacji pod kątem obecności obcego genu w genomie komórek. W zależności od zastosowanego konstruktu genowego, proces wstępnej weryfikacji może być przeprowadzany za pomocą testów ekspresji genów kodujących białka markerowe, np. GUS, lub odporność na antybiotyki. Ostateczna weryfikacja uzyskanych linii transgeniczných oraz ich potomstwa wymaga przeprowadzenia analiz molekularnych (techniki Southern-, Northern- i Western-blottingu, PCR oraz testów enzymatycznych i immunochemicznych), potwierdzających integrację transgenu z genomem rośliny oraz jego ekspresję w roślinie.

Uprawy i obrót GMO są możliwe w Polsce od 28.01.2013 r. dzięki ustawie o nasieniu oraz ustawie z dnia 22 czerwca 2001 r. o organizmach genetycznie zmodyfikowanych (Dz.U. z 2001 r. Nr 76, poz. 811 oraz z 2002 r. Nr 25, poz. 253).

W zakresie badań drzew leśnych prowadzone są badania m.in. nad wyhodowaniem transgeniczných topoli pod kierownictwem prof. dr hab. Stanisława Karpińskiego w Katedrze Genetyki, Hodowli i Biotechnologii Roślin SGGW. Stworzona przez zespół S. Karpińskiego transgeniczna topola *Populus trichocarpa* L. ma zwiększoną zawartość flawonoidów, co wpływa na zwiększenie odporności na infekcje patogenów i ochronę nienasyconych kwasów tłuszczowych przed utlenieniem (Sprawozdanie z kontroli, 2011). W procesie transformacji zostały wykorzystane: 1) biorca – topola kalifornijska (*P. trichocarpa* L.); 2) dawca – *A. tumefaciens* – wektor insercyjny pH7GWIWG2(I), pCAMBIA; 3) insert – pCAMBIA, skonstruowany w Instytucie CAMBIA w Australii, pH7GWIWG2(I) – wektor oparty na systemie Gateway M.

Badania prowadzone w Polsce

W Polsce wprowadzenie do środowiska topoli genetycznie zmodyfikowanej planowane jest do dnia 30 września 2014 r. na polu doświadczalnym „Wolica”, należącym do Katedry Genetyki, Hodowli i Biotechnologii Roślin SGGW. Po zakończonym projekcie, poznamy wymierny zysk wyhodowanych transgeniczných topoli w naszym kraju.

Brak jest badań odnośnie do możliwości zwiększenia biomasy innych gatunków lasotwórczych za pomocą inżynierii genetycznej.

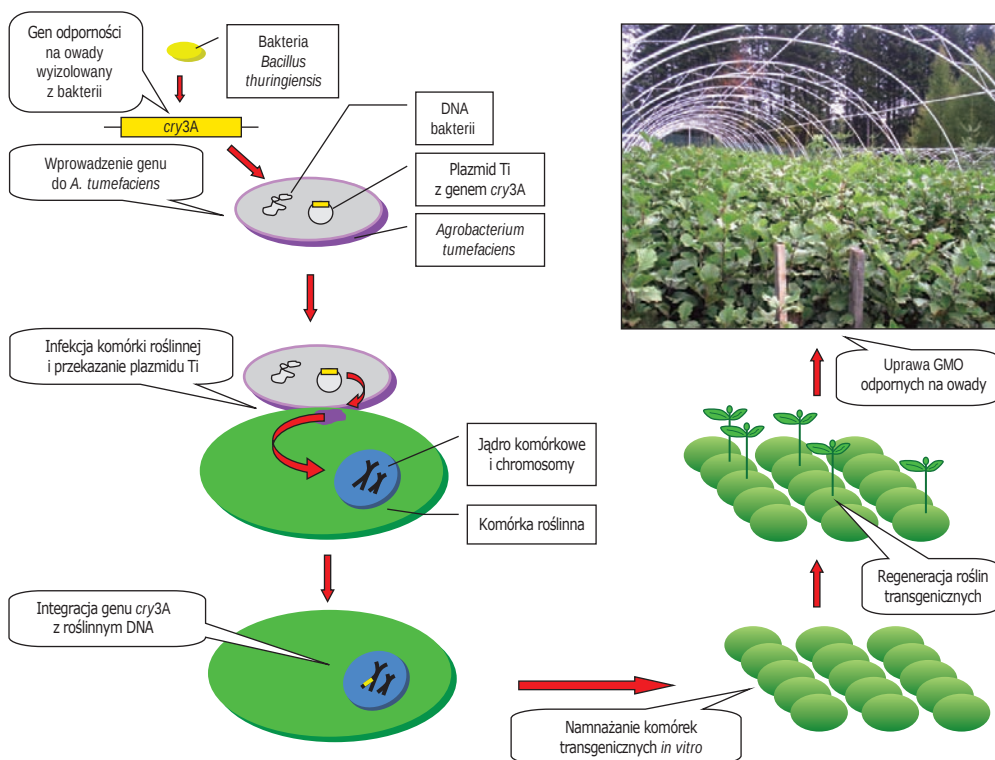
Badania prowadzone na świecie

Zastosowanie inżynierii genetycznej w leśnictwie dotyczy w pierwszym rzędzie upraw roślin szybko rosnących (topola), o dużym znaczeniu gospodarczym i stosunkowo łatwym sposobie rozmnażania. Dzięki transformacji roślin drzewiastych, możemy o wiele szybciej uzyskać pożądany efekt jakościowy, przez np. zwiększenie odporności na herbicydy i szkodliwe owady. Efekt ten jest większy niż przy zastosowaniu tradycyjnych metod selekcji, gdyż dzięki tym metodom, drzewa na plantacjach lepiej przysrastają i magazynują dwutlenek węgla w tkankach, bez strat powodowanych przez chwasty i żery owadów.

I tak, w USA powstała hodowla transgeniczných m.in. siewek topoli (*Populus trichocarpa* × *P. deltoides*), odpornych na środki ochrony roślin, takie jak herbicyd Roundup, powszechnie stosowany do zwalczania chwastów szerokolistnych i trawiastych (Strauss i in. 2001). Aktywny składnik tego preparatu – glifosat, blokuje kluczowy enzym – syntazę kwasu 5-endo-pirogronoszikimo-3-fosforanowego (EPSPS) w biosyntezie aminokwasów aromatycznych w komórkach roślin wyższych. W celu uzyskania odporności siewek topoli na glifosat wyizolowano z komórek bakteryjnych (*Salmonella typhimurium*) gen *aroA*, który koduje zmutowane białko EPSPS, i wprowadzono go do genomu rośliny (Campbell i in. 2003). Nadekspresja genu *aroA* pod kontrolą stałego promotora CaMV 35S u topoli prowadzi do akumulacji zmutowanego białka EPSPS w komórkach, co jest przyczyną zmniejszenia powinowactwa białek docelowych dla herbicydu, bez wpływu na biosyntezę aminokwasów aromatycznych. Dzięki temu, stosowany w uprawach topoli herbicyd, hamuje selektywnie wzrost chwastów jednoliściennych, nie wpływając na rozwój siewek topoli. W podobny sposób otrzymano odporność na glifosat u siewek modrzewia (*Larix decidua* Mill.) oraz mieszańca topoli (*Populus tremula* × *alba*) (Campbell i in. 2003).

Innym ważnym zastosowaniem inżynierii genetycznej w leśnictwie jest hodowla transgeniczných siewek topoli (*Populus trichocarpa* × *P. deltoides*) odpornych na **owady** z rodziny stonkowatych, takich jak *Chrysomela scripta* (ryc. 1). Aby temu zapobiec, zwiększono odporność mieszańca topoli *Populus trichocarpa* × *P. deltoides* przez wprowadzenie do embriogennych komórek roślinnych konstruktu genowego zawierającego gen kodujący d-endotoksyny *cryIA(a)*, *cryIA(b)* lub *cryIA(c)* z *Bacillus thuringiensis* (Gelernter i in. 1993). Zintegrowany z DNA roślinnym gen *Bt* koduje białko toksyczne dla żerujących na blaszkach liściowych larw. W ten sposób transformacja topoli genem

Bt umożliwia uprawę tego gatunku na plantacjach bez stosowania chemicznych środków ochrony roślin – insektycydów.



Ryc. 1. Schemat transformacji rośliny drzewiastej ze zwiększoną ekspresją genów odporności na owady (Nowakowska 2004)

Badania nad wprowadzeniem genów odpowiedzialnych za wzrost aktywności fotosyntetycznej są prowadzone jedynie w odniesieniu do roślin modelowych (zielnych i uprawnych). Jest to możliwe dzięki modyfikacji szlaku fotosyntezy typu C3 (95% roślin lądowych, do których należą również drzewa leśne), oraz szlaku C4 i CAM.

Wzrost biomasy może być osiągnięty poprzez zwiększenie wydajności fotosyntetycznej chloroplastów lub zmniejszenie procesu fotooddychania. Fotosynteza typu C3 jest ograniczona aktywnością kluczowego enzymu rybulozo-1,5-bisfosforanu karboksylazy-oksygenny (Rubisco) oraz utratą cząsteczek CO_2 przez fotooddychanie. Przy obecnym składzie atmosfery (21% O_2 i 0,035% CO_2) tlen odpowiada za wydajność procesu fotosyntezy w 25%. Dodatkowo, spadek wydajności fotosyntezy pogłębia się wraz z deficytem wodnym (suszą) i wysoką temperaturą.

Teoretycznie, modyfikacja aktywności enzymu Rubisco na rzecz zwiększonej aktywności karboksylowej kosztem oksydacyjnej może prowadzić do zwiększenia efektywności fotosyntezy (przyswajanie więcej CO_2 z atmosfery). Pierwsze takie próby podjęto przez zmianę struktury miejsca aktywnego enzymu *via* mutagenzę sterowaną genu

Tabela 1. Spis podstawowych modyfikacji genetycznych, ukierunkowanych na biosyntezę lignin u roślin (źródło: Forest and Genetically Modified Trees. FAO Report Rome 2010, 99–100)

Gen	Modyfikacja	Efekt	Referencje
1	2	3	4
PAL	zahamowana ekspresja u tytoniu	zmniejszona zawartość lignin, lekko podwyższona proporcja S:G	Sewalt i in. 1997
	zahamowana ekspresja u tytoniu	zmniejszona zawartość fenylopropanoidów w liściach i łodydze	Blount i in. 2000
C4H	zahamowana ekspresja u tytoniu	lekko zmniejszona zawartość lignin, małe zmiany w proporcji S:G	Blee i in. 2001
	zahamowana ekspresja u tytoniu	zmniejszona zawartość lignin, zmniejszona proporcja S:G	Sewalt i in. 1997
	zahamowana ekspresja u tytoniu	uszkodzona aktywność genu PAL, zmniejszona zawartość fenylopropanoidów	Blount i in. 2000
COMT	zahamowana ekspresja u <i>Populus tremula</i> x <i>alba</i>	w 4-ym roku doświadczeń polowych nie było wpływu ekologiczne/biologiczne aspekty w środowisku	Halpin i in. 2007
	zahamowana ekspresja u <i>P. tremula</i> x <i>alba</i>	zmniejszona zawartość lignin, zmniejszona proporcja S:G	Jouanin i in. 2000
	zahamowana ekspresja u <i>P. tremula</i> x <i>alba</i>	zmniejszona wydajność pulpy	Lapierrre i in. 1999
	zahamowana ekspresja u <i>P. tremula</i> x <i>alba</i>	prawidłowy wzrost w 4. roku doświadczeń polowych	Pilate i in. 2002
	zahamowana ekspresja u <i>P. tremuloides</i>	brak zmian w zawartości lignin, zmniejszona proporcja S:G, podwyższony poziom alkoholu koniferylowego	Tsai i in. 1998
	zahamowana ekspresja u <i>P. tremula</i> x <i>alba</i>	brak zmian w zawartości lignin, zmniejszona zawartość S, zwiększona zawartość G	Van Doorssele i in. 1995
	zahamowana ekspresja u <i>P. tremula</i> x <i>alba</i>	ligniny zawierają alkohol 5-hydroksy-koniferylowy	Ralph i in. 2001
FSH	zwiększona ekspresja u <i>P. tremula</i> x <i>alba</i>	zwiększona zawartość S	Franke i in. 2000
	zwiększona ekspresja u <i>P. tremula</i> x <i>alba</i>	brak zmian w zawartości lignin, zwiększona proporcja S:G	Huntley i in. 2003
4CL	zahamowana ekspresja u <i>P. tremuloides</i>	zmniejszona zawartość lignin, brak zmian w proporcji S:G	Hu i in. 1999
	zahamowana ekspresja u <i>P. tremuloides</i>	zmniejszona zawartość lignin, zwiększona proporcja S:G	Li i in. 2003
	zahamowana ekspresja u <i>P. tomentosa</i>	zmniejszona zawartość lignin	Jia i in. 2004
	zahamowana ekspresja u <i>P. tremuloides</i>	zmniejszona zawartość lignin, brak zmian w proporcji S:G	Hancock i in. 2007
HCT	zahamowana ekspresja u <i>Pinus radiata</i>	zmniejszona zawartość lignin, przerwana struktura monomerów lignin	Wagner i in. 2007
C3H	zahamowana ekspresja u <i>P. alba</i> x <i>grandidentata</i>	zahamowanie informacyjnego RNA (RNAi), zmniejszona zawartość lignin, zwiększona zawartość H, zmniejszona zawartość G	Coleman i in. 2007
CCR	zahamowana ekspresja u tytoniu	niewielko zmniejszona zawartość lignin	Chabannes i in. 2001
	zahamowana ekspresja u tytoniu	zmiany w transkryptomice i metabolomice; zmniejszenie aktywności genów w szlaku biosyntezy fenylopropanoidów	Dauwe i in. 2007

1	2	3	4
	zahamowana ekspresja u <i>P. tremula</i> × <i>alba</i>	5-cio letnie obserwacje doświadczeń polowych; zmniejszona zawartość lignin, zmniejszona proporcja S:G, lepsza wydajność pulpy	Leple i in. 2007
	zahamowana ekspresja u tytoniu	zmniejszona zawartość lignin, niewielkie zwiększenie proporcji S:G	O'Connell i in. 2002
	zahamowana ekspresja u <i>P. abies</i>	5-cio letnie obserwacje doświadczeń polowych; nieco zmniejszona zawartość lignin	Wadenback i in. 2008
<i>Cald5H</i>	zahamowana ekspresja u <i>P. tremuloides</i>	zmniejszona zawartość lignin, wzrost proporcji S:G	Li i in. 2003
	zahamowana ekspresja u <i>P. tremuloides</i>	bez zmian w zawartości lignin, zwiększenie proporcji S:G	Hancock i in. 2007
<i>CcoAOMT</i>	zahamowana ekspresja u <i>P. tremula</i> × <i>alba</i>	zmniejszona zawartość lignin, małe zwiększenie proporcji S:G	Meyermans i in. 2000
	zahamowana ekspresja u <i>P. tremula</i> × <i>alba</i>	zmniejszona zawartość lignin	Zhong i in. 2000
	zahamowana ekspresja u <i>P. tremula</i> × <i>alba</i>	zmniejszona zawartość lignin	Wei i in. 2001 w Lin i in. 2006
<i>CAD</i>	zahamowana ekspresja u <i>P. tremula</i> × <i>alba</i>	nieco zmniejszona zawartość lignin, zwiększona zawartość aldehydów	Baucher i in. 1996
	zahamowana ekspresja u tytoniu	zmniejszona zawartość lignin	Chabannes i in. 2001
	zahamowana ekspresja u tytoniu	zmiany w transkryptomice i metabolomice; zmniejszenie aktywności genów w szlaku biosyntezy fenylopropanoidów	Dauwe i in. 2007
	zwiększona ekspresja u tytoniu	bez zmian w zawartości lignin; cieńsze ściany komórkowe	Golcoechea i in. 2005
	zwiększona ekspresja u tytoniu	nieco zmniejszona zawartość lignin; łatwiej ulegających ekstrakcji	Halpin et al., 1994
	Downregulated in <i>P. tremula</i> × <i>alba</i>	4-letnie obserwacje doświadczeń polowych; bez wpływu ekologiczne/biologiczne aspekty w środowisku	Halpin et al., 2007
	zahamowana ekspresja u <i>P. tremula</i> × <i>alba</i>	zmniejszona zawartość lignin, więcej wolnych fenoli, lepsza wydajność pulpy	Lapierre i in. 1999
	zahamowana ekspresja u tytoniu	zwiększona zawartość S, łatwiej ulegających ekstrakcji	O'Connell i in. 2002
	zahamowana ekspresja u <i>P. tremula</i> × <i>alba</i>	4-letnie obserwacje doświadczeń polowych; prawidłowy wzrost, wyższa wydajność, bez zmian w interakcji z owadami	Pilate i in. 2002
	zahamowana ekspresja u <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	bez zmian w zawartości lignin, w jakości i strukturze	Valerio i in. 2003
	zahamowana ekspresja u <i>P. taeda</i>	zmniejszona zawartość lignin, brązowienie drewna, ligniny zawierają alkohol dyhydrokoniferylowy i aldehydy	MacKay i in. 1997; Ralph i in. 1997
<i>Lakaza</i>	zahamowana ekspresja u <i>P. trichocarpa</i>	bez zmian w zawartości lignin, zdeformowane włókna ksylemu, zwiększenie zawartości fenoli	Ranocha i in. 2002
<i>Peroxidase</i>	zahamowana ekspresja u <i>Populus sleboldii</i> × <i>grandidentata</i>	zmniejszona zawartość lignin, zwiększona proporcja S:G	Li i in. 2003

Nota: Modyfikacje genetyczne dotyczą głównie gatunków drzew, ale również tytoniu. Ligniny u gatunków drzewiastych zawierają 2 główne komponenty monomerów: guaiacyl (G) i syringal (S), których proporcje określają właściwości włókien drewna. Proporcja S:G jest parametrem, który może być wskazówką jakości drewna dla przemysłu.

Rubisco oraz przez wprowadzenie większej liczby kopii tego genu do rośliny. Niestety, nie uzyskano pozytywnych wyników (Normile 1999; Zelitch 1989), ponieważ mechanizmy działania Rubisco nie są jeszcze dostatecznie poznane u roślin wyższych.

U roślin z fotosyntezą typu C₄, cząsteczki CO₂ są magazynowane podczas dnia, kiedy aktywność oksydacyjna Rubisco jest największa, a uwalniane nocą, kiedy przeważa aktywność karboksylazy Rubisco. Wydajność fotosyntezy jest wtedy większa. Pierwsze próby zmiany systemu asymilacji CO₂ z typu C₃ na typ C₄ wykonano zwiększając w tkankach ryżu ekspresję karboksylazy fosfoenolopirogronianowej (PEPC), która w systemie C₄ bierze udział w przyswajaniu dwutlenku węgla. W przypadku ziemniaka, zwiększona ekspresja genu PEPC i dehydrogenazy NADH jabłczanowej zahamowała aktywność oksygenazy Rubisco i zmniejszyła popyt na elektrony w fotosystemie PSII przy podwyższonej temperaturze, przez co wydajność fotosyntezy się zwiększyła (Lipka i in. 1999).

Na podstawie badań aktywności fotosyntetycznej glonów, stwierdzono wzrost stężenia cząsteczek CO₂ wokół przestrzeni komórkowej, co wpłynęło na większą aktywność Rubisco i w konsekwencji spowodowało wzrost aktywności fotosyntetycznej (Lieman-Hurwitz i in. 2003).

Inne możliwości zwiększenia aktywności fotosyntezy u drzew leśnych polegają na blokowaniu procesu fotooddychania i wprowadzaniu genów kodujących białka odpowiedzialne za większą przyswajalność cząsteczek wody przez roślinę. Według Kebeish (2006), u *Arabidopsis thaliana*, zmniejszenie procesu fotooddychania może mieć miejsce poprzez zablokowanie genów biorących udział w biosyntezie fosfoglikolanu – pierwszego produktu fotooddychania w komórkach chloroplastowych. A według Almeida i innych (2007), wprowadzając gen AtTPS1 z rzodkiewnika pospolitego do tytoniu, można uzyskać lepszą przyswajalność wody z podłoża i wzrost aktywności fotosyntetycznej na poziomie fotosystemu PSII.

Istotnym problemem, wymagającym dodatkowego rozpoznania efektywności procesu fotosyntezy, jest dokładne poznanie biosyntezy i regulacji ekspresji kluczowego enzymu fotosyntezy u roślin C₃, tj. Rubisco.

W przypadku gatunków drzewiastych prowadzone są obecnie badania nad zmianami w strukturze wiązań fenylopropenowych w ścianach komórkowych, co narusza chemiczną strukturę ligniny, usieciowanej wiązaniami eterowymi i kowalencyjnymi typu węgiel-węgiel (C–C). Lignina jest polimerem, w skład którego wchodzi monomery – związki organiczne, będące pochodnymi alkoholi fenolowych, m.in. alkohol koniferylowy, alkohol synapinowy, alkohol kumarylowy.

W ostatnich dziesięcioleciach, wiele uwagi poświęcono badaniu genów uszkadzających strukturę monomerów lignin (tab. 1). W Belgii, Francji i USA prowadzone są badania nad transgenicznymi gatunkami drzew leśnych, o zawartości lignin w ścianach komórkowych zmniejszonej dzięki zmienionym genotypom enzymów kluczowych w łańcuchu biosyntezy lignin – ligazy C4L, dehydrogenazy CAD, liazy PAL (Hu i in. 1999, Peña i Séguin 2001). Zmiana w ekspresji genu ligazy kumarynowej C4L, która jest kluczowym enzymem w biosyntezie lignin, prowadzi np. do zwiększenia zawartości włókien celulozy w komórkach produkowanego drewna o 30% (ryc. 2), co umożliwia zastosowanie mniej szkodliwych dla środowiska procesów technologicznych w przemyśle papierniczym.

W przypadku mieszańców topoli (np. *P. tremula* × *alba*) obniżenie zawartości lignin uzyskano przez zablokowanie genu COMT, poddanemu regulacji konstytutywnego promotora 35S z kalafiora (Jouanin i in. 2000).

Zablokowanie biosyntezy koenzymu CCoAOMT umożliwiło wyhodowanie transgenicznej topoli zawartości lignin zmniejszonej o 12%. Wprowadzenie do *P. tremula* × *P. alba* genu białka F5H (ferulate-5-hydroxylaza) z *Arabidopsis* pod kontrolą promotora C4H, umożliwiło Franke i inym (2000) wyhodowanie okazów o zwiększonej zawartości monomerów, których drewno łatwiej delignifikować w trakcie produkcji pulpy. Zawartość lignin można obniżyć aż do 52% przez wprowadzenie do komórek *P. tremuloides* genu hydrolazy CALd5H.

Modyfikacja zawartości składu polisacharydów w ścianie komórkowej prowadzi do zwiększenia zawartości celulozy, a w związku z tym wiązania węgla w materii organicznej (tab. 2). W transgenicznej topoli *P. tremula*, do której wprowadzono gen endoglukanazy z rzodkiewnika pospolitego, zmniejszenie zawartości lignin spowodo-



Ryc. 2. Transgeniczne siewki topoli o zmniejszonej zawartości lignin w strukturze drewna (Uniwersytet w Purdue, USA; <http://www.nytimes.com/2007/11/20/science/20tree.html>)

Tabela 2. Podsumowanie głównych modyfikacji genetycznych prowadzonych w celu zwiększenia wzrostu drzew (źródło: Forest and Genetically Modified Trees FAO Report Rome 2010 (p. 105))

Gen	Modyfikacja	Efekt	Referencje
1	2	3	4
<i>4CL</i>	antysensowa inhibicja u <i>Populus</i>	zwiększony wzrost; zachowana struktura integralna	Hu i in. 1999
<i>GSI</i>	zwiększona ekspresja u <i>Populus</i>	zwiększone węzły i liczba liści, większa powierzchnia liści; zwiększony wzrost; zwiększona asymilacja związków azotu	Fu i in. 2003, Man i in. 2005
<i>Xyloglucanase</i>	zwiększona ekspresja u <i>Populus</i>	zwiększona długość łodygi i międzywęźli	Park i in. 2004
<i>cell1</i>	zwiększona ekspresja u <i>Populus tremula</i>	zwiększony wzrost, większa powierzchnia liści; zwiększona średnica łodygi	Shanl i in. 2004
<i>ugt i acb</i>	zwiększona ekspresja u <i>Populus</i> ; ekspresja sensowa i antysensowa genu <i>acb</i>	rośliny z modyfikacją <i>ugt</i> wykazują zwiększony wzrost; rośliny z modyfikacją <i>ugt i acb</i> mają mniejszy wzrost niż te, które mają tylko modyfikację <i>ugt</i> ; rośliny z modyfikacją sensową <i>acb</i> mają zwiększony wzrost; zaś z modyfikacją antysensową <i>acb</i> – zmniejszony wzrost	Salyaev i in. 2006
<i>vhb</i>	zwiększona ekspresja u <i>Populus</i>	zwiększony wzrost; zwiększona średnica łodygi	Zhang i in. 2006
<i>PttEXPA1</i>	zwiększona ekspresja u <i>Populus</i>	bez zmian w wysokości; zwiększona długość międzywęźli, średnicy włókien i elementów naczyń; zwiększona ekspansja liści	Gray Mitsumune i in. 2007

wało zwiększenie zawartości celulozy ksyloglukanów nawet o 10% (Shani i in. 2004). W 2007 r., Coleman i in. wyhodowali transgenicznego mieszańca *P. alba* × *P. grandidentata* z wprowadzonym z bakterii genem fosforylasy UDP-glukozowej (UGPase). Drzewa te rosły jednak wolniej niż kontrolne.

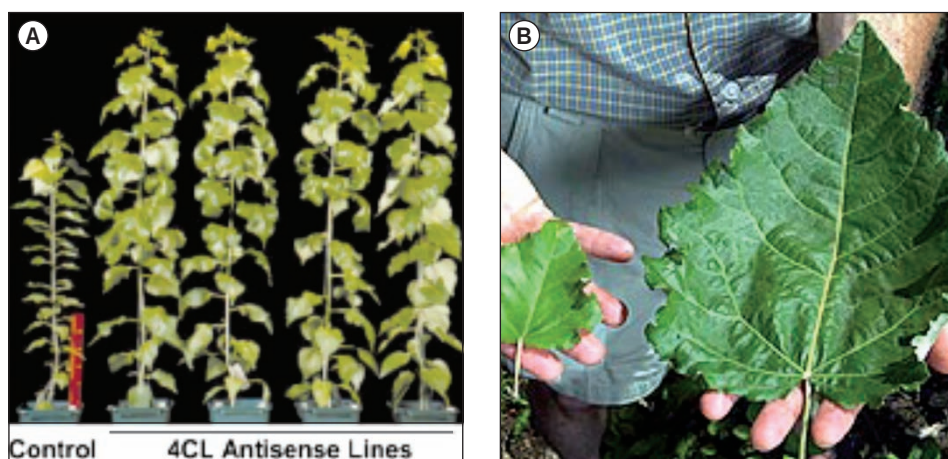
Nadal trwają badania nad zmianami w strukturze ściany komórkowej u takich gatunków drzewiastych, jak: *Populus* sp., *Pinus radiata* i *Eucalyptus*.

Zastosowanie techniki blokowania microRNA w tworzeniu drewna reakcyjnego u drzew umożliwia zwiększenie biosyntezy celulozy w ścianie komórkowej (Lu i in. 2005).

Zwiększenie wzrostu biomasy jest jednym z priorytetowych zadań gospodarki leśnej. Inżynieria genetyczna dotyczy tu głównie modyfikacji genomów drzew przez wprowadzenie genów (tab. 2) biorących udział w kodowaniu białek odpowiedzialnych za syntezę i transport hormonów wzrostu, np. auksyn (gen *ugt*, *acb*). W przypadku topoli wprowadzanie tych genów do roślin modelowych powoduje wzrost długości korzeni (Salyaev i in. 2006). Transgeniczna topola z genem ekspansyny PttEXPA1 miała większą długość międzywęźli oraz większą powierzchnię blaszek liściowych. Są to jednak badania w fazie eksperymentalnej i potrzeba jeszcze dalszych prac, zanim zostaną wyprodukowane stabilne linie transgenicznych drzew o zwiększonym przyroście biomasy i dobrej jakości włókien drewna.

Zakończenie sekwencjonowania innych genomów drzew, podobnie jak wcześniejsze zakończenie przez Tuskan i in. (2006) projektu sekwencjonowania całego genomu topoli *P. trichocarpa*, przyczyni się do lepszego poznania podłoża regulacji ekspresji informacji genetycznej ukierunkowanej na większą aktywność fotosyntezy w komórkach, co spowoduje szybszy przyrost masy drewna i jego dobrą jakość.

Genetyczne modyfikowanie drzew, ukierunkowane na produkcję biomasy na plantacjach drzew leśnych, przyczyni się do większego pochłaniania dwutlenku węgla oraz



Ryc. 3. Modyfikacje prowadzące do wzrostu biomasy. A: zablokowanie ekspresji genu 4CL powoduje wzrost biomasy transgenicznej topoli w porównaniu do kontroli. B: większa powierzchnia blaszki liściowej topoli transgenicznej (po prawej) w odniesieniu do kontroli (po lewej) (źródło: Campbell i in. 2003 oraz Davis 2006)

sekwestracji węgla w większych ilościach w częściach nadziemnych drzew i w glebie (Kellison 2007).

Ciekawym osiągnięciem było uzyskanie przez prof. Straussa w 2001 roku w USA sadzonek transgenicznej topoli (*Populus trichocarpa*), o zwiększonej asymilacji jonów amonowych NH_4^+ (ryc. 3).

Przyszłe możliwości wykorzystania biotechnologii

Biotechnologia otwiera szerokie możliwości modyfikacji cech genetycznych drzew leśnych. Wiele jednostek naukowych pracuje nad optymalizacją metod transformacji różnych gatunków drzew w celu zwiększenia ich odporności na jeden lub kilka czynników biotycznych i abiotycznych. Poznanie procesów biochemicznych, regulujących mechanizm wegetatywnego rozmnażania drzew leśnych stanowi cel badań wielu ośrodków naukowych. Sam proces transformacji genetycznej powoduje bowiem zwykle zmniejszenie efektywności regeneracji *in vitro* zarodków somatycznych z komórek, np. sosny i brzozy (Aronen, Häggman 1995). W przypadku *Pinus taeda* zauważono, iż proces transformacji komórek kalusa powoduje zmniejszenie efektywności regeneracji o 40% (Wenk i in. 1999). Rozmnażanie sosny *Pinus taeda* L. i świerka *Picea abies* L. Karst. *in vitro* nie jest jeszcze opracowane w sposób zadowalający, a napotkane trudności mają podłoże genetyczne (ekspresja genów) lub fizjologiczne (białka kontrolujące proces embriogenezy, jak np. reduktaza glutationowa). W związku z tym trwają intensywne badania nad poznaniem mechanizmów indukujących powstawanie zarodków z dojrzałych komórek sosny i świerka, tak aby można było rozmnażać wegetatywnie drzewa elitarnie tych gatunków (Lelu i in. 1999). Rozmnażanie cennych linii hodowlanych różnych gatunków drzew leśnych drogą somatycznej embriogenezy pozwala uzyskać dużą ilość rozmnażanego materiału o wyselekcjonowanym genotypie. Dotychczas poznano np. czynnik transkrypcyjny *CHAP3a*, który indukuje ekspresję genów biorących udział w regeneracji komórek świerka *in vitro* (Rutledge i in., dane niepublikowane) i można przypuszczać, że podobny mechanizm występuje również u innych gatunków drzew leśnych. Dalsze prace będą postępować w kierunku identyfikacji innych czynników transkrypcyjnych i lokalizacji genów odpowiedzialnych za indukcję procesu somatycznej embriogenezy oraz za ich aktywność w czasie formowania się zarodków drzew iglastych.

Na szczególną uwagę zasługuje udoskonalenie metod weryfikacji stabilności transgenów w liniach zmodyfikowanych genetycznie.

Obecnie, w wielu laboratoriach trwają prace nad transformacją ważnych przemysłowo gatunków drzew leśnych, w celu nadania odporności na herbicydy oraz na czynniki chorobowe takie jak grzyby, owady, wirusy (Tzfira i in. 1998). W Stanach Zjednoczonych i w Hiszpanii, w warunkach szklarniowych hodowane są transgeniczne odmiany brzozy i sosny, odporne na owady z rzędów Lepidoptera, Diptera i Coleoptera (Peña i Séguin 2001). W Finlandii uzyskano już pozytywną transformację komórek brzozy *Betula pendula* Roth., do której wprowadzono gen transferazy metylowej *PtCOMT* z *Populus tremuloides*. W warunkach szklarniowych otrzymane tą drogą transgeniczne brzozy wykazują zwiększoną odporność na owady z rzędu Coleoptera. Transgeniczna

brzoza brodawkowata, mająca gen chitynazy IV, jest odporna na wiele szczepów bakteryjnych (m.in. *Streptomyces*) i grzybowych (np. *Phytophthora infestans*) (Lohtander i in., dane niepublikowane). W Szwecji, zmodyfikowano genetycznie osobniki mieszańca *P. tremula* × *P. tremuloides* w celu poprawy jakości drewna, zwiększenia przemiany węglowodanów w roślinie, zwiększenia syntezy giberelin oraz nadanie odporności na owady z rzędów Coleoptera, Lepidoptera i Diptera poprzez ekspresję toksyny Bt.

W Stanach Zjednoczonych i w Izraelu opracowywana jest metoda uzyskania odporności na niekorzystne warunki klimatyczne (mróz, susza) i środowiskowe (zasolenie, wysokie stężenie jonów rtęci w podłożu) oraz zwiększonego tempa asymilacji jonów amonowych (NH_4^+) u topoli i sosny (Tzfira i in. 1998).

W Belgii i Francji prowadzone są badania nad transgeniczną topolą o zmienionym składzie wiązań fenylopropanowych lignin, co umożliwi zastosowanie mniej szkodliwych dla środowiska procesów technologicznych w przemyśle papierniczym (Hu i in. 1999). Plantacje topoli transgenicznej odpornej na *Melampsora* sp., założone w 2004 roku w INRA pod Orleanem (Francja), zostały niestety zniszczone przez okoliczną ludność, więc na wyniki tych badań trzeba jeszcze poczekać (informacja własna).

Transformacje genetyczne nad wprowadzeniem zmian metabolizmu komórkowego są prowadzone głównie u takich gatunków drzew leśnych jak *Pinus taeda*, *P. radiata*, *P. sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula*, *Pseudotsuga menziesii*, *Populus tremula* × *P. tremuloides* i *P. nigra*. Jakkolwiek w większości prace te dotyczą transformacji i ekspresji genów markerowych (GUS), to rozpoczęto już próby wprowadzenia do komórek drzew leśnych genów odporności na herbicydy (BASTA), genów kodujących enzymy szlaku biosyntezy terpenów, których ekspresja w roślinaх transgenicznych świerka zwiększa odporność drzew na szkodniki i patogeny grzybowe, np. *Phytium dimorphum* i *Ceratocystis polonica* (Fossdal i in. 2001), genów cykazy karboksylowej (ACC), które wprowadzone do komórek sosny zwyczajnej i brzozy brodawkowatej przyczyniają się do zwiększonej produkcji etylenu i indukcji dojrzewania zarodków somatycznych *in vitro* (Lu i in., dane niepublikowane).

Ważnym osiągnięciem w hodowli zmodyfikowanych genetycznie drzew będzie wyhodowanie osobników charakteryzujących się kontrolowanym procesem kwitnienia. U topoli proces ten można przyspieszać powodując nadekspresję genów *LEAFY* lub *APETALA*, lub blokować rozwój pąków kwiatowych poprzez wyciszenie genów (Tzfira i in. 1998). Zahamowanie procesu kwitnienia w roślinaх transgenicznych eliminuje ryzyko uwolnienia transgenu do środowiska.

Wiele przedsiębiorstw przemysłu drzewnego, takich jak SweTreeTechnology AB (Szwecja), ArborGen llc. (USA), Rubicon Ltd. (USA), Trees and Technology (USA), Genesis Research and Development Corp. (Nowa Zelandia) oraz międzynarodowa spółka CellFor Inc., wspierają finansowo badania naukowe w poszukiwaniu genów odpowiedzialnych za cenne przemysłowo cechy drewna oraz finansuje wdrożenie produkcji uzyskanych transgenicznych gatunków drzew. Dla przykładu, spółka ArborGen llc. przeprowadza testy hodowlane transgenicznej topoli na 50 poletkach doświadczalnych, głównie w USA i Brazylii, a w Nowej Zelandii, gdzie produkcja transgenicznych sadzonek sosny *Pinus taeda* wynosi ok. 150000 sztuk rocznie, także testy hodowlane tego gatunku.

Główne przeszkody napotymane w hodowli i obrocie drzew genetycznie zmodyfikowanych są natury finansowej, ze względu na to, że:

- 1) koszt wyprodukowania transgeniczných linii w laboratorium jest duży, gdyż często konieczne jest prowadzenie badań podstawowych na temat struktury i funkcji genu, który ma być przeniesiony z obcego organizmu (bakterii, innej rośliny) do komórki np. topoli,
- 2) złożony wpływ transgenu na ekologię gatunku w warunkach polowych wymaga długoterminowych, kosztownych badań. Wraz z niekontrolowanym przepływem pyłku może nastąpić krzyżowanie transgenu z formami dzikimi gatunku, dlatego wymagane są badania prowadzone na szeroką skalę nad zasięgiem, efektywnością zapylenia, żywotnością mieszańców (modelowanie komputerowe)
- 3) trzeba pokryć koszt patentów, licencji, zgody na publikacje przy wykonywaniu badań z transgenem niosącym korzyści handlowe (np. przyrostu biomasy), jeśli wymaga tego prawo,
- 4) trzeba pokryć koszty przechowywania dokumentacji i zachowania zgodności z przepisami, które mogą być bardzo wymagające i prawnie ryzykowne dla złożonych programów obejmujących wiele lat i miejsc objętych uprawą,
- 5) brak gwarancji, że ustalenia prawne nie ulegną zmianie (np. w interpretacji) w trakcie długiego testowania lub wprowadzania w obrót handlowy produktu GMO,
- 6) istnieje ryzyko nieumyślnego uwolnienia do środowiska transgenów, co może mieć miejsce podczas przedwcześnie zakończonych doświadczeń polowych, pozostawienia plantacji na długi czas po osiągnięciu przez gatunek fazy kwitnienia, używania genotypów niekomercyjnych lub prowadzenia plantacji na geograficznie odległych siedliskach, bez uprzedniego zbadania wpływu transgenu na środowisko,
- 7) istnieje ryzyko odrzucenia przez rynek danego produktu GMO i poniesienia kosztów rozwiązania umowy.

Przeszkody te, napotymane również w hodowli roślin uprawnych, wymusiły na przedsiębiorstwach i rządach państw zaostrenie przepisów prawnych, które stawiają szereg wymogów odnośnie zastosowania biotechnologii w środowisku rolnym. Na przykład w USA, gdzie jest najmniej sprzeciwu społecznego wobec upraw GMO, planowane jest wprowadzenie obostrzeń warunków upraw polowych w tzw. modelu *eko-genetycznym*, czyli po kilkudziesięcioletnim badaniu wpływu transgenu na lokalne genotypy gatunku w konkretnych warunkach środowiska.

Pierwszym krokiem w hodowli drzew transgeniczných, do 2030 roku, powinno być uzyskanie sterylnych linii, u których nie dochodzi do wytworzenia kwiatów, pyłku i nasion. Obecnie wciąż trwają prace nad wyhodowaniem sterylnych mutantów roślin modelowych, w tym również topoli (Brunner i in. 2007). Średni koszt wyhodowania jednej stabilnej linii mutantów (kilka lat) to około 10 000 USD.

Następnym etapem badań, do 2080 roku, będzie doskonalenie produktu – zmodyfikowanego drzewa, w celu uzyskania precyzyjnych cech hodowlanych i eliminacja genu markerowego (kodującego odporność na antybiotyki). W USA, w przypadku gdy celem jest uprawa leśna, która ma osiągnąć wiek pozwalający drzewom wejść w fazę kwitnienia, planuje się zastosowanie transgenów kodujących białka o wąskim spektrum odporności, np. na patogenny grzyb *Cryphonectria parasitica*, który od po-

czątku 1900 r. jest tam główną przyczyną zamierania kasztanowca, lub na chrząszcza z rodziny kózkowatych *Anoplophora glabripennis* pochodzącego z Chin. Wprowadzenie transgenów hamujących rozwój dużej liczby gatunków – patogenów i szkodników, niesie ryzyko eliminacji również pożytecznych gatunków owadów bytujących na drzewach.

Innym ważnym aspektem hodowli drzew transgenicznych jest stabilność genu wprowadzonego do rośliny, gdyż często fragmenty obcego DNA są eliminowane z jądra komórkowego (mechanizm segregacji genów) w trakcie mejozy. Wtedy następne pokolenie nie posiada już genu wprowadzonego do genomu organizmu macierzystego i kosztowną procedurę transformacji należy rozpocząć od nowa. W badaniu transmisji obcych genów w transgenicznym tytoniu *Nicotiana tabacum* L., uzyskuje się tylko około 10% linii stabilnych genetycznie, tzn. takich, których nasiona zawierają wprowadzony gen (obserwacje własne). Ośmioletni monitoring 384 drzew transgenicznej topoli z genem *BAR* (odporność na herbicydy) na plantacji w USA wykazał, że tylko 32 linie zachowały obcy gen w swoich komórkach. Zachowanie transgenu w topoli może być jak dotąd jedynie zagwarantowane dzięki wegetatywnemu rozmnażaniu (Brunner i in. 2007).

Stwierdzenia końcowe

W Polsce nie proponuje się żadnych zmian z zapisie dokumentów regulujących gospodarkę leśną, gdyż potrzeba jeszcze wiele lat badań interdyscyplinarnych zespołów naukowych, aby wytworzyć stabilną, sterylną linię transgenicznych drzew m.in. odpornych na szkodliwe czynniki biotyczne, o zwiększonej aktywności oksydazy enzymu Rubisco i o większej zawartości polisacharydów w ścianie komórkowej.

Zaproponować można jedynie działania edukacyjne i promocyjne w ośrodkach prowadzących badania z zakresu biotechnologii drzew leśnych w Polsce, w celu przybliżenia tej tematyki szerokiemu gronu odbiorców.

Zastosowanie biotechnologii w sektorze leśnym może obejmować rozwiązania genetyczne ukierunkowane na produkcję drzew o zwiększonej biomasie oraz odpornych na szkodliwe czynniki biotyczne (patogeny i owady) i abiotyczne (np. wynikające z nagromadzenia składników odżywczych w glebie). Dzięki wyhodowaniu odmian drzew zmodyfikowanych genetycznie, na terenach poddanych antropopresji możliwa będzie produkcja surowca drzewnego, przy zachowaniu pozaprodukcyjnych funkcji lasu, w tym: bytowania innych gatunków roślin i drzew, ochrony przed wiatrami i walorów rekreacyjnych, oraz sekwestracja dwutlenku węgla w biomasie.

Obecnie 35 krajów prowadzi badania nad 19 gatunkami GMT, spośród których 2/3 są objęte badaniami w USA. W Chinach jest ponad 500 ha plantacji klonów *Populus nigra* z wprowadzonym genem toksyny Bt. W Europie w prowadzeniu badań i hodowli GMO obowiązują przepisy prawne: protokół kartageński, konwencja IPPC i dyrektywa UE 2003/556/EC.

W Polsce przepisy prawne regulujące zakres badań laboratoryjnych i polowych oraz obrót materiałem modyfikowanym genetycznie zawiera ustawa z dnia 22 czerwca 2001 r.

o organizmach genetycznie zmodyfikowanych (Dz.U. z 2007 r. Nr 36, poz. 233 z późn. zm.). Ustawa ta ukierunkowana jest szczególnie na czynności kontrolne, takie jak:

- sprawdzenie danych użytkownika przeprowadzającego zamierzone uwolnienie do środowiska roślin genetycznie zmodyfikowanych;
- sprawdzenie zgodności miejsca zamierzonego uwolnienia z miejscem określonym w decyzji w sprawie zamierzonego uwolnienia oraz oznaczenia tego miejsca;
- sprawdzenie izolacji przestrzennej miejsca dokonywania zamierzonego uwolnienia;
- sprawdzenie dokumentów związanych z prowadzeniem zamierzonego uwalniania roślin genetycznie zmodyfikowanych;
- sprawdzenie sposobu realizacji przez wnioskodawców warunków wynikających z posiadanych decyzji ministra środowiska.

Warunki przekazywania sprawozdań z przebiegu prowadzonych doświadczeń polowych są podane w formularzach określonych w załączniku do decyzji Komisji UE 2003/701/WE z dnia 29 września 2003 r., zgodnie z dyrektywą 2001/18/WE Parlamentu Europejskiego i Rady UE (Dz.Urz. UE L 254).

Rekomendacją do Narodowego Programu Leśnego jest utworzenie platformy badań w zakresie:

- 1) genomiki funkcjonalnej gatunków drzewiastych, ukierunkowanej na doskonalenie warsztatu (stabilność transgenów, metoda transformacji, sterylność drzew),
- 2) opracowania prawa własności intelektualnej transgenów (fragmentu DNA) i drzewa GMO. Obecnie, każdy element DNA użytego do konstrukcji transgenów (sekwencje promotora, genu, terminatora) są własnością intelektualną podmiotów, które nie biorą udziału w komercjalizacji końcowego produktu,
- 3) prowadzenia „zarządzania adaptacyjnego” i określenia kosztów licencji w związku z wysokimi kosztami i długimi terminami prowadzenia upraw drzew transgenicznych,
- 4) przejrzystości polityki w prowadzeniu upraw genetycznie zmodyfikowanych drzew, informowania społeczeństwa o prowadzeniu takich upraw, prowadzenia bilansu zysków i strat (ekonomicznych, ekologicznych i społecznych).

Literatura

- Almeida A.M., Silva A.B., Arau S.S., Cardoso L.A., Santos D.M., Torne J.M. et al. 2007. Responses to water withdrawal of tobacco plants genetically engineered with the AtTPS1 gene: a special reference to photosynthetic parameters. *Euphytica* 154: 113–126.
- Aronen T., Häggman H. 1995. Differences in *Agrobacterium* infections in silver birch and Scots pine. *European Journal of Forest Pathology* 25: 197–213.
- Brunner A.M., Li J., DiFazio S.P., Shevchenko O., Montgomery B.E., Mohamed R. et al. 2007. Genetic containment of forest plantations. *Tree Genetics & Genomes*, doi: 10.1007/s11295-006-0067-8.
- Campbell M.M., Brunner A.M., Jones H.M., Strauss S.H. 2003. Forestry's Fertile Crescent: The application of biotechnology to forest trees. *Plant Biotechnology Journal* 1: 141–154.
- Coleman H.D., Canam T., Kang K.Y., Ellis D.D., Mansfield S.D. 2007. Overexpression of UDP-glucose pyrophosphorylase in hybrid poplar affects carbon allocation. *Journal of Experimental Botany* 58: 4257–4268.

- Forest and genetically modified trees. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2010.
- Fossdal C.G., Sharma P., Lönnenborg A. 2001. Isolation of the first putative peroxidase cDNA from a conifer and the local and systemic accumulation of related proteins upon pathogen infection. *Plant Molecular Biology* 47(3): 423–435.
- Franke R., McMichael C.M., Meyer K., Shirley A.M., Cusumano J.C., Chapple C. 2000. Modified lignin in tobacco and poplar plants overexpressing the *Arabidopsis* gene encoding ferulate 5-hydroxylase. *The Plant Journal* 22: 223–234.
- Gallardo F., Fu J., Cantón F.R., Garcia-Gutiérrez A., Cánovas F.M., Kirby E.G. 1999. Expression of a conifer glutamine synthetase gene in transgenic poplar. *Planta* 210: 19–26.
- Gelernter W., Schwab G.E. 1993. *Bacillus thuringiensis*, an environmental biopesticide: theory and practice. w: *Bacillus thuringiensis*, an environmental biopesticide: theory and practice. P.F. Entwistle, J.S. Corry, M.J. Ailely and S. Higgs (eds). 1993 Chichester UK, John Wiley & Sons, s. 90–104.
- Hu W.J., Harding S.A., Lung J., Popko J.L., Ralph J., Stokke D.D. et al. 1999. Repression of lignin biosynthesis promotes cellulose accumulation and growth in transgenic trees. *Nature Biotechnology* 17: 808–812.
- Jouanin L., Goujon T., de Nadai V., Martin M.-T., Mila I., Vallet C. et al. 2000. Lignification in transgenic poplars with extremely reduced caffeic acid O-methyltransferase activity. *Plant Physiology* 123: 1363–1374.
- Kebeish R.M.A. 2006. Construction and molecular analysis of genetically modified C3 plants expressing a glycolate oxidizing pathway inside the chloroplast. Rozpr. Dokt. Institute for Biology I (Botany and Molecular Genetics), Aachen, Niemcy, 182 pp.
- Kellison R. 2007. Value-added products from forest biotechnology. *Euphytica* 154: 279–288.
- Kellison R.C., Balocchi C.E., Valenzuela S., Rodriguez J. 2007. Forest biotechnology: an extension of tree improvement. *International Journal of Biotechnology* 9: 448–459.
- Lelu M.A., Bastien C., Drugeault A., Gouez A.L., Klimaszewska K. 1999. Somatic embryogenesis and plantlet development in *Pinus sylvestris* and *Pinus pinaster* on medium with and without growth regulators. *Physiologia Plantarum* 105: 719–728.
- Lieman-Hurwitz J., Rachmilevitch S., Mittler R., Marcus Y., Kaplan A. 2003. Enhanced photosynthesis and growth of transgenic plants that express *icbA*, a gene involved in HCO_3^- accumulation in cyanobacteria. *Plant Biotechnology* 1: 43–50.
- Lipka V., Häusler R.E., Rademacher T., Li J., Hirsch H.J., Kreuzaler, F. 1999. *Solanum tuberosum* double transgenic expressing phosphoenolpyruvate carboxylase and NADP-malic enzyme display reduced electron requirement for CO_2 fixation. *Plant Science* 144: 93–105.
- Lu S., Sun Y.-H., Shi R., Clark C., Li L., Chiang V.L. 2005. Novel and mechanical stressresponsive microRNAs in *Populus trichocarpa* that are absent from *Arabidopsis*. *Plant Cell* 17: 2186–2203.
- Normile D. 1999. Genetic engineers aim to soup up crop photosynthesis. *Science* 283: 314–316.
- Nowakowska J. 2004. Zastosowanie roślin transgenicznych w leśnictwie – perspektywy i zagrożenia. *Biotechnologia* 3(66): 78–86.
- Nowakowska J. 2011. Drzewa GMO leśnictwie – iluzja czy przyszłość? *Oikos* 12: 16–17.
- Nowakowska J.A. 2008. Czy w naszych lasach będą rosły drzewa GMO? *Notatnik Naukowy IBL* 1(80)/2008(XVI), 4 pp.
- Nowakowska J.A. 2006. Detekcja ekspresji genów drzew leśnych za pomocą mikromacierzy DNA. *Sylvan* 4: 33–43.
- Peña L., Séguin A. 2001. Recent advances in genetic transformation of trees. *Trends in Biotechnology* 19(12): 500–506.
- Salyaev R., Rekoslavskaya N., Chepinoga A., Mapelli S., Pacovsky R. 2006. Transgenic poplar with enhanced growth by introduction of the *ugt* and *acb* genes. *New Forests* 32: 211–229.
- Shani Z., Dekel M., Tsabary G., Goren R., Shoseyov O. 2004. Growth enhancement of transgenic poplar plants by overexpression of *Arabidopsis thaliana* endo-1,4-b-glucanase (*cel1*). *Molecular Breeding* 14: 321–330.

- Strauss S.H., Campbell M.M., Pryor S.N., Coventry P., Burley J. 2001. Plantation certification and genetic engineering: FSCs ban on research is counterproductive. *Journal of Forestry* 99(12): 4–7.
- Tuskan G.A., DiFazio S., Jansson S. i in. 2006. The genome of black cottonwood, *Populus trichocarpa* (Torr & Gray). *Science* 313(5793): 1596–1604.
- Tzfira T., Zuker A., Altman A. 1998. Forest tree biotechnology: genetic transformation and application to future forests. *Trends in Biotechnology*, 16: 439–446.
- Wenk A.R., Quinn M., Whetten R.W., Pullman G., Sederoff R. 1999. High-efficiency *Agrobacterium*-mediated transformation of Norway spruce (*Picea abies*) and loblolly pine (*Pinus taeda*). *Plant Molecular Biology* 39 (3): 407–416.
- Zelitch I. 1989. Selection and characterization of tobacco plants with novel O₂ resistant photosynthesis. *Plant Physiology* 90: 1457–1464.

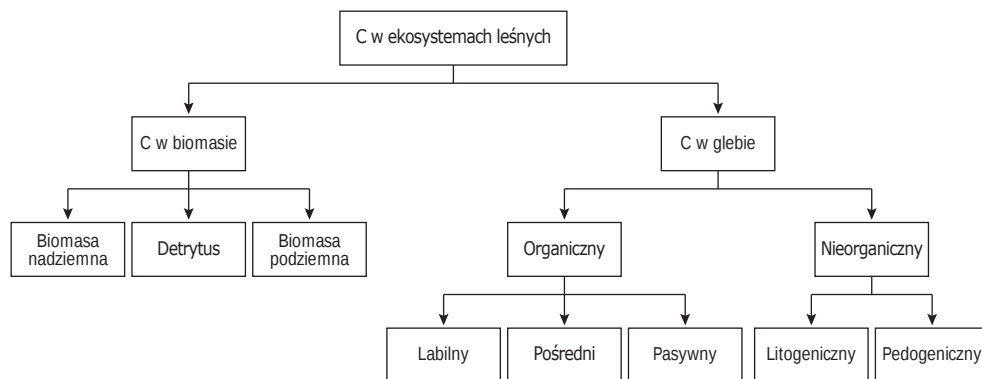
Możliwości zwiększania sekwestracji węgla w ekosystemach leśnych w warunkach zmian klimatycznych. Gromadzenie węgla w glebie, ochrona materii organicznej

Dr inż. Józef WÓJCIK

Instytut Badawczy Leśnictwa, Samodzielna Pracownia Chemii Środowiska Leśnego,

Wstęp

Proces magazynowania węgla przez ekosystemy leśne składa się z szeregu składowych, z których najważniejszą jest wiązanie węgla w biomase oraz w glebie (ryc. 1).



Ryc. 1. Wiązanie węgla przez ekosystem leśny (wg Lal 2005)

Gleby są bardzo ważnym rezerwuarem węgla w biogeochemicznym obiegu tego pierwiastka. Szacuje się (Van-Camp i in. 2004), że światowe zasoby węgla w glebach wynoszą ponad 1500 Pg i są znacznie większe niż zasoby tego pierwiastka w atmosferze (750 Pg) czy w biomase ekosystemów lądowych (650 Pg).

Zdolność gleb leśnych do wiązania CO₂ pochodzącego ze spalania paliw kopalnych nabrała szczególnego znaczenia wobec zagrożenia z powodu przewidywanych zmian klimatu. Zrozumienie mechanizmów i czynników wpływających na dynamikę węgla

organicznego w glebach leśnych jest bardzo ważne ze względu zarówno na identyfikację akceptorów CO₂, jak i na najbardziej efektywne ich wykorzystanie do prób ograniczenia zmian klimatu.

Niniejsze opracowanie jest syntezą dostępnych w literaturze informacji na temat gleb leśnych jako pochłaniacza CO₂ oraz takich metod zarządzania ekosystemami leśnymi, które mogą wspomagać zdolność gleb do wiązania i magazynowania węgla. Skupiono się w nim na ilości C, jaka może być magazynowana w glebach leśnych, na czynnikach wpływających na dynamikę tego wiązania, a także na wpływie zabiegów hodowlanych na sekwestrację C. Omówiono również prawdopodobny wpływ prognozowanych zmian klimatu na zasoby węgla w glebie i wyzwania, jakie stoją przed leśnictwem w celu wykorzystania możliwości gleb w tym zakresie. Dane literaturowe posłużyły do weryfikacji niektórych badań krajowych, dotyczących głównie zasobów węgla organicznego w glebach leśnych.

Zasoby węgla w glebach leśnych

Ekosystemy leśne gromadzą w biomasie i w glebach około 1240 Pg węgla (Van-Camp i in. 2004), przy czym zasoby tego pierwiastka w glebach na różnych szerokościach geograficznych są bardzo zróżnicowane. Ilość węgla nagromadzona w biomasie nadziemnej wzrasta wraz ze zmniejszaniem się szerokości geograficznej, od tundry do tropikalnych lasów deszczowych (Fisher 1995). Typowa zawartość węgla w biomasie wynosi od 40–60 Mg/ha w lasach borealnych, 60–130 Mg/ha w lasach stref umiarkowanych i 120–195 Mg/ha w lasach tropikalnych (Prentice 2001), przy czym zawartość węgla w biomasie tropikalnych lasów deszczowych sięga 250 Mg/ha.

Proporcje pomiędzy zasobami węgla zgromadzonymi w glebie i w biomasie roślinnej również zależą głównie od strefy klimatycznej. Ocenia się, że w lasach tropikalnych proporcja ta wynosi 0,9÷1,2 : 1, w lasach strefy umiarkowanej 1,2÷3 : 1, a w lasach borealnych może osiągać nawet wartość 3÷17 : 1 (Dixon i in. 1994). W skali globalnej gleby magazynują 60–70% węgla ekosystemów leśnych (IPCC 2000; Lorenz, Lal 2010).

Węgiel występuje w glebie w związkach nieorganicznych (głównie w węglanach) oraz w materii organicznej (ryc. 1). Gleby ekosystemów narażonych na pożary mogą dodatkowo zawierać znaczne ilości węgla drzewnego.

Materia organiczna gleb stanowi układ dynamiczny, ulegający ciągłym przemianom. Obumarłe części nadziemne oraz korzenie roślin wyższych (telomowych), martwa makro- i mezofauna oraz obumarłe mikroorganizmy są atakowane przez edafon i rozkładane, poprzez produkty pośrednie, do prostych związków nieorganicznych, takich jak CO₂, NH₃, H₂O, oraz jonów NO₃⁻, SO₄²⁻, HPO₄²⁻ itp. Proces ten, zwany mineralizacją, przebiega w kilku etapach, a jego tempo zależy od szeregu czynników, takich jak aktywność edafonu, warunki hydrotermiczne oraz właściwości fizyczne i chemiczne gleb. Tempo mineralizacji zależy również od wieku oraz od składu chemicznego wyjściowego materiału organicznego. Rośliny starsze ulegają wolniej rozkładowi niż młodsze, a odporność związków chemicznych na procesy rozkładu można uszeregować, od najmniej odpornych, następująco: cukry < skrobia < białka < pektyny < hemiceluloza < celuloza

< lignina < woski < żywice < garbniki. W zależności od składu chemicznego roślin leśnych, ich odporność na rozkład mikrobiologiczny rośnie w następującej kolejności: trawy < zioła < krzewy < drzewa liściaste < drzewa iglaste < wrzosey.

W optymalnych warunkach substancje łatwo ulegające rozkładowi są całkowicie mineralizowane, pozostałe natomiast, na skutek procesu humifikacji, polegającego na szeregu skomplikowanych reakcji hydrolizy, utleniania, syntezy enzymatycznej i polimeryzacji, przekształcają się w ciemno zabarwione, związki cykliczne o charakterze koloidalnym, zwane substancjami humusowymi. Mimo iż materia organiczna gleb skupia uwagę badaczy już od drugiej połowy XVIII wieku, do chwili obecnej nie są znane mechanizmy humifikacji. W każdym razie powstałe w jej wyniku substancje humusowe są bardzo odporne na rozkład i w związku z tym wiążą węgiel w sposób najbardziej trwały. Dotyczy to zwłaszcza tej części humusu, która wchodzi w połączenia z frakcją mineralną gleby, zwłaszcza z minerałami ilastymi (Richardson, Edmonds 1987; Theng i in. 1989).

Przyjmuje się, że około 75–80% wyjściowego materiału organicznego stosunkowo szybko ulega mineralizacji, natomiast pozostałe 20–25% przekształca się w znacznie trwalsze związki humusowe. Dokładna ocena możliwości trwałego wiązania węgla przez gleby leśne jest bardzo trudna.

Materię organiczną gleb można podzielić na trzy frakcje w zależności od jej trwałości (ryc. 1). Frakcja nietrwała (labilna) składa się głównie z mikroorganizmów glebowych i ich metabolitów, o czasie pobytu w środowisku glebowym wahającym się od roku do 10 lat. Frakcja stabilna (pośrednia) składa się ze świeżo uformowanych substancji polimerycznych, które mogą być niezwykle zróżnicowane pod względem składu chemicznego, a w zależności od rodzaju substratów oraz od czynników glebotwórczych czas pobytu tej frakcji w glebie waha się od 10 do 50 lat. Frakcja bierna (pasywna) materii organicznej, charakteryzująca się również zróżnicowanym składem chemicznym, pozostaje w glebie w niezmiennym stanie przez okres około 500 lat. Podatność substancji humusowych na procesy mineralizacji zależy w dużym stopniu od typu wiązań z minerałami ilastymi (Theng i in. 1989).

Podobnie jak w przypadku całego ekosystemu, gleby zmierzają w kierunku poziomu równowagi, pomiędzy ilością węgla docierającego do gleby z resztkami roślinnymi a utratą węgla z gleby, przede wszystkim poprzez rozkład materii organicznej do CO_2 i H_2O (a także CH_4 w warunkach beztlenowych). Wraz ze zmianą tempa dopływu C do gleby oraz/lub szybkości dekompozycji, zapasy C w glebie będą ulegać zwiększeniu lub zmniejszeniu w kierunku nowej wartości równowagi. Reakcja na takie zmiany będzie najszybsza w przypadku frakcji aktywnej (np. korzeni roślin, obumarłych organów asymilacyjnych), natomiast tempo formowania (lub rozkładu) frakcji stabilnej będzie powolne, a biernej – bardzo powolne.

Rozmieszczenie glebowej materii organicznej jest bardzo zróżnicowane w obrębie krajobrazu, zarówno w układzie poziomym, jak i pionowym. Zróżnicowanie to zależy między innymi od warunków hydrotermicznych, szaty roślinnej i właściwości fizykochemicznych materiału glebowego. Nawet w przypadku krajobrazu homogenicznego, pokrytego wysokim lasem tropikalnym, całkowity zasób węgla może wahać się pomiędzy 50 i 300 t/ha (Sombroek i in. 1999). W strefie umiarkowanej, ze względu na dużą heterogeniczność gleb, różnice zasobów węgla są oczywiście znacznie większe.

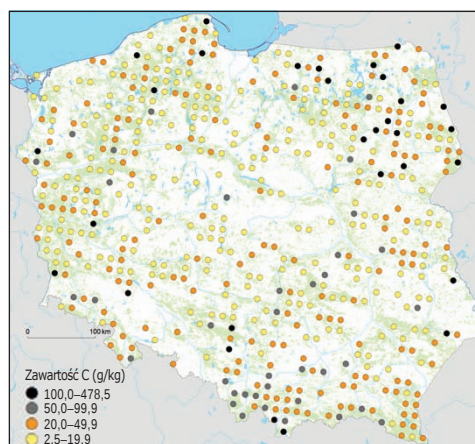
W przypadku gleb leśnych stężenie węgla organicznego w glebie (*soil organic carbon* – SOC) może wahać się od 0 g/kg w piaszczystych glebach inicjalnych do 500 g/kg w niektórych glebach organicznych i bagiennych (Trettin i Jurgensen 2003), przy czym w warstwie 0–20 cm przeważnie zawiera się w granicach od 3 do 115 g/kg gleby (Perry 1994).

Największym źródłem informacji o zawartości oraz zasobach SOC w glebach leśnych Polski jest realizowany w latach 2007–2009 projekt BioSoil, w ramach którego badano zawartość C w glebach 524 stałych powierzchni obserwacyjnych I rzędu rozmieszczonych w sieci 16×16 km. Takie same badania, wg zuniifikowanej metodyki, wykonano w 22 państwach Europy (4928 powierzchni). Badania prowadzono w warstwie próchnicy nadkładowej (jeżeli występowała) oraz w warstwach na głębokości 0–5, 5–10, 10–20, 20–40 oraz 40–80 cm.

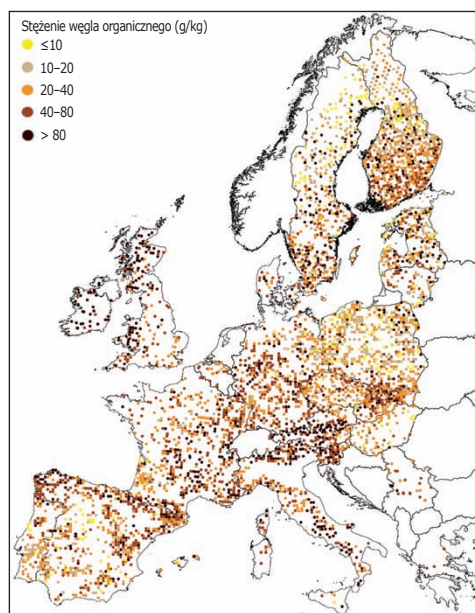
Stężenie SOC w warstwie 0–5 cm badanych 524 gleb leśnych Polski było bardzo zróżnicowane. Arenosole inicjalne oraz bielcowane, a także część biellic, gleb bielcowych oraz rdzawych (zwłaszcza porolnych) zawierała 2,5–20,0 g C/kg gleby, podczas gdy w niektórych glebach siedlisk wilgotnych i bagiennych, należących do działu gleb semihydrogenicznych oraz hydrogenicznych znaleziono 100–480 g C/kg gleby (ryc. 2).

Porównując zawartość węgla organicznego w glebach leśnych Polski (ryc. 2) z wynikami uzyskanymi w całym projekcie (ryc. 3), stwierdzić należy, że nasze gleby zawierają typowe dla centralnej Europy ilości tego pierwiastka.

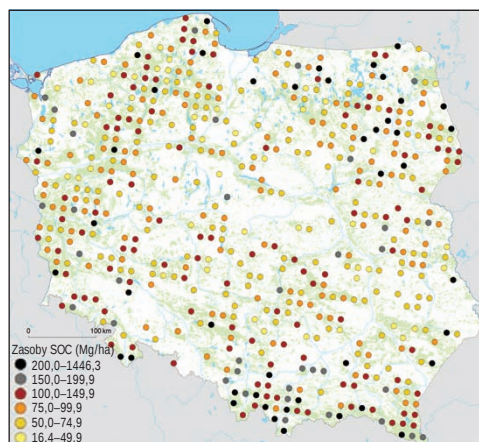
Zawartość węgla organicznego w glebie, wyrażona w procentach lub w g/kg, jest podstawą do obliczenia zasobów (zapasu) SOC, wyrażanych w Mg na jednostkę powierzchni. Zasoby SOC w glebach leśnych Polski są bardzo zróżnicowane. Łącznie z węglem mało stabilnej ektopróchnicy wahają się od 16 do 1446 Mg/ha (ryc. 4), natomiast zasoby SOC w bardziej stabilnej endopróchnicy – od 11 do 1444 Mg/ha (ryc. 5).



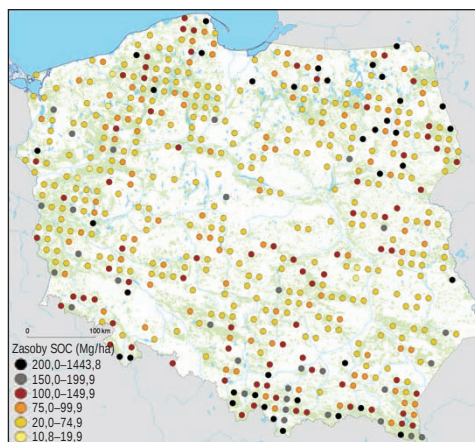
Ryc. 2. Stężenie węgla organicznego (g/kg) w warstwie 0–5 cm gleb leśnych w sieci 16×16 km



Ryc. 3. Zawartość węgla organicznego (g/kg) w warstwie 0–10 cm gleb leśnych Europy w sieci 16×16 km (De Vos i Cools 2011)



Ryc. 4. Zasoby węgla organicznego (Mg/ha) w glebach leśnych

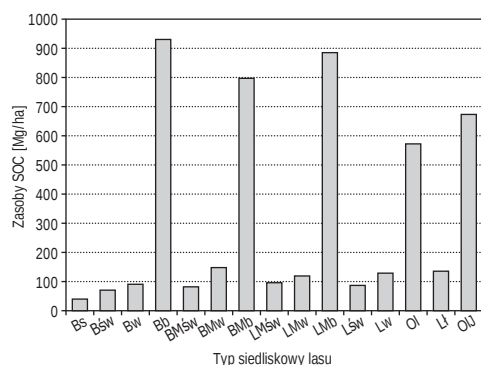


Ryc. 5. Zasoby węgla organicznego (Mg/ha) w glebach leśnych z pominięciem ektomrocznicy

Czynniki wpływające na zasoby węgla w glebach leśnych

Na tak olbrzymie zróżnicowanie puli węgla organicznego zgromadzonego w naszych glebach leśnych wpływa cały szereg czynników.

Znaczący wpływ na wielkość zasobów SOC ma klimat poprzez takie składowe jak temperatura, ilość opadów czy wielkość ewapotranspiracji (Post i in. 1982). Oprócz tego istnieje wiele czynników glebowych czy krajobrazowych, które także wpływają na gromadzenie węgla w glebach leśnych (Wilcox i in. 2002). Prichard i inni (2000) obserwowali silny wpływ wystawy na SOC. Ilość SOC była większa na stokach o wystawie północno-wschodniej. Krajobraz może wpływać na gromadzenie się SOC poprzez oddziaływanie na reżim wody glebowej (Gulledge, Schimel 2000). Wielkość zasobów SOC w glebie zależy także od pojemności sorpcyjnej tej gleby, a także od jej tekstury i stanu



Ryc. 6. Zasoby SOC w glebach leśnych Polski w zależności od żyzności i wilgotności siedliska

agregacji. Borchers i Perry (1992) stwierdzili, że w porównaniu do glin i pyłów gleby wytworzone z utworów bardziej gruboziarnistych zawierają mniej SOC. Również Banfield i inni (2002) udowodnili istnienie wykładniczej zależności między teksturą gleby a ilością C w biomase, a w konsekwencji jego zasobami w glebie.

W Polsce gleby leśne w siedliskach nizinnych magazynują z reguły tym więcej SOC im bardziej żyzne jest siedlisko. W ramach siedlisk o tym samym stopniu żyzności dominującą rolę w gromadze-

niu węgla organicznego odgrywa stopień uwilgotnienia (ryc. 6). W siedliskach boru suchego, boru świeżego, boru wilgotnego oraz boru bagiennego średnie zasoby SOC w warstwie 0–80 cm wynosiły odpowiednio 39,9 Mg, 70,6 Mg, 90,8 Mg i aż 930 Mg na hektar.

Na wielkość zasobów węgla w glebach leśnych wpływają zarówno czynniki naturalne, jak i antropogeniczne. Wszelkiego rodzaju zaburzenia naturalne, takie jak wiatr, ogień, susza czy gradacje owadów i patogenów, mogą stać się zdarzeniami destrukcyjnymi dla ekosystemu. Wpływ zakłóceń naturalnych na zasoby SOC opisali Overby i inni (2003).

Czynniki antropogeniczne wpływające na zasoby SOC to przede wszystkim stosowane w leśnictwie metody ochrony, hodowli i użytkowania, takie jak rodzaj rębni, metody pozyskania drewna, ilość pozostałości po zrębowych, długość okresu rotacji, mechaniczne przygotowanie powierzchni, nawożenie i wapnowanie, regulacja stosunków wodnych, zalesianie, ponowne zalesianie oraz przebudowa drzewostanów (Lal 2005; Jandl i in. 2007; Lorenz, Lal 2010).

Chociaż zabiegi hodowlane w leśnictwie są z reguły mniej intensywne niż w rolnictwie, to jednak ich wpływu na zwiększenie bądź zmniejszenie zasobów węgla w glebie nie można pominąć. Ekosystemy leśne, w których utrzymywane jest ciągle pokrycie koron (*continuous canopy cover*) oraz stosowane zabiegi naśladujące procesy zachodzące w lasach naturalnych, są powszechnie uznawane za systemy osiągające równocześnie optymalną produkcję biomasy i sprzyjające gromadzeniu węgla w glebie (Thornley, Cannell 2000). Działania, które mogą szczególnie znacząco wpływać na zasoby SOC, obejmują: pozyskanie drewna i sposób przygotowania powierzchni do powtórnego zalesienia, nawożenie oraz wapnowanie gleb, zalesianie i ponowne zalesianie, przebudowę drzewostanów oraz uprawę gatunków szybkorosnących (Hoover 2003; Nabuurs i in. 2008).

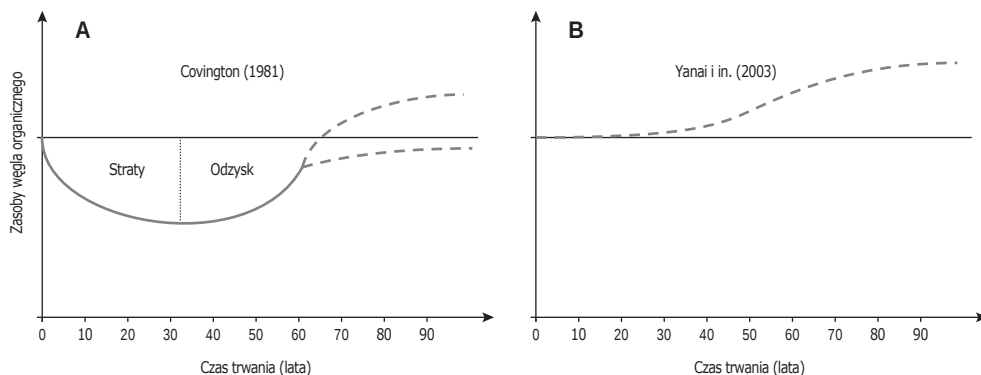
Pozyskanie drewna i przygotowanie powierzchni pod uprawę

Jednym z działań gospodarki leśnej w skali globalnej jest pozyskanie drewna, a następnie przygotowanie powierzchni pod uprawę. W literaturze tematu bardzo często cytowana jest tzw. krzywa Covingtona (Covington 1981), opisująca dynamikę SOC po wykonaniu zrębu (ryc. 7a), z której wynika, że w ciągu pierwszych 20 lat po wykonaniu zrębu zasoby SOC zmniejszają się gwałtownie o 50% lub nawet więcej.

Zmniejszenie zasobów SOC na zrębie przypisuje się brakowi/ograniczeniu dopływu opadu liści/igieł, zakłóceniom w rozwoju roślinności runa, spadkowi zasięgu systemów korzeniowych, zmianom reżimu wodnego i temperatury, zwiększonej infiltracji światła przyspieszającej rozkład materii organicznej (Bekele i in. 2007).

Badania innych autorów wykazały, że spadek zasobów SOC, jaki ma miejsce po wykonaniu zrębu, jest głównie wynikiem wymieszania bogatej w materię organiczną ektopróchnicy oraz górnej warstwy gleby, z położonymi głębiej warstwami mineralnymi (Nyland 2001; Yanai i in. 2003). Najczęściej zmiany dotyczą warstwy sięgającej do głębokości 10–30 cm. Destrukcja gleby na skutek wymieszania jej górnych poziomów powoduje zwiększoną respirację mikroorganizmów (Besnard i in. 1996; Diochon i in.

2009), co może, w przypadku skrajnie nieprawidłowych technik pozyskania, doprowadzić do strat SOC rzędu $20 \pm 2,5$ Mg/ha. Różnice w zasobach węgla glebowego, spowodowane stosowaniem prawidłowych i nieprawidłowych technik pozyskania, mogą sięgać 25% całkowitej puli SOC (Zummo, Friedland 2011).



Ryc. 7. Wpływ metod pozyskiwania drewna na zasoby SOC: A – z naruszeniem wierzchniej warstwy gleby, B – bez naruszenia wierzchniej warstwy gleby.

Wykorzystanie do celów energetycznych biomasy drzewnej pozyskanej technikami niszczącymi strukturę wierzchniej warstwy gleby nie powinno być więc traktowane jako neutralne podczas bilansowania węgla w związku z ilością gazów cieplarnianych i zmianami klimatu (Friedland, Gillingham 2010; Zummo, Friedland 2011).

Inną przyczyną spadku zasobów węgla w glebie po wykonaniu zrębu jest brak okrywy roślinnej, ułatwiający erozję (Elliot 2003) oraz wymywanie w głąb rozpuszczalnych frakcji węgla (Kalbitz i in. 2000).

Jeżeli zabieg pozyskania drewna jest wykonywany z należytą starannością i nie powoduje przerwania naturalnych procesów zachodzących w ekosystemie, wtedy nie będzie oddziaływał na zasoby węgla zgromadzone w glebie (ryc. 7b). Co więcej – zmniejszenie dopływu biomasy na powierzchnię gleby po usunięciu drzew może być skompensowane przez pozostawienie na miejscu dużej ilości pozostałości pozrębowych (Post 2003; Yanai i in. 2003).

Przygotowanie do nasadzeń powierzchni po użyciu ciężkiego sprzętu podczas pozyskania ma na celu złagodzenie skutków ubicia gleby. Stosuje się w tym celu zabieg głęboszowania. Innym celem przygotowania powierzchni jest poprawa zdolności gleby do magazynowania wody. Z powodu silnego wpływu właściwości fizycznych gleby na produkcję biomasy przygotowanie powierzchni prowadzące do poprawy jakości gleby jest szczególnie ważne dla zwiększenia puli węgla wiązanego przez ekosystem leśny. Ze względu jednak na omówione wyżej ograniczenia, wynikające ze zwiększonej respiracji mikroorganizmów po wymieszaniu górnych warstw gleby, trudno jest zbilansować korzyści i straty wynikające z naruszenia naturalnego układu gleby. Generalnie można stwierdzić, że po zastosowaniu technik pozyskania nie niszczących wierzchnich warstw gleby lub niszczących je w niewielkim stopniu, mechaniczne przygotowanie powierzchni do zalesień byłoby szkodliwe.

Okres rotacji

Oczywiste jest, że im krótszy okres rotacji, tym mniej węgla zwiąże biomasa drzew. Gleby jednak reagują na zmiany okresu rotacji w sposób niejednoznaczny. Z jednej strony mniejsza biomasa drzew produkuje mniej opadu organicznego, co prowadzi do wzrostu tempa mineralizacji glebowej materii organicznej, z drugiej zaś – przy częstszych cięciach na powierzchni gleby pozostaje więcej pozostałości pozrębowych (Liski i in. 2001). Większość badań europejskich wykazuje, że wraz z wydłużaniem okresu rotacji zwiększa się ilość węgla związanego przez gleby (Lasch i in. 2005). Jednak Liski i inni (2001) stwierdzili, że wydłużenie okresu rotacji w drzewostanach świerkowych Norwegii powodowało zmniejszanie się puli C w glebach mineralnych z powodu zmniejszenia się ilości pozostałości pozrębowych.

Nawożenie i wapnowanie

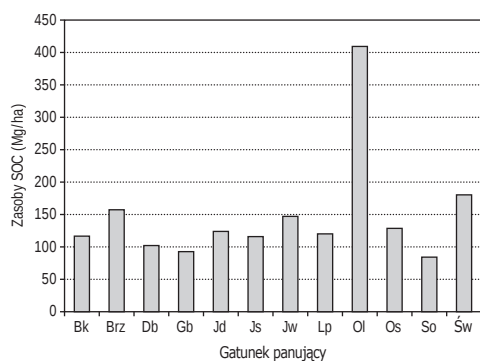
W Polsce, pomijając rekultywację terenów leśnych po klęskach ekologicznych oraz plantacje, zabiegi nawożenia i wapnowania gleb nie są stosowane. W niektórych rejonach świata nawożenie jest natomiast praktyką stosowaną powszechnie w intensywnie prowadzonych drzewostanach leśnych. W wielu przypadkach barierą ograniczającą produkcję biomasy jest niedobór azotu, w związku z czym wzrost zaopatrzenia drzewostanów w N może zwiększyć produkcję pierwotną netto, a tym samym zapasy C w glebie (Magill, Aber 2000; Resh i in. 2002).

Shan i inni (2001), śledząc wpływ nawożenia na gromadzenie węgla w glebie, stwierdzili, że ilość zmagazynowanego SOC jest większa tam, gdzie na skutek nawożenia zwiększyła się biomasa podszytu, będącego źródłem opadu organicznego oraz przyczyną wzrostu biomasy korzeni drobnych w glebie.

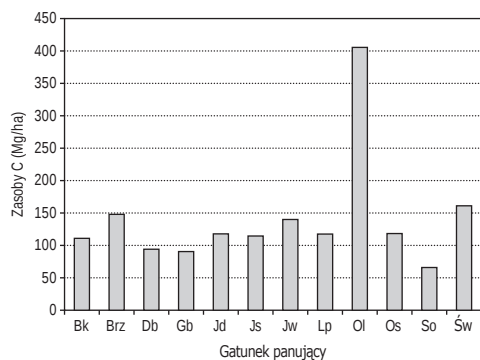
Stosowanie nawozów organicznych takich jak komposty lub osady ściekowe jest kolejnym zabiegiem zwiększającym wiązanie węgla przez gleby leśne. Harrison i inni (1995) stwierdzili, że w glebie pod drzewostanem, wzbogaconej poprzez nawożenie organiczne, doszło do istotnego wzrostu zawartości C aż do głębokości 45 cm.

Zalesianie, ponowne zalesianie oraz przebudowa drzewostanów

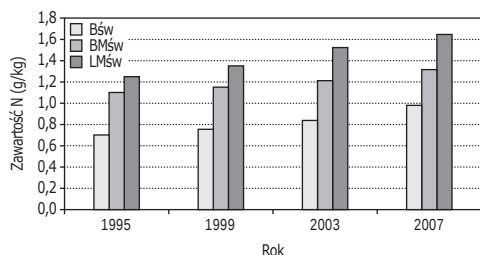
Zalesianie bądź wtórne zalesianie oraz dobór odpowiednich gatunków to zabiegi mające również bardzo duże znaczenie dla zwiększania sekwestracji węgla. Zalesianie gruntów marginalnych oraz opuszczonych gruntów porolnych zwiększa zasoby SOC w glebie (Akala, Lal 2001). Schauvlieghe i Lust (1999) badali bilans węgla w różnych systemach użytkowania ziemi. Zasoby węgla organicznego w badanych przez nich systemach wynosiły: 128 Mg/ha pod pastwiskiem, 173 Mg/ha pod drzewostanem w wieku 29 lat oraz 232 Mg/ha pod drzewostanem w wieku 69 lat. Im starszy był badany drzewostan, tym większy był udział stabilnych form węgla glebowego. Johnston i inni (1996) stwierdzili, że średni roczny przyrost zasobów SOC po zalesieniu zdegradowanych gleb mineralnych, będących wcześniej użytkami rolnymi wynosił 0,8 Mg/ha.



Ryc. 8. Zasoby SOC w zależności od gatunku panującego w drzewostanie



Ryc. 9. Zasoby C bez ektopróchnicy w zależności od gatunku panującego w drzewostanie



Ryc. 10. Dynamika azotu w glebach pod drzewostanami sosnowymi

efekt wprowadzenia tego gatunku na około 2 mln ha gruntów porolnych i nieużytków, często bez zwracania uwagi na żyzność siedliska, jest tym bardziej wskazana, że istnieją dowody na postępującą eutrofizację siedlisk leśnych.

W badaniach monitoringowych prowadzonych przez Instytut Badawczy Leśnictwa wykazano, że w latach 1995–2007 w glebach siedlisk Bśw, BMśw i LMśw, z sosną jako

Jednym z najbardziej obiecujących rozwiązań promujących sekwestrację węgla w lasach jest przebudowa drzewostanów. Badania nad zdolnością gleb leśnych pod różnymi gatunkami drzew do magazynowania węgla są bardzo liczne (Hagen-Thorn i in. 2004; Schölpl i in. 2008; Vesterdal i in. 2008; Vesterdal i in. 2012).

Średnia wielkość zasobów węgla w glebach leśnych Polski jest bardzo zróżnicowana w zależności od gatunku panującego w drzewostanie i waha się od 84 Mg/ha pod drzewostanami sosnowymi do 409 Mg/ha pod drzewostanami olszowymi (ryc. 8). Pamiętać jednak należy, że drzewostany olszowe występują głównie w siedliskach bagiennych, gdzie dominującą rolę w sekwestracji węgla odgrywają warunki hydrologiczne.

Na rycinie 9 przedstawiono średnią wielkość zasobów węgla w glebach leśnych Polski pomniejszoną o najbardziej aktywne (niestabilne) formy zawarte w próchnicy nadkładowej. Najmniej stabilnego węgla zawierają gleby spod drzewostanów z sosną jako gatunkiem panującym (65,9 Mg C/ha). Następne w kolejności są gleby, na których panującym gatunkiem jest grab, a które zawierają średnio 90,5 Mg C/ha.

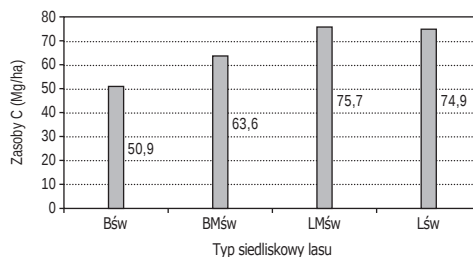
Realizowana przez Lasy Państwowe, zgodnie art. 13 ustawy o lasach, przebudowa jednogatunkowych drzewostanów sosnowych na mieszane, z większym udziałem gatunków liściastych jest jedną z ważniejszych dróg zwiększania sekwestracji węgla w lasach Polski. Przebudowa tych drzewostanów, powstałych w większości w połowie XX wieku jako

gatunkiem panującym, następował stały wzrost zawartości azotu (ryc. 10). W ciągu 12 lat pomiarów w górnej (0–5 cm), najbardziej aktywnej warstwie gleb siedlisk Bśw zawartość azotu wzrosła o 38%. Wydaje się więc, że warunki troficzne większości siedlisk boru świeżego pozwalają zakwalifikować te siedliska co najmniej do borów mieszanych świeżych.

Z porównania zasobów węgla w poziomach mineralnych gleb świeżych siedlisk nizinnych, przeprowadzonego na próbie 343 powierzchni (Bśw – 86, BMśw – 120, LMśw – 87 i Lśw – 50 powierzchni), wynika, że gleby siedlisk BMśw w samej tylko warstwie mineralnej magazynują o 13 Mg C na każdy hektar więcej niż gleby Bśw (ryc. 11).

Przebudowa jednogatunkowych drzewostanów sosnowych na siedliskach boru świeżego w konsekwencji doprowadzi do przekształcenia tych siedlisk w bory mieszane świeże. Takie działanie może spowodować, w perspektywie kilkudziesięciu lat, wzrost akumulacji trwale związanego węgla o około 13 ton na hektar, co w skali kraju może przynieść zwiększenie sekwestracji węgla w glebach leśnych o około 25–30 Tg (milionów ton).

Przebudowa drzewostanów iglastych w mieszane ma również bardzo duże znaczenie dla sekwestracji węgla w kontekście prognozowanych zmian klimatu. Wiesmeier i inni (2013), badając wpływ temperatury na wielkość zasobów węgla w poziomach mineralnych gleb lasów Bawarii, stwierdzili, że pod wpływem wzrostu temperatury w lasach mieszanych oraz liściastych zasoby te nie zmieniały się lub nawet nieco rosły, natomiast w lasach iglastych wyraźnie się zmniejszały. Tak więc, zdaniem autorów, wprowadzenie gatunków liściastych do lasów iglastych spowoduje zwiększenie sekwestracji węgla, szczególnie w warunkach ocieplenia klimatu.



Ryc. 11. Zasoby C w mineralnych poziomach gleb świeżych siedlisk nizinnych

Zmiana klimatu a dynamika węgla w glebach leśnych

Stężenie CO₂ w atmosferze zwiększa się w tempie 0,4% rocznie i przewiduje się, że do końca XXI wieku zostanie podwojone. Konsekwencje tego są wielorakie i jeszcze niezbyt jasne. Zmiany klimatu mogą wpływać na produktywność ekosystemów, przepływ składników odżywczych między biomasą nadziemną i podziemną czy na rozwój populacji mikroorganizmów (Joyce i Birdsey 2000). Na przykład przewiduje się, że przy nieznacznej zmianie klimatu, w lasach borealnych dojdzie do przyrostu biomasy nadziemnej, ale równocześnie do zmniejszenia się zasobów SOC (Morgan i in. 2001; Ziegler i in. 2013).

Reakcja ekosystemów leśnych na prognozowany wzrost temperatury może być złożona. Istnieje powszechne przekonanie, że wzrost stężenia CO₂ w atmosferze będzie powodował zwiększenie globalnego wiązania węgla w ciągu najbliższych 50–100 lat (Norby i in. 1995; Nisbet 2002). W warunkach wzrostu temperatury i stężenia CO₂ tundra i lasy borealne będą emitowały do atmosfery coraz większe ilości C, podczas gdy

wilgotne lasy tropikalne będą w dalszym ciągu wiązały ten pierwiastek. King i inni (2001) podwyższyli stężenie CO₂ w komorze badawczej do 535 ppm. Badania wykazały, że w tych warunkach w bilansie SOC nadal dominowała wcześniej nagromadzona materia organiczna, nastąpił jednak silny przyrost masy korzeni drobnych (o 96%), co z kolei spowodowało wzrost intensywności oddychania gleby (o 39%), a więc wydzielania się CO₂ do atmosfery. Andrews i inni (2000) również zaobserwowali, że tempo oddychania w glebie rośnie wykładniczo wraz ze wzrostem temperatury, któremu towarzyszą zmiany ilościowe i jakościowe składu gatunkowego mikroorganizmów. Z kolei Schortemeyer i inni (2000) nie zaobserwowali wpływu podwyższonego stężenia CO₂ na liczbę bakterii w ryzosferze. Zak i inni (2000), podsumowując 47 opublikowanych prac na temat dynamiki C i N, doszli do wniosku, że brak wystarczających danych, aby prognozować, w jaki sposób aktywność biologiczna oraz tempo obiegu glebowego C i N zmienia się pod wpływem wzrostu stężenia CO₂ w atmosferze. Biologia i czas życia korzeni drobnych oraz reakcje mikroorganizmów nie są jeszcze dostatecznie poznane.

Nie mamy również pewności, jaki może być wpływ wzrostu stężenia CO₂ w atmosferze na dostępność składników pokarmowych (Ceulemans i in. 1999) ani jakie będą relacje między stężeniem CO₂ w atmosferze a procesami ekofizjologicznymi, takimi jak przemiany C i N w biomasie podziemnej. Większość badań wykazuje, że wraz ze wzrostem stężenia CO₂ następuje przesunięcie środka ciężkości w modelu rozmieszczenia węgla w całym drzewie w kierunku części podziemnej. Ceulemans i inni (1999) konkludują, że na poziomie ekosystemu przesunięcie dużej masy C do części podziemnej drzew może prowadzić do: (i) większego wzrostu korzeni i zwiększenia wymiany z glebą, (ii) zwiększonej aktywności mikroorganizmów związanych ze strefą korzeniową roślin, (iii) zwiększenia się biomasy mikroorganizmów i wzrostu ich aktywności oraz (iv) zwiększenia emisji węgla glebowego na skutek oddychania.

Matamala i Schlesinger (2000) badali wpływ zwiększonego stężenia CO₂ w atmosferze, przyjmując stężenie aktualne zwiększone o 200 ppm) na biomasę korzeni oraz dynamikę węgla glebowego w eksperymencie z sosną *Pinus taeda*. W wariancie ze zwiększonym stężeniem CO₂ masa żywych korzeni drobnych zwiększyła się o 86%. Dilustro i inni (2002) studiowali wpływ zwiększonego stężenia CO₂ w ekosystemie zarośli dębowych na Florydzie. Przy zwiększonej koncentracji CO₂ zwiększyła się produkcja korzeni drobnych, co sugeruje, że zarośla te mają potencjał do wzrostu wiązania C w glebie.

Zmiana klimatu może również mieć zasadniczy wpływ na właściwości gleby oraz na procesy, od których zależą zasoby SOC. Globalny wzrost temperatury może powodować długoterminowe straty zasobów SOC (Jenkinson i in. 1991). Znaczący wzrost temperatury może spowodować, że tundra i lasy borealne staną się źródłem węgla (Koven i in. 2011; Ziegler i in. 2013). Wzrost temperatury gleby może mieć wpływ na dynamikę rozkładu materii organicznej w ekosystemach arktycznych i borealnych, powodując przedostawanie się rozpuszczalnego węgla organicznego (*dissolved organic carbon* – DOC) i azotu (*dissolved organic nitrogen* – DON) do wód.

Melillo i inni (2002) opublikowali dane z dziesięcioletniego doświadczenia przeprowadzonego w lasach strefy umiarkowanej. Zaobserwowali oni, że wzrost temperatury gleby spowodował wzrost tempa mineralizacji materii organicznej i ulatniania się CO₂

do atmosfery. Z powodu ograniczonej ilości labilnego węgla w badanych glebach proces ten nie trwał długo. W glebach tundry i tajgi zasoby labilnego C są jednak duże. Wzrost temperatury gleby powoduje również zwiększenie się ilości azotu dostępnego dla roślin, co w ekosystemach o ograniczonej ilości N może stymulować wiązanie węgla w szybciej przyrastającej biomase, kompensując w ten sposób straty węgla glebowego.

Ocena możliwości wiązania węgla przez gleby leśne

Ekosystemy leśne są ważnym naturalnym pochłaniaczem atmosferycznego CO₂ i ich rola w zmniejszaniu tempa wzrostu stężenia CO₂ w atmosferze nie może być przeceniona.

IPCC (2000) oszacował potencjał wiązania C w ekosystemach leśnych świata. Potencjał wiązania węgla na obszarach państw rozwiniętych (załącznik I raportu IPCC 2000) został określony na 101 Tg C/rok do 2010, a na 503 Tg C/rok w okresie 2011–2040. Podobnie potencjał wiązania węgla na obszarach państw rozwijających się (załącznik II) został określony na 69 Tg C/rok do roku 2010 i 200 Tg C/rok do roku 2040. Dodatkowo określony został potencjał agroekosystemów na 12 i 17 Tg C/rok do 2010 i 2040 roku w krajach rozwiniętych, a na 14 i 18 Tg C/rok w krajach rozwijających się, odpowiednio do 2010 i 2040 roku. Tak więc całkowity globalny potencjał wiązania węgla w biomach leśnych oszacowano na 196 Tg C/rok w 2010 roku i 748 Tg C/rok w roku 2040 (IPCC 2000).

Inne metody zwiększania wiązania węgla przez gleby leśne

Literatura ostatniej dekady wiele uwagi poświęca metodom ograniczenia emisji antropogenicznego CO₂ do atmosfery. Jedną z nich jest piroliza biomasy i wykorzystanie wytworzonego w ten sposób węgla drzewnego (biowęgiel, biochar) do użyźniania gleb.

Wykorzystanie węgla drzewnego do rekultywacji gleb ubogich w materię organiczną nie jest nowym pomysłem. Już w 1541 roku hiszpański konkwistador Franciszek de Orellana odkrył istnienie bardzo dużych miast w dorzeczu Amazonki. Miasta te były zaopatrywane w żywność z obszarów żyznej, ciemno zabarwionej tajemniczej gleby, nazywanej przez tubylców „terra preta” (ciemna ziemia), rozmieszczonych wyspowo wśród płytkich i jałowych gleb lasów deszczowych. Współczesne analizy dowiodły, że terra preta to gleba stworzona przez człowieka (kulturoziem). Prekolumbijscy rolnicy do jej wytworzenia używali odchodów zwierzęcych, odpadów pochodzenia roślinnego, kości zwierząt oraz, przede wszystkim, węgla drzewnego. Najstarsze fragmenty terra preta powstały między 4000 a 500 lat p.n.e. Ze względu na wyjątkową trwałość zawartego w nich węgla drzewnego kulturoziemy te stały się w ostatnich latach obiektem intensywnych badań, rezultatem których był pomysł nawożenia współczesnych gleb spirolizowaną biomasą. Wyniki badań są bardzo obiecujące: węgiel drzewny można wypalać zarówno w warunkach pojedynczego gospodarstwa, jak i na skalę przemysłową. Produktem ubocznym pirolizy jest ciepło oraz syntetyczny gaz i olej, które mogą być wykorzystywane w energetyce, zamiast paliw kopalnych (Woolf i in. 2010). Dodatkową korzyścią jest ograniczenie utleniania SOC oraz trwające przez stulecia wzbogacenie gleby.

Szacuje się, że gdyby pirolizie poddać 10% globalnej produkcji pierwotnej netto, to w powstałym biowęglu wiązano by na tysiąclecia 4,8 Gt C/rok, czyli około 20% więcej niż obecny roczny przyrost CO₂ w atmosferze, zwiększając jednocześnie żyzność gleb na kilkaset lat (Matovic 2011).

Mimo bezsprzecznych dowodów na przydatność biocharu w walce o ograniczenie zawartości CO₂ w atmosferze, wiele zagadnień wymaga jeszcze wyjaśnienia. Aby można było wykorzystywać biowęgiel do łagodzenia efektu cieplarnianego na skalę globalną, muszą być spełnione trzy podstawowe kryteria: skuteczności, opłacalności i akceptowalności przez społeczeństwa.

Bodźcem do intensywnych badań w tym zakresie była 14 konferencja klimatyczna COP (Conferences of the Parties) w Poznaniu, na której sekretariat konwencji ONZ ds. walki z pustynnieniem (UNCCD) zaproponował wykorzystanie biocharu jako jedną ze strategii ograniczania efektu cieplarnianego. Jeżeli biowęgiel zostanie uznany za technologię ograniczania zawartości CO₂ w atmosferze w ramach programu „Mechanizm czystego rozwoju”, możliwe będzie wprowadzenie go do systemu handlu uprawnieniami do emisji. O szansach biowęgla jako środka do walki o ograniczenie zawartości CO₂ w atmosferze może świadczyć liczba badań naukowych nad jego skutecznością, a także rozwój organizacji zrzeszających środowiska naukowe, handlowe, banki oraz niektóre rządy i organizacje pozarządowe (np. International Biochar Initiative – IBI).

Podsumowanie

Zawartość węgla organicznego oraz jego zasoby w glebach leśnych Polski nie odbiegają od wartości stwierdzonych w regionach Europy o podobnych warunkach glebowo klimatycznych (De Vos, Cools 2011). Jednym z priorytetów gospodarki leśnej powinno być zachowanie tych zasobów na dotychczasowym poziomie lub nawet ich powiększenie w warunkach spodziewanych zmian klimatycznych.

Celowi temu powinny służyć działania gospodarcze zmierzające w kierunku poprawy stosunków wodnych. Należy nadal odtwarzać śródleśne zbiorniki i ciekły wodne, a przede wszystkim dążyć do zachowania istniejących bagien i torfowisk. Zasoby węgla organicznego w glebach nizinnych siedlisk wilgotnych oraz bagiennych są większe od zasobów C w glebach siedlisk świeżych odpowiednio o 24–80% i aż o 675–1220%.

Działaniem gospodarczym szczególnie znacząco wpływającym na wielkość sekwestracji węgla przez gleby leśne jest technika pozyskania drewna. Po wykonaniu zrębu dochodzi do wielu nieuchronnych zakłóceń w ekosystemie, takich jak ograniczenie dopływu opadu liści/igieł, zmiana składu gatunkowego roślinności runa, brak okrywy roślinnej ułatwiający erozję i wymywanie w głąb rozpuszczalnych frakcji węgla, spadek zasięgu systemów korzeniowych, zmiany reżimu wodnego i temperatury, czy wreszcie zwiększenie infiltracji światła, przyspieszające rozkład materii organicznej (Bekele i in. 2007).

Spadek zasobów SOC, jaki ma miejsce po wykonaniu zrębu jest jednak głównie wynikiem destrukcji gleby na skutek wymieszania jej górnych poziomów, bogatych w materię organiczną, z warstwami położonymi głębiej (10–30 cm). Dochodzi wtedy do

zwiększonej respiracji mikroorganizmów, co może, w przypadku skrajnie nieprawidłowych technik pozyskania, doprowadzić do strat węgla organicznego rzędu 20 Mg/ha, tzn. około 25% całkowitej puli SOC (Zummo, Friedland 2011). Jeżeli zabieg pozyskania drewna jest wykonywany z należytą starannością i nie powoduje destrukcji wierzchniej warstwy gleby, a na miejscu pozostawia się część pozostałości pozrębowych, jego oddziaływanie na zasoby węgla zgromadzone w glebie jest nieistotne (Post 2003; Yanai i in. 2003). Należy tutaj nadmienić, że w Unii Europejskiej nie wypracowano dotychczas spójnej strategii ochrony gleb. Wdrożenie ramowej dyrektywy glebowej, mimo, że prace nad nią rozpoczęto jeszcze w ubiegłym wieku, a ostateczny projekt powstał w 2006 roku, nadal napotyka na opory w wielu państwach członkowskich i jak dotąd nie zostało doprowadzone do skutku. Konieczne jest więc zastosowanie bodźców ekonomicznych, promujących bardziej kosztowne techniki pozyskiwania drewna, nie powodujące degradacji gleby. Proponuje się między innymi, żeby biomasa drzewna wykorzystana do celów energetycznych, a pozyskana technikami niszczącymi strukturę wierzchniej warstwy gleby nie była traktowana jako neutralna przy bilansowaniu węgla w związku z ilością gazów cieplarnianych i zmianami klimatu (Friedland, Gillingham 2010; Zummo, Friedland 2011).

Związek między długością okresu rotacji a sekwestracją węgla przez gleby leśne nie jest jednoznaczny. Z jednej strony mniejsza biomasa drzew produkuje mniejszy opad organiczny, co prowadzi do wzrostu tempa mineralizacji glebowej materii organicznej, zwłaszcza przy nieodpowiednich technikach pozyskania, z drugiej zaś – przy częstszych cięciach na powierzchni gleby pozostaje więcej pozostałości pozrębowych. Większość badań europejskich wykazuje jednak, że wraz z wydłużaniem okresu rotacji zwiększa się ilość węgla wiązanego przez gleby (Lasch i in. 2005).

Bardzo obiecującym sposobem zwiększenia zasobów węgla w glebach leśnych Polski jest przebudowa jednogatunkowych drzewostanów sosnowych, powstałych w większości w połowie XX wieku, jako efekt wprowadzenia tego gatunku na około 2 mln ha gruntów porolnych i nieużytków, często bez zwracania uwagi na żyzność siedliska. Przebudowa tych drzewostanów na mieszane, z większym udziałem gatunków liściastych, realizowana przez Lasy Państwowe, zgodnie art. 13 ustawy o lasach, jest tym bardziej wskazana, że istnieją dowody na postępującą eutrofizację siedlisk leśnych. Wyniki badań krajowych wykazują, że przebudowa jednogatunkowych drzewostanów sosnowych siedlisk boru świeżego, prowadząca w konsekwencji do przekształcenia tych siedlisk w bory mieszane świeże może spowodować – w perspektywie kilkudziesięciu lat – przyrost puli węgla trwale związanego w glebach, wynoszący kilkanaście Mg na każdy hektar przebudowanego drzewostanu. W skali kraju może to zwiększyć sekwestrację węgla w glebach leśnych o około 25–30 Tg (milionów ton). Dodatkową korzyścią wprowadzenia gatunków liściastych do lasów iglastych będzie dalsze zwiększenie sekwestracji węgla w warunkach przewidywanego ocieplenia klimatu (Wiesmeier i in. 2013).

O ile istnieje powszechne przekonanie, że prognozowany wzrost stężenia CO₂ w atmosferze i związany z tym wzrost temperatury spowodują, że tundra i lasy borealne staną się źródłem węgla (Koven i in. 2011; Ziegler i in. 2013), to reakcja gleb leśnych stref umiarkowanych na zmiany klimatu może być złożona i trudna do jednoznacznej oceny.

Generalnie uważa się, że wraz ze wzrostem temperatury rośnie tempo respiracji mikroorganizmów glebowych, spowodowane zmianami ilościowymi i jakościowymi ich populacji, brak jest jednak jednoznacznych wyników badań, aby prognozować, w jaki sposób pod wpływem wzrostu stężenia CO₂ w atmosferze zmieni się aktywność biologiczna gleb czy dostępność składników pokarmowych, ani też, jaki będą relacje między przemianami C i N w biomasie podziemnej. Większość badań wykazuje jednak, że wraz ze wzrostem stężenia CO₂ w atmosferze następować będzie przesunięcie środka ciężkości w modelu rozmieszczenia węgla w całym drzewie w kierunku części podziemnej, co spowoduje zwiększenie emisji z puli węgla glebowego na skutek oddychania. Należy również mieć na uwadze, że wzrost temperatury gleby spowoduje również zwiększenie ilości azotu dostępnego dla roślin, co z kolei – w ekosystemach o ograniczonej ilości N – może stymulować wiązanie węgla w szybciej przyrastającej biomasie, kompensując w ten sposób straty węgla glebowego.

Wiele sprzeczności wyników badań, dotyczących zarówno wielkości zasobów węgla w glebach leśnych, jak i mechanizmów jego wiązania, czy też wpływu czynników naturalnych oraz antropogenicznych na sekwestrację, jest spowodowane brakiem jednolitej metodyki badania zasobów SOC. Dotychczas nie uzgodniono w skali globalnej np. tak podstawowego parametru jak głębokość pobierania prób do badań.

Mając na uwadze mnogość istniejących w literaturze, nie zawsze jednoznacznych wniosków, należy tym bardziej wzmocnić wymienione w niniejszym podsumowaniu działania prowadzące do zwiększenia sekwestracji węgla.

Literatura

- Akala V.A., Lal R., 2001. Soil organic carbon pools and sequestration rates in reclaimed mine soils in Ohio. *Journal of Environmental Quality*, 30, 2098–2104.
- Andrews J.A., Matamala R., Westover K.M., Schlesinger W.H. 2000. Temperature effects on the diversity of soil heterotrophs and the delta 13C of soil respired CO₂. *Soil Biology & Biochemistry*, 32, 699–706.
- Banfield G.E., Bhatti J.S., Jiang H., Apps M.J., Karjalainen T. 2002. Variability in regional scale estimates of carbon stocks in boreal forest ecosystems: results from west-central Alberta. *Forest Ecology and Management*, 169, 15–27.
- Bekele A., Kellman L., Beltrami H. 2007. Soil profile CO₂ concentrations in forested and clear cut sites in Nova Scotia, Canada. *Forest Ecology and Management*, 242, 587–597.
- Besnard E., Chenu C., Balesdent J., Puget P., Arrouays D. 1996. Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation. *European Journal of Soil Science*, 47, 495–503.
- Borchers J.G., Perry D.A. 1992. The influence of soil texture and aggregation on carbon and nitrogen dynamics in southwest Oregon forests and clear cuts. *Canadian Journal of Forest Research*, 22, 298–305.
- Ceulemans R., Janssens I.A., Jach M.E. 1999. Effects of CO₂ Enrichment on Trees and Forests: Lessons to be Learned in View of Future Ecosystem Studies. *Annals of Botany*, 84: 577–590.
- Covington W.W. 1981. Changes in forest floor organic matter and nutrient content following clear cutting in northern hardwoods. *Ecology*, 62, 41–48.
- De Vos B., Cools N. 2011. Second European Forest Soil Condition Report. Volume I: Results of the BioSoil Soil Survey. INBO.R.2011.35. Brussel, Research Institute for Nature and Forest, 359 p.
- Dilustro J.J., Day F.P., Drake B.G., Hinkle C.R. 2002. Abundance, production and mortality of fine roots under elevated atmospheric CO₂ in an oak-scrub ecosystem. *Environmental and Experimental Botany*, 48, 149–159.

- Diochon A., Kellman L., Beltrami H. 2009. Looking deeper: an investigation of soil carbon losses following harvesting from a managed northeastern red spruce (*Picea rubens* Sarg.) forest chronosequence. *Forest Ecology and Management*, 257, 413–420.
- Dixon R.K., Brown S., Houghton R.A., Solomon A.M., Trexler M.C., Wisniewski J. 1994. Carbon pools and fluxes of global forest ecosystems. *Science*, 263, 185–190.
- Elliot W.J. 2003. Soil erosion in forest ecosystems and carbon dynamics. w: Kimble J.M., Heath L.S., Birdsey R.A., Lal R. (eds.) *The Potential of US Forest Soils to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. Boca Raton, FL, CRC Press, 175–190.
- Fisher R.F. 1995. Soil organic matter: clue or conundrum? w: McFee W.W., Kelly J.M. (eds) *Carbon Forms and Functions in Forest Soils*. Madison, WI, Soil Science Society of America, 1–12.
- Friedland A.J., Gillingham K.T. 2010. Carbon accounting a tricky business. *Science*, 327, 411–412.
- Gulledge J., Schimel J.P. 2000. Controls on soil carbon dioxide and methane fluxes in a variety of taiga for stands in interior Alaska. *Ecosystems*, 3, 269–282.
- Hagen-Thorn A., Callesen I., Armolaitis K., Nihlgård B. 2004. The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*, 195, 373–384.
- Harrison R.B., Henry C.L., Cole D.W., Xue D. 1995. Long-term changes in organic matter in soils receiving application of municipal biosolids. w: McFee W., Kelly J.M. (eds) *Carbon Forms and Functions in Forest Soils*. Madison, WI, Soil Science Society of America, 139–153.
- Hoover C.M. 2003. Soil carbon sequestration and forest management: challenges and opportunities. In: Kimble J.M., Heath L.S., Birdsey R.A., Lal R. (eds) *The Potential of U.S. Forest Soils to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. Boca Raton, FL, CRC Press, 211–238.
- IPCC 2000. *Land Use, Land Use Change and Forestry*. Special Report, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 127–180.
- IPCC 2000. *Land Use, Land-Use Change, and Forestry*. Geneva, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Jandl R., Lindner M., Vesterdal L., Bauwens B., Baritz R., Hagedorn F., Johnson D.W., Minkinen K., Bryne K.A. 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma* 137, 253–268.
- Jenkinson D.S., Adams D.E., Wild A. 1991. Model estimates of CO₂ emissions from soil in response to global warming. *Nature* 351, 304–307.
- Joyce L.A., Birdsey R. 2000. The impact of climate change on America's forests: a technical document supporting the 2000 USDA Forest Service RPA Assessment. USDA Forest Service No. RMRS-GTR 59, 134 pp.
- Kalbitz K., Solinger S., Park J.H., Michalzik B., Matzner E. 2000. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. *Soil Science*, 165, 277–304.
- King J.S., Pregitzer K.S., Zak D.R., Sober J., Isebrands J.G., Dickson R.E., Hendry G.P., Karnosky D.F. 2001. Fine-root biomass and fluxes of soil carbon in young stands of paper birch a trembling aspen as affected by elevated atmospheric CO₂ and tropospheric O₃. *Oecologia* 128, 237–250.
- Koven C.D., Ringeval B., Friedlingstein P., Ciais P., Cadule P., Khvorostyanov D., Krinner G., Tarnocai C. 2011. Permafrost carbon-climate feedbacks accelerate global warming. *PNAS*, 108, 36, 14769–14774.
- Lal R. 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, 220, 242–258.
- Lasch P., Badeck F.W., Suckow F., Lindner M., Mohr P. 2005. Model-based analysis of management alternatives at stand and regional level in Brandenburg (Germany). *Forest Ecology and Management*, 207, 59–74.
- Liski J., Pussinen A., Pingoud K., Makipaa R., Karjalainen T. 2001. Which rotation length is favourable to carbon sequestration? *Canadian Journal of Forest Research*, 31, 2004–2013.
- Lorenz K., Lal R. 2010. *Carbon sequestration in forest ecosystems*. New York, Springer, 279 p.
- Magill A.H., Aber J.D. 2000. Variation in soil net mineralization rates with dissolved organic carbon additions. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 597–601.
- Matamala R., Schlesinger W.H. 2000. Effects of elevated atmospheric CO₂ on fine root production and activity in an intact temperate forest ecosystem. *Global Change Biology*, 6, 967–979.

- Matovic D. 2011. Biochar as a viable carbon sequestration option: Global and Canadian perspective. *Energy*, 36, 2011–2016.
- Melillo J.M., Steudler P.A., Aber J.D., Newkirk K., Lux H., Bowles F.P., Catricala C., Magill A., Ahrens T., Morrisseau S. 2002. Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system. *Science*, 298, 2173–2176.
- Morgan M.G., Pitelka L.F., Shevliakova E. 2001. Elicitation of expert judgments of climate change impacts on forest ecosystems. *Climatic Change*, 49, 279–307.
- Nisbet T. 2002. Implications of climate change: soil and water. *Forestry Commission Bulletin*, 125, 53–67.
- Norby R.J., O'Neill E.G., Wullschlegel S.D. 1995. Below ground responses to atmospheric carbon dioxide in forests. w: McFee, W., Kelly J.M. (eds.) *Carbon Forms and Functions in Forest Soils*. Madison, WI, Soil Science Society of America, 397–417.
- Nyland R.D. 2001. *Silviculture: Concepts and Applications*. Second ed. Boston, McGraw Hill, p. 682.
- Overby S.T., Hart S.C., Neary D.G. 2003. Impacts of natural disturbance on soil carbon dynamics in forest ecosystems. w: Kimble J., Heath L., Birdsey R., Lal R. (eds) *The Potential of U.S. Forest Soils to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. Boca Raton, FL, CRC Press, 159–172.
- Perry D.A. 1994. *Forest Ecosystems*. Baltimore, MD, The John Hopkins University Press, 277–280.
- Post W.M. 2003. Impact of soil restoration, management and land use history on forest soil carbon. w: Kimble J.M., Heath L.S., Birdsey R.A., Lal R. (eds) *The Potential of U.S. Forest Soils to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. Boca Raton, FL, CRC Press, 191–199.
- Post W.M., Emanuel W.R., Zinke P.J., Stangenberger A.G. 1982. Soil carbon pool and world life zones. *Nature* 298, 156–159.
- Prentice I.C., 2001. *The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide*. *Climate Change 2001: The Scientific Basis IPCC*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 183–237.
- Prichard S.J., Peterson D.L., Hammer R.D. 2000. Carbon distribution in sub-alpine forests and meadows of the Olympic Mountain, Washington. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 1834–1845.
- Resh S.C., Binkley D., Parrotta J.A. 2002. Greater soil carbon sequestration under nitrogen fixing trees compared with eucalyptus species. *Ecosystems* 5, 217–231.
- Richardson J.L., Edmonds W.J. 1987: Linear regression estimations of Jenny's relative effectiveness of state factor equations. *Soil Science*, 144, 203–208.
- Schauvlieghe M., Lust N. 1999. Carbon accumulation and allocation after afforestation of a pasture with pin oak (*Quercus palustris*) and ash (*Fraxinus excelsior*). *Silva Gandavensis* 64, 72–81.
- Schortemeyer M., Kijstra P., Johnson D.W., Drake B.G. 2000. Effects of elevated atmospheric CO₂ concentration on C and N pools and rhizosphere processes in a Florida scrub oak community. *Global Change Biology* 6, 383–391.
- Schulp C.J.E., Nabuurs G.J., Verburg P.H., de Waal R.W. 2008. Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. *Forest Ecology and Management*, 256, 482–490.
- Shan J.P., Morris L.A., Hendrick R.L. 2001. The effects of management on soil and plant carbon sequestration in slash pine plantations. *Journal of Applied Ecology*, 38, 932–941.
- Sombroek W.G., Fearnside P.M., Cravo M. 1999: Geographic assessment of carbon stored in Amazonian terrestrial ecosystems and their soils in particular. w: *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*. R. Lal, J.M. Kimble and B.A. Stewart (eds). Boca Raton, FL, CRC Lewis, 375–389.
- Theng B.K.G., Tate K.R., Sollins P. 1989. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. w: Coleman D.C., Oades J.M. and G. Uehara (eds) *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Hawaii, University of Hawaii, 5–32.
- Thornley J.H.M., Cannell M.G.R. 2000. Managing forests for wood yield and carbon storage: a theoretical study. *Tree Physiology*, 20, 477–484.
- Trettin C.C., Jurgensen M.F. 2003. Carbon cycling in wetland forest soils. w: Kimble J.M., Heath L.S., Birdsey R.A., Lal R. (eds) *The Potential of U.S. Forest Soils to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. Boca Raton, FL, CRC Press, 311–331.

- Van-Camp. L. Bujarrabal B., Gentile A-R., Jones R.J.A., Montanarella L., Olazabal C., Selvaradjou S-K. 2004. Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/3, 872 pp. , Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.
- Vesterdal L., Elberling B., Christiansen J.R., Callesen I., Schmidt I.K. 2012. Soil respiration and rates of soil carbon turnover differ among six common European tree species. *Forest Ecology and Management*, 264, 185–196.
- Vesterdal L., Schmidt I.K., Callesen I., Nilsson L.O., Gundersen P. 2008. Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species. *Forest Ecology and Management*, 255, 35–48.
- Wiesmeier M., Prietzel J., Barthold F., Spörlein P., Geuß U., Hangen E., Reischl A., Schilling B., von Lützw M., Kögel-Knabner I. 2013. Storage and drivers of organic carbon in forest soils of southeast Germany – Implications for carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, 295, 162–172.
- Wilcox C.S., Dominguez J., Parmelee R.W., McCartney D.A. 2002. Soil carbon and nitrogen dynamics in *Lumbricus terrestris*. L. middens in four arable, a pasture, and a forest ecosystems. *Biology and Fertility of Soils* 36, 26–34.
- Woolf D., Amonette J.E., Street-Perrott F.A., Lehmann J., Joseph S. 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications*, DOI: 10.1038/ncomms1053.
- Yanai R.D., Currie W.S., Goodale C.L. 2003. Soil carbon dynamics after forest harvest: an ecosystem paradigm reconsidered. *Ecosystems* 6, 197–212.
- Zak D.R., Pregitzer K.S., King J.S., Holmes W.E., Norby R., Fitter A., Jackson R. 2000. Elevated atmospheric CO₂, fine roots and the response of soil microorganisms: a review and hypothesis. *New Phytologist* 147, 201–222.
- Ziegler S.E., Billings S.A., Lane C.S., Li J., Foge M.L. 2013. Warming alters routing of labile and slower-turnover carbon through distinct microbial groups in boreal forest organic soils. *Soil Biology & Biochemistry* 60 23–32.
- Zummo L.M., Friedland A.J. 2011. Soil carbon release along a gradient of physical disturbance in a harvested northern hardwood forest. *Forest Ecology and Management*, 261, 1016–1026.

Dynamika populacji owadów oraz ocena ich funkcji ekologicznych w ekosystemach leśnych w związku ze zmianami klimatycznymi

Dr hab. Jacek HILSZCZAŃSKI, prof. IBL

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Ochrony Lasu

Wstęp

Zmiany klimatu stanowią wypadkową wielu czynników, wśród których rola temperatury jest dominująca. Uważa się, że od okresu przedindustrialnego średnia temperatura na świecie wzrosła o około 1°C. Cechą charakterystyczną obserwowanego ocieplenia jest przyspieszenie związanych z tym procesów, których czynnikiem sprawczym jest wzrost koncentracji dwutlenku węgla. Różne scenariusze przewidują wzrost średniej temperatury rocznej o 1,8–4,0°C, w porównaniu z końcem XX wieku, już pod koniec obecnego stulecia. Zjawiska te silną rzeczą będą wywierać wpływ na środowisko przyrodnicze, w tym lasy, czyli między innymi na liczne zależności, związki, układy ekologiczne, w których uczestniczą owady.

Klimat wywiera bezpośredni wpływ na populacje owadów poprzez modyfikowanie cykli rozwojowych, przeżywalności, płodności, zdolności dyspersyjnych itd. Dobite dowody potwierdzające ogromny wpływ klimatu na owady dała analiza danych dotyczących dynamiki populacji szarańczy w Chinach z okresu ponad 1000 lat. W badaniach tych wykazano, że gradacje szarańczy są ściśle związane z klimatem, a zwłaszcza z występowaniem susz i powodzi oraz niskich temperatur (Zhang i in 2009).

Nie mniej ważny jest także pośredni wpływ klimatu, wyrażany poprzez reakcje roślin żywicielskich, np. poprzez zmiany w metabolizmie i fizjologii roślin pokarmowych (Ayres, Lombardero 2000; Rouault i in. 2006; Moore, Allard 2008). Pośredni wpływ wiąże się także z reakcjami wrogów naturalnych oraz organizmów konkurencyjnych, których interakcje z żywicielem czy konkurentem będą ulegać zmianom na skutek zmian w środowisku (Coviella, Trumble 1999).

Zmiany klimatyczne mogą powodować znaczące zmiany funkcji ekologicznych owadów, co zostało zaobserwowane także w ekosystemach leśnych klimatu umiarkowanego Europy w ciągu ostatnich lat (Jönsson i in. 2007; Netherer, Schopf 2010; Battisti

2008). Wpływ zmian klimatycznych na populacje owadów nie jest jednak zjawiskiem o prostym, liniowym przełożeniu. Wiele obserwacji wskazuje, że efekty zmian klimatycznych mogą mieć charakter lokalny, specyficzny dla poszczególnych gatunków czy nawet populacji, a siła tych zjawisk oscyluje od prawie niezauważalnych do wręcz dramatycznych (Bale i in. 2002). Prognozowanie bezpośrednich i pośrednich skutków oddziaływania zmian klimatu na funkcjonowanie owadów jest w związku z tym trudne i często obciążone dużym błędem. Wynika to w dużej mierze ze złożoności procesów, jakie sterują tymi zjawiskami. Poznanie i przewidywanie skutków oddziaływania zmian klimatycznych na owady jest jednak niesłychanie ważne w przypadku tej grupy organizmów, mających pierwszorzędne znaczenie dla funkcjonowania ekosystemów leśnych.

Niniejsze opracowanie stanowi próbę pokazania zjawiska zmian klimatu w aspekcie dynamiki i funkcjonowania populacji owadów w zmieniających się ekosystemach leśnych, zwłaszcza europejskich. Przedstawiono kilka istotnych zagadnień związanych z reakcjami samych owadów oraz układów owad-roślina na zmiany klimatu. Omówiono także problem wpływu zmian klimatu na zagrożenia ze strony gatunków inwazyjnych. Na koniec poruszono niektóre aspekty adaptacji gospodarki leśnej w kontekście przewidywanych zmian klimatu i prognozy w odniesieniu do oddziaływania owadów fitofagicznych na lasy.

Przyspieszony rozwój i wzrost liczby generacji

Dla owadów, jako zwierząt zmiennocieplnych, podwyższenie temperatury wiąże się w klimacie umiarkowanym z wcześniejszym rozpoczęciem aktywności po okresie zimy. W Wielkiej Brytanii w ostatnich latach aż 70% motyli pojawia się wiosną wcześniej niż przed kilkudziesięcioma laty. Szacuje się, że wraz ze wzrostem temperatury o 1°C wiosenny lot motyli rozpoczyna się o 2 do 10 dni wcześniej (Roy, Sparks 2000). Europejskie mszyce także przyspieszają wiosenną aktywność o jeden dzień (Harrington i in. 2007). Wzrost temperatury może wiązać się z przyspieszeniem rozwoju oraz wydłużeniem całkowitego okresu aktywności związanej z pobieraniem pokarmu, poszukiwaniem partnerów i rozmnażaniem, a to w prosty sposób prowadzi do zwiększenia liczby pokoleń, zwłaszcza u gatunków przechodzących pełny cykl rozwojowy w ciągu kilkunastu, kilkudziesięciu dni. Harrington i inni (2001) przewidują, że wzrost temperatury zimą i wiosną o 2°C pozwoli niektórym gatunkom mszyc na wyprowadzenie 4–5 dodatkowych generacji w ciągu roku. Wzrost liczebności i przeżywalności obserwuje się w przypadku ciepłolubnych gatunków takich jak opiótek dwuplamkowy *Agrius biguttatus*, którego populacje po kilku suchych latach i osłabieniu drzewostanów dębowych, na skutek obniżenia poziomu wód gruntowych, rozwijają się w całym niemal zasięgu występowania gatunku, stając się jednym z dominujących czynników powodujących zamieranie dębów w Europie (Moraal, Hilszczański 2000) (ryc. 1).

Typowym przykładem gatunku wielogeneracyjnego w skali sezonu wegetacyjnego o wielkim znaczeniu dla funkcjonowania lasu, a jednocześnie dobrze poznanego pod względem wymagań termicznych, jest kornik drukarz *Ips typographus*. W badaniach



Ryc. 1. Ciepłe sezony wegetacyjne sprzyjają rozwojowi ciepłolubnych gatunków, np. opiętkowi dwupłatkowemu. Larwa opiętka pod korą dębu

jedna lub dwie generacje korników więcej niż do tej pory umożliwią ekspansję gatunku na północ i zwiększą presję na lasy w całym zasięgu świerka w Skandynawii (Jönsson i in. 2007).

Szkodliwa działalność korników uwidacznia się w szczególny sposób na terenach, gdzie rośliny żywicielskie nie znajdują optymalnych warunków, np. we Włoszech zaobserwowano 7-krotnie większe szkody na terenach o cieplejszym klimacie, gdzie świerk występuje jako efekt sztucznych nasadzeń (Marini i in. 2012). Większość modeli uwzględnia jedynie wpływ wzrostu średniej temperatury na rozwój korników. W badaniach przeprowadzonych w Czechach zwrócono uwagę na bezpośredni wpływ temperatury kory drzewa na żerujące pod nią larwy. Zarówno zbyt niska, jak i zbyt wysoka temperatura kory hamują rozwój larw. Stąd efekt ogólnego wzrostu temperatury i wzrostu temperatury kory częściowo się kompensują, a sumaryczny efekt ocieplenia wpływający na rozwój owadów okazuje się niewielki (Berec i in. 2013).

Zaburzenia synchronizacji fenologii

Wzrost temperatury i związany z tym przyspieszony rozwój kojarzony jest w większości przypadków jako pozytywny czynnik oddziałujący na owady. Może się on jednak wiązać także z niekorzystnym zaburzeniem zależności w układzie roślina–owad. Synchronizacja fenologii owada i jego rośliny żywicielskiej bardzo często decyduje o sukcesie rozrodczym i przetrwaniu gatunku (Van Asch, Visser 2007). Zjawisko synchronizacji rozwoju owadów i roślin w warunkach strefy klimatu umiarkowanego jest szczególnie istotne dla gatunków zimujących, wylęgających się i rozpoczynających żerowanie wczesną wiosną na rozwijających się pędach i liściach. Odmienne reakcje na zmiany temperatury, związane z tempem rozwoju owadów i roślin prowadzić mogą do asynchronizacji fenologii, np. opóźnieniem rozwoju liści, co odbija się niekorzystnie na przeżywalności wylęgłych wcześniej larw owadów. Tego typu zaburzenia obserwowane były w ostatnich 2 dekadach w przypadku piędzika przedzimka *Opheroptera brumata*, żerującego na dębie szypułkowym (Visser, Both 2005). Zjawisko asynchronizacji roz-

przeprowadzonych w Szwecji opracowano model opisujący zależności pomiędzy temperaturą a występowaniem rójki kornika (okres lotu) oraz wymaganiami termicznymi związanymi z rozwojem od stadium jaja aż do stadium imago. Model obejmował okres od 1961 do 2100 i trzy różne scenariusze zmian klimatycznych. Okazało się, że w ostatnich dziesięcioleciach korzystna pogoda umożliwiała wyprawianie jednej generacji korników więcej, a dodatkowo populacje kornika drukarza pozostawały bardziej żywotne i mobilne. W nadchodzących dekadach

woju modrzewia i zwójki modrzewiowej *Zeiraphera diniana* stwierdzono w wyjątkowo ciepłych dla Alp latach 1989–1991 (Esper i in. 2007). W zjawisku tym dopatrzono się nawet przyczyny załamania obserwowanego od stuleci, stałego cyklu gradacji zwójki, której liczebność na obszarze Alp zwiększała się co 8–10 lat (Battisti 2008).

W Polsce jednym z najgroźniejszych owadów liściożernych sosny jest brudnica mniszka *Lymantria monacha*. Gatunek ten ma dosyć szerokie spektrum wymagań klimatycznych, poza środkową Europą występując także w regionie od Hiszpanii i Grecji po Skandynawię. Nie należy spodziewać się, że niewielki wzrost średnich temperatur spowoduje drastyczne zmiany w zasięgu występowania czy fenologii tego owada. Rozwój młodych larw brudnicy mniszki skorelowany jest jednak z okresem kwitnienia sosny. Kwiatostany męskie sosny stanowią wysokoenergetyczny pokarm dla larw, zatem zbieżność rozwoju larw z kwitnieniem sosny warunkuje zdecydowanie większą ich przeżywalność oraz przyspieszenie wzrostu (Laryšev 1968; Śliżyński 1970; Withers, Keena 2001). Zaburzenie tej zbieżności mogłoby skutkować znacznym osłabieniem potencjału gradacyjnego szkodnika.

Zaburzenie synchronizacji wywołane zmianami klimatu dotyczyć może także układu fitofag–wróg naturalny, np. parazytoid (ryc. 2). Zakłócenia w terminie pojawu parazytoidów oraz stadiów żywicieli odpowiednich do porażenia mogą doprowadzić do „ucieczki” tych ostatnich spod wpływu ograniczających parazytoidów, a w konsekwencji do nagłego wzrostu populacji żywicieli (Hance i in. 2007).

Mechanizmy ewolucyjne oparte na selekcji powodują regulację zaburzeń w synchronizacji fenologii owadów, ich wrogów oraz roślin. Zaburzenia te z reguły działają ujemnie na organizmy czerpiące korzyści z takich zależności. W populacjach o zróżnicowanej puli genetycznej bardzo szybko następuje „dostrojenie” rozregulowanych mechanizmów i powrót do synchronizacji pojawu owadów lub odpowiednich stadiów rośliny, co zaobserwowano na przykładzie otwierania się pąków oraz pojawu larw piędzika przedzimka żerującego na dębie (Van Asch i in. 2007).



Ryc. 2. Rozwój parazytoidów zsynchronizowany jest z rozwojem ich żywicieli

Zmiany zasięgu i dyspersja

W przypadku licznych gatunków owadów zmiany temperatury mogą w bardzo istotny sposób wpływać na możliwość zasiedlania nowych obszarów. Widoczne jest to zwłaszcza w przypadkach, gdy wzrost temperatury zimą oznacza „wyjście” ze strefy temperatur letalnych.

Wzrost temperatury w okresie zimy może spowodować wzrost przeżywalności, co często ma miejsce przy tzw. północnych i górnych granicach zasięgów, gdzie eks-

tremalnie niskie temperatury hamują rozwój, indukując śmiertelność uniemożliwiającą zachowanie żywotnych populacji. Z drugiej strony wiele gatunków nie kończy w odpowiednim czasie pełnego cyklu rozwojowego lub nie jest w stanie przystąpić do żerowania wiosną bez odpowiednio długiego okresu tzw. przemrożenia, niezbędnego do prawidłowego rozwoju. (Jönsson i in. 2007; Netherer i Schopf 2010). Niekorzystny wpływ na gatunki zimujące w ściółce i glebie może wywierać także zmniejszenie grubości pokrywy śnieżnej i czasu jej zalegania, wynikające ze wzrostu temperatury (Nupponen i in. 2010).

Wzrost temperatury w sezonie wegetacyjnym oznaczać może pośrednie obniżenie znaczenia czynników ograniczających, np. spadek aktywności wilgociolubnych grzybów patogenicznych. Oczekuje się np., że wzrost temperatury i związane z tym susze spowodują zmiany w pionowym zasięgu gradacji kornika drukarza w górach. W Alpach analiza strat w drzewostanach świerkowych w ciągu 16 lat wykazała przesunięcie strefy gradacji. Podobnie, w alpejskich drzewostanach modrzewiowych dalszy wzrost temperatur może spowodować znaczące perturbacje w układzie zwójka modrzewiowa–modrzew, co spowoduje przesunięcie strefy silnych gradacji w kierunku wyżej położonych drzewostanów (Büntgen i in. 2009). Wzrastające temperatury powodować mogą przedłużenie okresu lotu owadów i dyspersję ich populacji na nieosiągalne do tej pory tereny. Takie zjawisko miało miejsce po fali upałów latem 2003 roku, kiedy zasięg występowania *Thaumetopoea processionea* znacząco rozszerzył się na wyższe położenia we włoskich Alpach. Battisti i inni (2006) wykazali, że noce z temperaturą powyżej 14°C, czyli temperaturą graniczną umożliwiającą lot motyli tego gatunku, były latem 2003 roku ponad 5 razy częstsze niż w latach przeciętnych. W związku z tym samice miały możliwość częstszych i dłuższych lotów. Podobne zachowania obserwowano w ciągu ostatnich 30 lat także u innych gatunków owadów, należących do różnych grup taksonomicznych, np. chrząszczy, ważek i prostoskrzydłych (Hickling i in. 2006).

Zasięgi wielu gatunków, zwłaszcza tych o południowym rozsiedleniu – np. brudnicy nieparki, ulegają poszerzeniu w kierunku północnym, z kolei gatunki typowo północne mają niewielkie możliwości zmiany zasięgu i można oczekiwać ich powolnego wymierania (Hill i in. 2002). Przykładem gatunku o zasięgu kurczącym się w przyszłości będzie najprawdopodobniej brudnica mniszka *L. monacha* z uwagi na niekorzystny wpływ zbyt krótkiej lub przedwcześnie kończącej się diapauzy (Vanhanen i in. 2007). Potwierdzeniem odmiennych wymagań dwóch ważnych z gospodarczego punktu widzenia gatunków brudnic są wyniki badań laboratoryjnych Karolewskiego i in. (2007). W przypadku brudnicy, zarówno mniszki, jak i nieparki, wzrost temperatury wpłynął na skrócenie okresu rozwoju. Zupełnie inaczej wyglądały natomiast wyniki oceny przeżywalności larw. Wraz ze wzrostem średniej temperatury otoczenia zwiększała się śmiertelność gąsienic brudnicy mniszki, gdy w tym samym czasie wzrastała przeżywalność gąsienic brudnicy nieparki. Tak odmienne zachowanie wynika prawdopodobnie z różnych wymagań termicznych obu gatunków, co znajduje potwierdzenie w ich odmiennych preferencjach środowiskowych. Rezultaty opisanego doświadczenia dobrze obrazują różnorodność oddziaływania klimatu na zasięgi owadów, nawet w przypadku gatunków blisko spokrewnionych.

Bale i inni (2002) wyróżnili trzy grupy owadów, o różnej reakcji na zmiany temperatur, stanowiącej wypadkową wskaźnika szybkości rozwoju oraz wymagań w stosunku do diapauzy:

- 1) gatunki szybko rozwijające się i niewymagające diapauzy, wielogeneracyjne, w przypadku wzrostu temperatur zwiększające zasięg, np. wiele gatunków mszyc,
- 2) gatunki szybko rozwijające się wymagające diapauzy, w warunkach wzrostu temperatur zmniejszające zasięg, np. wiele gatunków motyli (*Saturnia pavonia*, *Aglais urticae*),
- 3) gatunki wolno rozwijające się wymagające diapauzy, przy wzroście temperatur zanikające, np. *Lasiocampa quercus*.

Zmiany zasięgu owadów, których przyczyną oprócz zawleczenia jest prawdopodobnie także ocieplenie klimatu, przybierają czasem formę spektakularnych wydarzeń medialnych. Miało to miejsce w przypadku szrotówka kasztanowcowiaczka *Cameraria ohridella*, który powodował masowe żółknięcie i zamieranie liści kasztanowców, wzbudzając powszechny niepokój społeczności lokalnych od Bałkanów po Skandynawię.

Zmiany zasięgów owadów wynikające z oddziaływania zmienionych warunków klimatycznych są związane z adaptacją roślinożernych gatunków do nowych roślin pokarmowych. Bardzo często dotyczy to sytuacji, gdy na nowym obszarze zajęтым przez fitofagą znajdują się sympatryczne taksony spokrewnionych roślin pokarmowych. Bardzo prawdopodobne jest w takich przypadkach poszerzenie przez fitofagi spektrum roślin żywicielskich, a nawet zmiana preferencji pokarmowych, zwłaszcza gdy nowa roślina pokarmowa, pozbawiona naturalnych mechanizmów obronnych, ukształtowanych w toku koewolucji z owadem, okazuje się bardziej podatna. Za przykład może posłużyć ekspansja korowódki *T. pityocampa* w górach Sierra Nevada w Hiszpanii. Wzrost średniej temperatury w ciągu kilkudziesięciu ostatnich lat umożliwił rozprzestrzenienie się gatunku w wyższe partie gór, na tereny dotychczas niezasiedlane. Wraz ze zmianą zasięgu nastąpiła adaptacja do nowej rośliny żywicielskiej, podgatunku sosny pospolitej (Hódar, Zamora 2004).

Zdobywanie przez owady nowych obszarów napotyka szereg przeszkód, z których dominującą jest niska liczebność migrantów, co wiąże się z tzw. efektem Alea, czyli wpływem liczebności na rozwój i funkcjonowanie populacji. Jeśli liczebność jest niższa niż progowa, określana jako próg Alea, populacja ulega naturalnemu zanikowi (Liebhold i Tobin 2008). Występowanie efektu Alea może być związane z wieloma czynnikami, m.in. z rozproszeniem populacji, niską kooperacją np. w przewyżnianiu systemów obronnych roślin, nieskuteczną obroną przed wrogami naturalnymi czy też z zagrożeniami związanymi z chowem wsobnym. Pomimo wielkiego potencjału dyspersyjnego wymienione czynniki powodują, że wiele gatunków nie jest w stanie skutecznie poszerzać zasięgu (Roques i in. 2008). Niewykluczone jednak, że dalsze zmiany klimatyczne zredukują znaczenie efektu Alea, co umożliwi gatunkom o dużych zdolnościach dyspersyjnych zdobywanie nowych obszarów.

Zmiany klimatu a gatunki inwazyjne

Zmiany klimatu w połączeniu z działalnością człowieka prowadzą często do pojawienia się nieoczekiwanych problemów z gatunkami inwazyjnymi. Zazwyczaj zawleczenie gatunków daleko poza ich naturalny obszar występowania nie kończy się zasiedleniem nowych terenów z uwagi na różnorakie niekorzystne uwarunkowania, łącznie z klimatycznymi. Ocieplenie klimatu przyczynia się jednak do wzrostu prawdopodobieństwa sukcesu obcych gatunków w nowym środowisku. Dobrze udokumentowanym przykładem nagłego nieoczekiwanego rozprzestrzeniania się jest wspomniana już wcześniej korowódka *T. processionaea*. Owad ten obserwowany jest obecnie na izolowanych stanowiskach setki kilometrów od zwartego zasięgu. Analizy zmian warunków klimatycznych we Francji i wymagań korowódki pokazały, że introdukcja tego motyla musiała nastąpić na początku obecnego wieku. Wcześniej, w latach 90. XX wieku, temperatury w okresie zimy bardzo często spadały poniżej progu przetrwania tego owada. Ocieplenie klimatu obserwowane w ostatniej dekadzie zmieniło warunki na tyle, że zaaklimatyzowanie przeniesionych przypadkowo przez człowieka owadów stało się wysoce prawdopodobne (Robinet i in. 2010). Także w przypadku innych gatunków owadów o śródziemnomorskim optimum występowania obserwuje się ekspansję na północ. Stwierdzenie obecności modliszki *Mantis religiosa* w wielu miejscach w Niemczech czy w Polsce tłumaczone jest zmianami klimatu oraz przypadkowym zawleczeniem na różnych środkach transportu (Sępiół 2005; Ott 2008).

Zjawisko inwazji owadów wywołane zmianami klimatu może niekoniecznie dotyczyć nowych gatunków. W obrębie tego samego gatunku, występującego w różnych strefach klimatycznych, wyróżnia się często populacje charakteryzujące się przystosowaniami do określonych warunków klimatycznych. Zawleczenie lub migracja specyficznych genomów danego gatunku może ułatwiać zdobywanie nowych terenów, chociaż zjawisko to pozostaje praktycznie niezauważalne z uwagi na brak różnic morfologicznych pomiędzy poszczególnymi genotypami. Z pomocą przychodzi tutaj genomika, czyli dyscyplina naukowa, która na poziomie genomu pomaga w zrozumieniu ewolucyjnych reakcji organizmów na zmiany klimatu. Badania nad genomem gatunków, np. piędzika przedzimka *Opheroptera brumata*, w gradiencie klimatycznym od Hiszpanii po



Ryc. 3. Piędzik przedzimek występuje od Hiszpanii po Szwecję w odmiennych warunkach klimatycznych

Szwecję pozwala na zidentyfikowanie mechanizmów wpływu czynników środowiskowych na poszczególne genotypy (ryc. 3). W efekcie może dać to odpowiedź na pytanie, w jaki sposób mechanizmy te prowadzą do zmian liczebności populacji.

Przykład naturalnej selekcji w populacjach piędzika, która faworyzuje odpowiednie genotypy, podaje Ash (2007). Opuszczenie osłonek jajowych zbyt wcześnie, w stosunku do rozwoju pąków i liści dębów, powoduje wysoką śmiertel-

ność gąsienic piędzika. Przeprowadzone badania wskazały istnienie selekcji faworyzującej genotypy warunkujące spowolniony wyląg z jaj. W efekcie zachowana zostaje synchronizacja wylęgania się gąsienic piędzika z rozwojem aparatu asymilacyjnego drzew.

Wpływ zmian klimatu na lasy

Przewidywane zmiany klimatu będą, zdaniem wielu autorów, miały wiele niekorzystnych skutków dla lasów (Wigley 1993; Ayres, Lombardero 2000; Battisti 2008; Moore, Allard 2008). Przewiduje się między innymi wzrost ilości zaburzeń związanych z pożarami oraz zjawiskami atmosferycznymi, takimi jak powodzie czy silne wiatry. Można przewidywać, że w wyniku tych zaburzeń nastąpi wzrost problemów ze szkodnikami wtórnymi (ryc. 4) (Sadowski 1996; Logan i in. 2003).

Gatunki, takie jak jodła czy świerk, czyli o wąskim spektrum wymagań siedliskowych, będą w naszej strefie klimatycznej zastępowane przez gatunki eurytopowe, tzn. o szerokim zakresie wymagań ekologicznych (np. topola, olsza). Zmiany w składzie drzewostanów pociągną za sobą zmiany w strukturze dominacyjnej fitofagów (Ryszkowski i in. 1995). Należy liczyć się z przesunięciem północnych i górnych granic zasięgów wielu gatunków owadów (Pawłowski 1995; Parmesan 1996; Walther i in. 2002; Parmesan, Yohe 2003; Menéndez 2007; Battisti 2008).

Zmiany w składzie drzewostanów wiążą się z ryzykiem ekspansji lub zawleczenia i zaaklimatyzowania nowych, niekiedy bardzo groźnych szkodników. Dla wielu rodzimych gatunków fitofagów realne jest zwiększenie liczby generacji w roku, wzrost szans przetrwania zimy i w konsekwencji wzrost liczebności ich populacji (Ayres, Lombardero 2000; Battisti 2008; Netherer, Schopf 2010).

Gradacje wielu gatunków owadów uważanych za szkodliwe z punktu widzenia gospodarki leśnej związane są między innymi z pogorszeniem stanu zdrowotnego lub inaczej zmianami w odporności/podatności drzew na presję ze strony owadów. W tym kontekście ważną informacją będzie, w jakim stopniu przewidywane zmiany klimatu wpłyną na podatność drzewostanów na presję ze strony owadów.

Interesujące badania dotyczące tego zagadnienia przeprowadzili badacze amerykańscy (Currano i in. 2008), którzy szczegółowej analizie poddali skamieniałości roślinne z okresu paleocenu i eocenu. W okresie tym w wyniku zwiększonej koncentracji CO₂ w powietrzu, nastąpił znaczny wzrost temperatury (o ok. 6°C). Warunki w tym czasie były podobne do obserwowanych współcześnie. Uszkodzenie aparatu asymilacyjne-



Ryc. 4. Zmiany klimatyczne pociągają za sobą wzrost częstotliwości występowania zaburzeń

go przez owady foliofagiczne było dodatnio skorelowane ze wzrostem średniej temperatury i koncentracji dwutlenku węgla. Zjawisko to było wynikiem obniżenia wartości odżywczej pokarmu spowodowanej udziałem CO₂ zwiększonym kosztem udziału azotu w tkankach roślin. Straty wynikające z niższej wartości pokarmu były rekompensowane zwiększoną konsumpcją. Należy się spodziewać, tak jak miało to miejsce w paleocenie, wzrostu aktywności żerowej foliofagów, a tym samym zwiększenia szkód w drzewostanach (Rouault i in. 2006; Battisti 2008; Currano i in. 2008; De Lucia i in. 2008).

Skutki zmienionych warunków termicznych i wilgotnościowych mogą być dla owadów, a tym samym dla lasów zarówno pozytywne, jak i negatywne. Przykład dwóch gatunków fitofagów leśnych, dla których wzrost temperatury miał całkowicie odmienne znaczenie, podaje Battisti (2008). W latach 1985–1992 w Alpach południowych wystąpiła olbrzymia gradacja zasnuń północnej *Cephalcia arvensis* żerującej na świerku. Gatunek ten zazwyczaj nie wykazuje tendencji do gradacyjnych pojawów, co wynika z niewielkich zdolności dyspersyjnych, niskiej płodności samic i długiego, trwającego niekiedy kilka lat okresu diapauzy i związanej z nią wyższej śmiertelności części populacji. Główną przyczyną niespotykanego zwiększenia liczebności *C. arvensis* były występujące w kilku następujących po sobie latach okresy wysokiej temperatury oraz letnia susza w okresie żerowania larw. Podwyższona temperatura i niska wilgotność spowodowały skrócenie rozwoju larw, a także przyspieszenie procesu przepoczwarczenia, co zapobiegało wchodzeniu w stan przedłużonej diapauzy. Skutkiem tego był coroczny rozwój żywotnych generacji, doprowadzający do gwałtownego wzrostu liczebności zasnuń i wielokrotnionych szkód w drzewostanach świerkowych.

Przeciwnie zachowanie zaobserwowano w przypadku rozwijającej się na modrzewiu, wskaźnicy modrzewianeczki, *Zeiraphera griseana*. Ta alpejska zwójka ma duże znaczenie z uwagi na gradacje powtarzające się co 8–10 lat, co stwierdzono na podstawie badań dendrochronologicznych w ciągu tysiąca lat (Esper i in. 2006). Od mniej więcej 1989 roku, przez kilka następnych lat obserwowano znaczący spadek liczebności populacji tego gatunku, a w rezultacie całkowite załamanie stałego cyklu gradacyjnego. Analizy meteorologiczne zmierzające do wyjaśnienia tego zjawiska wykazały, że śmiertelność populacji wywołana była przez wysoką temperaturę w okresie zimy i wiosny, która spowodowała zaburzenia synchronizacji wylęgu larw i rozwoju igieł. Odbiło się to korzystnie na stanie zdrowotnym i vitalności drzewostanów modrzewiowych w Alpach.

Zmiany klimatu mogą być również przyczyną wzrostu aktywności żerowej gatunków, które wcześniej na danym terenie nie miały istotnego znaczenia gospodarczego. W Finlandii analizowano częstotliwość występowania gradacji borecznika rudego *Neodiprion sertifer* w odniesieniu do zakładanego wzrostu temperatury i wpływu wybranych elementów środowiska (Virtanen i in. 1996). Stwierdzono, że głównym czynnikiem ograniczającym występowanie gradacji tego gatunku w północnej Finlandii jest występowanie zimą dni z temperaturą mniejszą niż –36°C, poniżej której odnotowuje się wysoką śmiertelność jaj. W tych samych badaniach uwzględniono scenariusz zakładający wzrost średniej temperatury zimowej o 3,6°C do roku 2050. Według autorów ocieplenie klimatu może doprowadzić do wzrostu częstotliwości gradacji borecznika rudego na obszarach, na których dotychczas występowały one rzadko lub nigdy.

W przypadku kornika drukarza gradacje bardzo często skorelowane są z występowaniem wiatrołomów, zapewniających materiał dla rozwoju larw. Opracowany w Szwecji model występowaniu okresów z gradacjami jest funkcją dostępności materiału do zasiedlenia, czyli występowania wiatrołomów oraz warunków pogodowych. Stwierdzono, że ocieplenie klimatu znacząco zwiększa potencjalne straty powodowane przez kornika. W przypadku wzrostu średniej temperatury o 1°C nawet ponad 2-krotnie. Pocieszający natomiast jest fakt zdecydowanej redukcji strat i ryzyka zasiedlania żywych drzew po zastosowaniu zwalczania metodą polegającą na terminowym usuwaniu wiatrołomów oraz drzew zasiedlonych (Jönsson i in. 2012).

Zmiany klimatyczne, owady a gospodarka leśna

Strategia adaptacji gospodarki leśnej do zmian klimatu ze względu na oddziaływania entomofauny powinna koncentrować się na wielu elementach. Należy przypuszczać, że wraz ze zmianami klimatu wzrośnie znaczenie takich czynników jak dostosowanie składu gatunkowego drzewostanu do warunków siedliska. Nadzieje wiąże się z perspektywami wykorzystania naturalnej odporności drzew na żer owadów. Uwzględnienie fenologii drzew i ich szkodników przy planowaniu upraw może ograniczyć stopień defoliacji, na przykład na skutek zaburzenia synchronizacji terminu rozwoju aparatu asymilacyjnego i wylęgu larw owadów liściożernych. Wprowadzanie późno rozwijających się form dębu, bardziej odpornych na uszkodzenia powodowane przez mróz i wiosenny żer foliofagów, jest tutaj dobrym przykładem. Przy zalesieniach powinno się w większym stopniu uwzględniać gatunki o mniejszych wymaganiach w stosunku do warunków wilgotnościowych, co przy prognozowanym niedoborze wody może ograniczyć straty związane z osłabieniem drzew i działalnością owadów. Jako alternatywę dla dębu szypułkowego i olszy czarnej można rozważyć dąb bezszypułkowy i olszę szarą, o znacznie mniejszych wymaganiach co do warunków wilgotnościowych. Poprawa stosunków wodnych w lasach to także kierunek działań, który powinien być także wzięty pod uwagę.

Duże nadzieje wiąże się z wykorzystaniem zabiegów hodowlanych związanych ze sterowaniem zwarem w celu zmniejszenia wpływu niekorzystnych zmian klimatycznych. Związek pomiędzy strukturą drzewostanu a fizjologią drzewa był dość intensywnie badany zwłaszcza w agrocenozach (Willaume i in. 2004). Mniej uwagi poświęcano wpływowi struktury lasu na rozwój szkodliwych owadów. Strefa koron drzew to obszar lasu, którego struktura bezpośrednio wpływa na zachowania owadów, np. na długość rozwoju i aktywność, co warunkowane jest zmiennością mikroklimatyczną, przede wszystkim związaną z temperaturą (Pincebourde i in. 2007). Manipulowanie strukturą koron czy zwarem drzewostanu najprawdopodobniej będzie wpływało na zachowanie owadów. W odniesieniu do korników, czyli tzw. szkodników wtórnych, badania nad wpływem zwarem na dynamikę populacji podejmowane były niejednokrotnie także w stosunku do kornika drukarza (Netherer, Nopp-Mayr 2005; Hilszczański i in. 2006).

Badania nad sterowaniem strukturą drzewostanu w celu zminimalizowania skutków działania owadów liściożernych lub zmaksymalizowania ich śmiertelności zostały już rozpoczęte w sadownictwie (Simon i in. 2006, 2007). Okazuje się, że w prognozowaniu

wplywu temperatury na zachowanie owadów temperatura ciała odgrywa ważniejszą rolę niż temperatura otoczenia. Temperatura ciała owada zależy od nasłonecznienia i siły wiatru i może osiągnąć wartości letalne pomimo znacznie niższej temperatury otoczenia (Saudreau i in. 2013).

Zmiany klimatyczne sprzyjają wzrostowi zagrożenia ze strony gatunków inwazyjnych. Liczne przykłady gatunków pojawiających się tysiące kilometrów od naturalnych miejsc występowania powinny skłaniać do działań zmierzających do monitorowania i reagowania z wyprzedzeniem na potencjalne zagrożenia. Znajomość biologii i ekologii gatunków inwazyjnych pozwala na przewidywanie i modelowanie zagrożeń, co dosyć często – z wykorzystaniem np. systemów informacji przestrzennej – wykonywane jest w krajach doświadczonych skutkami inwazji o dużym znaczeniu ekonomicznym (Williams, Liebhold 1995; Vanhannen i in. 2007; Régnière 2009). Globalizacja światowej gospodarki stwarza ciągle zagrożenia związane także ze szkodliwymi owadami. W przypadku gatunków inwazyjnych zmiany zasięgów i zdobywanie nowych obszarów nie są już procesem długotrwałym, następują one bardzo szybko. Zabezpieczenie ekosystemów leśnych przed zagrożeniami powinno mieć także zdecydowany charakter, wyprzedzając przewidywane zagrożenia, dzięki monitoringowi i efektywnemu ich wykrywaniu. Opracowane systemy wspomagania decyzji mogą być w takich warunkach wprowadzane bez zbędnej zwłoki, tak aby minimalizować skutki działania szkodliwych owadów (Moore, Allard 2008; Chmura i in. 2010; Netherer, Schopf 2010).

Stwierdzenia końcowe

Zmiany w funkcjonowaniu populacji rodzimych owadów mają najczęściej charakter ewolucyjny, dając nadzieję na stopniowe dostosowywanie się ekosystemów leśnych, a także gospodarki do zmieniających się warunków. Poza nielicznymi przypadkami związanymi głównie z introdukowanymi gatunkami drzew (np. kasztanowiec i szrotówek), w lasach Polski nie notowano do tej pory nagłych, spektakularnych skutków działalności owadów jednoznacznie związanych ze zmianami klimatu. Gradacyjne wystąpienia rodzimych korników, opiętków czy owadów liściożernych, aczkolwiek przynoszące często dotkliwe straty, uważane są za naturalne zjawiska wpisane w dynamikę lasu.

Niewątpliwie jednak zmiany klimatyczne wraz z towarzyszącymi im zjawiskami (wiatrołomy, susze, pożary) będą indukowały coraz silniej i częściej zagrożenia ze strony owadów szkodliwych leśnych, zarówno rodzimych, jak i inwazyjnych. Taki scenariusz będzie wymagał odpowiednich, wyprzedzających działań ze strony czynników odpowiedzialnych za stan lasu.

Można wyróżnić kilka obszarów działań, które powinny zostać podjęte w perspektywie do 2030 r.:

1. Gospodarka leśna:

- a) wprowadzenie w „Zasadach hodowli lasu” aspektu ochroniarskiego, uwzględniającego przy wszelkich pracach hodowlanych czynnik odporności na działalność szkodliwych owadów (dobór gatunków, odmian, uwzględnianie witalności drzew w procesie selekcji),

- b) uwzględnienie w polityce leśnej państwa i narodowym programie leśnym zagadnienia wzrostu zagrożenia powodowanego przez owady jako efektu zmian klimatycznych.
2. Gatunki inwazyjne:
- a) opracowanie i doskonalenie na bazie doświadczeń międzynarodowych i własnych monitoringu gatunków owadów potencjalnie zagrażających ekosystemom leśnym Polski. Wprowadzenie do „Instrukcji ochrony lasu” zapisów dotyczących gatunków inwazyjnych, np. wprowadzenie monitoringu (feromony), zwłaszcza w regionach potencjalnego zawleczenia (drzewostany w pobliżu portów, stacji przeładunkowych, terminali transportowych, głównych tras międzynarodowych),
 - b) opracowanie scenariuszy postępowania w przypadku zawleczenia szkodliwych gatunków owadów na teren kraju,
 - c) uwzględnienie w polityce leśnej państwa, narodowym programie leśnym problemu gatunków inwazyjnych jako istotnego zagrożenia stabilności lasów.
- W dłuższej perspektywie – do 2080 r., działania powinny objąć:
- 1. Badania nad opracowaniem hodowlanych metod zmniejszania podatności lasów na zagrożenia ze strony owadów – gatunków zarówno rodzimych, jak i zaaklimatyzowanych obcych (sterowanie zwarem, strukturą, składem gatunkowym),
 - 2. Selekcję głównych gatunków lasotwórczych pod kątem uzyskania proweniencji odporniejszych na działalność owadów.

Literatura

- Asch van M. 2007. Seasonal synchronization between trophic levels under climate change: genetic and environmental effects on winter moth egg hatching. Dissertations, University Groningen.
- Ayres M.P., Lombardero M.J. 2000. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *The Science of the Total Environment*, 262 (3): 263–286.
- Bale J.S., Masters G.J., Hodkinson I.D., Awmack C., Bezemer T.M., Brown V.K., i in. 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8 (1): 1–16.
- Battisti A. 2008. Forests and climate change – lessons from insects. *iForest*, 1: 1–5.
- Battisti A., Stastny M., Buffo E., Larsson S. 2006. A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global Change Biology*, 12 (4): 662–671.
- Berec L., Doležal P., Hais M. 2013. Population dynamics of *Ips typographus* in the bohemian forest (Czech republic): Validation of the phenology model PHENIPS and impacts of climate change. *Forest Ecology and Management*, 292:1–9.
- Büntgen U., Frank D., Liebhold A. et al. 2009. Three centuries of insect outbreaks across the European Alps. *New Phytologist*, 182: 929–41.
- Chmura D.J., Howe G.T., Anderson P.D., St.Clair J.B. 2010. Przystosowanie drzew, lasów i leśnictwa do zmian klimatycznych. *Sylwan*, 154 (9): 587–602.
- Coviella C.E., Trumble J.T. 1999. Effects of Elevated Atmospheric Carbon Dioxide on Insect-Plant Interactions. *Conservation Biology*, 13 (4): 700–712.
- Currano E.D., Wilf P., Wing S.L., Labandeira C.C., Lovelock E.C., Royer D.L. 2008. Sharply increased insect herbivory during the paleocene-eocene thermal maximum. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(6): 1960–1964.

- DeLucia E.H., Casteel C.L., Nabity P.D., O'Neill B.F. 2008. Insects take a bigger bite out of plants in a warmer, higher carbon dioxide world. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105: 1781–1782.
- Esper J., Büntgen U., Frank D.C., Nievergelt D., Liebhold A. 2006. 1200 years of regular outbreaks in alpine insects. *Proceedings of the Royal Society, Series B*, 274: 671–679.
- Hance T., Van Baaren J., Vernon P., Boivin, G. 2007. Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. *Annual Review of Entomology*, 52: 107–126.
- Harrington R., Fleming R.A., Woiwod I.P. 2001. Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: Can they be predicted? *Agricultural and Forest Entomology*, 3: 233–240.
- Harrington R., Clark S.J., Welhalm S.J. i in. 2007. Environmental change and the phenology of European aphids. *Global Change Biology*, 13: 1550–1564.
- Hickling R., Roy D.B., Hill J.K., Fox R., Thomas C.D. 2006. The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology*, 12: 450–455.
- Hill J.K., Thomas C.D., Fox R. et al. 2002. Responses of butterflies to twentieth century climate warming: Implications for future ranges. *Proceedings of the Royal Society, Series B*, 269: 2163–71.
- Hill J.K., Thomas C.D., Blakeley D.S. 1999. Evolution of flight morphology in a butterfly that has recently expanded its geographic range. *Oecologia*, 121:165–170.
- Hilszczański J., Negron J., Janiszewski W., Munson A.S. 2006. Stand characteristics and *Ips typographus* (L.) (Col., Curculionidae, Scolytinae) infestation during outbreak in northeastern Poland. *Folia Forestalia Polonica* 53–65.
- Hódar J.A., Zamora R. 2004. Herbivory and climatic warming: a Mediterranean outbreaking caterpillar attacks a relict, boreal pine species. *Biodiversity and Conservation*, 13: 493–500.
- Jönsson A.M., Harding S., Bähring L., Ravn H.P. 2007. Impact of climate change on the population dynamics of *Ips typographus* in southern Sweden. *Agricultural and Forest Meteorology*, 146: 70–81.
- Jönsson A.M., Schroeder L.M., Lagergren F., Anderbrant O., Smith B. 2012. Guess the impact of *Ips typographus* – an ecosystem modelling approach for simulating spruce bark beetle outbreaks. *Agricultural and Forest Meteorology*, 166–167: 188–200.
- Karolewski P., Grzebyta J., Oleksyn J., Giertych M.J. 2007. Effects of temperature on larval survival rate and duration of development of *Lymantria monacha* (L.) on needles of *Pinus silvestris* (L.) and of *L. dispar* (L.) on leaves of *Quercus robur* (L.). *Polish Journal of Ecology*, 55 (3): 595–600.
- Laryšev N.K. 1968. Dopolnienie nadzoru za monashenkej. *Lesnoe Chozjajstvo*, 9: 66–67.
- Liebhold A.M., Tobin P.C. 2008. Population ecology of insect invasions and their management. *Annual Review of Entomology*, 53: 387–408.
- Logan J.A., Régnière J., Powell J.A. 2003. Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1 (3): 130–137.
- Marini L., Ayres M.P., Battisti A., Faccoli M. 2012. Climate affects severity and altitudinal distribution of outbreaks in an eruptive bark beetle. *Climatic Change*, 115(2), 327–341.
- Menéndez R. 2007. How are insects responding to global warming. *Tijdschrift voor Entomologie*, 150: 355–365.
- Moore B.A., Allard G.B. 2008. Climate change impacts on forest health. *Forest Health & Biosecurity Working Papers FBS/34E*. Forest Resources Development Service, Forest Management Division, FAO, Rome.
- Moraal L.G., Hilszczański J. 2000. The buprestid beetle, *Agrilus biguttatus* (F.) (Col., Buprestidae), a recent factor in oak decline in Europe. *Journal of Pest Science*, 5: 134–138.
- Netherer, S., Nopp-Mayr, U. 2005. Predisposition assessment system (PAS) as supportive tools in forest management-rating of site and stand-related hazard of bark beetle infestation in the High Tatra Mountains as an example for system application and verification. *Forest Ecology and Management*, 207: 99–107.
- Netherer S., Schopf A. 2010. Potential effects of climate change on insect herbivores in European forests – General aspects and the pine processionary moth as specific example. *Forest Ecology and Management*, 259: 831–838.

- Nupponen H., Salokannel S., Thomsses P.-M., Vanhatal A. 2010. The impact of climate change on invasive alien insect distribution and diversity. http://www.helsinki.fi/metsatieteet/tiedotteet/pdf/ME408_Group7_report.pdf, dostęp 20.08.2013.
- Ott J. (ed). 2008. Monitoring climate change with dragonflies. Series Faunistica 81. Sofia, Pensoft.
- Parmesan C. 1996. Climate change and species' range. *Nature*, 382: 765–766.
- Parmesan C., Yohe G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421: 37–42.
- Pawłowski J. 1995. Zmiany faunistyczne w Polsce od końca XVII wieku w aspekcie przeszłych i przewidywanych zmian klimatu. *Sylwan*, 139 (3): 5–22.
- Petzoldt C., Seaman A. 2006. Climate change effects on insects and pathogens. *Climate Change and Agriculture: Promoting Practical and Profitable Responses*, III: 6–16. <http://www.climateandfarming.org/clr-cc.php>, dostęp 20.08.2013.
- Pincebourde S., Sinoquet H., Combes D., Casas J. 2007. Regional climate modulates the canopy mosaic of favourable and risky microclimates for insects. *Journal of Animal Ecology* 76:424–438.
- Régnière J. 2009. Predicting insect continental distributions from species physiology. *Unasylva*, 60 (1/2): 37–42.
- Robinet C., Rousselet J., Goussard F., Roques A. 2010. Modelling the range expansion of an urticating moth with global warming: a case study from France. w: Settele J. (ed.) *Atlas of Biodiversity Risks – From Europe to the Globe, From Stories to Maps*. Sofia, Pensoft, 82–83.
- Rouault G., Candau J.-N., Lieutier F., Nageleisen L.-M., Martin J.-C., Warzée N. 2006. Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. *Annals of Forest Science*, 63 (6): 613–624.
- Roy D.B., Sparks T.H. 2000. Phenology of British butterflies and climate change. *Global Change Biology*, 6(4): 407–416.
- Ryszkowski L., Kędziora A., Bałazy. 1995. Przewidywane zmiany globalne klimatu a lasy i zadrzewienia krajobrazu rolniczego. *Sylwan*, 139 (2): 19–32.
- Sadowski M. 1996. Przewidywane zmiany klimatu i ich przyrodnicze, społeczne i polityczne konsekwencje. *Sylwan*, 140 (5): 83–103.
- Saudreau M., Pincebourde S., Dassot M., Adam B., Loxdale H.D., Biron D.G. 2013. On the canopy structure manipulation to buffer climate change effects on insect herbivore development. *Trees*, 27:239–248.
- Sępiol B. 2005. Nowe stanowisko modliszki zwyczajnej *Mantis religiosa* (Linnaeus 1758) na północy Krainy Gór Świętokrzyskich. *Kulon* 10:77–79.
- Simon S., Lauri P.E., Brun L., Defrance H., Sauphanor B. 2006. Does manipulation of fruit-tree architecture affect the development of pests and pathogens? A case study in an organic apple orchard. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81:765–773.
- Simon S., Sauphanor B., Lauri P.E. 2007. Control of fruit tree pests through manipulation of tree architecture. *Pest Technology*, 1: 33–37.
- Śliżyński K. 1970. Żerowanie brudnicy mniszki – *Ocneria monacha* L. (Orgyidae, Lepidoptera) na kwiatostanach męskich sosny – *Pinus silvestris* L. *Polskie Pismo Entomologiczne*, 40 (4): 871–876.
- Willaume M., Lauri P.E., Sinoquet H. 2004. Light interception in apple trees influenced by canopy architecture manipulation. *Trees*, 18: 705–713.
- Vanhatal A., Veteli T.O., Päivinen S., Kellomäki S., Niemelä P. 2007. Climate Change and Range Shifts in Two Insect Defoliators: Gypsy Moth and Nun Moth – a Model Study. *Silva Fennica*, 41 (4): 621–638.
- Virtanen T., Neuvonen S., Nikula A., Varama M., Niemelä P. 1996. Climate Change and the Risks of *Neodiprion sertifer* Outbreaks on Scots Pine. *Silva Fennica*, 30 (2–3): 169–177.
- Visser M.E., Both C. 2005. Shifts in phenology due to global climate change: The need for a yardstick. *Proceedings of the Royal Society of London B*. 272: 2561–9.
- Visser M.E., Holleman L.J.M. 2001. Warmer spring disrupt the synchrony of oak and winter moth phenology. *Proceedings of the Royal Society, Series B*, 268: 289–294.

- Walther G.-R., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T.J.C. i in. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416: 389–395.
- Wigley T.M.L. 1993. Climate change and forestry. *Commonwealth Forestry Review*, 72 (4): 256–264.
- Williams D.W., Liebhold A.M. 1995. Forest defoliators and climatic change: potential changes in spatial distribution of outbreaks of western spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae) and gypsy moth (Lep.: Lymantriidae). *Environmental Entomology*, 24 (1): 1–9.
- Withers T.M., Keena M.A. 2001. *Lymantria monacha* (nun moth) and *L. dispar* (gypsy moth) survival and development on improved *Pinus radiata*. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 31(1), 66–77.
- Zhang Z., Cazelles B., Tian H., Stige L.C., Bräuning A., Stenseth N.C. 2009. Periodic temperature-associated drought/flood drives locust plagues in China. *Proceedings of the Royal Society, Series B*, 276, 823–31.

Obserwowane i prawdopodobne zmiany występowania mikroorganizmów chorobotwórczych w związku ze zmianami klimatycznymi oraz ocena ich funkcji ekologicznych w ekosystemach leśnych; potencjalne rozprzestrzenianie się gatunków inwazyjnych

prof. dr hab. Zbigniew SIEROTA

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Ochrony Lasu

Zmiany w przebiegu czynników meteorologicznych, zarówno globalne, jak i lokalne, są rezultatem lub wypadkową narastającego oddziaływania różnych czynników naturalnych. Ruchy tektoniczne skorupy ziemskiej i wybuchy wulkanów, zmiany intensywności i kierunku wielkich prądów morskich, czy wybuchy na słońcu nieustannie implikują krótko- lub długookresowe zmiany naszego środowiska. Dodatkowo ten efekt wzmacniają czynniki antropogeniczne, tj. szeroko rozumiana działalność gospodarcza (przemysł, głębokie wiercenia, wylesienia, sztuczne zbiorniki wodne itp.). Zwiększenie średniej temperatury powietrza skutkuje topnieniem lodowców (ostatnio stwierdzono odrywanie się części lądolodu Grenlandii, a zatem także zmianami ich gęstości i temperatury. Różnice w temperaturze lądów i oceanów powodują zmiany w przebiegu gorących pasatów i wilgotnych monsunów, a nie w pełni przewidywalna cyrkulacja mas powietrza powoduje zaburzenia klimatyczne w danym rejonie. To z kolei determinuje przebieg procesów wzrostu i rozwoju drzew, drzewostanów, całych ekosystemów.

Oceniając rolę obecnie występujących organizmów chorobotwórczych, a także gatunków nowych, pojawiających się w wyniku migracji w zmienionych przez czynniki klimatyczne warunkach ich bytowania i na nowych roślinach-gospodarzach, niezbędne jest zwrócenie uwagi na pewne elementy różniące grzyby od innych organizmów. Cechą różniącą chorobotwórcze grzyby i organizmy grzybopodobne od większości organizmów saprotroficznych, jest zdolność pozakomórkowego wydzielania enzymów umożliwiających dokonanie infekcji (zakażenia). W przypadku ekosystemu leśnego „przestrzeń

życiowa” organizmu chorobotwórczego oznacza zarówno tkanki korzeni czy części nadziemnej rośliny-gospodarza, jak i glebę, w której rozwijają się strzępki czy zarodniki patogena. Organizmy pasożytnicze powodują zamarcie rośliny w krótszym lub dłuższym okresie trwania choroby, a także rozwijają się (namnażają, owocują) nadal nawet wiele lat po śmierci rośliny, korzystając z martwych tkanek (np. drewna) jako źródła energii (tzw. huby, grzybnia *H. annosum* itp). Powodują destrukcję tkanek rośliny-gospodarza poprzez biochemiczny rozkład cząsteczek ligniny, celulozy, hemiceluloz (ksylanu). W przypadku celulozy, ostatecznym produktem jej rozkładu enzymatycznego, w którym na wielu etapach bierze udział wiele enzymów, są dwutlenek węgla i woda. Reakcje życiowe grzyba są ważne w kontekście zmian klimatycznych, gdyż dwutlenek węgla jest ostatecznym produktem procesów zachodzących między organizmem grzybowym i rośliną w jej biotycznym otoczeniu (inne grzyby, owady, mikroorganizmy glebowe) w warunkach danego środowiska abiotycznego (klimat, pogoda, podłoże, emisje). Zakres możliwych relacji o charakterze synergistycznym, przebiegających w ekosystemie leśnym z udziałem grzybów, jest bardzo szeroki.

W przebiegu choroby lasu szczególnie istotną rolę mają anomalie temperatury i wilgotności, predysponujące rośliny na infekcje grzybowe. Zarówno nagłe susze i brak dostępnej wody, wiosenne przymrozki, silne wichry nadrywające systemy korzeniowe, nagłe przemarzanie gleby w okresie jesiennym przed uzyskaniem stadium spoczynkowego, czy ocieplenie powietrza w okresie zimy, wywierają niekorzystny, a często letalny, wpływ na funkcjonowanie poszczególnych tkanek i organów. Zmiany te wpływają w konsekwencji negatywnie na rozwój całych drzew, prowadzą do procesów patologicznych dotyczących drzewostanów i mogą indukować istotne zmiany o charakterze ekosystemowym.

Występowanie określonych warunków meteorologicznych również ma istotny wpływ na kształtowanie przebiegu cykli życiowych organizmów chorobotwórczych. Specyfika rozwoju osobniczego grzybów wyznaczyła cezury czasowe dla optymalnego wzrostu, determinowanego przez występujące wówczas warunki termiczne i wilgotnościowe (Courtois 1973). Pasożytnicza zgorzel siewek rozwija się zwykle wczesną wiosną, w okresie kiełkowania nasion i tworzenia systemu korzeniowego siewek, których wzrost stymuluje wysoka wilgotność gleby, coraz wyższe temperatury powietrza oraz wydłużający się dzień (długość fali i barwa światła). Również pasożytnicze łęgniowce Oomycetes, z uwagi na aktywne przemieszczanie się zarodników, do swego rozwoju wymagają wody i wyższych temperatur powietrza, przykładowo optimum wzrostu strzępek *Phytophthora polonica* jest przy temperaturze podłoża około 30°C (Jung 2008; Orlikowski, Oszako 2010).

Grzyby patogeniczne dla drzew, jak opieńki czy korzeniowce, a także saprotrofy rozkładające drewno (tzw. huby), również lepiej rozwijają się (wytwarzają strzępki, tworzą owocniki) przy wyższej temperaturze podłoża, korzystając przy tym z wody powstającej w trakcie jego enzymatycznej dekompozycji. Dzięki temu mechanizmowi biologicznemu tzw. martwe drewno nie stanowi przeszkody w dalszym jego zasiedlaniu i rozkładzie przez organizmy grzybowe, przy czym wilgotność substratu wzrasta w miarę stopnia deprecjacji tkanek drzewnych (Domański 1983; Rayner, Boddy 1988; Sierota 1997). Rozwój strzępek grzybów powodujących rozkład drewna następuje tak-

że w okresie zimy, czemu sprzyja wysokie ciśnienie osmotyczne oraz energia cieplna wydzielana w trakcie rozkładu celulozy i ligniny. Nie bez znaczenia jest wpływ koncentracji CO₂ w strefie ryzosferowej, na powierzchni oraz wewnątrz rozkładanego drewna, stymulujący rozwój zarodników czy grzybni wielu gatunków grzybów pasożytniczych i saprotroficznych (Hintikka 1970; Redfern 1982; Lech, Zółciak 2006).

Z drugiej strony, dla wielu gatunków grzybów pasożytniczych, zwłaszcza tzw. grzybów dwudomowych (rdze), wymagających zasiedlania różnych gospodarzy i wytwarzania różnych form owocowania, anomalie pogodowe mogą być istotnym czynnikiem ograniczającym zrealizowanie pełnego cyklu życiowego. Osutka sosny, choroba wywoływana przez grzyb *Lophodermium seditiosum*, z udziałem *L. pinastri*, *Sclerophoma pythiophila*, *Cyclaneusma minor*, osłabiała drzewa w wieku szkółki, uprawy i młodnika na powierzchni sięgającej 20 tys. ha rocznie (Krótkoterminowa prognoza 1980–2010), a w okresie epifitoz (lata 1960, 1973, 1984) występowała na obszarze nawet 1,5 mln ha (Łukomski 1968; Sierota i in. 1998). Zakłócenie każdego z elementów cyklu rozwojowego, tak rośliny, jak i patogena, przez zmienne warunki pogodowe może zwiększać lub zmniejszać – zarówno wirulencję sprawcy, jak i intensywność przebiegu choroby.

Temperatura gleby, głębokość jej przemarzania zimą, a także obecność wody dostępnej dla korzeni ma istotne znaczenie w przebiegu chorób korzeni drzew leśnych. Warunki te z jednej strony decydują o właściwym zaopatrzeniu drzewa w wodę i związki biogenne z podłoża, poprzez odpowiedni stan syntezy mykoryzowej, z drugiej zaś oddziałują pośrednio lub bezpośrednio na obecny w korzeniach patogen, a także modyfikują ilościowy i jakościowy skład zespołów mikroorganizmów ryzosferowych (Henry 1987). Taki stan pobudzenia ułatwia indukowanie lub aktywizację wielu procesów o charakterze odpornościowym, tak w roślinie, jak i w zbiorowiskach grzybów mykoryzowych i antagonistycznych (Hilszczańska 2001).

Powyższe uwarunkowania relacji gospodarz–patogen–środowisko–czas wskazują, że w cyklu chorobowym drzewostanu patogeny grzybowe odgrywają zwykle dominującą rolę. Jednakże na poziomie ekosystemu zmiany patologiczne są tylko jednym z elementów procesu lasotwórczego. Zmiany te, będąc efektem stresu, stają się także źródłem kolejnego stresu, stymulując nowe procesy ekologiczne z udziałem innych składowych (Manion 1981; Sierota 1988, Rykowski i in. 1990; Lech i in. 1994; Sierota i in. 1995). Współwystępujące wówczas owady, uszkadzając korzenie, pędy czy aparat asymilacyjny drzew (żerowanie), a także imisje przemysłowe, wywołują kolejne zaburzenia (defoliację) aktywności fizjologicznej drzew. Wywiera to dodatkowy wpływ na przebieg wielu procesów obronnych drzewa, jak i na ich przeżywalność w kolejnych sezonach wegetacyjnych (Kolk i in. 1994, 1996; Sierota 1998; Wawrzoniak i in. 1990–2010). Należy w tym miejscu wspomnieć synergistyczny charakter równoczesnego oddziaływania na drzewa elementów pogody (susze, wyższe temperatury powietrza) oraz imisji przemysłowych i owadów (Sierota i in. 1991, 1993).

Podwyższona temperatura gleby i powietrza, w tym łagodniejsze zimy, sprzyjają ujawnianiu się nowych zagrożeń czy zwiększeniu aktywności grzybów endofitowych i patogenów korzeni już obecnych, trwale zajmujących dane środowiska. Jako przykład pojawiania się w Polsce nieznanych dotychczas, egzotycznych gatunków, można podać grzyb z rodziny sromotnikowatych – okratek australijski (*Clathrus archeri* (Berk.)

Dring), którego zasięg występowania powoli przesuwają się w kierunku północnym (Szczepkowski 2013).

Indukowane przez nowe warunki środowiska zmiany w funkcjonowaniu roślin i zwierząt będą miały swój wymiar zarówno na poziomie komórkowym, jak i ekosystemowym. Sytuacje stresowe dla roślin wyrażają się zwiększoną ekspresją genów odpowiedzialnych za reakcje odpornościowe, pojawiają się reakcje przystosowawcze, następują zmiany w przebiegu procesów fizjologicznych związanych z hartowaniem się roślin i ich mrozoodpornością. Zostaną one wymuszone przez zmianę temperatury otoczenia, wydłużenie okresu wegetacyjnego, zmiany amplitudy temperatur ekstremalnych, zwiększone koncentracje dwutlenku węgla czy innych związków o charakterze elicytorów oraz pogłębiającą się eutrofizację środowiska (Sierota 2011b). Rośliny, stając się bardziej wrażliwe na czynniki abiotyczne, równocześnie staną się bardziej czułe na biotyczne elementy ekosystemów – na infekcje pasożytnicze czy zasiedlanie przez owady różnych grup troficznych. Zjawiska te, wzmocnione niekorzystnym dla roślin oddziaływaniem przemysłowych zanieczyszczeń powietrza, mających charakter czynnika predyspozycyjnego, inicjującego i współuczestniczącego przebieg chorób lasu, dobrze ilustruje tzw. spirala Maniona (1981).

Zmiany składu gatunkowego zbiorowisk roślinnych, a przede wszystkim drzewostanów, będą miały istotny wpływ na zwiększoną produkcję biomasy, przede wszystkim drewna. Dotyczy to nie tyle wpływu tego procesu na funkcjonowanie przemysłu wykorzystującego drewno i jego pochodne (choć i ten element należy brać pod uwagę), ile przede wszystkim na ekosystem i kształtowanie biocenoz. Oznacza to zatem zmiany w produkcji tlenu i dwutlenku węgla przez autotrofy oraz w sekwestracji węgla – z jednej strony, i w bilansie CO₂ na skutek uwalniania go przez grzyby – z drugiej. Zwiększona produkcja drewna „nowych” dla dotychczasowych ekosystemów gatunków drzew może wyrazić się bowiem zmianami w intensywności i rozmiarze zasiedlania przez grzyby zarówno drzew stojących czy powalonych, jak i pozyskanego i składowanego surowca. Pojawiają się nowe dla naszego kraju gatunki grzybów lub zwiększy się aktywność dotychczas występujących – tych zasiedlających korzenie i pniaki po ściętych drzewach (trwałe inokulum), jak i drewno przelegujące na składnicach przyleśnych czy placach tartacznych.

Stopniowe ocieplenie się klimatu w naszej szerokości geograficznej oznacza przesuwanie się stref klimatycznych oraz poziomych i pionowych zasięgów roślin. Już jest obserwowana migracja niektórych gatunków roślin, a w ślad za nimi migracja zwierząt i grzybów w kierunku północno-wschodnim. Zmiany wilgotności siedlisk (osuszanie lub zabagnianie) i ich narastająca eutrofizacja sprzyjają tworzeniu się nowych biotopów i równocześnie zanikaniu dotychczasowych. W konsekwencji, w trudnym do przewidzenia okresie, nastąpi zapewne przemieszczenie się roślinności związanej z gatunkami iglastymi strefy borealnej, których miejsce stopniowo zajmować będą gatunki liściaste, być może nawet typowe dla strefy śródziemnomorskiej. Jak wynika z opracowanej przed 20 laty prognozy zmian zasobności naszych lasów do 2050 roku (Smykała, Głaz 1994) oraz prognoz opisywanych przez Liszowską (2013), na terenie naszego kraju nastąpi zwiększenie arealu siedlisk lasowych (wg Smykały i Głaza o 9%), zajmowanych w znacznie większym stopniu (wzrost o 10%) przez takie gatunki, jak grab, lipa, buk,

dąb, a także robinia, czeremcha i brzoza. Nie ulega wątpliwości, że zwiększony udział występowania nowych gospodarzy będzie sprzyjał inicjowaniu nowych zjawisk chorobowych, wpływających na trwałość „nowych” ekosystemów leśnych. Zakładany wzrost udziału drzewostanów liściastych, zwłaszcza dębu, buka, olszy, zajmujących siedliska wycofujących się drzewostanów iglastych, może jednak nie doprowadzić do prognozowanego areału, choćby z uwagi na zamieranie drzew z powodu aktywnie przebiegających fytoftoroz tych gatunków.

Zakładane zmniejszenie areału występowania oraz udziału gatunków iglastych w strukturze „nowych” ekosystemów leśnych może się wyrazić zmniejszeniem zagrożenia ze strony patogenów zasiedlających korony czy pnie drzew gatunków iglastych. Zmniejszeniu ulegnie zapewne powierzchnia zagrożenia ze strony osutek sosny (*Lophodermium* spp.), skrzętaka sosny (*Melampsora pinitorqua*), patogenów powodujących zamieranie pędów sosny (*Ascochyta abietina*, *Sphaeropsis sapinea*, *Cenangium ferruginosum* itd.), przez co choroby te staną się nieistotne z gospodarczego punktu widzenia. Systemy korzeniowe – niestety – przez dziesiątki, a może setki lat, stanowić będą rezerwuuar patogenów korzeni groźny dla kolejnych generacji lasu na danym terenie, niezależnie od ich składu gatunkowego. Trwałość inokulum opieńki czy korzeniowców w glebie osiąga 60–70 lat. Przypomnieć w tym momencie należy, że największym organizmem na Ziemi jest opieńka ciemna *Armillaria ostoyae*, której pojedynczy osobnik (potwierdzone analizami DNA) zajmuje w górach Blue Mountains w Oregonie (Stany Zjednoczone AP) powierzchnię 900 hektarów po zamartłym drzewostanie i liczy 2400 lat. Dane te świadczą nie tylko o skali przestrzennej zagrożenia chorobowego, lecz także o skali czasowej trwałości pojedynczego osobnika.

Rola grzybów w przebiegu wielu procesów ekologicznych jest dotychczas niedoceniana, a ich wpływ na obieg węgla w przyrodzie jest niedoszacowany. Ocenia się bowiem (Lal 2008), że wielkość puli węgla wynosi w atmosferze około 750 Gt, a w roślinach 610 Gt, z czego w lasach tylko 121 Gt, przy czym korzenie kumulują 60 Gt, pień i liście 60 Gt, a martwe drewno 1,6 Gt. Dla porównania pula węgla w glebie wynosi 1580 Gt, a w oceanach – 40 000 GT, podczas gdy emisje przemysłowe zawierają 4000 GT C (Lal 2008). W trakcie rozkładu drewna przez grzyby następuje intensywny ubytek jego masy – w przypadku grzyba *Phlebiopsis gigantea* na sośnie utrata suchej masy korzeni w okresie 3 miesięcy wynosi około 20%, a w ciągu roku może dochodzić do 80% (Sierota 1995a, 1997). Liese i Stomer (1932) opisują, że *Serpula lacrymans* zużywa aż 45% dostępnych węglowodanów. Masa korzeni drzew stanowi średnio około 10% ich grubizny (Bijak, Zasada 2007). Przy porażeniu sosen IV klasy wieku przez sprawcę huby korzeni sięgającym 20% liczby drzew może to oznaczać degradację korzeni i pniaków o masie drewna 15,3 m³/ha, a w przypadku porażenia 80% świerka – 100,7 m³/ha (Bruchwald 1984; Sierota 2012). Zakładając, że udział celulozy i ligniny łącznie wynosi średnio 70% masy drewna, łatwo wyliczyć, ile CO₂ jest uwalniane w wyniku grzybowego (huba korzeni i opieńkowa zgnilizna korzeni) rozkładu enzymatycznego. Sierota (2012) szacuje, że na powierzchni 1 ha 80-letniego drzewostanu sosnowego uwalnianych jest w ten sposób 60 t dwutlenku węgla rocznie, czyli 3,3 Mt w skali kraju. A przecież patogeny korzeni nie są jedynymi organizmami rozkładającymi drewno w lesie – należy również brać pod uwagę saprotrofy, zasiedlające drewno nieczynne fizjologicznie, czyli tzw. martwe drewno.

Alternatywnym, choć nie przeciwnym, podejściem do możliwych zmian klimatu jest mniej katastroficzny wariant projekcji. Można bowiem założyć, że pomimo krótkotrwałego (setki lat?) ocieplenia naszej planety, przedstawione wyżej przewartościowanie w funkcjonowaniu „nowych” ekosystemów nie będą miały istotnego znaczenia na zmianę statusu organizmów patogenicznych i ich „szkodliwej” roli w zmienionym środowisku. Nowe organizmy w sposób sobie właściwy przystosują się do zmian, a dzięki procesom konkurencji, antagonizmu i sukcesji ekosystem nie ulegnie zaburzeniu, a może nawet osiągnie swoisty stan równowagi. Sierota (1995a, b) podaje przykłady takich zmian w ekosystemach leśnych, kiedy częściowa utrata igieł czy liści, prowadząca do przerzedzenia koron drzew (obniżenia ich żywotności), jest konsekwencją naturalnych zjawisk kompensacyjnych w okresie suszy lub z powodu obfitego kwitnienia drzew. Defoliacja wywoływana przez owady jest z kolei rekompensowana przez opad bogatych w białko ekskrementów i niedojedzonych części igieł. Śliwa (1987) podaje, że intensywny żer brudnicy mniszki dostarcza do gleby około 70% masy w postaci nie zjedzonych igieł. Z kolei Lech (1991) wykazał, że w trakcie gradacji strzygonii choinówki do dna lasu dostarczana jest masa 75 ton ciał gąsienic na 1 tys. ha, co znakomicie wyrównuje niedobór utraconej biomasy igieł sosny. Przykłady te wskazują, że nawet w przypadku ujawnienia się zagrożeń biotycznych na wielką skalę, ekosystem jest w stanie zrekompensować utracone elementy i odtworzyć je w nowej, innej formie (Sierota 2011a).

Trwałość lasów jako formacji roślinnej może być zachowana nawet w krótkich przedziałach czasowych nie tylko dzięki mechanizmom regulacyjnym i naturalnym zdolnościom ekosystemu do odtwarzania utraconych lub zniekształconych struktur troficznych, lecz także dzięki rozsądnej ingerencji człowieka. Pozostaje pytanie, czy należy odtwarzać zniekształcony ekosystem czy też inaczej, umiejętnie reagować na zachodzące procesy regeneracji. Przykłady odtwarzania zamierających, wydawałoby się, pod koniec lat 80. XX w. drzewostanów jodłowych, powrót lasu po klęsce ekologicznej w Sudetach, czy zachowanie trwałości ekosystemu po destrukcyjnych gradacjach brudnicy mniszki w latach 1980–1983, są przekonującym argumentem, że odtworzenie ekosystemu jest możliwe (Rykowski 1989–90; Kolk i in. 1994, 1996). Należy przy tym pamiętać, że w prawidłowo (z punktu widzenia przyrody) funkcjonującym ekosystemie obecność patogenów, gradacji, katastrof jest zjawiskiem naturalnym, a niejednokrotnie pożądanym, jako stymulatora przebiegu procesu lasotwórczego (Rykowski 2006). W drzewostanach zagospodarowanych działalność patogenów może być kontrolowana choćby poprzez unikanie zagrożeń, stosowanie zasady rozrzedzania ryzyka, czy półnaturalną hodowlę lasu.

Przedstawiona wyżej problematyka zmian relacji pomiędzy rośliną a organizmem grzybowym, zachodzących pod wpływem anomalii klimatycznych, może być rozpatrywana zarówno według scenariusza: a) istotnego i postępującego ocieplenia klimatu, jak i: b) bez szczególnie istotnych zmian w aktualnym układzie klimatycznym w dłuższym przedziale czasowym. Zarówno w pierwszym, jak i drugim przypadku zmiany składu gatunkowego ekosystemów leśnych, a co za tym idzie i wielkość ewentualnego zagrożenia chorobowego, podlegać będą także procesom antropogenicznym oraz fluktuacjom w zależności od przebiegu zaburzeń pogody w skali lokalnej i globalnej. Z jednej strony będą to niezależne od leśnictwa oddziaływania wynikające z gospodarczej aktywności człowieka (emisje przemysłowe, zmiany użytkowania ziemi), z drugiej zaś konsekwen-

cje realizowanego takiego, czy innego, modelu leśnictwa. To ostatnie zagadnienie można obecnie rozpatrywać w kontekście:

- a) intensywnych działań gospodarczych, jak preferowanie odnowień naturalnych, przebudowa drzewostanów, zalesienia, „odmładzanie” drzewostanów (skrócenie kolei ręb), gospodarstwa plantacyjne,
- b) realizacji gospodarki ekstensywnej (obszary Natura 2000i w pewnym zakresie leśne kompleksy promocyjne), lub
- c) konserwatorskiej ochrony wszelkich zasobów leśnych (rezerваты, parki narodowe, a w lasach państwowych i prywatnych także siedliska, ostoje ptaków, stanowiska grzybów itd.).

Realizacja tych działań oceniana będzie przez pryzmat funkcji i celów, jakie przed leśnictwem postawi społeczeństwo.

Organizmy chorobotwórcze – słabo rozpoznawalne i mało poznane pod względem patogenezы oraz wpływu na ekosystemy leśne – wymagają dodatkowego rozpoznania naukowego. Rola patogenów może bowiem znacząco wzrosnąć w przypadku zakładanych kolejnych zaburzeń ekosystemowych, anomalii klimatycznych, a także zmian odporności drzew na poziomie genetycznym. Słaba rozpoznawalność wiąże się przede wszystkim z niedostatecznym wyposażeniem laboratoriów w sprzęt z zakresu biologii molekularnej oraz brak procedur pozwalających na szybką diagnostykę DNA patogenów. Niewystarczające zainteresowanie decydentów odpowiedzialnych za monitoring i stan środowiska leśnego nie sprzyja z kolei realizacji tematów badawczych nakierowanych na poznanie zagrożeń ze strony organizmów kwarantannowych i inwazyjnych. Stosowanie skutecznych wobec patogenów metod chemicznych, budzące opór zrozumiały z punktu widzenia procesów ekologicznych i ochrony środowiska, wymaga większego poparcia dla wykorzystywania metod biologicznych, uprawowych, a także metod z zakresu zarządzania ekosystemowego.

Nowe zagrożenia dla produkcji leśnej w drzewostanach gospodarczych (quasi plantacyjnych), a także zagrożenia trwałości tworzących się ekosystemów, na przykład na gruntach porolnych ze strony nowych grup organizmów chorobotwórczych lub ujawniającej się patogeniczności ze strony organizmów uważanych dotychczas za mało groźne, wymagają podejmowania nowych wyzwań metodycznych. Powinny one dotyczyć:

- rozpoznania potencjalnych i realnych zagrożeń,
- ich stałego monitorowania zarówno na poziomie makro, jak i DNA,
- analizы konsekwencji pojawienia się zagrożeń oraz opracowania metod profilaktyki i terapii,
- edukacji merytorycznej leśników i edukacji wyjaśniającej skierowanej do społeczeństwa.

Istotną rolę w tym zakresie powinny odegrać wyższe uczelnie z kierunkami leśnictwo, ochrona środowiska, biotechnologia, biologia, instytuty PAN i instytuty badawcze działające w problematyce szeroko rozumianych obszarów wiejskich, w tym leśnictwa, a także ochrony przyrody i ochrony środowiska. Podejmowanie wspólnych działań badawczych i aplikacyjnych wymaga daleko posuniętej koordynacji i kooperacji, ograniczającej niezdrowo rozumianą konkurencyjność w ubieganiu się o środki. Koordynacja nie powinna być postrzegana jako droga do eliminacji pewnych ośrodków badawczych,

jako że metody oceny „wartości” jednostek są dyskusyjne, generalizujące – niedostosowane do dużej zmienności zakresów i płaszczyzn ich działania.

Ważną rolę w detekcji i monitoringu zagrożeń, zwłaszcza ze strony organizmów inwazyjnych i kwarantannowych, powinny odegrać służby inspekcji roślin, służby graniczne oraz zespoły ochrony roślin. Media zaś powinny być nakierowane na szybkie informowanie społeczeństwa o zagrożeniach (np. komunikaty dla alergików) i podejmowanych środkach zaradczych.

Piśmiennictwo

- Bruchwald A. 1984. Estimation of attacking spruce trees by root rot (*Fomes annosus* Fr.) in spruce-pine stands of Puszcza Romincka. *Annales of Warsaw Agricultural University, Series Forestry*, 32, 7–11.
- Capecki Z. 1989. Rejony zdrowotności lasów sudeckich. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, A, 688, 3–93.
- Capecki Z. 1994. Rejony zdrowotności lasów zachodniej części Karpat. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, A, 781: 6–125
- Chapin III, F.S., Matson P.A., Mooney H.A. 2002. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. New York, Springer Verlag.
- Courtois H. 1973. Einfluss von Temperatur, Licht und anderen Faktoren auf das Myzelwachstum von *Fomes annosus*. *Angewandte Botanik*, 47: 141–158.
- Domański S. 1983. Lignicolous macrofungi occurring on felled pine wood in forests injured by air pollutants in Upper Silesia Industrial Region. *Revista de Biologia*, 12: 121–130.
- Gajewski M. 2005. *Przechowalnictwo warzyw*. Warszawa, Wyd. SGGW, 176 s.
- Hendry G. 1987. The ecological significance of fructan in a contemporary flora. *New Phytologist*, 106: 201–216.
- Hilszczańska D. 2001. Stan symbiozy mikoryzowej i wzrost inokulowanych siewek sosny *Pinus sylvestris* L. rosnących w szklarni w warunkach różnej wilgotności podłoża. *Sylvan*, 7: 89–95
- Hintikka V. 1970. Stimulation of spore germination of wood-decomposing Hymenomycetes by carbon dioxide. *Karstenia*, 11: 23–27
- Jung T. 2008. Beech decline in Central Europe driven by the interaction between *Phytophthora* infections and climatic extremes. *Forest Pathology*, 39 (2): 77–94.
- Koehler W. 1981. *Zarys hylopatologii*. Warszawa, PWN.
- Kolk A., Lech P., Sierota Z. 1996. Określenie stref zagrożeń lasów Polski przez czynniki biotyczne. *Bibl. Monitor. Środ. PIOŚ*. Warszawa, Wyd. Ars.
- Kolk A., Sierota Z., Małecka M. 1994. Ocena wpływu zagrożeń biotycznych (szkodników leśnych i chorób infekcyjnych) na stan lasów w Polsce w latach 1970–1992. *Bibl. Monit. Środ. PIOŚ*. Warszawa, Wyd. Bibliofil.
- Kopcewicz J., Lewak S. 1998. *Podstawy fizjologii roślin*. Warszawa, PWN.
- Kowalski T., Nowik K. 1998. Mycobiota korzeni sadzonek dębów *Quercus robur* L. i *Q. rubra* L. masowo obumierających w zachodniej Polsce. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie*, 344, *Leśnictwo*, 27, 59–74.
- Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce (coroczna). 1980–2010, 2013. Zbiorowa. Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa.
- Lal R. 2008. Sequestration of atmospheric CO₂ in global carbon pools. *Energy and Environmental Science*, 1: 86–100.
- Lech A. 1991. Opracowanie modelu cybernetycznej regulacji liczebności strzygoni choinówki (*Panolis flammea* Schiff.) na przykładzie wybranych nadleśnictw. Warszawa, Instytut Badawczy Leśnictwa.
- Lech P., Sierota Z., Małecka M. 1994. Metody diagnozowania i prognozowania stanu zagrożenia środowiska leśnego. Dokument. naukowa BLP429, Warszawa, Instytut Badawczy Leśnictwa.

- Lech P., Sierota Z., Małecka M. 1995. Ocena zróżnicowania warunków środowiska leśnego w strefie gradientu zanieczyszczeń powietrza. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, B, 24: 5–16.
- Lech P., Żółciak A. 2006. Wzrost sadzonek sosny zwyczajnej i rozwój ryzomorf opieńki ciemnej w warunkach podwyższonej koncentracji CO₂ w powietrzu. *Leśne Prace Badawcze*, 4: 17–34
- Łukomski S. 1968. Badania nad biologią i szkodliwością grzyba *Cenangium ferruginosum* Fr. ex Fr. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa* 352: 55–95.
- Malinowski H., Wierzbowski Z., Tarwacki G. 2004. Wpływ gradacji choinka szarego (*Brachyderes incanus* L.) na rozwój upraw sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na terenach popożarowych. *Leśne Prace Badawcze*, 4: 103–128
- Manion P.D 1981. *Tree disease concept*. New Jersey, Prentice Hall Inc.
- Mańka K., 2005. *Fitopatologia leśna*. Wyd. 6. Warszawa, PWRiL.
- Minkevich I.I., Stoyanov S.M. 1987. Prevision of the development of oak powdery mildew based on the phenology of the host plant in Bulgaria. *Izvestiya Vysshikh Zavedenij, Lesnoj Zhurnal* 3:114–116
- Mykhayliv O. 2010. Wpływ czynników meteorologicznych na występowanie chorób infekcyjnych w lasach. Rozpr. dokt., Instytut Badawczy Leśnictwa.
- Mykhayliv O., Sierota Z. 2010. Zagrożenie drzewostanów ze strony huby korzeni w zależności od temperatury gleby i opadów. *Leśne Prace Badawcze*, 71(1): 51–59.
- Orlikowski L., Oszako T. 2009. *Fytoftorazy w szkółkach i drzewostanach leśnych*. Warszawa, Wyd. CILP.
- Oszako T. 1997. *Zamieranie buków w Polsce*. Bibl. Leśn. 81. Warszawa, Wyd. Świat.
- Rayner ADM., Boddy L. 1988. *Fungal decomposition of wood. Its biology and ecology*. Chichester, J. Wiley & Sons.
- Redfern D.B. 1982. Infection of *Picea sitchensis* and *Pinus contorta* stumps by basidiospores of *Heterobasidion annosum*. *Forest Pathology*, 12 (1): 11–25.
- Rykowski K. (red.) 1990. Wieloczynnikowa analiza zagrożenia stanu zdrowotnego lasów w układzie przestrzennym. Warszawa, Instytut Badawczy Leśnictwa.
- Rykowski K. 1987. Stan zdrowotny lasów. w: *Narodowy Program Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej do 2010 r. Problem 5 – Ochrona przyrody*. Cz. II, T. I: 45–69.
- Rykowski K. 1989–1990. Ekologizacja gospodarki leśnej (1–6). *Las Polski* (1) 10/1989: 6–9; (2) 11/1989: 6–7; (3) 12/1989: 8–11; (4) 21–22/1989: 4–6; (5) 23–24/1989: 8–10; (6) 1/1990: 8–11.
- Rykowski K. 2006. *O leśnictwie trwałym i zrównoważonym*. Warszawa, Wyd. CILP.
- Rykowski K., Sierota Z. 1983. Wpływ huby korzeni w drzewostanie sosnowym na gruncie porolnym na powstanie wiatrowałów w 1981 r. *Sylwan*, 127, 12: 59–70.
- Santini A., Ghelardini L., De Pace C., Desprez-Loustau M.L., Capretti P., Chandelier A. 2012. Biogeographical patterns and determinants of invasion by forest pathogens in Europe. *New Phytologist*, 197(1): 238–50. www.newphytologist.com.
- Sierota Z. (red.) 1991. Diagnostyka i prognoza wieloczynnikowego zagrożenia lasów w układzie przestrzennym. Dokumentacja naukowa Instytutu Badawczego Leśnictwa, nr 27U11, Warszawa.
- Sierota Z. (red.) 1995. Możliwości zmniejszenia predyspozycji chorobowej lasów metodami gospodarki leśnej. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, B, 22: 3–55.
- Sierota Z. (red.) 2000. Ryzyko rozwoju chorób infekcyjnych w warunkach ograniczonej ingerencji gospodarczej. Dokumentacja naukowa Instytutu Badawczego Leśnictwa, Warszawa, s. 42.
- Sierota Z. 1988a. Hipotezy dotyczące naturalnych przyczyn zamierania lasu. *Sylwan*, 9: 11–16.
- Sierota Z. 1988b. Hipotezy dotyczące antropogenicznych przyczyn zamierania lasu. *Sylwan* 132, 10: 9–16.
- Sierota Z. 1988c. Kryteria wczesnego wykrywania zmian w stanie zdrowotnym drzew rosnących w warunkach stresu. *Sylwan*, 132, 11–12: 53–61.
- Sierota Z. 1995a. Rola grzyba *Phlebiopsis gigantea* (Fr.: Fr.) Julich w ograniczaniu huby korzeni w drzewostanach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na gruntach porolnych. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, 840: 3–180.

- Sierota Z. 1995b. Przerzedzenie koron drzew jako źródło stresu i jako efekt stresu. *Sylvan*, 139, 8; 5–24.
- Sierota Z. 1997. Dry weight loss of wood after the inoculation of Scots pine stumps with *Phlebiopsis gigantea*. *European Journal of Forest Pathology*, 27: 179–185.
- Sierota Z. 1998. Kryteria i metody oceny stanu zdrowotnego drzew i drzewostanów. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, A, 854: 75–102.
- Sierota Z. 2001. *Choroby lasu*. Warszawa, Wyd. CILP.
- Sierota Z. 2011a. Gdy las choruje. Warszawa, Wyd. CILP.
- Sierota Z. 2011b. Zmiany w środowisku drzewostanów sosnowych na gruntach porolnych w warunkach przebudowy częściowej oraz obecności grzyba *Phlebiopsis gigantea*. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Rozprawy i Monografie*, 17: 15–22.
- Sierota Z. 2012. Wpływ grzybów rozkładających korzenie drzew leśnych na uwalnianie CO₂ – próba waloryzacji. *Sylvan*, 156 (2): 128–136.
- Sierota Z., Kolk A., Ślusarski S. 1998. Przyczyny i przebieg zjawiska zamierania pędów sosny zwyczajnej na terenie północno-zachodniej części Polski w latach 1995–1997. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, B, 34: 75–94.
- Sierota Z., Małecka M. 1993. Próba wieloczynnikowej oceny zagrożenia środowiska leśnego w 1992 r. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, B, 18: 106–117.
- Sierota Z., Małecka M., Lech P. 1993. Ocena zagrożenia środowiska leśnego w 1992 r. i prognoza na 1993 rok. *Notatnik Naukowy Instytutu Badawczego Leśnictwa*, 6 (25): 1–6.
- Smykała J., Głaz J. 1994. Prognoza zmian zasobów leśnych w XXI wieku na tle alternatywnych scenariuszy zmian klimatu i rozwoju gospodarczego do 2050 r. Dokumentacja Instytutu Badawczego Leśnictwa 127, Warszawa.
- Śliwa E. 1987. *Brudnica mniszka*. Biblioteczka Leśniczego. Warszawa, PWRiL.
- Wawrzoniak J. (red.) 1990–2010. Monitoring środowiska leśnego. Stan uszkodzenia lasów (corocznie). *Bibl. Monit. Środ.* GIOS, Warszawa.

Wpływ zmian klimatycznych według wybranych scenariuszy IPCC (A2, B1, A1B) na zasoby wodne w obszarach leśnych w Polsce – możliwy wpływ na ekosystemy leśne w perspektywie do 2030 roku i w dalszej

dr inż. Tomasz WALCZYKIEWICZ

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badawczy

Problematyka zasobów wodnych w kontekście zmian klimatu

Zmiany klimatu

Przyczyny zmian klimatu są tematem badań wielu zespołów. Raporty Międzyrządowego Panelu do spraw Zmian Klimatu (IPCC I 2007) przedstawiają stan badań na temat przyczyn zmian klimatu. Raport IPCC III (2007), raport amerykańskiej akademii nauk (America's Climate Choices. 2011) oraz raport opublikowany przez grupę G8 (G8 Summit Analysis Part I 2007) podkreślają, że zmiany temperatury obserwowane w ostatnich 50 latach należy przypisać działalności człowieka, a więc emisji gazów cieplarnianych.

Oczywiście istnieją również inne hipotezy, zaliczając do przyczyn wzrostu temperatury między innymi:

- czynniki zewnętrzne w stosunku do Ziemi, zgodnie z teorią cykli Milankovića, opartą na rekonstrukcji warunków klimatycznych (Boeker i Grondelle 2002) panujących dawniej na Ziemi w zależności od cykli astronomicznych,
- gazy cieplarniane będące wynikiem naturalnych procesów biologicznych (Climate Change 2007),
- wpływ wybuchów wulkanów (Robock 2000),
- cykliczność zmian (Madeyska, Marks 2008).

Hipotezy odnośnie do wpływu działalności gospodarczej człowieka na klimat Ziemi sugerują jego ocieplenie w przyszłości, jako konsekwencję wzrostu emisji gazów cieplarnianych. Zmiana ta dotknie głównie przyszłe pokolenia, a skala ocieplenia zale-

żeć będzie od drogi rozwoju, jaką wybierze świat. Zmiany klimatu wpłyną zarówno na zasoby środowiska, na co wskazują zarówno prognozowane przez modele klimatyczne zmiany ilości i rozkładu czasowego opadów, jak i prognozy potrzeb w zakresie ich wykorzystania. Na przykład przewiduje się zwiększenie potrzeby nawodnień ze względu na wzrost temperatury. Stąd zakłada się, że myśląc o przyszłości, należy już dzisiaj, obok planów działań zmierzających do ograniczenia niekorzystnych zmian klimatu, wypracować mechanizmy adaptacyjne do przewidywanych zmian.

Scenariusze emisyjne

Scenariusze emisyjne (ang. *emission scenarios*) zostały opracowane przez Międzyrządowy Panel ds. Zmian Klimatu (IPCC) i opublikowane w *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES 2000). Przedstawiają one różne scenariusze wielkości emisji CO₂ i innych substancji oraz konsekwencje tych emisji w postaci zmian klimatycznych zachodzące pod wpływem rozwoju społecznego-gospodarczego. Wraz z upływem czasu zmiany w rozwoju społeczno-gospodarczym są również kształtowane poprzez zachodzące zmiany klimatyczne w ramach sprzężenia zwrotnego. Opracowane przez IPCC scenariusze wykorzystują opinie eksperckie oraz modele klimatyczne (Randall, Wood 2007), ekonomiczne i hydrologiczne (Dooge 2012) do przedstawienia możliwych wizji świata w przyszłości.

Polityka Unii Europejskiej dotycząca zasobów wodnych w kontekście zmian klimatu

Unia Europejska wypracowała wspólne podejście do zagadnień wykorzystania środowiska naturalnego oparte na zasadzie zrównoważonego rozwoju. Idea zrównoważonego rozwoju opiera się na zasadzie rozsądnego i oszczędnego korzystania z zasobów środowiska, tak aby ich nadmierne wykorzystanie bądź degradacja nie doprowadziły do pogorszenia jakości życia i ograniczenia potencjału rozwojowego przyszłych pokoleń. Perspektywa zmian klimatu, jak również konieczność uwzględnienia bardzo odległej perspektywy czasowej, nie zmienia ogólnych celów gospodarowania zasobami środowiska, choć Unia Europejska, w ramach której cele te wypracowaliśmy, może istnieć krócej niż horyzont naszych rozważań. Perspektywa ta wprowadza nowe presje, które potrzeba ocenić z odpowiednim wyprzedzeniem, należy również zdefiniować strategiczne kierunki działania łagodzące skutki tych presji. O ile podstawowe cele, czyli – najogólniej mówiąc – rozwój zrównoważony, pozostają stałe, o tyle szczegółowe cele środowiskowe, jak np. zdefiniowane w ramach Natury 2000 obszary szczególnej ochrony, mogą ulec modyfikacji. Prace nad strategią adaptacyjną powinny też brać pod uwagę różne scenariusze rozwojowe świata, uwzględniając nie tylko wynikające z nich zmiany klimatu czy presje na zasoby, lecz także związane z nimi różne modele organizacji państwa.

W 2009 roku KE opublikowała Białą Księgę dotyczącą działań adaptacyjnych dla zmniejszenia konsekwencji zmian klimatu (Commission of the European Communities.

2009). Ostatnie ustalenia wskazują, że skutki zmian klimatu wystąpią szybciej i będą bardziej dotkliwe, niż przewidywał Międzyrządowy Panel ds. Zmian Klimatu w swoim sprawozdaniu z 2007 r. Europa nie uchroni się przed tymi skutkami i w związku z tym musi być przygotowana do przystosowania się do nich. Zmiany klimatu spowodują konsekwencje zróżnicowane regionalnie, co oznacza, że większość środków adaptacyjnych będzie musiało zostać podjętych na poziomie krajowym i regionalnym. Ramy przedstawione przez Komisję wyznaczają dwuetapowe strategiczne podejście do adaptacji do skutków zmian klimatu w UE, stanowiące uzupełnienie działań podejmowanych przez państwa członkowskie dzięki zintegrowanej i skoordynowanej koncepcji. W ciągu najbliższych 50 lat zmiany klimatu prawdopodobnie będą miały głęboki wpływ na istotne sektory gospodarki, takie jak rolnictwo¹, energetyka, transport, ekosystemy, turystyka i zdrowie. Zmiany te dotkną również gospodarstwa domowe, przedsiębiorstwa i niektóre grupy społeczne, zwłaszcza osoby w podeszłym wieku i niepełnosprawne oraz gospodarstwa domowe o niskich dochodach. W Białej Księdze stwierdza się, że nawet przy ograniczeniu emisji CO₂ konsekwencje zmian klimatu dla środowiska naturalnego będą nieuniknione. Niezbędne jest podjęcie współpracy z rządami, przedsiębiorstwami i społecznościami.

Kluczowym zasobem środowiska jest woda, stąd zasady gospodarowania nią są szczególnie istotne. Problem ten jest doceniany na świecie, a rezultatem prac międzynarodowej społeczności specjalistów i polityków jest idea Zintegrowanego Zarządzania Zasobami Wodnymi (ZZZW), to znaczy „proces, który promuje skoordynowane zarządzanie i rozwój zasobów wodnych, ładu i zasobów związanych w celu maksymalnego efektu ekonomicznego i społecznego bez uszczerbku dla równowagi kluczowych ekosystemów” (według Global Water Partnership, <http://www.gwp.org/en/The-Challenge/What-is-IWRM/>). Ramy prawne dla wdrażania ZZZW w Polsce i UE tworzy ramowa dyrektywa wodna (RDW) (Dyrektywa 2000/60/WE) oraz dyrektywa dotycząca wód podziemnych (Dyrektywa 2006/118/WE) i powodziowa (Dyrektywa 2007/60/WE).

Zarządzanie zasobami wodnymi w Polsce w kontekście zmian klimatu

Zasoby wodne są podstawowym elementem wpływającym na rozwój gospodarczy każdego państwa. W Polsce na jednego mieszkańca, w przypadku wód powierzchniowych, przypada średnio 1660 m³/rok, natomiast średnia europejska wynosi 4560 m³/rok. W przypadku wód podziemnych zasoby te szacuje się w Polsce na 15,6 km³, z czego 35% znajduje się w warstwach głęboko zalegających (Walczykiewicz 2008).

Dla Polski najbardziej dotkliwa jest przede wszystkim zmienność w czasie występowania zasobów. Ta zmienność, wynikająca ze zjawisk klimatycznych, nie jest w sposób wystarczający rekompensowana przez możliwości retencyjne. W latach suchych wskaźnik zasobów wód powierzchniowych spada do 1100 m³/rok na mieszkańca, a w latach mokrych sięga 2600 m³/rok na mieszkańca.

Aktualnie w Polsce jesteśmy w trakcie kolejnego cyklu planistycznego RDW, mającego wyznaczyć cele dla gospodarowania wodami i sposoby ich realizacji w perspek-

¹ W tym – wg klasyfikacji KE – leśnictwo.

tywie 2015 roku. Dyrektywa przewiduje, że w tym i kolejnych cyklach planistycznych – z perspektywą 2021 i 2027 roku i dalszych lat, zostaną osiągnięte cele dyrektywy, a w 2019 zakłada się kolejny przegląd działań związanych z jej realizacją. Horyzont 2027 roku jest z punktu widzenia zmian klimatu zbyt krótki dla pełnego ujawnienia się ewentualnych skutków zwiększenia emisji gazów cieplarnianych, gdyż analizy skutków zwiększenia tej emisji wskazują, iż konsekwencje dla klimatu pojawiają się ze znacznym opóźnieniem. Logiczne jest jednak, że planowanie nawet w bliższej perspektywie powinno brać pod uwagę ewentualne długoterminowe konsekwencje działań podejmowanych obecnie.

Wyniki projektu KLIMAT realizowanego w IMGW PIB w zakresie zasobów wodnych oraz zmian klimatu do 2030 roku i w dalszej perspektywie

PERSPEKTYWA 2030

Realizowany w latach 2008–2012 w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowym Instytucie Badawczym projekt KLIMAT (PO IG dla środowiska 2012) uwzględnił również problematykę zasobów wodnych i ekosystemów zależnych od wód w kontekście zmian klimatu. Celem jednego z zadań w tym projekcie, zatytułowanego „Zrównoważone gospodarowanie wodą, zasobami geologicznymi i leśnymi kraju”, było opracowanie podstaw strategii gospodarowania zasobami naturalnymi, opartej na zasadzie zrównoważonego rozwoju i uwzględniającej zagrożenia i presje wynikające z potencjalnych zmian klimatu oraz prognozowanego rozwoju społeczno-gospodarczego. Wyniki zadania, zgodnie z przyjętymi założeniami, winny dać przesłanki dla sformułowania wskazówek umożliwiających planistom wprowadzenie do dzisiejszych planów mechanizmów adaptacyjnych do spodziewanych zmian. W odniesieniu do gospodarowania wodą celem zadania było wypracowanie strategii Zintegrowanego Zarządzania Zasobami Wodnymi, z uwzględnieniem zmian klimatu, przy założeniu, że szczegółowe cele środowiskowe są zdefiniowane przez ramową dyrektywę wodną. W projekcie KLIMAT, za podstawę rozważań przyjęto trzy spośród opracowanych przez IPCC scenariuszy rozwojowych, o kodowych symbolach przyjętych w „Special Report on Emission Scenarios” (SRES 2000): A1B, A2 i B1. Bliższe informacje na temat przyjętych scenariuszy znajdują się we wspomnianym raporcie. Poniżej zamieszczono ich krótką charakterystykę.

SCENARIUSZ A2 zakłada rozwój w oparciu o kryteria ekonomiczne, zwiększenie różnic między biednymi i bogatymi krajami, szybki wzrost ludności, szczególnie w krajach rozwijających się, brak zaangażowania w kwestiach ekologicznych i postęp technologiczny najslabszy w porównaniu do innych scenariuszy.

SCENARIUSZ B1 zakłada wysoki poziom świadomości ekologicznej i społecznej, odejście od postaw konsumpcyjnych, czysto ekonomicznych na rzecz zrównoważo-

nego rozwoju. Rządy, biznes, media i ludzie przywiązują do tego dużą wagę. Świadomie i intensywnie inwestuje się w technologie, efektywność, ekologię.

SCENARIUSZ A1B (WARIANT POŚREDNI) zakłada bardzo szybki wzrost gospodarczy. Populacja rośnie do roku 2050 a następnie zmniejsza się. Szybko są wdrażane nowe i efektywne technologie. Zwiększona współpraca gospodarcza i migracja ludności powodują wyrównywanie poziomu cywilizacyjnego i poziomu dochodów między regionami świata. Wariant ten zakłada zrównoważony układ systemów energetycznych, powstały w wyniku równomiernego rozwoju wszystkich form wytwarzania energii.

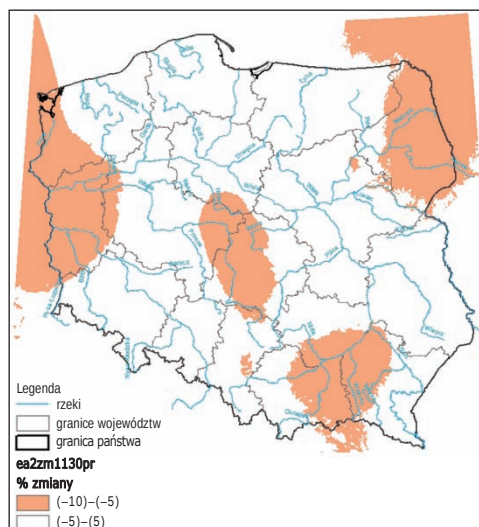
Zasoby wód powierzchniowych Polski określono na podstawie danych pomiarowych z sieci wodowskazowej IMGW-PIB przyjmując jako okres referencyjny dwudziestolecie 1971–1990². Przyjęty okres referencyjny przedstawiono na tle 60-letniego okresu obserwacji. Dokonano również oszacowania przyszłych zasobów wodnych Polski na podstawie prognoz zmian opadu uzyskanych z modeli klimatycznych.

Jako podstawowe przyjęto rozwiązanie oparte na wyznaczaniu odpływów jednostkowych na podstawie danych wodowskazowych. Pokazują one zasoby własne obszaru, tj. zasoby pochodzące z opadu na tym obszarze. W założonej procedurze obliczeniowej każdy z wodowskazów reprezentował zlewnię różnicową pomiędzy nim a wodowskazami zlokalizowanymi hydrograficznie powyżej. Odpływ jednostkowy został wyliczony przez podzielenie przyrostu zasobu przez przyrost zlewni i przypisany do zlewni różnicowej. Problem obszarów nieopomiarowanych rozwiązano, przypisując takim zlewniom lub ich fragmentom wartości odpływu jednostkowego z podobnych zlewni sąsiednich. Zaszła również potrzeba wyeliminowania części zlewni różnicowych ze względu na ich niewielką powierzchnię w stosunku do zlewni powyżej, co powoduje, iż wpływ dokładności określenia przepływu wody na wodowskazie może być decydujący dla wyniku obliczeń odpływu jednostkowego. Również problemy związane z antropopresją były powodem eliminacji niektórych zlewni różnicowych. Wszystkie wymienione problemy bliżej **omówiono w (Majewski, Walczykiewicz 2012).**

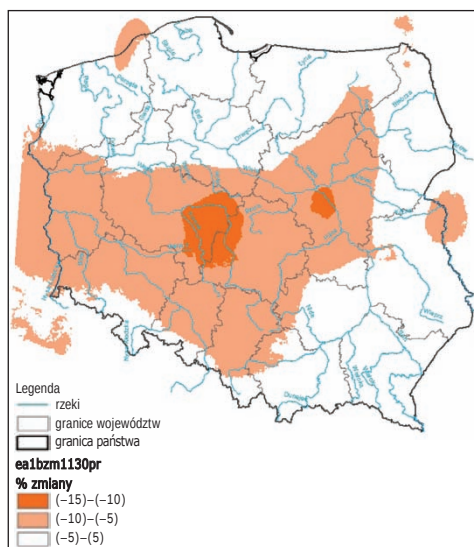
Porównanie odpływów jednostkowych z opadami pozwala na wyznaczenie współczynnika odpływu. Wymaga to opracowania rozkładu przestrzennego opadów zantopromiowanych na stacjach pomiarowych. W niniejszej pracy wykorzystano rozkład opracowany w zadaniu 1 projektu KLIMAT, zgodnie z metodą wieloboków równego zadeszczenia (Majewski, Walczykiewicz 2012). Rozkład ten został zestawiony z odpływem jednostkowym w mezoregionach, w efekcie czego uzyskano warstwę współczynników odpływu. Została ona wykorzystana do oszacowania prognozowanych zasobów wód powierzchniowych dla okresu 2011–2030, które określono na podstawie prognozy przyszłych opadów. **Poniżej** przedstawiono proces realizacji opisanej **wyżej** procedury określania zasobów wód powierzchniowych Polski oraz zaprezentowano wyniki **obliczeń**

**koniec
zdania?**

² Powodem wyboru wymienionego okresu referencyjnego była potrzeba uzyskania zgodności z założeniami przyjętymi dla regionalnego modelu klimatycznego RegCM, którego wyniki będą wykorzystane przy określaniu przewidywanych zmian zasobów wód powierzchniowych Polski.



Ryc. 1. Zmiana odpływu w okresie 2011–2030 w stosunku do okresu 1971–1990 wg scenariusza A2 (źródło: Majewski, Walczykiwicz 2012)



Ryc. 2. Zmiana odpływu w okresie 2011–2030 w stosunku do okresu 1971–1990 wg scenariusza A1B (źródło: Majewski, Walczykiwicz 2012)



Ryc. 3. Zmiana odpływu w okresie 2011–2030 w stosunku do okresu 1971–1990 wg scenariusza B1 (źródło: Majewski, Walczykiwicz 2012)

Wielkość i zmienność opadów atmosferycznych w zlewni wpływa w sposób decydujący na warunki środowiska. Zbadawszy, jak kształtują się w okresie referencyjnym relacje pomiędzy obserwowanymi opadami a odpływami ze zlewni, a także przepływami obserwowanymi w ciekach powierzchniowych, można **wykorzystać tę wiedzę i zastosować** w warunkach prognozowanej zmiany klimatu. Przewidywać można, że ocieplenie klimatu spowoduje wydłużenie sezonu letniego, związanego z opadami deszczowymi, natomiast zima z opadami śnieżnymi ulegnie skróceniu. Ewentualne skrócenie okresu zimowego, przejawiające się mniejszą niż dotąd grubością pokrywy śnieżnej (Majewski, Walczykiwicz 2012), spowoduje regresję zasilania topniejącym śniegiem wód gruntowych i będzie skutkowało obniżaniem się poziomu wód gruntowych, co w konsekwencji spowoduje obniżenie zasilania cieków w wodę w okresach niżówkowych.

Projekcje i modele zmian klimatu bazują na wielu założeniach i uproszczeniach, dlatego otrzymane wyniki obarczone są w różnym stopniu niepewnością. Według badań europejskich źródła niepewności można podzielić, z punktu widzenia badań nad oddziaływaniami klimatu, na dwie kategorie:

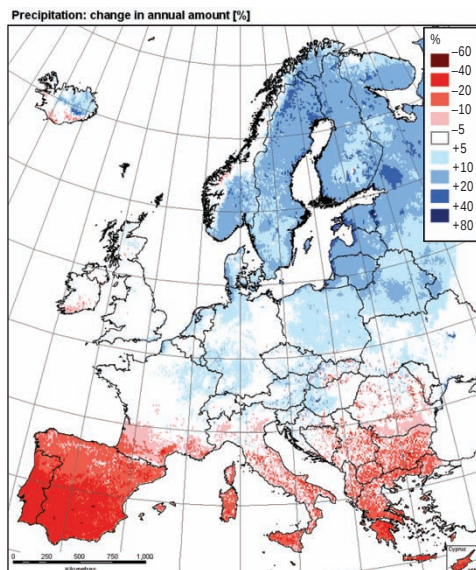
- niepewność wynikająca z niekompletnej wiedzy dotyczącej badanego systemu (np. na skutek błędów pomiaru lub uproszczeń formuł modelu);
- niepewność integralnie związana z badanym systemem (np. na skutek chaotyczności klimatu globalnego lub systemu społeczno-gospodarczego).

W projekcie KLIMAT, w przypadku określania zmian zasobów wód powierzchniowych pod wpływem zmian klimatu, przyjęto również szereg założeń upraszczających. Przy określaniu przyszłych zmian zasobów wód powierzchniowych na podstawie hipotetycznych zmian opadu z modelu statystyczno-empirycznego przyjęto, że zależność pomiędzy opadem a odpływem, wyrażona we współczynniku odpływu, będzie podobna jak w okresie referencyjnym. Założenie to jest oparte na dwóch przesłankach – niewielkiej zmianie temperatury w okresie przyszłym oraz podobnej do dotychczasowej strukturze użytkowania terenu. Badania w europejskim projekcie CORINE Land Cover pokazują, że w okresie od 2000 do 2006 r. użytkowanie terenu w Polsce w istotny sposób zmieniło się na powierzchni ok. 0,5% kraju, a więc zmiany następują dość wolno.

DALSZA PERSPEKTYWA

Analizy dotyczące dalszej perspektywy wskazują, że obszar Polski wraz z sąsiadującymi krajami będzie mniej dotknięty zmianami klimatu niż inne kraje Europy. Zmiany do końca tego stulecia pokazuje rycina 4.

Należy przypomnieć, że scenariusz A2, którego wyniki przedstawiono na powyższej mapie jest najbardziej niekorzystny z uwagi na dynamikę zmian klimatu. Według niego zmiany w opadach do 2100 roku dla Polski będą wahać od 0 do +10% w stosunku do okresu 1961–1990.



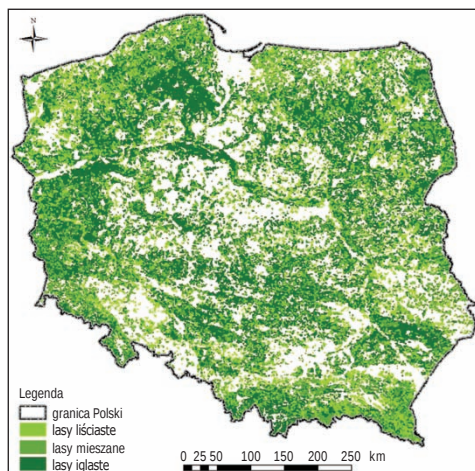
Ryc. 4. Prognozowane skutki klimatyczne szacowane na lata 2071–2100 w stosunku do okresu 1961–1990 wg scenariusza A2 IPCC SRES (źródło: Zielona Księga 2007). Mapa opiera się na danych DMI/PRUDENCE (<http://prudence.dmi.dk>) i została przetworzona przez WCB w ramach badania PESETA finansowanego przez WCB (<http://peseta.jrc.es>).

Zasoby wodne w obszarach leśnych w Polsce a zmiany klimatu

Zgodnie z „Krajowym Programem Zwiększania Lesistości” w 2020 roku lasy mają stanowić 30% powierzchni kraju, a w 2050 – 33% (Ministerstwo Środowiska. 2003). Obecny stan, z uwzględnieniem podziału na lasy iglaste, liściaste i mieszane, zaprezentowano na poniższej rycinie (Commission of the European Communities 1995).

Zasoby leśne w relacji do zasobów wodnych należy analizować w dwóch aspektach:

- wpływu zmian zasobów wodnych na zasoby leśne;
- oddziaływania ekosystemów leśnych na zasoby wodne w warunkach zmian klimatycznych.



Ryc. 5. Obszary leśne w Polsce (opracowanie własne na podstawie CORINE Land Cover (Commission of the European Communities 1995))

Wpływ zmian zasobów wodnych na zasoby leśne

Prognozy nie pokazują istotnych zmian zasobów wód powierzchniowych w okresie 2011–2030. Spadek średniej rocznej wielkości zasobów wodnych wg scenariuszy A2 i B1 nie przekracza 10%, a wg scenariusza A1B – 15%. Nie ma też istotnego wzrostu średniej rocznej wielkości tych zasobów, jedynie wg scenariusza B1 w południowo-zachodniej części Polski wzrost wyniesie do 15%. Analiza zmian dla półroczy zimowego i letniego sugeruje, że większe zmiany mogą wystąpić w rozkładzie czasowym. Każdy ze scenariuszy wyróżnia obszary o wzroście zasobów wodnych w półroczu zimowym do 10% oraz o ich spadku w półroczu letnim, największe – do 20%, wg scenariusza A1B, w centralnej części pasa nizin środkowopolskich.

Uwzględniając lokalizację dużych kompleksów leśnych w Polsce i prognozowane zmiany zasobów wodnych, przewiduje się:

- wg scenariusza A2 – spadek średnich rocznych zasobów wodnych nieprzekraczający 10% (–10% : –5%) na obszarach: Puszcza Augustowska, Puszcza Knyszyńska, Puszcza Białowieska, Puszcza Piska, Puszcza Goleniowska, Puszcza Rzepińska, Bory Dolnośląskie, Puszcza Świętokrzyska;
- wg scenariusza B1 – spadek średnich rocznych zasobów wodnych nieprzekraczający 10% (–10% : –5%) na obszarze: Puszcza Świętokrzyska;
- wg scenariusza B1 – wzrost średnich rocznych zasobów wodnych na obszarze: Bory Dolnośląskie;
- wg scenariusza A1B – spadek średnich rocznych zasobów wodnych nieprzekraczający 15% (–15% : –10%) na obszarze: Puszcza Kampinoska, i spadek średnich rocz-

nych zasobów wodnych nieprzekraczający 10% (–10% : –5%) na obszarach: Bory Dolnośląskie, Puszcza Rzepińska, Puszcza Piska, Puszcza Kozienicka.

Analizując podatność ekosystemów na zmiany zasobów wodnych, za najbardziej wrażliwe siedliska wśród ekosystemów leśnych uznano bory i lasy bagienne, łęgi wierzbowe, topolowe, olszowe i jesionowe oraz łęgowe lasy dębowo wiązowo jesionowe (Herbich 2004).

Przykłady ekosystemów najbardziej wrażliwych na zmiany zasobów wodnych (opracowano na podstawie Herbich 2004)

Ekosystem	Siedlisko
Morskie, przybrzeżne	ujścia rzek, estuaria
	zalewy i jeziora przymorskie, laguny
	wilgotne zagłębienia międzywydmowe
Solnisk śródlądowych	łotne solniska z solirodem
	śródlądowe słone łąki, pastwiska i szuwary
Wód słodkich i torfowisk	jeziora lobeliowe
	brzegi lub osuszone dna zbiorników wodnych ze zbiorowiskami z Litorelletea Isoeto Nanojuncetea
	twardowodne oligo- i mezotroficzne zbiorniki z podwodnymi łąkami ramienic Charetea
	starorzecza i naturalne eutroficzne zbiorniki wodne ze zbiorowiskami z Nymphaeion, Potamion
	pionierska roślinność na kamieńcach górskich potoków
	zarośla wrześni na kamieńcach i żwirowiskach górskich potoków
	zarośla wierzbowe na kamieńcach i żwirowiskach górskich potoków
	nizinne i podgórskie rzeki ze zbiorowiskami włosieniczników
	zalewane muliste brzegi rzek
	torfowiska wysokie z roślinnością torfotwórczą
	torfowiska wysokie zdegradowane, zdolne do naturalnej i stymulowanej regeneracji
	torfowiska przejściowe i trzęsawiska
	torfowiska nakredowe
	górskie i nizinne torfowiska zasadowe o charakterze młak, turzycowisk i mechowisk
Nieleśne	wilgotne wrzosowiska z wrzoścem bagiennym
	ziołorośla górskie i nadrzeczne
	łąki selernicowe
Leśne	bory i lasy bagienne
	łęgi wierzbowe, topolowe, olszowe i jesionowe
	łęgowe lasy dębowo wiązowo jesionowe

Oddziaływanie ekosystemów leśnych na zasoby wodne w warunkach zmian klimatycznych

Oddziaływanie ekosystemów leśnych na zasoby wodne w warunkach zmian klimatycznych powinno być analizowane w sposób zintegrowany, uwzględniający różne aspekty wpływu lasów na gospodarkę wodną i przy uwzględnieniu, że cele i zadania gospodarki wodnej również traktowane są w sposób zintegrowany.

Oddziaływanie ekosystemów leśnych na zasoby wodne w kontekście zmian klimatycznych może być wykorzystane jako narzędzie powstrzymywania tych zmian lub adaptacji do nich. Należy przy tym uwzględniać to, że:

- prowadzenie polityki związanej z zalesianiem, niezależnie od sekwestracji dwutlenku węgla, ma znaczenie dla kompensacji zmian wynikających z rosnącego stopnia urbanizacji i intensyfikacji spływu powierzchniowego;
- utrzymywanie i ochrona oraz odbudowa ekosystemów zależnych od wód ma znaczenie dla retencji naturalnej, a więc służy ochronie przed powodzią i ochronie przed suszą.

Jedne z działań ograniczających ryzyko powodziowe zaproponowane w metodyce opracowania planów zarządzania ryzykiem powodziowym (Walczykiewicz 2012) polegają na zwiększaniu retencji zlewni. Zakłada się przy tym, że zwiększenie retencji zlewni może być realizowane dwukierunkowo – poprzez dolesianie zlewni lub zwiększenie stopnia retencji istniejących obszarów leśnych poprzez odpowiednio prowadzoną gospodarkę leśną. Kolejnym działaniem z tego zakresu, które może mieć związek z gospodarką leśną, jest wykorzystanie naturalnych warunków morfologicznych zlewni, wspomaganych systemem urządzeń w celu spowolnienia spływu powierzchniowego. Spowolnienie spływu wód powierzchniowych w zlewni powoduje zmniejszenie/opóźnienie dopływu do koryta cieku, a w konsekwencji zmniejszenie fali powodziowej oraz zmniejszenie strat erozyjnych w zboczach doliny, wspierając jednocześnie możliwości rozwoju gospodarki leśnej.

Jak wspomniano wcześniej, dla Polski najbardziej dotkliwa jest zmienność w czasie występowania zasobów. Ze względu na niski stopień retencionowania powierzchniowych zasobów wód (6% średniego rocznego odpływu rzek polskich) ograniczona jest możliwość reagowania zarówno na nadmiary wód w okresach powodziowych, jak i na deficyty w okresach suszy. Ma to także wpływ na jakość wód, bowiem:

- w okresach powodziowych powstaje zagrożenie obiektów położonych na terenach zalewowych, których podtopienie wywołuje między innymi uwalnianie się do wód substancji obniżających ich jakość,
- w okresach suszy następuje koncentracja zanieczyszczeń.

Niewystarczający stopień retencji wód powierzchniowych i ich nadmierny pobór przez użytkowników powodują obniżanie poziomu wód gruntowych. Wpływa to niekorzystnie na ekosystemy zależne do wód i jednocześnie zmusza użytkowników do sięgania w większym stopniu do wód głębszych. Na obniżanie się lustra wód podziemnych wpływają również występujące długotrwale susze.

Reasumując, im większa powierzchnia terenów leśnych w zlewniach hydrograficznych, a więc wyższy wskaźnik lesistości, tym większa odporność zasobów wodnych na

zmiany i tym większy potencjał retencji naturalnej, ułatwiający wdrażanie zasad Zintegrowanego Zarządzania Zasobami Wodnymi (ZZZW) (Walczykiewicz 2012).

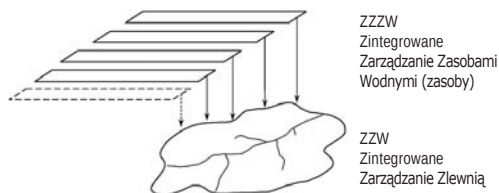
Koncepcja rozwiązań zwiększających odporność zasobów wodnych w powiązaniu z zasobami leśnymi na zmiany klimatu

Punktem wyjścia dla prowadzenia optymalnej polityki dotyczącej zasobów wodnych oraz leśnych jest jedna z zasad ZZZW, podkreślająca, że woda jest ograniczonym i wrażliwym zasobem, istotnym dla utrzymania życia, rozwoju i środowiska. Woda utrzymuje życie, a efektywne zarządzanie zasobami wodnymi wymaga holistycznego podejścia, łączącego społeczny i ekonomiczny rozwój z ochroną naturalnych ekosystemów. Efektywne zarządzanie łączy zagospodarowanie przestrzenne w tym utrzymanie powierzchni leśnych z użytkowaniem wód w całej zlewni.

Istotna jest również kolejna zasada, podkreślająca, że woda ma wartość we wszystkich konkurujących rodzajach użytkowania. W myśl tej zasady istotne jest uwzględnianie w pierwszej kolejności potrzeb ludności związanych z dostępem do czystej wody i sanitacji po przystępnej cenie. Nie uwzględnianie w pełni zasady zwrotu kosztów za usługi wodne wymaganej przez ramową dyrektywę wodną (Dyrektywa 2000/60/WE) doprowadziło do marnotrawstwa wody i szkód w środowisku wodnym. Traktowanie wody jako dobra ekonomicznego to właściwy sposób na osiągnięcie efektywnego i sprawiedliwego użytkowania oraz na zachęcanie do ochrony zasobów wodnych.

Konsekwencją wdrożenia wspomnianych zasad jest zintegrowane zarządzanie zlewnią (ZZZ; Integrated River Basin Management). ZZZ należy traktować jako aplikację zasad ZZZW na poziomie zlewni hydrograficznej.

Zgodnie z definicją przytoczoną we wprowadzeniu adaptacyjne zarządzanie zasobami wodnymi to systematyczny proces doskonalenia zarządzania poprzez analizę efektów wdrożonych strategii wodnych przy uwzględnianiu niepewności związanej z prognozami. Wprowadzenie tego procesu to wynik rosnącej liczby problemów, jakie stają przed zarządzającymi gospodarką wodną, co powoduje, że implementacja zasad ZZZW bywa utrudniona z powodu nieuwzględniania niepewności dotyczącej różnych zjawisk mających na nią wpływ. W procesie adaptacyjnego zarządzania uwzględniane są między innymi warunki lokalne, w tym zasoby leśne i zmiany klimatyczne. Działania podejmowane w ramach tego procesu ulegają zmianom, są dostosowywane do bieżących i prognozowanych warunków (Pahl-Wostl i in. 2007). Adaptacyjny proces zarządzania ma charakter iteracyjny i składa się z czterech głównych faz: oceny, formułowania polityki, implementacji polityki i monitoringu oraz



Ryc. 6. Związek zintegrowanego zarządzania zasobami wodnymi i zintegrowanego zarządzania zlewnią (źródło: Walczykiewicz 2010)

ewaluacji. Jego podstawową cechą jest szeroki udział interesariuszy (Pahl-Wostl i in. 2007) we wszystkich jego fazach. Adaptacja do zmian klimatycznych i działania z nią związane pozwolą na ograniczenie ryzyka wystąpienia strat. Ograniczenie możliwości indywidualnego traktowania problematyki planowania, wynikające np. ze specyfiki obszaru, może doprowadzić do zablokowania tego procesu. Aplikacja adaptacyjnego zarządzania zasobami wodnymi wymaga ponadto:

- uproszczenia procesu planowania;
- integracji planowania gospodarowania wodami z planowaniem przestrzennym i politykami sektorowymi, w tym również gospodarką leśną;
- przyjęcia zasady, że proces planowania według RDW jest procesem ciągłym, realizowanym w sześcioletnich cyklach, a pomiędzy poszczególnymi edycjami planów następuje ocena wyników, wprowadzanie zmian, w tym zmian wynikających z identyfikacji nowych danych, przeprowadzanych kolejnych analiz uzupełniających, jak również zmian wynikających m.in. z poprawy stanu wód;
- przyjęcia zasady, że planowanie jest procesem dynamicznym, akty prawne regulujące zagadnienie planowania powinny tę dynamikę uwzględniać i przede wszystkim być otwarte na cykliczność planów i możliwość ciągłej weryfikacji jego elementów;
- ustalenia, że proces planowania musi być wspierany pracami badawczymi poszukującymi nowych technik i doskonalącymi narzędzia oceny stanu wód, jak również instrumenty jego poprawy, wobec powyższego akty prawne muszą uwzględniać takie możliwości;
- pełnego zdefiniowania podstawowych pojęć związanych z procesem planowania, dzięki czemu akty prawne będą czytelne i jednoznaczne;
- przyjęcia zasady, że planowanie musi być procesem systematycznym, wymagającym, aby akty prawne nie podlegały zbyt częstej weryfikacji i zmianom;
- ustalenia, że akty prawne powinny pełnić rolę koordynującą, wyraźnie definiując podstawowe składniki planów i podmioty odpowiedzialne za ich przygotowanie.

W rezultacie rozważenia wymaga także kształtowanie prac planistycznych na poziomie zlewni problemowych, wyznaczonych w regionach wodnych (Prawo wodne 2001), które doprowadziłoby do opracowania planów zarządzania zlewnią jako dokumentów trzeciego poziomu planowania (po obszarach dorzeczy i regionach wodnych), uwzględniających w jednym dokumencie:

- zarządzanie ryzykiem powodziowym,
- ochronę wód i ekosystemów od nich zależnych,
- przeciwdziałanie skutkom suszy,
- bilansowanie wodnogospodarcze,
- planowanie przestrzenne, w tym gospodarki leśnej.



Ryc. 7. Plany zarządzania zlewnią (źródło: Majewski, Walczykiewicz 2012)

Wnioski i rekomendacje

Jednym z zadań, za które odpowiadają Lasy Państwowe, jest prowadzenie trwale zrównoważonej gospodarki leśnej, realizowane zgodnie z planem zarządzania lasu, z uwzględnieniem zwłaszcza następujących celów:

- zachowania lasów i korzystnego ich wpływu na klimat, powietrze, wodę, glebę, warunki życia i zdrowie człowieka oraz równowagę przyrodniczą;
- ochrony gleby i terenów szczególnie narażonych na zniszczenie lub uszkodzenie oraz o specjalnym znaczeniu społecznym;
- ochrony wód powierzchniowych, głębinowych i retencji zlewni.

Zadania te mają istotny wpływ na cele i zadania gospodarki wodnej, stąd rekomenduje się pogłębienie współpracy w zakresie planowania i realizacji działań pomiędzy regionalnymi zarządami gospodarki wodnej i regionalnymi dyrekcjami Lasów Państwowych.

Obecnie partnerami w realizacji polityki leśnej państwa są jednostki administracji państwowej i samorządowej odpowiedniego szczebla:

- administracja wojewódzka w zakresie polityki przestrzennego zagospodarowania terenu województw,
- administracja lokalna i samorządy w zakresie bezpośredniej współpracy z nadleśnictwami i wzajemnej partycypacji w procesach planistycznych

Rekomenduje się, aby do partycypacji w procesach planistycznych włączyć również regionalne zarządy gospodarki wodnej, odpowiadające za planowanie w gospodarowaniu wodami w regionach wodnych i zlewniach.

Należy ponadto podkreślić, że rozwiązania metodyczne wypracowane w ramach projektu KLIMAT pozwalają na prowadzenie szczegółowych analiz mogących służyć polityce adaptacji do zmian klimatu w obszarach leśnych. Zalicza się do nich:

- obliczanie dla dowolnego obszaru średnich hipotetycznych procentowych zmian opadu/odpływu jednostkowego na podstawie modelowania statystycznego lub dynamicznego wg 3 scenariuszy zmian klimatu A2, A1B, B1 (średnie – roczne, w półroczach hydrologicznych, w czterech porach roku w okresie 2011–2030 w stosunku do okresu 1971–1990);
- obliczanie dla dowolnego obszaru średnich hipotetycznych procentowych zmian opadu na podstawie modelowania statystycznego wg 3 scenariuszy zmian klimatu A2, A1B, B1 (średnie roczne, w półroczach hydrologicznych, w czterech porach roku w okresie 2081–2100 w stosunku do okresu 1971–1990);
- obliczanie z wartości odpływu jednostkowego przedstawionego w postaci grid średniego odpływu dla przekroju zamykającego dowolny obszar hydrograficzny, szczególnie dla okresu 1971–1990 z wykorzystaniem opracowanej procedury;
- określanie obszarów, w których wykorzystywanie zasobów wodnych powinno być podporządkowane zachowaniu walorów środowiskowych i rekreacyjnych (przy uwzględnieniu działań renaturyzacyjnych i rewitalizacyjnych dla rzek).

Bibliografia

- America's Climate Choices. 2011. Washington, The National Academy of Sciences.
- Boeker E., Grondelle van R. 2002. Fizyka środowiska. Warszawa, PWN.
- Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. ISBN 978 0521 88009-1.
- Commission of the European Communities. 1995. CORINE Land Cover. Brussels. <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>.
- Commission of the European Communities. 2009. White paper. From the commission to the council, the European parliament, the European economic and social committee and the committee of the regions. Adapting to climate change in Europe – options for EU action. Brussels.
- Dooge J.C.I. 2012. Hydrologic models and climate change. *Journal of Geophysical Research, Atmospheres*, 97, D3.
- Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustalająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, Dz.U. L 327 z 22.12.2000, s. 1–73.
- Dyrektywa 2006/118/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu (zwana dyrektywą córką RDW), Dz.U. L 372 z 27.12.2006, s. 19–31.
- Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim (zwana w skrócie dyrektywą powodziową). Dz.U. L 288 z 6.11.2007, s. 27–34.
- G8 Summit Analysis Part I: Issue Objectives Reports. 2007. A review of the G8's objectives in selected issue areas at the 2007 Heiligendamm Summit.
- Herbich J. (red.) 2004. Murawy, łąki, ziołorośla, wrzosowiska, zarośla. Poradniki ochrony siedlisk i gatunków Natura 2000 – podręcznik metodyczny. T. 3, Warszawa, Ministerstwo Środowiska, s. 101.
- IPCC I, 2007 : Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller – eds). Cambridge, United Kingdom Cambridge University Press.
- IPCC III, 2007: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer – eds). Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press.
- Madeyska T., Marks L. 2008. Zmiany klimatu. Jakie były, jakie są i co nam przyniosą. Warszawa, Polska Akademia Nauk.
- Majewski W., Walczykiewicz T. 2012. Zrównoważone gospodarowanie zasobami wodnymi oraz infrastrukturą hydrotechniczną w świetle prognozowanych zmian klimatycznych. Warszawa, IMGW PIB.
- Ministerstwo Środowiska. 2003. Krajowy Program Zwiększania Lesistości. Warszawa.
- Pahl-Wostl C., Craps M., Dewulf A., Mostert E., Tabara D. and Taillieu T. 2007. Social Learning and Water Resources Management, *Ecology and Society* 12(2) <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss2/art5/>.
- PO IG dla środowiska 2012: PO IG dla środowiska. Przewodnik po projektach Programu Innowacyjna Gospodarka. Warszawa, Ministerstwo Rozwoju Regionalnego.
- Prawo wodne 2001. Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Dz.U. z 2001 r. Nr 115, poz. 1229.
- Randall D.A., Wood R.A. 2007. Climate Models and Their Evaluation. w: *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds), 589–662. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wgl/ar4-wgl1-chapter8.pdf>.
- Robock A. 2000. Volcanic eruptions and climate. *Reviews of Geophysics*, 38, 2, 191–219.
- SRES 2000: Special Report on Emissions Scenarios: Summary for Policymakers. 2000. Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, The Netherlands. http://www.grida.no/publications/other/ipcc_sr/?src=/climate/ipcc/emission/index.htm.

- Walczykiewicz T. (red.) 2012. *Metodyka opracowania planów zarządzania ryzykiem powodziowym dla obszarów dorzeczy i regionów wodnych. Raport Końcowy*. IMGW PIB na zlecenie Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej.
- Walczykiewicz T. 2008. Zasoby wodne i użytkowanie, w: Cygler M. i Miłaszewski R. (red) *Materiały do studiowania ekonomiki zaopatrzenia w wodę i ochrony wód*. Białystok, Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych, s. 11–33.
- Walczykiewicz T. 2010. *Ryzyko w Zintegrowanym Zarządzaniu Zasobami Wodnymi*. IMGW.
- Zielona Księga 2007: *Zielona Księga Komisji dla Rady, Parlamentu Europejskiego, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Adaptacja do zmian klimatycznych w Europie – warianty działań na szczeblu UE*. Komisja Europejska {SEC (2007) 849}.

Opracowania ekspertów

SESJA

3

Wartości substytucyjne drewna

dr Władysław STRYKOWSKI, prof. nadzw.

Instytut Technologii Drewna w Poznaniu

Wstęp

Celem niniejszego opracowania jest syntetyczne przedstawienie relacji między drewnem jako paliwem ekologicznym a jego głównymi substytutami w ujęciu energetycznym (węgiel kamienny, węgiel brunatny, ropa naftowa, gaz ziemny).

Substytucja to działanie polegające na tym, że jeden produkt jest stosowany przez jego nabywcę do realizacji określonych funkcji zamiast innego¹. Definicja ta, pomimo swojej prostoty, wydaje się być uniwersalna – chociaż w wielu podręcznikach z zakresu gospodarki materiałowej można znaleźć różne jej wersje.

Zagrożenia ze strony produktów substytucyjnych mają miejsce w większości branż, tym niemniej substytucja jest jedną z pięciu sił konkurencji określających poziom rentowności branży. Z jednej strony zagrożenie ze strony produktów substytucyjnych decyduje o stabilizacji górnej granicy cen produktów substytowanych, a z drugiej zjawisko substytucji w decydującym stopniu wpływa na poziom popytu zarówno na produkty określonych firm, jak i całej branży.

Miarą energii chemicznej zawartej w paliwie, którą można przetworzyć na energię cieplną, jest wartość opałowa² (np. gazu ziemnego 48 MJ/kg, ropy naftowej 47 MJ/kg, węgla kamiennego 30 MJ/kg) (tab. 1). Paliwa, zgodnie z definicją w Encyklopedii PWN³, są to substancje wydzielające podczas spalania duże ilości ciepła i gazów, zwykle pochodzenia organicznego – stałe, głównie węgle kopalne, drewno, ropa naftowa, oleje, gazowe m.in. gaz ziemny, stosowany do ogrzewania, uzyskiwania energii elektrycznej i inne.

Inaczej można powiedzieć, że wartością opałową jest ilość ciepła, jaką uzyskuje się w procesie spalania całkowitego i zupełnego jednostki substancji palnej w warunkach, w jakich produkty zostają schłodzone do temperatury substratów, a zawarta w nich para nie ulega skropleniu.

Pochodną miarą jest „wartość ciepła spalania”, tj. ilość ciepła powstała w warunkach określonych wartością opałową powiększoną o ciepło całkowitego wykroplenia pary wodnej.

¹ Porter M.E.: Przewaga konkurencyjna. Osiąganie i utrzymywanie lepszych wyników ekonomicznych. New Media, Warszawa 2010 s. 417–420.

² Wartość opałowa jest także używana zamiennie jako wartość energetyczna.

³ Zob. Encyklopedia PWN w trzech tomach. Warszawa 2006. PWN Tom II s. 645.

Tabela 1. Porównanie składu i wartości opalowej drewna i paliw kopalnianych

Paliwo	C	H	O	N + S	Wartość opalowa	Części lotne
	%				MJ/kg	%
Drewno w stanie suchym	50	6,0	43,0	1,0	14,5	75
Węgiel brunatny	70	5,0	24,0	0,8	21,0	50
Węgiel kamienny	82	5,0	12,0	0,8	30,0	35
Ropa naftowa	89	8,4	2,0	0,6	47,0	
Gaz ziemny	86	6,5	0,1	0,1	48,0	

Źródło: Kordylewski W. (red) 2001. Spalanie i paliwa. Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, s. 396.

W tabeli 1 porównano wartość opalową drewna i innych paliw kopalnych, udział ważniejszych pierwiastków i części lotnych drewna. Z przedstawionych danych wynika, że około dwóch ton suchego drewna energetycznie odpowiada jednej tonie dobrego węgla kamiennego. Dla drewna charakterystyczna jest wysoka zawartość tlenu, jak również części lotnych, a jednocześnie niższy udział pierwiastka węgla niż w przypadku węgla brunatnego, kamiennego, ropy naftowej i gazu ziemnego. Ponadto drewno, w porównaniu z węglem, charakteryzuje się małą zawartością popiołu (tab. 2), co – w odróżnieniu od małej gęstości – jest jego zaletą. Popiół ze spalania drewna wykorzystywany może być jako nawóz mineralny.

Aktualnie drewno stanowi najważniejszy odnawialny nośnik energii, który jest konkurencyjny w stosunku do paliw kopalnych. Energetyczne użytkowanie drewna nie powoduje wzrostu efektu cieplarnianego, ponieważ bilans CO₂ w cyklu energetycznego przetwarzania drewna jest zerowy, gdyż to, co zostaje wyemitowane do atmosfery, jest pobrane przez rośliny w czasie ich wzrostu. Jednocześnie też spalane drewno, w porównaniu ze spalaniem węglem, powoduje mniejszą emisję takich zanieczyszczeń, jak NO_x i SO₂.

W krajach UE od pewnego czasu wzrost wykorzystania drewna jest wspierany w poszczególnych państwach, zarówno poprzez ustawodawstwo, jak i odpowiednią promocję, co jest potwierdzone przez dyrektywę dotyczącą spalania surowców ze źródeł odnawialnych, przyjętą w 2009 r.⁴

Zarówno w państwach UE, jak i w Polsce istnieją możliwości dalszego zwiększania wykorzystania drewna na cele energetyczne poprzez:

- uprawę drzew szybkorosnących (wierzba, topola, olcha, wiklina)⁵,
- poprawę gospodarki leśnej, szczególnie sektora niepaństwowego,

⁴ Użycie odnawialnych źródeł energii uwalnia uzależnienie gospodarki od paliw kopalnych (węgiel, ropa, gaz). W 2009 roku Europejski Parlament i Rada przyjęli Dyrektywę 2009/28/EC dotyczącą promocji użycia energii pochodzącej z odnawialnych surowców. Strategia ta została potwierdzona w 2010 roku przez UE w formule, że do 2020 roku 20% energii państw UE powinno pochodzić ze źródeł odnawialnych.

⁵ W marcu 2012 roku międzynarodowa firma International Paper (IP) ogłosiła podpisanie umowy, na mocy której na Pomorzu powstała największa w Europie plantacja biomasy. Zob. Duda S. Największa w Europie plantacja drzew energetycznych. Przegląd Papierniczy, kwiecień 2012.

- stworzenie efektywnych systemów pozyskania drewna staroużytecznego, którego wielkość w Polsce w skali roku szacuje się na kilka mln m³,
- import surowca drzewnego przy jednoczesnym ograniczeniu jego eksportu.

Istotny wpływ na wartość energetyczną drewna ma jego wilgotność. W przypadku jej ujednolicenia okazuje się, że wartość energetyczna różnych gatunków drewna jest zbliżona (tab. 2).

Tabela 2. Niektóre techniczne parametry spalania węgla kamiennego i brunatnego w porównaniu z drewnem

Nazwa	Wartość opałowa (MJ/kg)	Wartość spalania (MJ/kg)	Zawartość popiołu (%)	Punkt mięknięcia popiołu (°C)
Drewno świerka (w korze)	18,8	20,2	0,6	1,426
Drewno buka (w korze)	18,4	19,7	0,5	..
Drewno topoli (z upraw krótkiego rębny)	18,5	19,8	1,8	1,335
Drewno wierzby (z plantacji krótkiego rębny)	18,4	19,7	2,0	1,283
Kora iglasta	19,2	20,4	3,8	1,440
Dla porównania				
Węgiel kamienny	29,7	..	8,3	1,250
Węgiel brunatny	20,6	..	5,1	1,050

Źródło: opracowano na podstawie Basisdaten Bioenergie Deutschland August 2012. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

Przez długie lata drewno jako paliwo było stosowane najczęściej w postaci: gałęzi, zrębków, kory, trocin i innych odpadów, natomiast w ostatnich kilku latach na coraz większą skalę użytkowane jest w postaci peletów – produktu powstałego z odpadów, ukształtowanego w wysokiej temperaturze i o odpowiednim ciśnieniu. Pelety drzewne mają 30-letnią historię stosowania w Europie, jednakże gwałtowny wzrost ich zużycia ma miejsce dopiero od kilku lat⁶.

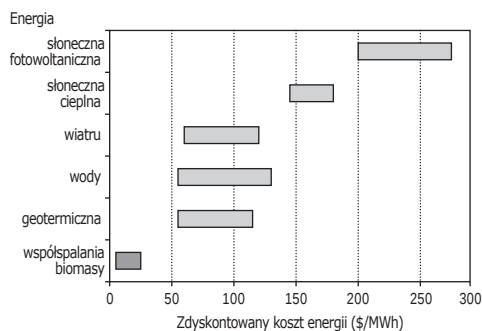
Główne czynniki determinujące gwałtowny rozwój rynków peletów to:

- wzrost cen nośników energii pochodzących ze źródeł nieodnawialnych (węgiel, ropa, gaz),
- zgodnie z ustaleniami na poziomie UE poszczególne kraje zobowiązane są do 2020 roku zwiększyć do 20% udział zużywanej energii pochodzącej z biomasy, a więc głównie ze spalania drewna. W tym celu dla elektrowni spalających bądź współspalających biomasę wprowadzono system dotacji, które wielkość zależy od wielkości spalania.

Pelety drzewne charakteryzują się wartością energetyczną nieco wyższą od spalane-go drewna i składem popiołu podobnym do składu popiołu z drewna. Ceny peletów na europejskich rynkach przez długi czas utrzymywały się na relatywnie niskim poziomie

⁶ W. Strykowski. Rynki pelet drzewnych. Przemysł Drzewny, 2012, 5.

w odniesieniu do cen innych źródeł energii (ryc. 1). Pomimo że w ostatnim roku nieco wzrosły⁷, nadal są konkurencyjne.



Ryc. 1. Jednostkowe koszty odnawialnych źródeł energii (źródło: Renewable Energy Transmission Initiative Phase 1A 2012 r.)

ne są pozytywne efekty ekologiczne, energetyczne i społeczne (zagospodarowanie różnych odpadów drzewnych, spalanie bez emisji CO₂, powstawanie nowych miejsc pracy).

Efektywne i bezpieczne spalanie drewna stawia przed użytkownikami tego procesu wymagania dotyczące instalacji energetycznych umożliwiających uzyskiwanie opłacalnej sprawności.

Spalanie węgla kamiennego łączy się z pewnymi niedogodnościami wynikającymi ze składu chemicznego paliwa, a mianowicie powoduje emisję pyłów i zanieczyszczeń organicznych, a także emisję tlenków azotu i związków siarki powodujących kwaśne deszcze (zamieranie lasów). Wysoka emisja CO₂ wpływa na występowanie efektu cieplarnianego, który polega na konwersji promieniowania słonecznego krótkofalowego o długości 0,1–4 mm, które przenika przez atmosferę ziemską, na promieniowanie podczerwone, uwięzione (zaabsorbowane) przez gazy cieplarniane w atmosferze ziemskiej, odpowiadając za wzrost średniej temperatury powierzchni Ziemi o 33°C w porównaniu z temperaturą ciała czarnego bez efektu cieplarnianego i zapewniając tym samym warunki do życia na ziemi. Wobec wzrostu ilości CO₂ oraz wzrostu średniej temperatury na ziemi efekt cieplarniany pogłębia się i może wywołać katastrofę ekologiczną⁸.

Gaz ziemny charakteryzuje się wysoką wartością opałową, niskim poziomem emisji substancji szkodliwych – jego podstawowym mankamentem jest konieczność importu, gdyż własne zasoby pokrywają tylko niewielką część krajowego popytu.

Tabela 2 przedstawia dane porównawcze składów elementarnych paliw stałych. Węgiel jest stosowany w różnych procesach spalania, zależnie od wielu czynników, takich jak region kraju, miejsce wydobycia, sposób przetwarzania bądź uzdatniania. Partie węgla różnią się zawartością siarki i chloru, a także innymi składnikami stanowiącymi o jego jakości, jak np. zawartością popiołu, substancji mineralnych i innych.

Pelety charakteryzują się zaletami ze względu na logistykę, takimi jak niska zawartość wilgoci, standardowe jednostki ładunkowe oraz wysoka efektywność składowania i obsługi.

Pelety są oparte na odpadach drzewnych w różnej postaci. Rynek peletów jest najbardziej dynamicznie rozwijającym się rynkiem produktów drzewnych, szczególnie w zachodniej Europie, gdzie pomimo że deficyt drewna jest tam najmniejszy, to ceny drewna są wysokie.

W wyniku rosnącego zakresu spalania peletów drzewnych lepiej dostrzegane

⁷ Zob. Biomass Market Update ICE/13. Wood Resources Quarterly, 26, 1, April 2013.

⁸ Zob. Lewandowski M.: Proekologiczne odnawialne źródła energii. Warszawa, WNT 2006, s. 32.

Biorąc pod uwagę podstawowe czynniki decydujące o spalaniu drewna jako nośnika energii, można stwierdzić, że spalanie drewna, w porównaniu ze spalaniem węgla, jest przyjazne dla środowiska naturalnego.

Drewno, węgiel brunatny i kamienny różnią się pod względem zarówno zawartości, jak i składu popiołu. Spalone drewno, w zależności od gatunku, zawiera 0,6–2% popiołu, natomiast węgiel brunatny 5,1%, a kamienny 8,3% popiołu.

Efektywność energetyczna w podstawowym stopniu decyduje o realizacji określonych celów przyjętych przez sektor energetyczny, przy niezmienności pozostałych czynników przyjętych przez tę gałąź gospodarki. W listopadzie 2012 roku w Ministerstwie Gospodarki odbyła się konferencja „Efektywność energetyczna jako narzędzie realizacji celów klimatycznych”⁹. Zasadniczy przedmiot obrad dotyczył takich problemów, jak: zrównoważony rozwój i racjonalne wykorzystanie zasobów przyrody na tle tempa wzrostu gospodarek państw europejskich. W trakcie obrad podkreślono, że Polska wprawdzie nie należy do przodujących emitentów gazów cieplarnianych na świecie, ale z powodu swojej gospodarki znajduje się wśród mało efektywnych energetycznie państw Unii Europejskiej. Emisje w przeliczeniu na jednego mieszkańca zbliżone są do średniej europejskiej, ale dochód narodowy znacznie odbiega od poziomu europejskiego. Zasadniczy wpływ na tę sytuację ma oparcie polskiej energetyki wytwarzającej energię elektryczną w około 90% na węglu. Ponadto rosną emisje pochodzące ze środków transportu, których corocznie przybywa w kraju. W ocenie Światowej Rady Energetyki efektywność energetyczna Polski w ostatnich 20 lat wzrosła, ale nadal jest niższa niż w państwach zachodnich Unii Europejskiej. Zwiększenie efektywności energetycznej jest najtańszym rozwiązaniem ograniczającym emisję i jednocześnie zwiększającym bezpieczeństwo energetyczne kraju. Ministerstwo Gospodarki zamierza stworzyć odpowiednie instrumenty stymulujące wzrost efektywności i wykorzystywanie technologii, m.in. decentralizując wytwarzanie energii, stymulując powstanie intelektualnych sieci przesyłu energii i inne. Warto podkreślić, że krytycznym parametrem w efektywnym spalaniu paliw kopalnych, podobnie jak i drewna, jest stosunek ilości powietrza do czystego paliwa, który decyduje o efektywności energetycznej procesów spalania paliw.

W Polsce przez długi czas wykorzystywano drewno do celów energetycznych w niewielkim zakresie ze względów na dostatek węgla kamiennego i odpowiednie do jego właściwości urządzenia spalające.

Wraz z rozwojem przemysłów opartych na drewnie, dzięki koniunkturze gospodarczej, a także świadomości niebezpieczeństwa, jakie pociąga za sobą spalanie węgla kamiennego, w ostatnich latach przybywa odbiorców drewna, głównie w energetyce i w przemysłach opartych na drewnie, w nowoczesnej chemii i innych. W nomenklaturze surowca drzewnego prawie znika pojęcie odpadów, gdyż są one wykorzystywane w coraz większym zakresie do celów produkcyjnych (płyty drewnopochodne, celuloza), stając się jednocześnie coraz bardziej popularnym źródłem odnawialnej energii w Polsce i w całej UE.

⁹ Konferencja została zorganizowana przez Ministerstwo Gospodarki wspólnie z Polskim Komitetem Światowej Rady Energetycznej (WEC). SPP Newsletter, grudzień 2012 r.

W prestiżowym czasopiśmie europejskim o zasięgu światowym „The Economist” (April 6th 2013) opublikowany został artykuł „Wood fuel of the future”, dotyczący walo-rów drewna, ważnego źródła energii odnawialnej na tle pozostałych źródeł, które dostar-czają niewielki odsetek energii odnawialnej (siła wiatru, słońce, geotermia) zużywanej w Europie. W niektórych państwach (Finlandia, Polska) ze spalania drewna pochodzi około 80% energii odnawialnej. W tej sytuacji okazuje się, że bez współspalania węgla i drewna zmniejszenie do 2020 roku emisji gazów cieplarnianych zgodnie z ustaleniami UE będzie nierealne.

W Polsce w dalszym ciągu nie ma ustawy dotyczącej odnawialnych źródeł energii (OZE), która powinna regulować wszystkie kwestie gospodarki energetycznej opartej na źródłach odnawialnych. Ze wspomnianego wcześniej artykułu „Wood fuel of the fu-ture” wynika, że jesteśmy dopiero na początku drogi rozwiązywania podstawowych kwestii spalania i współspalania drewna i węgla. Prawdopodobnie w najbliższych latach lawinowo nastąpi dostosowywanie do współspalania kotłów w elektrowniach opalanych dotychczas węglem. Również produkcja peletów w ostatnich dwóch latach wzrosła trzy-krotnie i rośnie dalej. Pozostają nierozwiązane problemy dotyczą emisji CO₂ i możliwo-ści ich ograniczenia.

Wartość substytucyjna drewna

W relacji do wysokoemisyjnych materiałów i surowców (stal, beton, plastik, cegła) drewno jest najbardziej środowiskowo przyjaznym materiałem, jaki człowiek otrzymuje od natury.

Polityka klimatyczna, której celem jest ograniczenie niekorzystnych zmian klimatu, jest głównym kryterium polityki energetycznej UE. Od pewnego czasu użytkowanie drewna i odpadów drzewnych w różnych postaciach wiąże się ze wzrostem znaczenia energii odnawialnej i zmianami klimatycznymi UE i całego globu¹⁰.

Proces substytucji odnawialnych, lecz ograniczonych zasobów drewna przez takie materiały, jak stal, beton, plastik, aluminium i inne, trwa nadal. Proces ten prowadzi do wypierania z rynku drewna. Kraje rozwinięte próbują przeciwstawiać się tym procesom, a kraje biedne nie mają w tym zakresie większych szans.

Drewno jest odnawialnym i uniwersalnym surowcem. Jest stosowane w budow-nictwie, urządzaniu domów do produkcji mebli, opakowań, palet, transportu i tysięcy różnych zastosowań. W końcu pierwszego cyklu życia drewno bądź produkty drzewne mogą być:

- wykorzystane ponownie (wood recovery)
- poddane odzyskowi – recykling (re-used)
- wykorzystane jako neutralne w stosunku do węgla źródło energii (used as carbon-neutral sources of energy).

Biorąc pod uwagę cykl węgla, warto zwrócić uwagę na kolejność użycia drewna jako alternatywy kopalnego materiału (węgiel, gaz, ropa), tak aby uzyskać największe

¹⁰ Wood consumption as a source of energy in the EU.. In: Forestry in the EU and the Word EUROSTAT, European Commission 2011.

korzyści nie tylko w zależności od długości magazynowania węgla, lecz także w zależności od energii zaoszczędzonej i wykorzystanej w ostatnim produkcie. Substytuty zostały wprowadzone na miejsce drewna z wielu względów, z których najważniejsze to:

- duże możliwości w kształtowaniu skali produkcji,
- korzystniejsze właściwości niektórych substytutów,
- większa możliwość obniżania kosztów i cen substytutów dzięki skali produkcji.

Najwięcej substytutów drewna w skali globalnej stosowanych jest obecnie w budownictwie, w którym znajdują zastosowanie wszystkie wymienione wcześniej – stal, beton, plastik, cegła. Energia użyta w budownictwie, włączając produkcję, transport i powstanie budynku, jest znacznie niższa w przypadku systemu opartego na materiałach drzewnych (ryc. 2). Niestety, dotychczas nie udało się opracować odpowiednich wzorców – standardów umożliwiających porównanie wartości substytutu na tle surowca substytuowanego, jakim jest drewno. Od pewnego czasu porównuje się natomiast znaczenie i siłę przemysłów wytwarzających materiały substytucyjne¹¹. Jednakże nie ma to wiele wspólnego z promocją drewna jako surowca i materiału. Wyniki porównań informują o silnych i słabych stronach poszczególnych wytwórców. W rzeczywistości w dużym stopniu na ich pozycję rynkową wpływa siła promocji, największa w najbogatszych przemysłach (stal, aluminium, beton), a najslabsza – u producentów drewna.

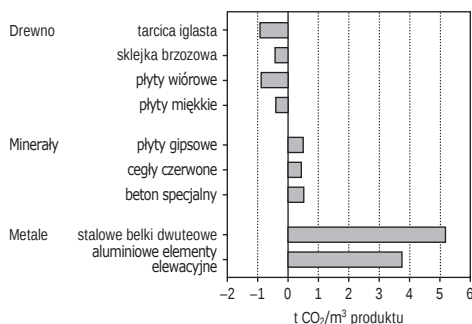
Ze względu na zadania, jakie stoją się przed gospodarką w procesie globalnego ocieplenia i konieczności ograniczenia gazów cieplarnianych, rola drewna – wychwytywanie i magazynowanie CO₂ – ciągle wzrasta. Nie ulega wątpliwości, że w procesie globalnych zmian klimatu głównie lasy i produkty oparte na drewnie są w stanie neutralizować te efekty emisji gazów cieplarnianych.

Ważnym kierunkiem przeciwdziałania ociepleniu klimatu jest ograniczanie popytu na energię poprzez:

- zmianę zachowań konsumpcyjnych,
- zmiany technologiczne (usprawnienia dotyczące efektywności technologicznej).

W tym celu konieczne jest zwiększenie dostaw drewna poprzez uruchomienie nowych źródeł dostaw, wzrost dostaw z istniejących źródeł oraz wzrost importu drewna, w przypadku niedostosowania jego popytu do podaży.

Podczas wytwarzania produktów drzewnych, a także w trakcie spalania produktów drzewnych powstaje bardzo mało odpadów lub wcale. Zrębki, trociny i kora, pozostające podczas produkcji materiałów drzewnych, są zużywane na miejscu do produkcji energii



Ryc. 2. Emisja netto CO₂ w trakcie cyklu życia wybranych materiałów budowlanych (źródło: Tackle Climate Change: Use Wood 2004)

¹¹ Gil W. Drewno jako surowiec XXI wieku. Sylwan, 3/2011, oraz Burrows J., Sanness B. (red.) The competitive climate for Wood products and paper packaging: the factors causing substitution with emphasis on environmental promotions. A study performed by the Substitution Project subgroup of the joint FAO/ECE Team on Public Relations Specialists in the Forest and Forest Industries Sector, Oslo. 1998.

cieplnej wykorzystywanej do suszenia i innych operacji, a często także do produkcji płyt drewnopochodnych bądź celulozy. Rosnące zainteresowanie tym źródłem energii wykazują również przedsiębiorstwa spalające biomasę.

Drewno – substytut dla innych materiałów

Drewno może być często użyte do substytucji materiałów, takich jak stal, aluminium, beton, które potrzebują dużej ilości energii do ich produkcji. W większości przypadków energia niezbędna do obróbki i transportu drewna jest mniejsza jak energia zmagazynowana w tym drewnie w trakcie fotosyntezy.

Energetyka jest jednym z najważniejszych źródeł zanieczyszczeń atmosfery. Dotyczy to zarówno energetyki wykorzystującej paliwa kopalne (węgiel kamienny, brunatny, gaz, ropę), jak i energetyki ciepłej, korzystającej ze źródeł odnawialnych (drewno). Spalanie, szczególnie węgla, prowadzi do zanieczyszczenia atmosfery przez emisje zanieczyszczeń gazowych (CO , CO_2 , NO_x , SO_x) i przez zanieczyszczenia pyłowe.

Zaletą spalania drewna jest „zerowa emisja” dwutlenku węgla, gdyż w trakcie spalania wydziela się go tyle, ile pobiera drewno w procesie jego powstawania. Jednakże pozostaje problem emisji gazów związanych z niedoborem tlenu w procesie spalania, CO , aldehydów oraz innych związków organicznych.

Dotychczas nie opracowano zweryfikowanych wzorców pozwalających na obiektywną, wieloczynnikową ocenę stosowanych substytutów¹². Próby takie podejmowane są od długiego czasu w wielu krajach Europy i Ameryki (Szwajcaria, Niemcy, Holandia, Szwecja, a także USA). Coraz powszechniej stosowana analiza cyklu życia (LCA) umożliwia dokonanie pewnych porównań dotyczących substytutów w odniesieniu do drewna w zbliżonej, acz niepodobnej formule.

Aktualnie przyrost miąższości w lasach UE jest większy niż pozyskanie, tym niemniej istnieje konflikt między użytkownikami drewna na cele produkcyjne i dla potrzeb energetyki.

Wydaje się, że w państwach UE zaczyna dominować pogląd, że w pierwszej kolejności powinno być zużywane drewno, które nie spełnia już innych wymagań niż te, które wynikają z kaskadowego modelu wykorzystania drewna. W przyszłości warunki stosowania drewna na różne cele będą ulegać zmianom.

Wzrost popytu ze strony przemysłów opartych na drewnie i sektora energetycznego

Jest wiele różnych źródeł energii drzewnej. Należą do nich: zrębki leśne, kora drzew, drewno pochodzące z czyszczeń i trzebieży, odpady tartaczne, przy produkcji płyt drewnopochodnych, drzewnej stolarki budowlanej, produkcji mebli itp. Około 70–75% energii drzewnej pochodzi ze spalania odpadów. W różnych branżach przemysłu energia ta

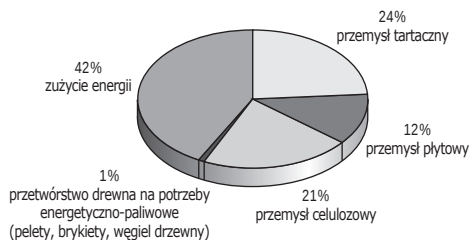
¹² Zob. W. Gil. Drewno jako surowiec XXI wieku. Sylwan, 2011, 3.

wykorzystywana jest do suszenia materiałów tartacznych, produkcji płyt i na inne cele. Wykorzystanie energii z drewna ma miejsce także w nowoczesnej skojarzonej gospodarce energetycznej (Combined Heat and Power). Wzrost popytu na drewno następuje zatem zarówno ze strony przemysłów opartych na drewnie, jak i przez sektor energetyczny.

Drewno jest używane zarówno na cele energetyczne (bezpośrednio w postaci drewna opałowego, przetworzonego paliwa drzewnego oraz pozostałości poprodukcyjnych), jak i do produkcji wyrobów drzewnych (drewno wykorzystywane w tartakach oraz w przemyśle płytowym i celulozowo-papierniczym). Udział różnych form wykorzystania drewna opublikowanych w 2010 roku¹³ przedstawiono na rycinie 3. Zaledwie około 1/3 drewna z 42% przedstawionych na tym rysunku jako „zużycie na cele energetyczne” pochodzi bezpośrednio z lasów (tzn. 29% drewna pozyskanego z lasów), podczas gdy 2/3 z tych 42% opisanych jako „zużycie na cele energetyczne” to odpady poprodukcyjne z przemysłowego przetwórstwa drewna, w tym ług posiarczanowy z produkcji papieru¹⁴. Zatem śmiało można założyć, że w krajach najwyżej rozwiniętych nie istnieje zbyt duży margines zwiększenia zużycia na cele energetyczne pozostałości poprodukcyjnych z przemysłu drzewnego (UNECE 2007), gdyż już obecnie są one wykorzystywane bardzo efektywnie.

Na tej podstawie można stwierdzić, że w najbardziej zaawansowanych technologicznie krajach niewielki jest wzrost zużycia energetycznego odpadów pochodzących z procesów produkcyjnych w przemysłach przerobu drewna, gdyż zużywa się je bardzo efektywnie. Od kiedy drewno stało się głównym źródłem energii odnawialnej, oczekuje się, że będzie to miało duży wpływ także na sektor leśny, w tym na zużywanie biomasy pochodzącej z lasów i z rolnictwa na cele energetyczne. Oczekuje się, że w nadchodzących dekadach nastąpi wzrost popytu na drewno dla różnych przeznaczeń. Stąd efektywność dostaw drewna staje się rosnącą barierą dla niektórych zakładów i branż. Tylko rozwój innowacyjności technologii może odwrócić ten trend.

Drewno jest surowcem strategicznym, stąd przemysły oparte na drewnie dążą do wykorzystania drewna w optymalny sposób, maksymalizując zużycie odpadów i drewna użytkowego, które zgodnie z dyrektywą 1999/31/EC powinny być wywiezione na wysypiska. Każdego roku przemysły oparte na drewnie UNECE produkują 169 mln m³ (w ekwiwalencie drewna litego produktów finalnych). Aktualnie jedna trzecia z tej wielkości jest odzyskiwana i poddawana procesowi recyklingu. Problem właściwego wykorzystania zasobów drzewnych stanowił przedmiot dyskusji Komitetu Drzewnego i FAO w maju 2012 roku, w wyniku której wypracowano następujące wnioski.



Ryc. 3. Struktura wykorzystania drewna w UE, 2007 (% zużycia drewna ogółem) (źródło: UEd-rewno 2009)

¹³ Environmental statistics and accounts in Europe. Eurostat 2010 edition s., 280.

¹⁴ Mantau U. i Steierer, F. 2008. Wood resources availability and demands – Pt.1: National and regional wood resource balances 2005 – EU/EFTA countries. UNECE, s. 65.

Rozwój sektora energii drzewnej i jasne zdefiniowanie drewna przeznaczanego na cele energetyczne w ramach łańcucha dostaw ogranicza ryzyko niepotrzebnej konkurencji o włókno drzewne z innymi przemysłami zainteresowanymi drewnem. Chodzi o objęcie modelem kaskadowym utylizacji drewna, umożliwiając jego efektywne zużycie do produkcji materialnej i wytwarzania energii, a spalając drewno tylko ostatniej partii, co maksymalizuje cały łańcuch wartości. Ta identyfikacja pomiędzy poszczególnymi etapami zużycia powinna być oparta na pełnej analizie cyklu życia drewna.

Dotychczasowa praktyka wskazuje, że wszelkie subwencje, dotacje i zachęty wprowadzane w celu zwiększenia zużycia drewna na cele energetyczne są przyczyną nieefektywnej konkurencji na rynku drewna.

Drewno jest unikatowym materiałem charakteryzującym się zdolnością do gromadzenia węgla z jednej strony i do produkowania tlenu – z drugiej. Stąd też, tak długo, jak drewno jest stosowane, tak długo neutralizuje węgiel. W wielu przypadkach cykl życia może się powtarzać kilkakrotnie. Stąd zarówno analiza cyklu życia (LCA), jak i środowiskowa deklaracja produktu (EPD) stanowią narzędzia do zmiany klimatu.

Analiza cyklu życia (LCA)

Wielu dostawców drewna, którzy mają bezpośredni kontakt z odbiorcami końcowych wyrobów, ma świadomość pozytywnego wpływu przemysłów opartych na drewnie na środowisko.

Produkty drzewne, ze względu na klimat, mają specjalne znaczenie, które systematycznie się zwiększa i jest rozpoznawane przez społeczeństwa. Niezbędne jest rozwijanie strategii pozytywnego popierania przemysłów opartych na drewnie. Konieczne jest zrozumienie roli gazów cieplarnianych emitowanych w trakcie cyklu życia produktów. Analiza cyklu życia produktów (LCA) jest jednym z głównych narzędzi do ustalania wpływu gazów cieplarnianych (Greenhouse Gas – GHG) i pozostałych elementów środowiska. Sektor przemysłów opartych na drewnie podejmuje analizy z uprzywilejowanych pozycji, ponieważ drewno stanowi naturalny magazyn CO₂ w trakcie całego życia produktów drzewnych.

Produkty drzewne pozyskiwane w lasach tworzą odpowiedni rezerwuar węgla. Jest to ważny czynnik klimatyczny, a jego wykorzystanie umożliwia zredukować udział paliw kopalnych poprzez substitucję biomasą drzewną. Produkcja i transport produktów drzewnych wymaga mniej kopalnych źródeł energii niż wysokoenergetyczne materiały budowlane, takie jak aluminium, stal i beton. Niedawne badania wykazały, że produkcja stali i betonu jako materiałów budowlanych generuje więcej gazów cieplarnianych (GHG)¹⁵ i wymaga do dwóch razy więcej energii niż produkcja produktów drzewnych.

Można zwrócić uwagę, że rozwiązaniem najlepszym ze względu na łagodzenie klimatu byłaby kombinacja występujących tutaj surowców, czego efektem byłby produkt

¹⁵ Zob. Taverna R., Hofer P., Werner F., Kaufmen, Thüring E., 2007: The CO₂ effects of the Swiss forestry and timber industry, scenarios of future potential for climate – change mitigation. Environmental studies no. Federal Office for the Environment, Bern, 102 pp.

drzewny zużyty najpierw jako materiał budowlany, który magazynowałby węgiel i byłby substytutem dla bardziej energetycznego materiału budowlanego, a w końcu życia jako produkt drzewny stałby się substytutem kopalnego źródła energii. Takie użycie drewna może pomóc optymalizować pozytywne efekty klimatyczne¹⁶.

Promocja drewna

Drewno jest surowcem o właściwościach pożądanых zarówno ze społecznego punktu widzenia, jak i z powodu preferencji indywidualnych. Aktualnie metodą, która umożliwi w dużym stopniu poznanie zalet drewna w całym jego bogactwie, jest analiza cyklu życia (LCA) materiałów z drewna i ich substytutów, wskazująca na przewagę tych pierwszych¹⁷. Promocja drewna powinna pełnić przypisane jej funkcje. Skutki takiej promocji widoczne są w państwach UE, gdzie zużycie drewna na mieszkańca wzrasta.

W wolnorynkowym systemie gospodarczym potrzeby rynku są wynikiem ujawniających się osobistych preferencji (potrzeb, które przejawiają się w poszczególnych decyzjach kupna). Potrzeby te artykułowane są w zasadzie na płaszczyźnie finalnego użytkownika drewna. W związku z tym niezbędne jest, aby gospodarstwo leśne, jako pierwszy producent w łańcuchu produkcji, rozpoznawało potrzeby finalnego użytkownika. Można przyjąć za pewne, że dzisiaj już nie wygra się walki z tworzywami sztucznymi, stałą i cementem argumentami tylko cenowymi i jakością. Na tym tle powstaje pytanie, jak gospodarka leśna w trakcie „produkcji” drewna wpływa na strukturę potrzeb użytkownika końcowego. Interesująca jest tutaj opinia Tilo Dilttheya, który twierdzi, że „generalnie można przyjąć istnienie w świadomości człowieka daleko idącego rozdziału między lasem i jego produktami, można je ująć następująco «las tak, drewno nie»” (Diltthey 1991)¹⁸. W zasadzie gospodarstwa leśne tego faktu nie przyjmują do wiadomości i, jak dotychczas, niewiele robią, aby zmienić „image” drewna w ocenie końcowego odbiorcy.

Z perspektywy zrównoważonego rozwoju drewno ma wiele pożądanых charakterystyk, jakkolwiek społeczna percepcja produktów drzewnych jest czasami niekorzystna. Popularne jest powiedzenie „people love wood but hate chainsaw”.

W promocji należy przedstawiać drewno nie tylko jako surowiec bądź produkt, lecz także stojącą za tym filozofię wytwarzania. Wówczas może być pozyskiwane jako najlepsza forma produkcji i użytkowania. W tym należy upatrywać przewagę drewna nad produkcją stali, betonu, tworzyw sztucznych i innych substytutów drewna wytwarzanych fabrycznie.

Promocja zarówno pierwotnej, jak i wtórnej produkcji w gospodarce leśnej i drzewnej jest uboga w środki i ograniczona w porównaniu do innych przemysłów. Tym bardziej należy uwzględnić w promocji istotę produktu i produkcji. Drewno ma tyle niekwestionowanych i specyficznych zalet, które powinny przesądzić o tym, że światło

¹⁶ Zob. Roger Sathre, and Leif Gustavsson 2006: Energy and carbon balances of wood cascade chains. Resources, Conservation and Recycling, vol. 47, 4: 332–355, July 2006.

¹⁷ W Instytucie Technologii Drewna zrealizowano m.in. prace, w których przedstawiono taką analizę: Środowiskowa ocena cyklu życia (LCA) wyrobów drzewnych, ITD Poznań 2006.

¹⁸ Diltthey T. Al. Forstzeitsch 18

społeczeństwa XXI wieku zostaną o tym przekonane – problem sprowadza się ciągle do tego, w jaki sposób przekonywać skutecznie? A może zasadne jest tworzenie grup nacisku moralnego i uświadomienie mieszkańcom kraju i władzom roli i miejsca lasu i drewna w rozwoju współczesnego społeczeństwa.

Na tle powyższych stwierdzeń można próbować odpowiedzieć na pytanie, po co promować drewno? Pomijamy tutaj względy marketingowe – warto jednak zwrócić uwagę, że drewno i produkty z drewna w bilansie ekologicznym mają zdecydowane zalety, ze względu na niewielki udział kopalnych nośników energii pierwotnej. Mała masa konstrukcji drewnianych i mała masa odpadów po wykorzystaniu ciepłym na końcu okresu użytkowania są dalszymi zaletami drewna w porównaniu z innymi materiałami. Wydaje się, że promocja drewna ma do spełnienia kilka zadań w zależności od stopnia ogólności, na jakim będziemy rozpatrywali ten problem.

Promocja drewna to wspólne działanie przedsiębiorstw leśnych i drzewnych, a także jednostek samorządu branżowego, w celu osiągnięcia korzystnych dla sektora leśno-drzewnego efektów na rynku (Hofer 2002)¹⁹.

Przesłanką realizacji działań promocyjnych jest niekorzystna dla określonego podmiotu sytuacja na rynku. W przypadku sektora leśno-drzewnego można przyjąć, iż jest to zjawisko wypierania drewna z rynku, co ma miejsce w ostatnich latach XX i początkach XXI wieku. W Polsce potrzeba promocji drewna wynika z:

- konieczności zastosowania wszystkich dostępnych środków, aby zapobiegać obserwowanym zmianom klimatycznym,
- braku utrwalonych potrzeb traktowania drewna jako surowca o wysokich parametrach użytkowych i niepowtarzalnym charakterze ekologicznym,
- obserwowanego renesansu znaczenia i kolejnych zastosowań drewna w gospodarce polskiej, europejskiej i światowej. Chociaż poziom grubizny wzrósł w latach 2000–2011 z 0,68 do 0,91 m³ na osobę nie odzwierciedla to rzeczywistego zużycia drewna, gdyż uwzględniono w nim w znacznej części drewno eksportowane w postaci różnych wyrobów (meble, płyty drewnopochodne, papier i inne).

Stan sektora drzewnego w ostatnich latach wskazuje, że substytucja drewna staje się głównym zagrożeniem procesu tworzenia w tym sektorze nie tylko wartości dodanej, ale także dalszego istnienia zakładów drzewnych, które nie będą w stanie sprostać konkurencji ze strony producentów substytutów.

Niezbędność działań promocyjnych wynika także z obecnego stanu organizacji sektora leśno-drzewnego, charakteryzującej się koncentracją leśnictwa i dużym rozproszeniem przemysłów opartych na drewnie, szczególnie tartaczno i meblowego.

Można założyć, że efektywność promocji drewna i wyrobów drzewnych jest możliwa do uzyskania w wyniku ścisłej współpracy firm sektora leśno-drzewnego w określonym czasie.

Wykształcenie w społeczeństwie obrazu drewna jako dobra o dużych walorach użytkowych, przyjaznego dla człowieka i środowiska jest procesem, który wymaga edukacji społeczeństwa – od przedszkola rozpoczynając.

¹⁹ Hofer P. Market effects of wood promotion. w: Forest products. Annual Market Review 2001–2002, Timber Bulletin vol. 1 LV, 2002.

W państwach zachodnich, oprócz specjalistycznych agencji zajmujących się profesjonalnie promowaniem drewna, ważną rolę odgrywają placówki naukowo-badawcze, które dysponują odpowiednią wiedzą i informacją, posiadają akredytowane laboratoria i prowadzą działalność atestacyjną produktów drzewnych. Uczestnictwo tych jednostek w promocji drewna wpływa na jej wiarygodność w odbiorze społecznym. Doświadczenia te należy wykorzystać w naszym kraju, gdyż jednostki naukowo-badawcze w znacznym zakresie już prowadzą działalność promocyjną produktów drzewnych poprzez realizowanie prac badawczych oraz publikowanie i upowszechnianie ich wyników.

Jednym z istotnych warunków efektywności promocji drewna jest ścisła współpraca producentów drewna, jego przetwórców i użytkowników. Inaczej mówiąc, chodzi o tworzenie lobby w społeczeństwie na rzecz szerszego i racjonalnego stosowania drewna w gospodarce, jako jednego z najbardziej atrakcyjnych surowców i materiałów, jakim aktualnie dysponuje ludzkość. W sektorze leśno-drzewnym niezbędne są głębsze analizy zmierzające do uzyskania odpowiedzi na pytanie, dlaczego drewno traci udział w rynku na rzecz nie drzewnych substytutów, aby móc skutecznie przeciwdziałać tym procesom²⁰.

W tym miejscu wypada kilka słów poświęcić promocji stosowania drewna w gospodarce nie tylko ze względów klimatycznych, przytaczając doświadczenia wiodących państw w tym zakresie. Realizowane są inicjatywy krajowe, międzynarodowe i regionalne.

Przykładami mogą być: „Plan Bois Construction Environment” i towarzyszący „Charte” we Francji, „Wood for good” w Wielkiej Brytanii, „Centrum Hout” w Holandii, „Promo legno” we Włoszech, „Centre Interfederal d’Information sur le Bois” w Belgii, „Nordic Timber Council” w państwach nordyckich – Finlandii, Norwegii i Szwecji, oraz „German Timber Promotion Fund” w Niemczech. W państwach tych dostrzega się również rolę nauki w tworzeniu nowych produktów drzewnych, podnoszeniu efektywności stosowanych, coraz szerszego zastosowania produktów drzewnych ze względu na ich zalety (wysoka izolacyjność energetyczna, wysoka estetyka, wielokrotne użycie drewna i wiele innych, w tym także efektywność i minimalna emisja spalania.).

Po bliższej analizie wydaje się, że żaden z wymienionych wcześniej modeli promocji drewna nie może być bezpośrednio przeniesiony na grunt polskiego rynku leśno-drzewnego.

Jak się wydaje, najważniejsze ograniczenia tkwią w rozwiązaniach organizacyjno-prawnych i sferze mentalnej, wymagających dokładnego przeanalizowania i określenia formy umożliwiającej osiągnięcie założonych celów kampanii promocyjnej drewna. Doświadczenia krajów zaangażowanych w to zagadnienie pozwalają wykorzystać wybrane elementy poszczególnych przedsięwzięć i zaadaptować je do potrzeb i specyfiki polskiego rynku w celu wykreowania strategii promocji drewna dla Polski.

²⁰ W świetle boomu na niektóre materiały drzewne np. pelety, podłogi i inne, może się okazać, że teza ta nie jest prawdziwa.

Literatura

- Biomass Market Update ICE/13. 2013. Wood Resources Quarterly, 26, 1, April 2013.
- Burrows J., Sanness B. (red.) 1998. The competitive climate for Wood products and paper packaging: the factors causing substitution with emphasis on environmental promotions. A study performed by the Substitution Project subgroup of the joint FAO/ECE Team on Public Relations Specialists in the Forest and Forest Industries Sector, Oslo.
- Dilthey T. 1991. TEXT-TUNING. Das Konzept für mehr Werbewirkung Al. Business Village GmbH, ISBN 9783869801148.
- Duda S. 2012. Największa w Europie plantacja drzew energetycznych. Przegląd Papierniczy, 4: 186.
- European Commission 2011. Wood consumption as a source of energy in the EU. w: Forestry in the EU and the World EUROSTAT.
- Eurostat 2010. Environmental statistics and accounts in Europe. s. 280.
- Gil W. 2011. Drewno jako surowiec XXI wieku. Sylwan, 155, 3:188–194.
- GUS 2012. Leśnictwo. Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa GUS.
- Hofer P. 2002. Market effects of wood promotion. w: Forest products Annual Market Review 2001–2002, Timber Bulletin, vol. 1 LV, ECE/TIM/BULL/2002/3.
- Kordylewski W. (red.) 2001. Spalanie i paliwa. Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, s. 396.
- Lewandowski M. 2006. Proekologiczne odnawialne źródła energii Warszawa, WNT, s. 32.
- Mantau U., Steierer, F. 2008. Wood resources availability and demands – Pt.1: National and regional wood resource balances 2005 – EU/EFTA countries. UNECE, s. 65.
- Porter M.E. 2010. Przewaga konkurencyjna. Osiąganie i utrzymywanie lepszych wyników ekonomicznych. Warszawa, New Media, 2010.
- Sathre R., Gustavsson L. 2006: Energy and carbon balances of wood cascade chains. Resources, Conservation and Recycling, 47, 4: 332–355.
- Strykowski W. 2012. Rynki pelet drzewnych, Przemysł Drzewny, 63,5: 26–28.
- Taverna R., Hofer P., Werner F., Kaufmen, Thuring E. 2007. The CO₂ effects of the swiss forestry and timber industry, scenarios of future potential for climate – change mitigation. Environmental Studies. Bern, Federal Office for the Environment, s. 102.

Zalety i wady drewna w budownictwie mieszkaniowym i przemysłowym; uszlachetnianie, drewno konstrukcyjne – stan i perspektywy

mgr inż. Andrzej NOSKOWIAK

Instytut Technologii Drewna w Poznaniu, Zakład Badania i Zastosowań Drewna

Drewno w budownictwie

Wszędzie tam, gdzie rosły drzewa, drewno było dla człowieka budulcem i surowcem do wykonywania różnych użytecznych sprzętów domowych, materiałem do tworzenia najpierw prostych, a z upływem czasu coraz bardziej złożonych konstrukcji, natchnieniem artystów, źródłem światła i ciepła. Wykonywano z niego broń i przedmioty kultu religijnego, kołyski i trumny, sztuce i maszyny latające, skrzynie na wiano młodej panny i szubienice, skrzypce i chodaki. Szacuje się, że w czasach Cezara drewno znajdowało około 200 różnych zastosowań, na początku XX wieku dziesięć razy tyle, a obecnie znanych jest przeszło 10 000 różnych jego aplikacji. Współcześnie wyraźnie różna jest struktura wykorzystania drewna na poszczególnych kontynentach, zależna w jakiejś mierze od poziomu rozwoju cywilizacyjnego. W Europie, mimo presji ze strony niektórych wpływowych środowisk na szerokie stosowanie drewna jako taniego źródła energii odnawialnej, wyraźnie większa część surowca kierowana jest do przemysłu drzewnego. W Azji, w tym także w Chinach, około 25% drewna przerabia przemysł, a resztę przeznaczają na cele energetyczne. Jeszcze większe zużycie drewna na cele energetyczne ma miejsce w Afryce (80–90%).

Nieustający ilościowy i jakościowy rozwój materiałów zastępujących drewno powoduje, że jest ono stopniowo wypierane ze swoich odwiecznych zastosowań. Nie licząc obiektów o charakterze hobbystycznym i kolekcjonerskim z drewna prawie nie wytwarza się już ani większych, ani mniejszych jednostek pływających, samolotów, wiatraków, kół wodnych czy maszyn roboczych. Aby temu zjawisku przeciwdziałać, w wielu krajach podejmowane są szeroko zakrojone akcje promujące wielorakie możliwości aplikacyjne drewna. Polska rzeczywistość w tym zakresie jest mało optymistyczna. Podejmowane co jakiś czas działania zachęcające do zwiększenia zużycia drewna, zanim nabiorą większego tempa, kończą się bez istotnych osiągnięć. Ważne jest, aby tego

rodzaju działania były merytoryczne, aby w sposób rzeczowy i jednocześnie przystępny przedstawiały tak zalety, jak i wady drewna. Szczególnie istotne jest to, aby cechy drewna opisywane jako wady omawiane były równolegle z kompetentnie uzasadnionymi tradycyjnymi i nowoczesnymi sposobami zaradczymi.

Jednym z podstawowych kierunków zastosowania drewna było i pozostaje budownictwo. Przy czym, o ile zastosowanie drewna w budownictwie mieszkaniowym jednorodzinnym ma ugruntowaną, stosunkowo stabilną pozycję, o tyle w budownictwie mieszkaniowym wielorodzinnym jest niemal niewidoczne. W krajobrazie niektórych polskich miast można co prawda spotkać jedno- i dwupiętrowe, wielorodzinne domy drewniane, pamiętające okres międzywojenny i lata czterdzieste minionego wieku, to jednak współcześnie praktycznie nie ma takich projektów i realizacji. Dobrze, że po latach dominacji płaskich dachów w budownictwie z wielkiej płyty, wracają dachy wielospadowe i to dachy konstruowane z drewna. Już w połowie lat 70. minionego wieku uruchomiono w naszym kraju bardzo nowoczesny jak na owe czasy zakład produkujący wielkogabarytowe elementy konstrukcyjne z drewna klejonego warstwowo. Uruchomienie tego zakładu umożliwiło rozwój budownictwa przemysłowego i budownictwa obiektów użyteczności publicznej, takich jak hale sportowe i pływalnie. Rozwój ten nie był jednak zbyt dynamiczny i po powstaniu kilkunastu obiektów z konstrukcjami dachowymi z drewna klejonego warstwowo nastąpiła wyraźna stagnacja w tej dziedzinie. Od około 15. lat ponowne wzrasta zainteresowanie polskich architektów, projektantów i inwestorów tym materiałem.

Ogół materiałów budowlanych można podzielić na materiały konstrukcyjne, materiały izolacyjne, materiały dekoracyjno-wykończeniowe oraz materiały wielofunkcyjne. Odpowiedni dobór materiałów budowlanych ma ogromny wpływ na to, by budynek jako całość dobrze pełnił swoje podstawowe funkcje, tj. chronił człowieka przed uciążliwościami zjawisk atmosferycznych i formował przestrzeń przyjazną do prowadzenia różnorodnej działalności życiowej (Osiecka 2002).

W ujęciu historycznym pierwsze materiały budowlane to te, które przyroda oferowała człowiekowi w stanie niemal gotowym do zastosowania. Zależnie od strefy klimatycznej było to przede wszystkim drewno albo materiały kamienne. Mimo ogromnego postępu w technice i technologii, materiały te do dziś są szeroko stosowane w budownictwie. A dzięki nowym rozwiązaniom i tendencjom do swoistego powrotu współczesnego człowieka do natury materiały te, a zwłaszcza materiały drzewne, są w budownictwie ponownie coraz szerzej wykorzystywane.

Wady i zalety drewna

Każdy materiał wykorzystywany w budownictwie ma wady i zalety. Przy ocenie przydatności materiału budowlanego zwykle bierze się pod uwagę takie jego właściwości, jak:

- cechy wytrzymałościowe (wytrzymałość, sztywność, nośność),
- izolacyjność cieplna i akustyczna,
- zachowanie się wobec wody i pary wodnej,
- łatwość obróbki ogólnie dostępnymi narzędziami,
- zachowanie się wobec ognia,

- trwałość biologiczna,
- walory estetyczne.

Czytając bezkrytycznie podstawową literaturę na temat właściwości drewna, można odnieść wrażenie, że drewno ma wyłącznie wady (Kubiak i Laurow 1994; Krzysik 1974; Desch i Dinwoodie 1996). Prawie zawsze można w takiej literaturze znaleźć cały rozdział poświęcony wadom, a prawie nigdy zaletom tego materiału. Drewno było, jest i będzie doskonałym, niemal uniwersalnym materiałem budowlany.

Rola drewna we współczesnym budownictwie nabiera coraz większego znaczenia, co wynika z faktu, że łączy ono w sobie wiele walorów, istotnych z ekologicznego i technologicznego punktu widzenia, do których zaliczyć można następujące cechy tego surowca (Agoudjil i in. 2011; Falk 2010; Gustavsson, Sathre 2006; Ingerson 2011; Ngohe-Ekam i in. 2006; Tsunetsugu, Tonosaki 2010):

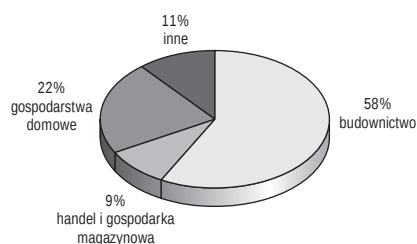
- jest jednocześnie lekkie i wytrzymałe mechanicznie,
- ma korzystny współczynnik przewodności cieplnej,
- jest ciepłe w dotyku,
- nie zmienia wymiarów przy zmianach temperatury,
- dobrze tłumi hałas,
- jest odporne na działanie destrukcyjnych czynników chemicznych,
- zanim podda się siłom niszczącym „ostrzega” i, trzeszcząc, daje czas na ewakuację,
- w warunkach nadmiaru wilgoci w otoczeniu wchłania ją, a gdy robi się zbyt sucho, to ją oddaje, korzystnie kształtując mikroklimat pomieszczeń,
- jest trwałe i odporne na działania destrukcyjnych czynników biologicznych,
- stanowi surowiec odnawialny,
- wykazuje korzystny, na tle innych materiałów budowlanych, bilans węglowy,
- łatwo daje się obrabiać mechanicznie, toteż można je modyfikować, a także względnie łatwo i tanio przekształcać w inne użyteczne materiały konstrukcyjne, izolacyjne bądź wykończeniowe.

W jakim stopniu drewno wykorzystane do budowy domu staje się „magazynem” dwutlenku węgla, przedstawiono w tabeli 1 na przykładowym „drewnianym” domu jednorodzinnym o powierzchni zabudowy 171 m².

Tabela 1. Drewno wykorzystane do budowy domu jako „magazyn” CO₂

Lp.	Element domu	Wyrób	Ilość (m ³)	CO ₂ (kg)
1	Elementy konstrukcyjne	tarcica	24,5	22 050
2	Izolacja stropu	płyta pilśniowa porowata	7,5	4 500
3	Poszycie ścian	płyta OSB 3	20,0	28 000
5	Elewacja zewnętrzna (na części budynku)	drewniane okładziny ściennie	2,8	2 520
6	Materiały podłogowe i schody	posadzki lite z drewna liściastego	4,2	3 780
7	Wykończenie niektórych ścian wewnętrznych	drewniane okładziny ściennie	1,4	1 260
Razem				62 110

Źródło: opracowanie własne



Ryc. 1. Zużycie materiałów drzewnych w Polsce (źródło: opracowanie własne ITD)

Budownictwo było, jest i najprawdopodobniej długo jeszcze będzie największym konsumentem materiałów drzewnych. Według przeprowadzonych w Instytucie Technologii Drewna badań i obliczeń, budownictwo jest w Polsce zdecydowanie największym konsumentem materiałów drzewnych (ryc. 1).

W literaturze i w obiegowych opiniach często podkreśla się słabsze strony drewna jako materiału budowlanego. Wśród zwykle wyli-

czanych, niekorzystnych cech drewna wymienia się:

- małą stabilność wymiarów i kształtu przy zmianach wilgotności (pęcznienie, kurczenie),
- względnie duże powinowactwo do wody i jego skutki,
- małą odporność na destrukcyjne oddziaływania czynników biotycznych i abiotycznych,
- niewystarczającą trwałość,
- palność,
- względnie małą twardość i odporność na ścieranie,
- niewielką wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie w kierunkach poprzecznych do przebiegu włókien,
- anizotropię właściwości,
- ograniczoną dostępność wymiarów, zwłaszcza grubości (szerokości).

Uszlachetnianie drewna

Od dawna człowiek czynił różne próby ulepszania naturalnych właściwości drewna. Słupek drewniany opalony w ognisku przed wbiciem w ziemię to chyba pierwszy i jednocześnie najprostszy sposób modyfikacji drewna w celu zwiększenia trwałości biologicznej.

Niektóre kierunki modyfikacji naturalnych cech drewna stały się niezależnymi, szerokimi dziedzinami wiedzy z zakresu drzewnictwa. Przykładowo, jednym z bardziej znanych i ciągle rozwijanych kierunków ulepszania właściwości drewna jest jego rozdrabnianie i ponowne scalenie. Uzyskuje się tą drogą materiały o zredukowanej anizotropii właściwości z trzech do dwóch kierunków i wymiarach ułatwiających stosowanie. Sklejka, płyty wiórowe, płyty pilśniowe to dziś powszechnie znane materiały, ale wciąż jeszcze są udoskonalane ich właściwości, racjonalizowane technologie wytwarzania i oferowane nowe wersje.

Inne działania, szczególnie liczne zwiększające bioodporność i/lub ognioodporność drewna z użyciem środków chemicznych, to dziedzina wiedzy zwana ochroną lub konserwacją drewna.

W latach 40. XX wieku, najpierw w USA, a później w Europie, podejmowane były prace badawcze polegające na nasycaniu rozdrobnionego drewna żywicami syntetycz-

nymi, a następnie utwardzaniu go w prasach w celu uzyskania rozmaitych kształtek użytkowych. Kierownice pojazdów mechanicznych, skrzynki do amunicji, koła wozów drabiniastych, parapety, kaski ochronne to ciekawsze przykłady możliwości tej technologii. Początkowo stosowano głównie żywice fenolowo-formaldehydowe, ale później także żywice aminowe.

W latach 50. XX wieku podjęto pierwsze prace badawcze nad modyfikacją drewna, polegającą na wprowadzeniu do drewna litego monomerów, np. styrenu czy metakrylanu metylu, a następnie spolimeryzowaniu ich. Podobnym sposobem modyfikacji właściwości drewna jest jego impregnacja małowcząsteczkowymi żywicami, a następnie utwardzenie go metodami termicznymi i/lub chemicznymi. Technologię polimeryzacji styrenu w drewnie opatentował w połowie lat 70. profesor Maciej Ławniczak. Chociaż drewno modyfikowane tą metodą, znane pod nazwą lignomer, cechowało się licznymi zaletami, to jednak prototypowa instalacja nie doczekała się przemysłowej wersji i w latach 90. została zdemontowana. Prace badawcze nad aminowymi żywicami impregncyjnymi do nasycania drewna prowadzone były między innymi w Instytucie Technologii Drewna w Poznaniu. Efektem tych prac było opracowanie technologii produkcji drewna modyfikowanego pod nazwą lignamin (Siwek, Warzecha 1982).

Wiele wad drewna związanych jest z jego porowatą strukturą, dlatego często praktykowanym kierunkiem modyfikacji było i jest wprowadzanie w tę strukturę substancji hamujących możliwość wnikania niepożądanych cieczy i gazów. Drewno można modyfikować przez nasycanie substancjami hydrofobowymi, takimi jak parafina, woski, asfalty, oleje. Do dziś niektórzy renomowani producenci maszyn rolniczych stosują panevky z drewna nasycanego olejem maszynowym. Drewno można znakomicie uodpornić na działanie ognia i kwasów przez nasycenie roztworem krzemianu sodu (szkłem wodnym), a następnie jego koagulację roztworem kwasu solnego.

Ciekawostką jest fakt, że drewno można nasycać łatwo topliwymi metalami czy stopioną siarką (Zenkter 1962).

Jeszcze innym kierunkiem prac badawczych nad modyfikacją drewna jest poddawanie go działaniu małowcząsteczkowych związków chemicznych, takich jak bezwodnik kwasu octowego czy kwas stearynowy, wiążących niektóre grupy funkcyjne celulozy odpowiedzialne za znaczne powinowactwo drewna do wody.

Wspólną cechą większości wyżej wymienionych metod ograniczania ujemnych cech drewna jest stosowanie produktów przemysłu chemicznego, a więc utrata jednej ze szczególnie cennych właściwości drewna – naturalnego składu chemicznego, wolnego od uciążliwych dla środowiska związków.

Pod koniec minionego wieku rozwinęły się badania nad takimi metodami modyfikacji drewna, które nie są uciążliwe dla środowiska lub są tylko w niewielkim stopniu. Jedną z takich możliwości jest impregnacja drewna substancjami chemicznymi pochodzenia naturalnego, w tym substancjami będącymi produktami ubocznymi, zwykle odpadowymi, procesów chemicznego przerobu drewna. Schultze-Dewitz (1994) nasyczał drewno bukowe takimi substancjami chemicznymi, jak: pokost lniany, mieszanina terpentyny i pokostu lnianego, mieszanina krzemianu sodu i ługu posiarzynowego. We wszystkich przypadkach stwierdził poprawę stabilności wymiarowej, a także innych cech: wzrost twardości, zwiększenie podatności na obróbkę mechaniczną itp. Niewąt-

pliwie część tych prac była inspirowana doświadczeniami praktyków z minionych lat, a nawet wieków. Możliwości ulepszenia drewna pokostem lnianym i innymi olejami schnącymi znane były człowiekowi od bardzo dawna.

Jeszcze innym kierunkiem prac badawczych nad ulepszaniem właściwości drewna jest poddawanie go działaniu czynników fizycznych, takich jak para wodna czy podwyższona temperatura.

W roku 2002 H. Militz oceniał, że w czterech europejskich krajach (Finlandia, Francja, Niemcy i Holandia) wyprodukowano około 16 000 m³ drewna termicznie modyfikowanego. W Finlandii działa stowarzyszenie Finnish ThermoWood Association, od kilku lat intensywnie propagujące liczne walory i możliwości stosowania drewna termicznie modyfikowanego. Pozytywne skutki działania wysoką temperaturą (powyżej 150°) na drewno znane były od dawna. W technologii produkcji mokriformowanych płyt pilśniowych twardych powszechnie stosowana była operacja wygrzewania wyprasowanych płyt w temperaturze od 170±20°C, czyli tak zwane hartowanie. Tym sposobem osiągnąć można znaczne zmniejszenie hydrofilności płyt, połączone zwykle z poprawą ich właściwości mechanicznych. Jednak dopiero opracowanie, opatentowanie i wdrożenie oryginalnej technologii termicznej modyfikacji drewna przez Fiński Instytut Badań Technicznych (VTT) nadało temu kierunkowi nowy wymiar techniczny i ekonomiczny. Aktualnie wiele firm oferuje sprzedaż różnych wyrobów z drewna termicznie modyfikowanego, a wielu producentów proponuje własne rozwiązania komór do przeprowadzania tego procesu. Wśród nich są znani na rynku europejskim producenci suszarni do drewna, np. Mühlböck (Austria), Jartek Oy (Finlandia), Valutec Oy (Finlandia).

Od kilku lat firma Finnforest szczególnie aktywnie promuje drewno termicznie modyfikowane. Podkreśla ona, że jej wyroby, sprzedawane pod zastrzeżoną nazwą ThermoWood®, mają w porównaniu z drewnem niemodyfikowanym następujące zalety:

- niższą o 50% wilgotność równoważną,
- większą trwałość,
- poprawioną o 50% stabilność kształtu,
- większą bioodporność,
- mniejszą o 50% absorpcję wody,
- większą odporność na warunki atmosferyczne,
- brak żywicy,
- relaksację wewnętrznych naprężeń drewna o 10 do 20%,
- o połowę mniejszą podatność na pęknięcia desorpcyjne.

Według badań wykonanych przez Grześkiewicza i Dąbrowskiego (2004) drewno brzoze wygrzewane w temperaturze 200°C i drewno świerkowe wygrzewane w temperaturze 190°C, oferowane przez tę firmę, cechują się, w porównaniu z drewnem niemodyfikowanym, między innymi:

- wyższą wytrzymałością na ściskanie wzdłuż włókien o około 40% – świerk, i 80% – brzoza,
- mniejszym współczynnikiem anizotropii skurczu o około 40% – świerk, i o około 20% – brzoza,
- niższą wilgotnością równoważną w klimacie normalnym odpowiednio o około 25% – świerk, i o około 30% – brzoza.

Obróbkę termiczną drewna realizuje się najczęściej w powietrzu, ale można ją prowadzić także w atmosferze beztlenowej (w próżni, w atmosferze azotu itp.) oraz w gorącym oleju, np. lnianym (Fojutowski i in. 2009).

Według badań BFH – Institut für Holzbiologie und Holzschutz, obróbka termiczna drewna jest skutecznym sposobem zwiększania jego odporności na destrukcyjne działanie grzybów, przy czym skuteczniejsza jest obróbka w oleju roślinnym niż w powietrzu (ryc. 2). Wyraźnie zaznacza się zależność: wyższa temperatura, mniejsze ubytki masy.

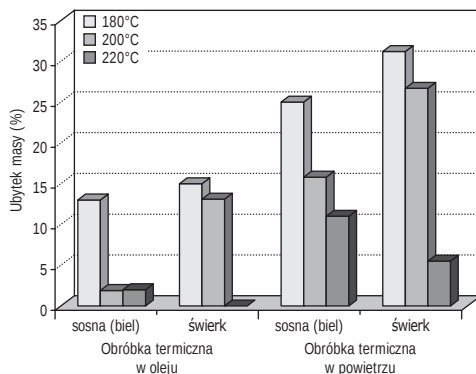
Według badań Hangera i innych (2002) cechujące się stosunkowo małą trwałością drewno gatunków europejskich, takich jak świerk (wg EN 350-2 naturalna klasa trwałości 4) czy buk (naturalna klasa trwałości 5), po odpowiednio przeprowadzonej obróbce termicznej uzyskuje klasę trwałości porównywalną z trwałością drewna teakowego.

Według badań prowadzonych między innymi w Instytucie Technologii Drewna optimum temperaturowe obróbki termicznej większości gatunków drewna wynosi $185 \pm 10^\circ\text{C}$. Stosowanie niższych temperatur nie poprawia w istotnym stopniu stabilności wymiarowej drewna, a stosowanie wyższych temperatur może prowadzić do nadmiernie dużego spadku wytrzymałości na zginanie, przy niewielkim wzroście sztywności i wytrzymałości na ściskanie.

Modyfikacją drewna zajmują się także tak znane koncerny chemiczne, jak BASF, który opracował i wdrożył nowy wyrób pod nazwą BELMADUR® HOLZ. Drewno takie nasycające jest ciekłym środkiem chemicznym o nieujawnionym składzie, metodą próżniowo-ciśnieniową, a następnie wygrzewane w temperaturze około 100°C . Ulepszone w ten sposób drewno bukowe czy świerkowe cechuje się dwukrotnie mniejszym spęcznieciem i trwałością równą trwałości drewna teakowego. Twardość tak modyfikowanego drewna bukowego sięga 70 N/mm^2 , a twardość drewna świerkowego przekracza 40 N/mm^2 .

Warto podkreślić, że produkcja i stosowanie drewna modyfikowanego termicznie ma także ważny aspekt globalny. Wiadomo, że w lasach europejskich przybywa drewna, a ciągle ubywa go w lasach tropikalnych, czyli tam, gdzie pozyskuje się gatunki drewna o poszukiwanych walorach technicznych, w tym o dużej trwałości oraz atrakcyjne wizualnie. Modyfikowane termicznie drewno gatunków europejskich może przyhamować w Europie modę na drewno egzotyczne, a tym samym przyczynić się do zmniejszenia tempa wylesień i łagodzenia niekorzystnych zmian klimatycznych.

Naukowcy i praktycy na pewno nie powiedzieli jeszcze w dziedzinie modyfikacji drewna ostatniego słowa. Prowadzone są liczne prace nad nowymi środkami do hydrofobizacji drewna, opanowano już i wdrożono w praktyce jego acetylację (Accoya Wood) i furfuryzację (Kebony Wood) (Militz 2005).



Ryc. 2. Ubytek masy drewna po 19 tygodniach działania grzyba *Coniophora puteana*

W Polsce produkcja drewna modyfikowanego poprzez wysokotemperaturowe wygrzewania stała się faktem już około roku 2003. Według szacunków autora, aktualnie czterech polskich producentów produkuje wyroby gotowe (głównie podłogi) z około 5000 m³ termicznie modyfikowanego drewna jesionowego i dębowego.

Wśród cech drewna szczególnie istotnych w inżynierii budowlanej najczęściej wymienia się:

- 1) brak homogeniczności drewna (jako minus, ale z możliwością eliminacji przez odpowiednie sklejenie belek i płyt),
- 2) trwałość tylko w określonych, sprzyjających warunkach (jako minus, ale z możliwością eliminacji lub znacznego ograniczenia przez odpowiednie konstruowanie obiektów i stosowanie środków modyfikujących właściwości drewna),
- 3) łatwość obróbki mechanicznej (niezaprzeczalny walor drewna, stwarzający – w połączeniu z nowoczesnymi technikami obróbki CNC – niemal niczym nieograniczone możliwości tworzenia konstrukcji drewnianych)
- 4) anizotropię właściwości (jako minus, ale jednocześnie pole dla inwencji inżynierów rozumiejących pracę drewna i znajdujących sposoby na redukcję małej wytrzymałości drewna na docisk czy rozciąganie w kierunku prostopadłym do przebiegu włókien),
- 5) znaczenie rodzaju i sposobów stosowania nowoczesnych łączników w konstrukcjach drewnianych (Blass 2010).

Drewno konstrukcyjne

Liczne walory użytkowe drewna, a zwłaszcza względnie duża dostępność i niska cena, łatwość obróbki mechanicznej i łączenia poszczególnych elementów oraz korzystny stosunek wytrzymałości do ciężaru powodują, że materiał ten od stuleci jest powszechnie wykorzystywany w budownictwie. Jednym z podstawowych obszarów wykorzystania drewna w budownictwie są różnorodne konstrukcje dachowe. Konstrukcje dachowe to przykład jednego z takich zastosowań drewna, w którym walory drewna często wygrywają z takimi materiałami, jak: stal, aluminium czy beton. Ogromne pole do rozwoju tego obszaru stosowania drewna stwarzają nowoczesne rozwiązania inżynierskie, takie jak technologia produkcji wiązarów na płytki kolczaste czy produkcja drewna klejonego warstwowo.

Początek rozwoju produkcji wiązarów na płytki kolczaste to połowa lat 90. XX wieku. W 2001 roku, kiedy największy obecnie krajowy dystrybutor płytek kolczastych rozpoczynał działalność, było siedmiu producentów zaznajomionych z tą technologią, dziś jest ich około czterdziestu, zaś sprzedaż płytek wzrosła w ciągu 10 lat szesnastokrotnie.

Entuzjaści szerokiego stosowania drewna w budownictwie z trudem znajdują zwolenników. Chociaż w krajobrazie Polski domów i innych budowli z drewna przybywa, to przybywa także sceptyków. Zbyt często złe wykonawstwo lub niska jakość stosowanych materiałów stają się przyczyną kłopotów inwestorów, którzy nierzadko szukają pomocy w sądach. Sprawy ciągną się latami, koszty rosną, a przyczyną kłopotów jest jakość wykonawstwa. Często dopiero w sądzie pada pytanie o jakość i klasy zastosowanego

drewna: na więźbę dachową, do wywiązania ściany wieńcowej, do zbudowania mostku w parku, czy jeszcze gorzej do wykonania szkieletu, na którym w krótkim czasie pojawiły się pleśnie.

Czasy, gdy o jakości i wymiarach tarcicy, sposobach łączenia, rozstawach krokwi, jętek, stolców i innych ważnych cechach realizowanej konstrukcji i stosowanego drewna, decydowała wyłącznie wiedza i doświadczenie cieśli i stolarzy, mijają bezpowrotnie. Coraz częściej tradycyjne konstrukcje ciesielskie projektowane są przez inżynierów, stosujących nowoczesne programy komputerowe, a zaprojektowane elementy konstrukcji przygotowywane są w sterowanych numerycznie centrach ciesielskich. Zwiększa się liczba firm oferujących drewniane domy z prefabrykowanych ścian, stropów i dachów. Miło jest patrzeć, jak szybko i sprawnie powstaje więźba dachowa domów jednorodzinnych i wielokondygnacyjnych budynków mieszkalnych z profesjonalnie zaprojektowanych i wykonanych wiązarów.

Nowoczesność stawia jednak wymagania. Narzędzia i maszyny, programy komputerowe, wiedza i umiejętności wszystkich uczestników procesu budowlanego oraz jakość materiałów, akcesoria i wyrobów muszą być w swoistej synergii. Końcowy sukces, czyli pełna satysfakcja i bezpieczeństwo użytkowników, zależy od tego, czy właściwie przygotowany projekt zrealizują kompetentni wykonawcy, stosując odpowiednie materiały, akcesoria i wyroby budowlane. Teoretycznie jest to względnie łatwe do zrealizowania, gdy konstruktor posłuży się stosowną normą projektową, a zakupione i prawidłowo wbudowane w obiekt wyroby budowlane spełniać będą wymagania określone w Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) Nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r., ustanawiającym zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylających dyrektywę Rady 89/106/EWG.

„Drewno może skutecznie konkurować z innymi materiałami budowlanymi”. Aby to miłe drzewiarzom hasło mogło być skutecznie i zgodnie z przepisami technicznymi urealniane, producenci drewna konstrukcyjnego muszą sprostać wymaganiom formalnym i jakościowym. Rosnącym wymaganiom jakościowym towarzyszą coraz bardziej sformalizowane procedury nadzorowania wymaganych standardów produkcyjnych i wykonawczych. W przypadku drewna stosowanego w konstrukcjach kluczową kwestią jest trafne i możliwie powszechne stosowanie nieniszczącego prognozowania wytrzymałości i sztywności tarcicy, czyli jej sortowanie wytrzymałościowe.

W tradycyjnym budownictwie z drewna stosowano tarcicę tzw. ogólnego przeznaczenia, a o sposobie jej użycia najczęściej decydowała wiedza i doświadczenie cieśli. Od wielu lat powinna to być tarcica konstrukcyjna (drewno konstrukcyjne). Obserwacje współczesnego rynku drewna budowlanego w Polsce wskazują na to, że zmiany w postępowaniu producentów i podmiotów wykorzystujących drewno zachodzą zdecydowanie za wolno. Podstawowa różnica pomiędzy tarcicą ogólnego przeznaczenia a tarcicą konstrukcyjną polega na tym, że w przypadku tarcicy konstrukcyjnej, zgodnie ze ściśle określonymi zasadami, oszacowuje się (zwykle w tartaku) wytrzymałość i sztywność, a w przypadku tarcicy ogólnego przeznaczenia nie.

Aby realizacja procesu budowlanego mogła przebiegać formalnie poprawnie i technicznie bez zakłóceń, konieczne było przyporządkowanie klasom wytrzymałościowym drewna o wartościach charakterystycznych wg normy EN 338 klas sortowniczych drew-

na klasyfikowanego zgodnie z normą PN-D-94021:1982 „Tarcica iglasta konstrukcyjna sortowana metodami wytrzymałościowymi”.

Badania drewna, głównie sosnowego, doprowadziły do opracowania Tablicy NA.2, ważnej dla zachowania spójności pomiędzy produkcją tarcicy a jej stosowaniem w budownictwie. Tablica ta jest zamieszczona w załączniku krajowym do normy PN-EN 1995-1-1: kwiecień 2010 „EUROKOD 5. Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Postanowienia ogólne. Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków”.

Tabela 3. Tablica NA.2 – Relacja klas sortowniczych krajowego drewna konstrukcyjnego wg PN-D-94021 do klas wytrzymałościowych według PN-EN 338

Gatunek drewna	Grubość [mm]	KW	KS	KG
Sosna zwyczajna	≥ 22	wg EN 1912		
Sosna zwyczajna zgodnie z EN 1912		C35	C24	C20
Świerk pospolity		C30	C24	C18
Jodła pospolita		C22	C18	C14
Modrzew europejski		C35	C30	C24

Informacje zamieszczone w tej tablicy powinny być powszechnie wykorzystywane przez projektantów konstrukcji z drewna i producentów tarcicy konstrukcyjnej. Przykładowo z tej tablicy wynika to, że jeśli projektant wykonał stosowne obliczenia i zaprojektował więźbę dachową z drewna sosnowego w klasie wytrzymałościowej C24, to w tartaku zgodnie z regułami określonymi w normie PN-D-94021:1982 powinna być wysortowana tarcica w klasie sortowniczej KS.

Inną ważną, formalną, ale mającą duże znaczenie praktyczne, kwestią, wynikającą z Tablicy NA.2, jest to, że w projektach nie powinno się przyjmować innych klas drewna niż te, które można wysortować z krajowego surowca. W krajach wspólnoty europejskiej produkcja klasyfikowanego wytrzymałościowo drewna powinna się odbywać zgodnie z regułami podanymi w normie EN 14081-1:2005 „Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne o przekroju prostokątnym sortowane wytrzymałościowo. Część 1: Wymagania ogólne”. Tempo wdrażania tej normy do praktyki w polskich tartakach nie jest imponujące. Przekłada się to między innymi na rosnący import tarcicy sortowanej wytrzymałościowo z Niemiec i krajów skandynawskich.

W praktyce budownictwa z drewna w Polsce znajomość, a tym bardziej poprawne stosowanie, nowych regulacji w zakresie drewna konstrukcyjnego jest stosunkowo niewielkie. Przykładowo, choć minęło już wiele lat od opublikowania normy PN-B-03150:2000 „Konstrukcje drewniane. Obliczenia statyczne i projektowanie”, która wprowadziła obowiązek projektowania z zastosowaniem klas wytrzymałościowych drewna wg normy EN 338 (klasy wyróżniane literą C), ciągle jeszcze można spotkać się z projektami, w których wpisywana jest „stara” klasa wytrzymałościowa drewna, najczęściej K27. Inną złą praktyką jest projektowanie na klasę C27, przyjmowaną poprzez bezkrytyczne kojarzenie liczby 27, chociaż klasa C27 nie jest odpowiednikiem klasy K27.

Jeszcze inną formalną kwestią, ale mającą często ogromne praktyczne znaczenie, jest zwyczajowe traktowanie niektórych elementów konstrukcji jako elementów niekon-

strukcyjnych. Takim przykładem są szeroko stosowane łąty i kontrłąty czy deski użyte do deskowania połaci dachowej.

Wykorzystywanie drewna – stan i perspektywy

W ostatnich kilku latach w polskich zakładach tartacznych zaszło wiele pozytywnych zmian pod względem organizacyjnym oraz pod względem wyposażenia parku maszynowego. Jak wiadomo, specyfiką polskiego przemysłu tartaczego jest to, że jest w nim miejsce dla około 1500 zakładów małych i mikro, przecierających rocznie nie więcej niż 1000 m³ surowca, dla niewiele mniejszej liczby zakładów przecierających od 1000 m³ do około 50 000 m³ i tylko dla kilkunastu przedsiębiorstw dużych, przecierających więcej niż 50 000 m³. Według Krzoska (2013) na jedną firmę tartaczoną w Polsce przypada produkcja około 1000 m³ tarcicy średnio rocznie. Oczywiście jest, że możliwości wdrażania innowacyjnych rozwiązań, w tym inwestowania w nowe maszyny i technologie, są w takich firmach dość skromne. Aktualnie postęp techniczny w najmniejszych podmiotach realizowany jest głównie przez inwestowanie w urządzenia stosunkowo proste, np. pilarki usprawniające obrzynanie tarcicy bocznej, obsługiwane ręcznie, rodzimej produkcji. Jednak są też stosunkowo liczne przykłady inwestowania w najnowocześniejsze linie tartaczne o rocznej zdolności produkcyjnej na poziomie 100 000 m³ i więcej. Od lat utrzymuje się tendencja do inwestowania dla celów technologicznych i grzewczych w suszarnie komorowe i nowoczesne kotłownie do spalania ubocznych produktów przerobu drewna (trocin, odpadów kawałkowych itp.). Często tartaki inwestują w nowoczesny park maszynowy w celu dalszego przetworzenia tarcicy. Dotyczy to produkcji: elementów posadzkowych, półfabrykatów dla stolarki budowlanej, półfabrykatów dla przemysłu meblarskiego i palet. Ciągłe jeszcze właściciele polskich tartaków kupują i uruchamiają maszyny z „drugiej ręki”, sprowadzane z zagranicy, ale można również zaobserwować zjawisko kupowania nowych, innowacyjnych maszyn i urządzeń, renomowanych firm europejskich i pozaeuropejskich. Są to maszyny i urządzenia coraz szybsze, wydajniejsze, precyzyjniejsze, bezpieczniejsze, przyjaźniejsze środowisku i obsługującym je pracownikom. Niewątpliwie w inwestowaniu pomocne okazały się środki pozyskiwane w ramach europejskich funduszy strukturalnych. Bardzo wiele firm przetwarzających drewno wykazało dużą aktywność w pozyskiwaniu tych środków. Dla części z nich starania te zakończyły się sukcesem. Mimo obserwowanych od kilku lat pozytywnych zmian wyposażenia technicznego polskich tartaków, jest ono – w porównaniu do wyposażenia tartaków w innych krajach, zwłaszcza w krajach tak zwanej starej UE – ciągle znacznie gorsze, mniej wydajne, wymagające dużego udziału siły roboczej, niebezpieczne, uciążliwe dla środowiska, energochłonne itd.

Główne ograniczenia w aktywności innowacyjnej polskich przedsiębiorstw przemysłu drzewnego to:

- 1) trudności na rynku surowca drzewnego, ze względu na brak zrozumienia potrzeb tego przemysłu ze strony głównego producenta i dysponenta zasobów leśnych,
- 2) zła infrastruktura w obszarze pozyskania i transportu drewna z lasu do tartaku,
- 3) bariery legislacyjne,

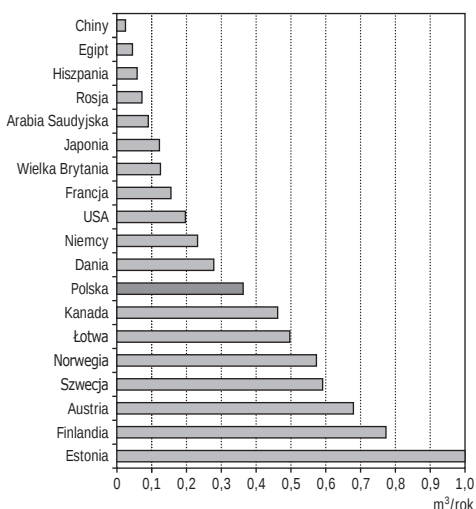
- 4) bariery ekonomiczne (zbyt wysokie koszty innowacji, niedostatek własnego kapitału, niekorzystne warunki przy zaciąganiu kredytów),
- 5) brak przejrzystej, proinnowacyjnej polityki państwa.

Do listy tych ograniczeń można zaliczyć także brak zaufania właścicieli firm przetwarzających surowiec drzewny do rodzimych jednostek badawczo-rozwojowych, nakładający się na złą, utrwalaną wieloletnim niedoinwestowaniem, kondycję polskiej nauki.

Poziom konsumpcji drewna w Polsce należy do najniższych w Europie. W przeliczeniu na jednego mieszkańca zużywamy drewna dziesięciokrotnie mniej niż Finowie, czterokrotnie mniej niż Szwedzi i dwukrotnie mniej niż Niemcy. Jeszcze w latach 80. ubiegłego stulecia zużycie wyrobów drzewnych w przeliczeniu na jednego

mieszkańca sięgało 0,18 m³/rok, a na początku nowego wieku, spadło do poziomu 0,07 m³/rok. Możliwości zużycia surowca drewna przez społeczeństwo naszego kraju są znacznie większe, bo w przeliczeniu na jednego obywatela sięgają: 0,4 m³/rok. Jest to wartość zbliżona do europejskiej średniej (ryc. 3).

Jesteśmy liczącym się w Europie producentem mebli, płyt drewnopochodnych i tarcicy, ale wiele z tych dóbr eksportujemy. W naszym społeczeństwie wciąż jest popularne przekonanie, że wykorzystanie drewna oznacza niszczenie lasów i że drewno jest materiałem nienowoczesnym. W wielu grupach wyrobów od lat traci swój udział na korzyść tworzyw sztucznych, metali, szkła czy betonu. Jeszcze tylko w grupie materiałów posadzkowych



Ryc. 3. Potencjalna konsumpcja drewna tartaczne-go w przeliczeniu na osobę

i mebli pozycja drewna i materiałów drewnopochodnych jest wciąż dominująca. W grupie konstrukcyjnych materiałów budowlanych drewno już dawno straciło należne mu miejsce na rzecz stali, betonu czy aluminium. W ostatnim dziesięcioleciu znacznie spadło wykorzystanie drewna w stolarce budowlanej, zwłaszcza w produkcji okien. Nadal wzrasta popyt na okna z PCV – tańsze i tylko pozornie lepsze. Dla przeciętnego obywatela naszego kraju, przy nabywaniu dóbr konsumpcyjnych, wciąż nie jest ważny argument bliskiej perspektywy wyczerpania się większości surowców ani możliwość korzystania z praktycznie niewyczerpywalnych, bo odnawialnych, zasobów drewna. Dlatego też celowe są wspólne działania leśników i drzewiarzy nakierowane z jednej strony na wypracowanie sposobów zachęcania społeczeństwa do nabywania wyrobów z drewna, a drugiej strony badania zmierzające do optymalizacji przerobu tak wszechstronnego i cennego surowca, jakim jest drewno.

Aktualnie struktura zużycia materiałów tartych w Polsce jest wyraźnie inna niż w krajach zachodniej Europy, np. wskaźnik zużycia tarcicy w budownictwie jest w Pol-

sce wyraźnie niższy niż w krajach UE (w Polsce wskaźnik ten wynosi około 35%, podczas gdy w Austrii – ok. 70%, w Szwecji – 65%, w Niemczech – ok. 60%).

Zła struktura wymiarowo-jakościowa surowca do przerobu tartaczego (deficyt drewna z drzewostanów dojrzałych wiekowo) powoduje, że krajowy przemysł tartaczny napotyka trudności ze zbytym tarcicy bocznej i niższych klas jakości. Z literatury wynika, że w krajach zachodnich tarcicę tę wykorzystuje się w znacznie szerszym zakresie niż ma to miejsce w kraju. Często stosowanymi rozwiązaniami jest łączenie wąskich i krótkich elementów drewna w wielkowymiarowe konstrukcje o różnym przeznaczeniu, przy zastosowaniu różnych metod scalania (klejenie, gwoździowanie, specjalne łączniki metalowe itp.). Ten kierunek badań i wdrożeń praktycznych prowadzi do rozwoju drewna tzw. inżynierskiego. Terminem tym obejmowane są takie produkty, jak drewno warstwowo klejone z tarcicy (Glulam), drewno klejone z fornirów (LVL, PSL, OSL), dźwigary dwuteowe (I-Beams), drewno konstrukcyjne sortowane wytrzymałościowo metodą maszynową (MSR), drewno klejone na złącza klinowe (FJ) czy – od kilku lat – tarcica klejona krzyżowo (CLT).

Drewno inżynierskie to nie tylko budownictwo. Innym ciekawym obszarem aplikacji wyrobów tej grupy są elementy infrastruktury drogowej, a w szczególności drogowe ekrany dźwiękochłonne. Konstrukcje tych ekranów cechują się dużą różnorodnością, zawierają często elementy nośne powstałe z połączenia desek, listew i innych sortymentów drewna oraz prefabrykowane moduły dźwiękochłonne z elementów drewnianych (w niektórych rozwiązaniach moduły te zawierają również inne materiały izolacyjne).

Dużych szans na środowiskowo zrównoważony wzrost stosowania drewna i produktów drewnopochodnych w budownictwie można upatrywać w rozwoju tzw. budownictwa pasywnego, realizowanego w celu maksymalnego wykorzystania tego cennego, odnawialnego materiału budowlanego (Lewandowska i in. 2012).

Literatura

- Agoudjil B., Benchabane A., Boudenne A., Ibos L., Fois M. 2011. Renewable materials to reduce building heat loss: Characterization of date palm Wood. *Energy and Buildings*, 43: 491–497.
- Blass H.J. 2010. Facts you should know about timber engineering. *Papers of the 11th World Conference on Timber Engineering*. WCTE.
- Desch H.E., Dinwoodie J.M. 1996. *Timber: Structure, Properties, Conversion and Use*: Macmillan Press.
- Falk R.H. 2010. Wood as a sustainable building material. w: *Wood handbook: wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Chapter 1, 1–6.
- Fojutowski A., Noskowiak A., Kropacz A. 2009. Physical and mechanical properties and resistance to fungi of Scots pine and birch wood modified thermally and using natural oil. *Drewno-Wood*, 52, 181.
- Grześkiewicz M., Dąbrowski P. 2004. Badanie wybranych właściwości fizycznych i mechanicznych drewna modyfikowanego – ThermoWood®. *Przemysł Drzewny*, 5.
- Gustavsson L., Sathre R. 2006. Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment* 41 2006: 940–951.
- Hanger J., Huber H., Lackner R., Wimmer R., Fellner J. 2002. Verbesserung der natürlichen Dauerhaftigkeit von warmebehandelter Fichte, Kiefer und Buche. *Holzforschung und Holzverwertung*, 55, 92–93.

- Ingerson A. 2011. Carbon storage potential of harvested wood: summary and policy implications: Mitigation and Adaption Strategies for Global Change, 16: 307–323.
- Krzosek S. 2013. Polskie tartaki na ścieżce modernizacji, *Przemysł Drzewny*, 2.
- Krzysik F. 1976. Nauka o drewnie. Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Kubiak M., Laurow Z. 1994. Surowiec drzewny. Warszawa, Fundacja „Rozwój SGGW”.
- Lewandowska A., Noskowiak A., Pajchrowski G., Strykowski W., Witeczak A. 2012. Środowiskowa ocena cyklu życia modelowych budynków drewnianych i murowanych jako zastosowanie techniki LCA. Poznań, Instytut Technologii Drewna.
- Militz H. 2002. Modified wood: a new material for new and existing markets. roceedings of the International Symposium, Hamburg, 6, 69–74.
- Militz H. 2005. Modified wood: processes, products and markets 2nd European Conference on Wood Modification, Göttingen.
- Ngohe-Ekam P.S., Meukam P., Menguy G., Girard P. 2006. Thermophysical characterisation of tropical wood used as building materials: with respect to the basal density; *Construction and Building Materials*, 20: 929–938.
- Osiecka E. 2002. Materiały budowlane. Właściwości techniczne i zdrowotne. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Schultze-Dewitz G. 1994. Vergütung von Rotbuchenholz. *Holzforschung und Holzverwertung* 46, 2, 34–38.
- Siwek K., Warzecha J. 1982. Lignamin – drewno modyfikowane żywicami aminowymi. *Przemysł Drzewny*, 6.
- Tsunetsugu Y., Tonosaki M. 2010. Quantitative estimation of carbon removal effects due to wood utilization up to 2050 in Japan: effects from carbon storage and substitution of fossil fuels by harvested wood products. *Journal of Wood Science*, 56, 339–344.
- Znekteler M. 1962. Wpływ nasycania drewna siarką na jego właściwości. *Sylwan*, 106, 1, 59–71.

Wykorzystanie biomasy leśnej w energetyce – stan i perspektywa do roku 2030 i dalej – do 2080 roku. Uwarunkowania ekonomiczne, organizacyjne, techniczne, rola instrumentów wsparcia

dr Hanna BARTOSZEWICZ-BURCZY, dr Jan SOLIŃSKI

Instytut Energetyki, Warszawa

Wstęp

Podstawowym celem prezentowanego opracowania jest ocena roli i udziału biomasy leśnej w pokryciu potrzeb energetycznych polskiego sektora energii w nadchodzących dekadach: do 2030 i 2050 roku oraz – wstępnie – w perspektywie do 2080 roku.

We wstępie referatu przedstawiono w syntetycznym ujęciu rolę i znaczenie energii, w tym biomasy leśnej, w ujęciu historycznym.

Podstawowymi metodami badań wykorzystywanymi w przygotowaniu przedstawionego referatu były: metoda analizy i syntezy (indukcji i dedukcji), metoda bilansowa oraz metoda porównań). Jako źródła informacji wykorzystano materiały statystyczne oraz opracowania specjalistyczne, w tym opracowania:

- ośrodków badawczych leśnictwa oraz ekspertów indywidualnych,
- Unii Europejskiej i Światowej Rady Energetycznej,
- Międzynarodowej Agencji Energii, Głównego Urzędu Statystycznego, Agencji Rynku Energii, Instytutu Energetyki.

Prognozę dotyczącą biomasy leśnej, zwłaszcza jej potencjału i pozyskania dla potrzeb energetycznych przedstawiono, wykorzystując opracowania i prognozy jednostek naukowo-badawczych leśnictwa oraz ekspertów indywidualnych. Aktualnie dostępne dane dotyczące rozwoju leśnictwa, w tym prognozy dotyczące potencjału biomasy i jej oczekiwanego pozyskania, obejmują okres do 2030 roku. Dla kolejnych horyzontów czasowych – do lat 2050 i 2080, przyjęto zatem założenie, że dynamika wzrostu biomasy leśnej (oraz wielkości jej pozyskiwania) będzie analogiczna do dynamiki wzrostu przyjętej dla wcześniejszego horyzontu czasowego.

Prognozę energetyczną rozwoju sektora energii produkcji energii pierwotnej oraz energii elektrycznej opracowano w ścisłym powiązaniu z makroekonomicznym rozwojem polskiej gospodarki, wymogami wynikającymi z członkostwa w Unii Europejskiej, uwzględniając tendencje światowe w energetyce oraz wykorzystując opracowania Instytutu Energetyki.

Rys historyczny wykorzystania energii przez człowieka

Powszechnie stosowana nazwa „biomasa” to termin pochodzenia greckiego, wywodzący się od słowa „biologia”, tj. nauka o rozwoju życia na ziemi, jego ogólnych przejawach i właściwościach. Podwaliny nauk przyrodniczych, w tym biologii, stworzył już w IV wieku p.n.e. Arystoteles, lecz termin „biologia” został upowszechniony dopiero w XIX w. przez francuskiego uczonego J.B. Lamarcka¹.

Termin „biomasa leśna” został upowszechniony dopiero w II połowie ubiegłego wieku. W przeszłości synonimem biomasy leśnej było zasadniczo drewno, które do okresu tzw. rewolucji przemysłowej w XVIII wieku było podstawowym źródłem zaspokojenia potrzeb energetycznych człowieka.

Życie ludzi (oraz flory i fauny) jest możliwe jedynie przy zapewnieniu dostępu do energii jako źródła wszelkich procesów życiowych. a wykorzystanie przez człowieka energii jest nieodłącznym elementem cywilizacji ziemskiej.

Najstarszą formą energii, której wykorzystanie zapoczątkowano w zamierzalnych latach (prawdopodobnie już około 500 tys. lat p.n.e.), było ciepło pozyskiwane ze spalania drewna, roślin, czy suchego nawozu w celach przygotowania pokarmu i ogrzania się. W kolejnym etapie rozwoju człowiek zaczął użytkować energię świetlną, posługując się między innymi łuczywem, kagankiem i pochodnią.

Kolejnymi etapami postępu energetycznego ludzkości było:

- wykorzystanie do pracy siły zwierząt, zastępując nimi siłę ludzkich mięśni,
- zapoczątkowanie ok. 3 tys. lat p.n.e. wykorzystania siły wiatru (łódzie żaglowe, wiatraki, a pod koniec starożytności energii wodnej – koło wodne),
- uzyskiwanie węgla drzewnego, który w epoce brązu, a następnie żelaza, stał się podstawowym źródłem energii dla ówczesnej metalurgii.

Nowe możliwości zastosowania energii odkryto w średniowieczu i w okresie renesansu, ale także w XVIII w., co zapoczątkowało rewolucję przemysłową. W okresie kolejnej rewolucji przemysłowej w XIX w. oraz w XX w. nastąpił dynamiczny rozwój światowego, w tym również polskiego, sektora energii, ściśle związany z rozwojem gospodarczym. Kluczowymi czynnikami tego rozwoju były:

- wynalezienie maszyny parowej oraz wykorzystanie węgla do jej napędu;
- skonstruowanie silnika spalinowego w XIX w., czego skutkiem był, zwłaszcza w II połowie XX w., gwałtowny rozwój transportu samochodowego oraz wzrost zużycia ropy naftowej,

¹ Wielka Encyklopedia Powszechna, PWN, t. I. Warszawa 1962.

- odkrycie dużych zasobów gazu ziemnego, którego zalety spowodowały, zwłaszcza w II połowie XX w., wzrost różnorodności jego zastosowań i zużycia,
- zapoczątkowanie w końcu XIX w. wytwarzania i użytkowania energii elektrycznej, która stała się najbardziej uniwersalną postacią energii o wszechstronnym zastosowaniu, a do jej wytwarzania w II połowie XX w. wykorzystano również energię atomową².

Biomasa leśna w Polsce, jej potencjał, dotychczasowe wykorzystanie dla celów energetycznych i prognoza do 2050 r.

Definicja biomasy

Biomasa jest definiowana w kilku aktach prawnych, wynikających z dyrektyw Unii Europejskiej, głównie w:

- rozporządzeniach Ministra Gospodarki z 21 marca 2002 r., z 14 sierpnia 2003 r., i 18 października 2012 r., dotyczących energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii, Dz.U. z 2012 r. poz. 1229,
- ustawie z 25 sierpnia 2006 r., o biokomponentach i biopaliwach ciekłych, Dz.U. Nr 169, poz. 1199,
- ustawie „Prawo Energetyczne”, Dz.U. z 2008 r. Nr 89,
- rozporządzeniach Ministra Środowiska z 20 grudnia 2006 r., z 4 listopada 2008 r., z 12 września 2008 r. oraz 22 kwietnia 2011 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji, Dz.U. z 2011 r. Nr 95, poz. 558.

Definicja biomasy określona przez Ministra Gospodarki w rozporządzeniu z 18 października 2012 r. jest następująca: biomasa to „stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej i leśnej oraz przemysłu przetwarzającego ich produkty, także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji oraz ziarna zbóż nie spełniające wymagań jakościowych dla zbóż w zakupie interwencyjnym określonym przez Komisję WE z 11 grudnia 2009 r.”.

Biomasa leśna obejmuje drewno i jego odpady, pochodzące z lasu oraz z przemysłu przetwarzającego surowiec pochodzący z lasu (zrębki, zrżyny, odpady pozrębkowe, gałęziówka, drewno opałowe, trociny i kora).

Z kolei biomasa drzewna jest szerszym pojęciem od biomasy leśnej i dodatkowo uwzględnia:

- drewno pochodzące z sadów,
- drewno pozyskiwane z upraw energetycznych,
- drewno porozbiórkowe, odpady budowlane, stare meble itp.

² M. Jefferson, *Living in one world: sustainability from an energy*. London, World Energy Council 2001; K. Kopecki, *Człowiek w świecie energii*. Książka i Wiedza, Warszawa 1976; J. Soliński, *Sektor energii świata i Polski – początki, rozwój, stan obecny*. Polski Komitet Światowej Rady Energetycznej, Warszawa, 2012.

Lesistość w Polsce oraz wykorzystanie biomasy leśnej dla celów energetycznych przed 2000 rokiem oraz w latach 2000–2010

Obecna lesistość w Polsce, tzn. odsetek powierzchni lasów w relacji do powierzchni całkowitej kraju, jest korzystna w porównaniu do stanu lesistości przed II wojną światową.

W 1937 r. powierzchnia lasów w Polsce wynosiła 93,3 tys. km² co stanowiło 22% powierzchni całego kraju. Cała powierzchnia Polski wynosiła wówczas 387,9 tys. km². W 1945 r. lesistość Polski wynosiła 20,8%. Zmniejszenie lesistości było rezultatem nadmiernej eksploatacji lasów przez okupanta. W latach powojennych nastąpiło odwrócenie tego negatywnego procesu i w 2010 r. lesistość Polski osiągnęła wskaźnik 29,8%.

W okresie przed II wojną światową, a także w latach 1950–2000, biomasa leśna nie była wykorzystywana w elektrowniach jako paliwo do produkcji energii elektrycznej. Była natomiast wykorzystywana przez gospodarstwa domowe do takich celów energetycznych jak ogrzewanie pomieszczeń, przygotowanie posiłków i ciepłej wody. Ponadto w miastach biomasa była wykorzystywana w lokalnych ciepłowniach, zasilających osiedla mieszkaniowe w ciepło i podgrzewaną wodę.

Istotny wzrost zapotrzebowania na biomasę drzewną nastąpił w I dekadzie XXI w., zwłaszcza w latach 2005–2011. Biomasa stała się surowcem do produkcji energii elektrycznej i ciepła w elektrowniach oraz elektrociepłowniach w procesach współspalania z węglem. Oprócz biomasy leśnej wykorzystywanej przez energetykę do produkcji energii elektrycznej i ciepła, nadal znaczące ilości biomasy są zużywane przez gospodarstwa domowe wsi i małych miast, zwłaszcza nieposiadających sieci gazowej.

W ostatnich latach głównym konkurentem biomasy leśnej w gospodarstwach domowych jest gaz ciekły (LPG) w butlach. Zużycie gazu w butlach oraz gazu przeznaczonego zasadniczo do zasilania pojazdów, w ostatniej dekadzie dynamicznie rosło, z 20 tys. ton w 2000 r. do około 2 mln ton w 2013 r.

Biomasa leśna dla celów energetycznych – stan aktualny i prognozowany do 2020 r.

Celem polityki państwa, określonej w krajowym programie zwiększenia lesistości, przyjętym do realizacji przez Radę Ministrów w 1995 r., z dalszymi modyfikacjami proponowanymi przez Instytut Badawczy Leśnictwa, jest zwiększenie lesistości kraju z 29,2% obecnie, do 30% w 2020 r. i 33,0% w 2050 r.³ Zatem prognozowana wielkość i potencjał biomasy leśnej są ściśle związane z lesistością kraju.

W rezultacie badań potencjału ekonomicznego biomasy leśnej w Polsce (czyli tej części biomasy, której pozyskanie jest zasadne ekonomicznie) Polska Izba Biomasy (PIB) opracowała 10-letnią prognozę do 2020 r.⁴, przedstawioną w tabeli 1.

³ A. Kaliszewski: Problemy realizacji „Krajowego programu zwiększenia lesistości” po wstąpieniu do UE. Leśne Prace Badawcze, 2012.

⁴ R. Gajewski: Znaczenie biomasy leśnej w realizacji wymogów pakietu energetycznego w Polsce. Łagów 2012.; R. Gajewski: Potencjał rynkowy biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne. Polska Izba Biomasy, Czysta Energia, 1/2011.

Tabela 1. Potencjał ekonomiczny biomasy leśnej wg Polskiej Izby Biomasy

Biomasa	2010 mln ton	2020 mln ton	Wzrost %
Pochodząca bezpośrednio z lasów	4,56	6,43	4,1
Pochodząca z przemysłu drzewnego	5,50	6,30	15,0
Razem	10,06	12,73	27,0

Źródło: R. Gajewski: Potencjał rynkowy biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne, Polska Izba Biomasy, Czysta Energia 1/2011.

Wielkość dostaw biomasy leśnej na 2015 i 2020 rok, oszacowaną przez Ministerstwo Gospodarki w „Krajowym planie działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych”, przedstawia tabela 2.

Prof. E. Ratajczak (2012) określiła potencjał biomasy drzewnej w 2010 r. w wysokości 15,2 mln m³, w tym: 40% stanowiła biomasa drewno z lasu, 35% – drzewnych produktów ubocznych sektora drzewnego, 24% – drewna użytkowego, i 1% – z upraw plantacyjnych⁵.

Potencjalną wielkość biomasy leśnej dla celów energetycznych (bez biomasy z przemysłu drzewnego), oszacowaną przez dr. S. Zajączkowskiego (2012), dla okresu 2011–2031 przedstawia tabela 3.

Tabela 2. Potencjał ekonomiczny biomasy leśnej wg „Krajowego planu działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych” (2010)

Biomasa	2015 mln ton	2020 mln ton	Wzrost %
Pochodząca z leśnictwa	6,41	6,08	–0,6
Pochodząca z przemysłu drzewnego	5,57	6,38	19,0
Razem	11,98	12,46	4,0

Tabela 3. Potencjalna wielkość biomasy leśnej wg Biura Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej (2012)

Biomasa	2010 mln m ³	2020 mln m ³	2031 mln m ³
Pochodząca z lasów państwowych	5,99	6,82	7,53
Pochodząca z lasów prywatnych	0,91	1,12	1,38
Razem	6,90	7,94	8,91

Źródło: S. Zajączkowski. Prognozy pozyskania drewna w Polsce w perspektywie 20 lat oraz możliwości ich wykorzystania do szacowania zasobów drewna na cele energetyczne. Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej w Sękocinie Starym, 2012 r.

Prognoza potencjału biomasy leśnej dla celów energetycznych dla lat 2030, 2050 i perspektywnie do 2080 r.

Za podstawę do określenia długofalowej prognozy biomasy leśnej przyjęto:

- prognozę Polskiej Izby Biomasy do 2020 r.,
- planowany wzrost powierzchni lasów do 2041 r.,
- trend rozwojowy wzrostu biomasy leśnej wynikający ze wzrostu powierzchni lasów oraz wzrostu potencjału biomasy dzięki modernizacji gospodarki leśnej, przebudowie lasów i unowocześnieniu nowych nasadzeń.

Planowany wzrost powierzchni lasów do 2041 r. opracowany przez Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej przedstawiono w tabeli 4.

⁵ E. Ratajczak, G. Budzińska. Rynek biomasy drzewnej na cele energetyczne. Instytut Technologii Drewna, Poznań. Referat na Konferencję Naukowo-Techniczną w Instytucie Badawczym Leśnictwa, 20–21 listopad 2012.

Uwzględniając przyjęte założenia, określono, że zwiększenie potencjału biomasy leśnej będzie wynosiło:

- a) w latach 2021–2040:
 - 6% (0,3% rocznie) – dzięki zwiększonej lesistości,
 - 10% (0,5% rocznie) – dzięki modernizacji lasów,
- b) w latach 2041–2080
 - 20% (0,5% rocznie) – dzięki modernizacji lasów.

Prognoza kształtowania się potencjału biomasy leśnej dla celów energetycznych, uwzględniająca powyższe założenia dla lat 2010–2020 oraz założenia do 2080 r. została przedstawiona w tabeli 5.

Tabela 4. Planowany wzrost powierzchni lasów do 2041 r.

Lasy	2011 mln ha	2021 mln ha	2031 mln ha	2041 mln ha	2041/2011 %
Państwowe	7,07	7,11	7,15	7,18	102
Prywatne	1,69	1,84	1,97	2,08	124
Razem	8,76	8,95	9,12	9,26	106

Źródło: J. Dawidziuk, B. Narój, Stan aktualny oraz prognozy rozwoju użytkowania zasobów drzewnych w PGL Lasy Państwowe oraz zasobów w lasach prywatnych do 2040 r. Referat na konferencji w Łagowie, 2012 r.

Tabela 5. Potencjał ekonomiczny biomasy leśnej do 2080 r.

Biomasa	2010 mln ton	2020 mln ton	2030 mln ton	2050 mln ton	2080 mln ton
Pochodząca bezpośrednio z lasów	4,56	6,43	6,95	7,89	9,47
Pochodząca z przemysłu drzewnego	5,50	6,30	6,80	7,71	9,25
Razem	10,06	12,73	13,75	15,60	18,72

Źródło: opracowanie własne.

Odnawialne źródła energii (OZE), w tym biomasa leśna jako ważne źródło energii dla produkcji energii elektrycznej i ciepła

Zasoby OZE i ich wykorzystanie jako alternatywa dla energii z nieodnawialnych kopalnych źródeł energii

W Polsce rozwój odnawialnych źródeł energii jest wspierany przez szereg aktów normatywnych, w tym przez ustawę „Prawo energetyczne”, wraz aktami wykonawczymi, „Prawo ochrony środowiska”, wraz z aktami wykonawczymi, i „Politykę energetyczną Polski do 2030 r.” oraz „Politykę ekologiczną”. W fazie konsultacji prowadzonych przez ministra gospodarki jest ustawa o odnawialnych źródłach energii (projekt z października 2012 r.). Stosowany system wsparcia jest oparty na obowiązkowym zakupie energii elektrycznej wytworzonej w źródłach odnawialnych i na wydawaniu świadectw pochodzenia energii wyprodukowanej w źródłach odnawialnych, zwanych zielonymi certyfikatami, które w formie praw majątkowych mogą być przedmiotem obrotu na towarowej giełdzie ener-

gii. Planowane jest wprowadzenie tzw. współczynników korekcyjnych dla dostosowania wsparcia w zależności od rodzaju OZE i zainstalowanej mocy. Inwestycje w odnawialne źródła energii są wspierane przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej i jego oddziały wojewódzkie, powiatowe i gminne, oraz banki w tym: Bank Ochrony Środowiska i banki komercyjne, a także fundusze krajowe i Unii Europejskiej. Ważną rolę odgrywa również promocja źródeł odnawialnych realizowana z funduszy krajowych i europejskich oraz programów celowych, podnosząca świadomość proekologiczną inwestorów, decydentów i społeczności lokalnych, dotyczącą korzyści wynikających ze wzrostu udziału źródeł odnawialnych w bilansie produkowanej energii.

Na początku dekady 2001–2010 zużycie energii ze źródeł odnawialnych w Polsce było niskie, lecz decyzje UE po uzyskaniu przez Polskę członkostwa w tej strukturze przyczyniły się do szybkiego wzrostu wykorzystania na cele energetyczne źródeł odnawialnych. W połowie dekady udział OZE w pokryciu potrzeb energetycznych był niewielki i stanowił tylko kilka procent. W ciągu kilku lat doszło do kilkukrotnego wzrostu zużycia energii ze źródeł odnawialnych, zwłaszcza zużycia biomasy leśnej do produkcji energii elektrycznej i ciepła (głównie przez współspalanie z węglem) oraz wykorzystania energii wiatru do produkcji energii elektrycznej.

Udział OZE w produkcji energii pierwotnej zwiększył się z 6,1% w 2006 r. do 11,2% w 2011 r., natomiast produkcja energii elektrycznej z biomasy stałej wzrosła z 379 GWh w 2006 r. do 7148 GWh w 2011 r., a wykorzystanie energii wiatru z 61 GWh w 2006 r. do 3205 GWh w 2011 r.⁶

Zalety, skutki i celowość wykorzystania OZE

Podstawową zaletą użytkowania OZE jest zmniejszenie emisji gazów szklarniowych do atmosfery. Spalanie biomasy leśnej i pochodzenia rolnego powoduje, że do atmosfery trafia tyle dwutlenku węgla, ile zgromadziła biomasa w procesie wzrostu drzew i roślin. Źródłem biomasy jest bowiem słońce, dzięki któremu w drzewach i roślinach dochodzi do akumulacji CO₂ i powstania biomasy. Zatem użytkowanie biomasy dla celów energetycznych to pośrednie wykorzystanie energii słonecznej.

Dalszą zaletą biomasy drzewnej jest możliwość wykorzystania jej lokalnych zasobów, co sprzyja powstawaniu energetyki rozproszonej i budowie lokalnych źródeł wytwarzania energii, z korzyścią dla zatrudnienia lokalnej siły roboczej oraz aktywizacji gospodarczej terenów słabiej uprzemysłowionych.

Zaletą wykorzystywania OZE jest również spełnienie wymogów Unii Europejskiej, a także innych organizacji międzynarodowych (ONZ, OECD), dążących do ograniczenia zmian klimatycznych, powodujących ocieplenie atmosfery ziemskiej.

Wykorzystanie OZE powoduje również negatywne skutki. Współspalanie biomasy drzewnej w elektrowniach i elektrociepłowniach powoduje zmniejszenie sprawności kotłów w porównaniu ze spalaniem węgla, nasilenie erozji i zanieczyszczania innych urządzeń elektrowni, blokowanie systemów rozładunku, składowania i podawania bio-

⁶ Energia ze źródeł odnawialnych w 2011 r. Informacje i opracowania statystyczne GUS, Warszawa 2012 r.

masy do kotłów. Rośnie zagrożenie wybuchem i pożarem instalacji młynowych kotła, powodując konieczność częstszych remontów młynów. Istnieje także możliwość samozapłonu biomasy na hałdach.

Uwarunkowania dotyczące stosowania biomasy leśnej dla wytwarzania energii elektrycznej i ciepła

Biomasa leśna, z uwagi na właściwości techniczne i użytkowe, stosunkowo wysoką wartość opałową oraz jej znaczący potencjał, jest w Polsce jednym z podstawowych odnawialnych źródeł energii do produkcji energii elektrycznej i ciepła w energetyce zawodowej oraz ważnym źródłem energii dla gospodarstw domowych niezbędnej do ogrzewania, przygotowania posiłków i podgrzewania wody użytkowej. Procesy konwersji termicznej i termomechanicznej (spalanie, zgazowanie i piroliza) oraz biochemicznej pozwalają na szeroki zakres jej zastosowania w energetyce i w transporcie jako nośnika energii.

W latach 1995–2005 zużycie biomasy leśnej w Polsce dla celów energetycznych kształtowało się w granicach 12–13 mln m³. Istotny wzrost zużycia biomasy leśnej dla potrzeb energetycznych nastąpił po 2005 r., tj. od rozpoczęcia jej współspalania z węglem. Jej zużycie w 2010 r. osiągnęło 18 mln m³.⁷

Obecnie w energetyce zawodowej spalanie i współspalanie z węglem jest najczęściej stosowanym rodzajem konwersji energii biomasy na energię elektryczną i ciepło. Stosowane jest w 47 elektrowniach węglowych, głównie w energetycznych kotłach pyłowych i fluidalnych.

W 2010 r. we współspalaniu biomasy z węglem wyprodukowano 5,6 TWh energii elektrycznej, co stanowiło 95% energii elektrycznej wytworzonej z biomasy, a 51% łącznej produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych.⁸

Współspalanie biomasy w tradycyjnych węglowych kotłach energetycznych nie jest perspektywiczną technologią i w nadchodzących latach proces ten zostanie zastąpiony przez sprawniejsze technologie. W energetyce lokalnej powinny być upowszechnione nowe, głównie kogeneracyjne, technologie wykorzystania biomasy (równoległa produkcja energii elektrycznej i ciepła). Sprawność innowacyjnych technologii jest ponad dwukrotnie większa niż uzyskiwana obecnie w procesie współspalania.

Celem strategicznym polityki państwa w najbliższych dekadach jest zwiększenie wykorzystania zasobów OZE, tak by w 2020 r. ich udział w zużyciu energii pierwotnej osiągnął 15%. Realizacja tego celu wymaga spełnienia szeregu uwarunkowań, także dotyczących biomasy leśnej, najważniejsze z nich to:

- z uwagi na ochronę lasów przed ich nadmiernym eksploatowaniem pozyskanie i użytkowanie biomasy leśnej wymaga zrównoważonego i efektywnego jej wykorzystania;
- pokrycie wzrastającego zapotrzebowania na biomasę leśną z potencjału krajowego nie będzie możliwe, wymagany będzie znaczny wzrost jej importu;

⁷ Bilans energii pierwotnej w latach 1995–2010. Agencja Rynku Energii, Warszawa 2011 r.

⁸ Energia ze źródeł odnawialnych w 2011 r. GUS, Warszawa 2012 r.

- dostawy biomasy dla celów energetycznych nie powinny zakłócić jej dostaw dla przemysłu celulozowego, zwłaszcza produkującego różne płyty drewnopochodne dla przemysłu meblowego, będące przedmiotem korzystnego eksportu;
- biomasa leśna wykorzystywana dla celów energetycznych powinna być ekonomicznie korzystna i jej ceny powinny być konkurencyjne w porównaniu do innych paliw. W celu minimalizacji kosztów biomasa nie powinna być transportowana na duże odległości.

Obecnie handel biomasą i związane z nim przewozy w skali globalnej mają tendencję silnie rosnącą. Polska również uczestniczy w międzynarodowym handlu biomasą. W 2011 r. całkowity import drewna do Polski wyniósł prawie 620 tys. ton (drewno opałowe sprowadzane było do Polski z 46 krajów), a wyeksportowano ok. 2389 tys. ton drewna surowego, przetartego oraz peletów i płyt⁹. Choć w podstawowej części transport biomasy jest realizowany drogą morską, to po rozładunku w porcie wykorzystywany jest transport lądowy. Powoduje to określone skutki również w zakresie dodatkowej emisji dwutlenku węgla.

Główne cele i kierunki długofalowej polityki energetycznej kraju w perspektywie do 2080 r.

Główne cele polityki energetycznej to:

- bezpieczeństwo energetyczne dostaw energii,
- równowaga ekologiczna i przeciwdziałanie zmianom klimatycznym atmosfery ziemskiej,
- wzrost efektywności gospodarki i minimalizacja kosztów zaopatrzenia w energię.

W polityce tej można wyróżnić trzy etapy rozwoju sektora energii, tj. okres najlepiej rozpoznany do 2030 r., okres 2031–2050 oraz okres najmniej rozpoznany 2051–2080 r.

Na etapie do 2030 r., po pokonaniu obecnego kryzysu ekonomicznego, wystąpi dążenie do zmniejszenia zależności od dostaw paliw i energii z zagranicy, głównie paliw węglowodorowych, oraz pokrycie krajowego zapotrzebowania na paliwa i energię przede wszystkim ze źródeł krajowych. Konieczne będzie znaczne zwiększenie efektywności, zarówno wytwarzania, jak i zużycia energii. Cel ten zamierza się osiągnąć przez budowę pierwszej elektrowni jądrowej, wzrost pozyskania gazu z zasobów krajowych, zwłaszcza z odkrywanych obecnie zasobów gazu łupkowego (shale gas), oraz wzrostu pozyskania energii źródeł odnawialnych.

W latach 2031–2050 przewiduje się kontynuację głównych celów polityki energetycznej przez budowę następnej elektrowni jądrowej, rozwój wysokosprawnych technologii produkcji, ograniczających emisje CO₂, w elektrowniach węglowych oraz wdrożenie na dużą skalę technologii przechwytywania i magazynowania CO₂ (carbon capture and storage – CCS). Przewiduje się również znaczny rozwój małych rozproszonych zakładów wytwarzania energii elektrycznej, zużywających lokalne źródła energii odnawialnej, zwłaszcza biomasę.

⁹ Rocznik Statystyczny, GUS, Warszawa 2012; ECBREC, Ocena skutków ekonomicznych utrzymania wsparcia dla technologii współspalania węgla z biomasą, aktualizacja raportu. Warszawa 2013.

W latach 2051–2080, obok kontynuacji kierunków rozwoju sektora energii z lat 2031–2050, oczekuje się wprowadzenia w znacznym zakresie energetyki wodorowej, szerokiego wykorzystania ogniw paliwowych i energii słonecznej (kolektory słoneczne, ogniw fotowoltaiczne), prawdopodobnie również opanowania technologii fuzji termojądrowej.

Rozważane są dwa scenariusze wzrostu gospodarczego i rozwoju sektora energii, tj.:

- scenariusz A – umiarkowanego wzrostu,
- scenariusz B – optymistyczny, szybkiego rozwoju gospodarczego.

W obu scenariuszach przyjęto, że najważniejszymi sprawczymi siłami społeczno-gospodarczego rozwoju kraju będą:

- liczba ludności,
- wzrost gospodarczy wyrażony wielkością produktu krajowego brutto (PKB).

Liczbę ludności określono, wykorzystując prognozę demograficzną GUS do 2030 r. i tendencje zmian liczby ludności do 2050 r. i 2080 r.¹⁰

Wzrost gospodarczy określono, zakładając tempo wzrostu PKB w granicach 1,5–3,0% dla scenariusza umiarkowanego, a wyższe – w granicach 2,0 do 4,0%, dla scenariusza optymistycznego.

Podstawowym źródłem prognozy są wyniki badań prowadzone w Instytucie Energetyki przez autorów referatu w 2007 r.¹¹ Ponadto uznano, że najbardziej realny i prawdopodobny jest rozwój gospodarki i energetyki według scenariusza umiarkowanego rozwoju – A.

Prognoza energii pierwotnej dla rozpatrywanych etapów rozwoju sektora energii do 2080 r.

Podstawowe wielkości zapotrzebowania energii pierwotnej i źródeł jego pokrycia są przedstawione w tabeli 6.

W perspektywie 2030 r. i 2050 r., ale również 2080 r., przewiduje się wysoki wzrost produkcji energii pierwotnej OZE, w tym zwłaszcza z biomasy drzewnej pochodzenia leśnego i rolniczego oraz energii wiatru.

W zakresie wymiany energii z zagranicą przewiduje się dalsze ograniczenie eksportu węgla i znaczący wzrost importu ropy naftowej i gazu ziemnego oraz import paliwa jądrowego. Import gazu będzie w znacznym stopniu zależeć od pozyskania gazu z łupków skalnych (shale gas).

Tabela 6. Prognoza zapotrzebowania na energię pierwotną do 2080 r.

Wyszczególnienie	2010 Mtoe	2030 Mtoe	2050 Mtoe	2080 Mtoe
Zapotrzebowanie ogółem	99,6	115,0	126,0	150,0
Produkcja krajowa	61,7	93,5	102,0	90,0
Saldo importu i eksportu, w tym:	30,4	21,5	24,0	60,0
– import (+)	45,9	35,0	51,0	70,0
– eksport (–)	15,5	13,5	17,0	10,0

Źródło: opracowanie własne.

¹⁰ Prognoza ludności na lata 2008–2035, GUS 2009.

¹¹ Polski sektor energii – scenariusze prognozy i kierunki rozwoju do 2050 r. Instytut Energetyki, 2007.

Wzrost zapotrzebowania na energię pierwotną będzie umiarkowany dzięki znacznemu wzrostowi efektywności użytkowania energii.

W efekcie zmniejszenia pozyskania węgla kamiennego oraz niezbędnego wzrostu importu paliw węglowodorowych, w kolejnych dekadach będzie nadal wzrastało uzależnienie polskiej gospodarki od importu paliw z zagranicy. Zmniejszenie tego uzależnienia w 2030 r. i w 2080 r. będzie możliwe dzięki produkcji energii elektrycznej z elektrowni jądrowej i znaczącemu pozyskaniu gazu łupkowego oraz dużemu wzrostowi pozyskania energii ze źródeł odnawialnych.

Obecne zużycie energii elektrycznej per capita w Polsce jest znacznie niższe niż w głównych krajach UE. W 2010 r. zużycie to w Polsce wynosiło 3733 kWh, natomiast we Francji – 7703 kWh, Niemczech – 7148 kWh, Wielkiej Brytanii – 6067 kWh, Hiszpanii – 6310 kWh, w Czechach – 6461 kWh¹².

Prognozę zapotrzebowania na energię elektryczną w nadchodzących dekadach przedstawiono w tabeli 7.

Pokrycie wzrastającego zapotrzebowania na energię elektryczną wymaga budowy nowych mocy, zwłaszcza że istnieje pilna konieczność wycofania z eksploatacji ok. 15 GW starych urządzeń.

Do 2030 r. należałoby zbudować lub zmodernizować elektrownie o mocach rzędu 27 GW. Następnie do 2050 r. niezbędna będzie budowa nowych źródeł wytwarzania ok. 25–30 GW, w tym również następnej elektrowni jądrowej. Nowe elektrownie węglowe powinny być przystosowane do wykorzystywania OZE, zwłaszcza biomasy leśnej (kotły dedykowane).

Realizacja budowy takich mocy będzie ogromnym wyzwaniem inwestycyjnym i finansowym, będzie jednak konieczna dla zapewnienia pokrycia rosnącego zapotrzebowania. Budowa nowych źródeł energii i osiągnięcie pokrycia prognozowanego zapotrzebowania zapewni, że ok. 2050 r. zużycie energii elektrycznej per capita w Polsce będzie zbliżone do obecnego zużycia głównych krajów Unii Europejskiej.

Tabela 7. Prognoza zapotrzebowania na energię elektryczną w perspektywie do 2080 r.

Wyszczególnienie	2010 TWh	2030 TWh	2050 TWh	2080 TWh
Zapotrzebowanie na energię elektryczną	156,3	202,0	244,0	300,0

Źródło: opracowanie własne.

Podsumowanie i wnioski

1. Doświadczenie różnych etapów rozwoju człowieka dotyczące wykorzystania drewna jako paliwa, jak również opinie różnych ekspertów zawarte w wielu opracowaniach dotyczących obecnego użytkowania biomasy leśnej są jednoznaczne. Biomasa leśna z uwagi na swoje zalety, zwłaszcza fakt, że jest przyjazna dla środowiska, oraz z uwagi na niską emisję CO₂ stanowi ważne źródło uzupełniające zużycie paliw kopalnych do produkcji energii elektrycznej i ciepła.
2. Pomimo niezaprzeczalnych zalet biomasy leśnej jako nośnika energii wzrost jej zużycia dla potrzeb energetycznych jest warunkowany ograniczonym potencjałem tej

¹² Key World Energy Statistics. International Energy Agency, 2010.

- biomasy. Nadmierny wzrost potencjału biomasy leśnej byłby sprzeczny ze zrównoważonym i efektywnym rozwojem lasów w Polsce.
3. Od 2005 r. biomasa leśna, oprócz tradycyjnego użytkowania przez gospodarstwa domowe wsi i małych miast do ogrzewania i przygotowania posiłków, jest współspalana z węglem do produkcji energii elektrycznej. W nadchodzących latach proces ten zostanie zastąpiony przez sprawniejsze technologie, w energetyce lokalnej, głównie przez źródła rozproszone, kogeneracyjne.
 4. Z analizy różnych opracowań leśnictwa wynika, że do 2050 i 2080 r. powierzchnia lasów wzrośnie nieznacznie, lecz wystąpi wzrost potencjału biomasy leśnej jako rezultat modernizacji lasów. Równocześnie w badanym okresie wystąpi znaczny wzrost zapotrzebowania na energię pierwotną i elektryczną, co oznacza wzrost zapotrzebowania na biomasę leśną.
 5. Wzrost zużycia biomasy w energetyce jest warunkowany decyzjami Unii Europejskiej dotyczącymi zwiększenia w ogólnym zużyciu energii udziału energii ze źródeł odnawialnych, których istotną część stanowi biomasa leśna; celem tych decyzji jest ograniczenie emisji gazów szklarniowych i przeciwdziałanie ocieplaniu atmosfery ziemskiej.
 6. Pokrycie przyszłego wzrostu zapotrzebowania energetyki na biomasę leśną przy ograniczonym jej pozyskaniu z potencjału krajowego, wymagać będzie wzrostu kosztownego importu biomasy. Określenie wielkości takiego importu będzie zależne m.in. od rozpoznania wpływu spalania biomasy na „zewnętrzne” koszty wytwarzania energii elektrycznej. Dlatego celowe byłoby w niedalekiej przyszłości podjęcie badań wpływu spalania paliw kopalnych oraz biomasy na koszty zewnętrzne wytwarzania energii elektrycznej, z uwzględnieniem kosztów strat w środowisku oraz wpływu emisji CO₂ na zdrowie ludzi itd. Prawdopodobnie drogi import biomasy, po uwzględnieniu kosztów zewnętrznych, będzie dla kraju korzystny.
 7. Pomimo wzrastającego zapotrzebowania energetyki na biomasę leśną jej dostawy dla energetyki nie powinny zakłócać dostaw dla wysoko opłacalnego przemysłu celulozowego i meblarskiego. Przemysł ten zapewnia również zatrudnienie i utrzymanie znacznej liczbie mieszkańców słabiej rozwiniętych regionów kraju.

Literatura

- Bartoszewicz-Burczy H. 2012. Potencjał i energetyczne wykorzystanie biomasy w krajach Europy Środkowej. *Energetyka* 12.
- Bilans energii pierwotnej w latach 1995–2010. 2011. Warszawa, Agencja Rynku Energii.
- Dawidziuk J., Naróć B. 2012. Stan aktualny oraz prognozy rozwoju użytkowania zasobów drzewnych w PGL Lasy Państwowe oraz zasobów w lasach prywatnych do 2040 r.. Referat na konferencję w Łagowie, 2012 r.
- ECBREC. 2013. Ocena skutków ekonomicznych utrzymania wsparcia dla technologii współspalania węgla z biomasą, aktualizacja raportu. Warszawa.
- Energia ze źródeł odnawialnych w 2011 r. 2012. Warszawa, GUS.
- Gajewski R. 2011. Potencjał biomasy z przeznaczeniem na cele energetyczne. Polska Izba Biomasy. *Czysta Energia* 1.

- Gajewski R. 2012. Znaczenie biomasy leśnej w realizacji wymogów pakietu energetycznego w Polsce. Łągów 2012 r.
- Jaczewski M., Bartoszewicz-Burczy H., Soliński J. 2007. Polski sektor energii – scenariusze prognozy i kierunki rozwoju do 2050 r. Warszawa, Instytut Energetyki.
- Kaliszewski A. 2012. Problemy realizacji Krajowego programu zwiększenia lesistości po wstąpieniu do Unii Europejskiej. *Leśne Prace Badawcze*. 73 (3): 189–200.
- Key World Energy Statistics. 2010. International Energy Agency.
- Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych. 2010. Warszawa, Ministerstwo Gospodarki.
- Jefferson M. 2001. *Living in one world: sustainability from an energy*. London, World Energy Council.
- Parczewski Z., Bartoszewicz-Burczy H., Kaska M., Sławiński A. 2012. Ocena strony podażowej sektora energetycznego na Mazowszu. Warszawa, Instytut Energetyki.
- Prognoza ludności na lata 2008–2035. 2009. Warszawa, GUS.
- Ratajczak E., Budzińska G. 2012. Rynek biomasy drzewnej na cele energetyczne. Referat na Konferencję Naukowo-Techniczną w Instytucie Badawczym Leśnictwa, 2012.
- Rocznik Statystyczny. 2012. Warszawa, GUS.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki 18 października 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. *Dz.U.* z 2012 r., poz. 1229.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z 22 kwietnia 2011 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji. *Dz.U.* z 2011 r. Nr 95, poz. 558.
- Soliński J. 2012. Sektor energii świata i Polski – początki, rozwój, stan obecny. Warszawa, Polski Komitet Światowej Rady Energetycznej.
- Ustawa z 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych. *Dz.U.* Nr 169, poz. 1199.
- Zajączkowski S. 2012. Prognozy pozyskania drewna w Polsce w perspektywie 20 lat oraz możliwości ich wykorzystania do szacowania zasobów drewna na cele energetyczne. Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej w Sękocinie Starym.

Współspalanie paliw konwencjonalnych i biomasy drzewnej. Między zrównoważonym rozwojem a ekonomią

dr inż. Wojciech CICHY

Instytut Technologii Drewna, Poznań

Wstęp

W efekcie polityki klimatycznej prowadzonej przez Unię Europejską, a w szczególności przyjętego przez Parlament Europejski w roku 2008 tzw. pakietu 3×20 , Polska została zobowiązana do wypełnienia szeregu zadań mających na celu przeciwdziałanie globalnemu ociepleniu klimatu. Zadania te to: ograniczenie do 2020 roku emisji dwutlenku węgla o 20%, zmniejszenie zużycia energii o 20% oraz wzrost udziału energii ze źródeł odnawialnych z obecnych 8,5% do 20%. Spośród przyjętych zobowiązań właśnie to ostatnie wydaje się być najtrudniejszym w realizacji, co wynika ze struktury polskiej energetyki i dominującej roli zakładów spalających paliwa kopalne. W tej sytuacji zdecydowano, by biomasa stanowiła główne źródło energii odnawialnej. Jak się wydaje, najpoważniejszym źródłem tego surowca możliwym do wykorzystania w charakterze nośnika energii, są w Polsce pozostałości z rolniczej produkcji roślinnej i z przetwórstwa drewna. Dodatkowym aspektem stosowania tego materiału, wobec problemów z rozbudową zakładów opartych na energii wody, wiatru, słońca czy też wnętrza ziemi, jest fakt, że spalanie biopaliw stałych¹ (ze względów ekonomicznych) umożliwia najszybciej wypełnienie przez Polskę międzynarodowych zobowiązań w zakresie produkcji energii elektrycznej i ciepła ze źródeł odnawialnych. Dodatkowo działania o tym charakterze są zgodne z zapisami „Polityki energetycznej Polski do 2030 roku” (2009), przyjętej przez Radę Ministrów w 2009 roku.

W chwili obecnej obserwuje się w Polsce znaczny deficyt drewna, które mogłoby zostać przeznaczone do otrzymywania energii. Wynika to z ograniczonych zasobów leśnych Polski, które nie mogą sprostać rosnącym potrzebom rozbudowanego przemysłu zajmującego się przetwórstwem drewna. Z drugiej strony program rozwoju energetyki

¹ Biopaliwa stałe – paliwa stałe otrzymane z biomasy roślinnej.

opartej na odnawialnych źródłach energii (OZE) kładzie nacisk głównie na wykorzystanie do tego celu biomasy różnego rodzaju. Podstawowym rodzajem biomasy wykorzystywanym w dużych zakładach energetycznych w Polsce są różnego rodzaju odpady pochodzące z mechanicznej obróbki drewna. Cechą charakterystyczną tego rodzaju paliw jest wysoka czystość chemiczna oraz stosunkowo niska wartość opałowa. Z kolei biomasa roślinna pochodzenia rolniczego (tzw. biomasa agro), której potencjał w wielu regionach Polski wydaje się być niemal nieograniczony, sprawia energetykom szereg problemów natury technologicznej.

Biomasa roślinna, a w szczególności biomasa drzewna, była wykorzystywana do otrzymywania energii już od czasów historycznych. Dzięki wykorzystaniu biomasy drzewnej możliwe było wprowadzenie rewolucyjnych przemian technologicznych, związanych z wynalezieniem i wdrożeniem silników parowych, w XVIII i XIX wieku. Mniej więcej od drugiej połowy wieku XIX coraz częściej kopaliny wypierały z użytku paliwa biomasowe. Jeszcze w drugiej połowie XX wieku wykorzystywanie drewna w charakterze paliwa uznawane było za symbol zacofania technologicznego. Do dnia dzisiejszego w wielu krajach trzeciego świata powszechnie stosuje się różnego rodzaju biomasę jako paliwo do ogrzewania domostw i przyrządzania posiłków (Rosillo-Calle i in. 2007). Jeszcze w obecnych czasach obserwuje się znaczące różnice pod względem wykorzystania biomasy do wytwarzania energii pomiędzy krajami rozwijającymi się (około 38%) a krajami uprzemysłowionymi – około 3% (Lewandowski 2006).

Wobec zagrożeń związanych z globalnym ocieplaniem klimatu Parlament Europejski i Rada Europy przyjęły dyrektywę 2001/77/WE w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych (2001), której celem było przede wszystkim wsparcie zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej. Zapisy tego dokumentu spowodowały szereg istotnych zmian w działaniach związanych z wytwarzaniem energii w naszym kraju. Efektem przyjętej przez władze naszego kraju polityki było wdrożenie szeregu aktów prawnych mających na celu wsparcie wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych. Przykładem może być niedawne rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 9 listopada 2012 r. (Dz.U.2012.1229) w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzenia danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii.

Omawiana problematyka jest o tyle istotna, że w ostatnim okresie obserwuje się olbrzymie zainteresowanie biomasą drzewną, stanowiącą odnawialny nośnik energii. Sytuacja taka wynika z międzynarodowych zobowiązań Polski w tej dziedzinie, zawartych m.in. w protokole z Kioto. Dotychczasowe doświadczenia pokazują, iż zapotrzebowanie na biomasę może zostać niezaspokojone wobec stosunkowo niskiej podaży drewna na krajowym rynku oraz ograniczeń prawnych w stosowaniu drewna leśnego do wytwarzania energii. Właściwa klasyfikacja i ocena biopaliw jako odnawialnego nośnika energii mogłyby przynajmniej częściowo przysłużyć się rozwiązaniu problemu niskiej podaży odnawialnych nośników energii na rynku krajowym.

Przyszłe kierunki rozwoju bioenergetyki

W latach 2009–2011, pod kierunkiem specjalistów z Instytutu Technologii Drewna w Poznaniu, wykonano badania, których celem było określenie kierunków badań naukowych priorytetowych dla wzrostu innowacyjności i rozwoju przedsiębiorstw polskiego sektora drzewnego do 2020 roku². W badaniach prowadzonych metodami foresight bioenergia stanowiła jeden ze zidentyfikowanych obszarów badawczych (Ratajczak i in. 2010, 2011). W efekcie prac przeprowadzonych metodą Delphi określono kilka dominujących nurtów badawczych, z których – zdaniem uczestników badania – trzy zasługują na największą uwagę. Są to:

- rozwój upraw drzew szybkorosnących, których znaczenie, jako źródła pozyskiwania surowca do produkcji biopaliw, będzie rosnąć,
- wielokierunkowe i efektywne wykorzystanie dostępnych źródeł biomasy drzewnej, w tym rolniczej i z plantacji drzew szybkorosnących, co sprzyjać będzie zrównoważonemu rozwojowi gospodarki i ochronie środowiska naturalnego,
- rozwój nowoczesnych technologii spalania biomasy drzewnej, co pozwoli na zwiększenie zagospodarowania drewna gorszej jakości i o małej wartości użytkowej (Ratajczak i in. 2010, 2011).

Najważniejsze, zidentyfikowane przez wykonawców projektu, kierunki przyszłych badań w drzewnictwie związanych z bioenergią, ściśle łączą się z przewidywanymi działaniami mającymi na celu zwiększenie efektywności wykorzystania surowców drzewnych, co ma i mieć będzie niebagatelne znaczenie dla rozwoju całej branży. Rozpatrując kierunki badań przewidywanych do roku 2020. Ratajczak i inni (2010) zaproponowali w odniesieniu do bioenergii kilka priorytetów badawczych, z których część bezpośrednio wiąże się otrzymywaniem energii. Chodzi tu o:

- badania nad wielokierunkowym wykorzystaniem dostępnych źródeł biomasy drzewnej, sprzyjającym zrównoważonemu rozwojowi gospodarki (makropriorytet: społeczeństwo i środowisko);
- nowoczesne technologie spalania biomasy drzewnej z wykorzystaniem drewna gorszej jakości i o małej wartości użytkowej (makropriorytet: baza surowcowa).

Jakkolwiek prace prowadzone w tym projekcie odnosiły się do sektora drzewnego, to – zdaniem autorów – poprzez fakt rosnącego niezmiennie od wielu lat popytu na surowiec drzewny i ograniczonej jego podaży w naszym kraju działania mające na celu zastępowanie części sortymentów drzewnych pochodzenia leśnego innymi rodzajami biomasy drzewnej, spowodować mogą zwiększenie dostępności tego surowca dla (szeroko rozumianego) przemysłu drzewnego (Development and promotion of a transparent European Pellets Market, 2009).

Z chwilą podpisania traktatu akcesyjnego Polska została zobowiązana do wdrażania unijnej polityki klimatycznej, której podstawowe zasady odnoszące się do wytwarzania energii elektrycznej określono w wysokiej rangi dokumentach, takich jak „Polityka energetyczna” (2009), opracowana przez Ministerstwo Gospodarki. Po przeanalizowaniu

² “Foresight w drzewnictwie – scenariusze rozwoju badań naukowych w Polsce do roku 2020” – projekt POIG 01.01.01-30-022/08.

uwarunkowań geograficzno-gospodarczych stwierdzono, że najszybszym sposobem wywiązania się z zobowiązań wobec UE w tej dziedzinie będzie wykorzystanie w szerokim zakresie biomasy jako nośnika energii. Niezwykle istotnym czynnikiem, który bezpośrednio wpłynął na podjęcie takiej decyzji, była struktura energetyki w Polsce – w ponad dziewięćdziesięciu procentach opartej na spalaniu paliw kopalnych (węгля kamienne-go i brunatnego). Uznano, że w początkowym okresie wytwarzanie energii z udziałem odnawialnych jej nośników (różnych postaci biomasy) będzie można prowadzić dzięki wspólnemu spalaniu dotychczasowych, konwencjonalnych paliw i biomasy. Taki system, nie wymagający znaczących inwestycji, miał być stosowany w okresie przejściowym, do czasu wybudowania instalacji przeznaczonych do spalania paliw biomasowych (tzw. instalacji dedykowanych dla biomasy). Oczekiwano, że procesy współspalania pozwolą ograniczyć koszty kapitałowe i eksploatacyjne, przy uzyskaniu większej sprawności elektrycznej i większej elastyczności paliwowej (Rybak 2006). Dodatkowym aspektem tych posunięć miała być redukcja emisji zanieczyszczeń, którą spodziewano się uzyskać jako efekt tzw. działań reburningowych. Potwierdzeniem przewidywanych efektów były doniesienia literaturowe, dokumentujące doświadczenia zagranicznych ośrodków naukowych i przedsiębiorstw energetycznych (van Loo, Koppejan 2010). W tym czasie w samej Europie funkcjonowało około 100 instalacji współspalających biomasę z węglem (Ściążko i in. 2007a). Oczekiwania te nie do końca sprawdziły się w polskich warunkach.

Możliwości wykorzystania biomasy w energetyce

Rozróżnia się trzy zasadnicze warianty wytwarzania energii poprzez współspalanie biomasy (bądź otrzymanego z niej biogazu) z paliwami konwencjonalnymi:

- współspalanie bezpośrednie – mamy z nim do czynienia w sytuacji, gdy proces spalania zachodzi w jednej komorze spalania (do spalania doprowadzane są strumienie węgla i biomasy bądź gotowa mieszanka węgla i biomasy);
- współspalanie pośrednie – ma miejsce w sytuacji, gdy spalanie biomasy zachodzi w przedpalenisku, a entalpia spalin wykorzystywana jest do generacji ciepła w wymiennikach ciepłowniczych, albo wtedy, gdy gaz otrzymany w gazogeneratorze z biomasy jest spalany w komorze spalania razem z węglem;
- współspalanie w układzie równoległym – z którym mamy do czynienia w sytuacji, gdy paliwo węglowe i biomasowe spalane są w osobnych komorach spalania, z zachowaniem wymaganych parametrów technologicznych procesu. Jego szczególnym przypadkiem jest tzw. układ hybrydowy, w którym elementem wspólnym jest dopiero kolektor parowy (van Loo, Koppejan 2010, Ściążko i in. 2007a, b).

Z oczywistych względów największą popularność w polskich warunkach zyskał wariant współspalania bezpośredniego. Wynikało to głównie z relatywnie niskich kosztów inwestycyjnych, związanych z przystosowaniem instalacji do spalania dwóch rodzajów paliw (węgla i biomasy). Wariant ten jednakże budzi olbrzymie kontrowersje wśród ekspertów w kraju i za granicą (Gawor 2013).

Porównując właściwości węgla energetycznych i biomasy (w tym biomasy drzewnej), stwierdzić można znaczne różnice w zawartości pierwiastków elementarnych. W bioma-

się występuje około dwukrotnie mniej węgla pierwiastkowego, czterokrotnie więcej tlenu i dużo mniej siarki i azotu (w zależności od rodzaju biomasy). W efekcie paliwa biomasowe charakteryzują się wysokim (w porównaniu do węgla energetycznych) udziałem części lotnych. Czynnikiem ten wpływa bezpośrednio na zachowanie się biomasy w trakcie spalania, wymuszając stosowanie odpowiednich technologii spalania. Inną cechą wyróżniającą paliwa biomasowe jest jej wysoka hydrofilność, co sprawia że często cechuje się one wysoką zawartością wilgoci w wyniku oddziaływania czynników atmosferycznych podczas jej składowania. Efektem tego jest niska wartość opałowa w stanie roboczym. Inną niekorzystną cechą biomasy jest jej stosunkowo niska gęstość (gęstość nasypowa), wpływająca bezpośrednio na koszty jej transportu z miejsca pozyskania do elektrowni oraz na koszty składowania. Właściwości te powodują, iż koszty energii wytworzonej z biomasy są wielokrotnie wyższe w porównaniu z kosztami paliw węglowych. Dopiero system wsparcia w postaci tzw. zielonych certyfikatów sprawia, że działalność ta staje się opłacalna.

Skoro zakłady energetyczne zobowiązane zostały do wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych, a wyższe koszty wytwarzania tej energii są rekompensowane poprzez mechanizmy wsparcia, rodzi się pytanie: dlaczego tak wiele jest kontrowersji wobec tego rodzaju działalności oraz dlaczego tak wielu specjalistów sprzeciwia się wspieraniu wytwarzania „energii odnawialnej” z wykorzystaniem procesów jej współspalania z węglem. Argumentów przytoczyć można co najmniej kilka:

1. Współspalanie w warunkach polskich stosowane jest w głównej mierze w instalacjach kilkudziesięcioletnich, a co za tym idzie o stosunkowo niskiej sprawności energetycznej, często nie przekraczającej 30% przy spalaniu paliw konwencjonalnych. Spalając w takich urządzeniach paliwa biomasowe, o niskiej wartości opałowej (wysoka wilgotność + zanieczyszczenia mineralne), obniżamy tę sprawność jeszcze bardziej. W efekcie tylko niewielka część energii chemicznej zawartej w spalanych paliwach jest przekształcana w energię elektryczną. Można powiedzieć, że technologia ta obniża efektywność spalania paliwa węglowego. Dla porównania nowoczesne instalacje dedykowane do spalania biomasy osiągają sprawność sięgającą 80%.
2. Ponieważ najbardziej poszukiwanym rodzajem biomasy przeznaczanej do wytwarzania energii jest biomasa drzewna, wysoki popyt na ten rodzaj surowca spowodował wzrost cen drewna nawet w odniesieniu do (jak by się wydawało) najmniej wartościowych jego sortymentów. Działania związane ze współspalaniem uderzają zatem bezpośrednio w przemysł drzewny, który – choć niedoceniany, stanowi jeden z filarów polskiej gospodarki. Niska sprawność współspalania w polskich warunkach powoduje, iż potrzeby surowcowe energetyki są wielokrotnie wyższe niż by się to mogło wydawać. Należy nadmienić, iż uznawane za materiał drzewny gorszej jakości zrębki i trociny tartaczne oraz tzw. drobnica leśna to podstawowy surowiec przemysłu płyt drewnopochodnych.
3. Wprowadzony w Unii Europejskiej system wsparcia miał za zadanie rekompensować wysokie koszty wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych i stymulować wdrażanie nowych technologii wytwarzania energii z OZE. Jak wynika z informacji przedstawianych przez Instytut Energetyki Odnawialnej (Wiśniewski i in. 2012, 2013), w 2012 r. prawie 70% wsparcia w postaci zielonych certyfikatów trafiło do dziewiętnastu największych polskich elektrowni. Dziesięć z nich produkowało energię elektryczną, współspalając węgiel z domieszką biomasy.

4. Opracowania eksperckie Instytutu Energetyki Odnawialnej (Wiśniewski i in. 2012, 2013) wskazują, że na rynku pojawiła się spora nadwyżka zielonych certyfikatów, przyznawanych za każdą megawatogodzinę energii wyprodukowanej z OZE. W efekcie ich cena spadła o kilkadziesiąt złotych, sprawiając, iż w wielu wypadkach wsparcie produkcji energii z wykorzystaniem OZE przestało kompensować wysokie koszty jej wytwarzania także dla innych nośników (poza biomasą).
5. Z raportu Instytutu Energetyki Odnawialnej pt. „Ocena skutków ekonomicznych utrzymania wsparcia dla technologii współspalania węgla z biomasą” (Wiśniewski i in. 2013) wynika, że utrzymanie obecnego poziomu wsparcia dla technologii współspalania biomasy w blokach węglowych oznacza, że w 2020 r. Polska będzie musiała kupić za granicą drogą „zieloną energię” za 6 mld zł. Obecnie około 50% energii wytworzonej w OZE w Polsce pochodzi z procesów współspalania biomasy z węglem. Specjaliści z IOE uważają, że współspalanie w obecnej formie blokuje rozwój innych technologii odnawialnych w Polsce.
6. Zdaniem wielu specjalistów krajowych i zagranicznych „energetyka odnawialna” to przede wszystkim „energetyka rozproszona”, przetwarzająca surowce odnawialne w energię jak najbliżej źródeł ich powstawania. Działania takie ograniczają do minimum koszty związane z transportem paliw (biomasy), obniżają straty związane z przesyłem, ograniczają import biopaliw, generują nowe miejsca pracy. Idea zrównoważonego rozwoju w kwestiach energii ze źródeł odnawialnych odnosi się właśnie do takich działań. W taki właśnie sposób wspiera się rozwój OZE w innych krajach. Dla przykładu w Niemczech systemem wsparcia objęte są jedynie źródła energii odnawialnej o mocy nie przekraczającej 20 MW.

Podsumowanie

Potrzebą chwili jest jak najszybsze uchwalenie ustawy o odnawialnych źródłach energii. Brak stabilnych rozwiązań prawnych dotyczących OZE znacząco utrudnia, a nawet uniemożliwia podejmowanie racjonalnych decyzji związanych z wytwarzaniem energii odnawialnej, szczególnie w zakresie nowych inwestycji.

Niezwykle ważną kwestią jest dobrze funkcjonujący system prawny. Przemysłowe i poddane konsultacjom społecznym rozwiązania powinna cechować niezmiennosc i stabilność co do istoty. Ma to niezwykle istotne znaczenie szczególnie w odniesieniu do działań inwestycyjnych, z natury rzeczy rozłożonych w czasie.

Poziom wsparcia dla technologii współspalania powinien być w uchwalonej ustawie o OZE znacznie zredukowany w odniesieniu do aktualnego projektu. System wsparcia powinien uwzględniać koszty dostępu do zasobów energii odnawialnej, a także postępujący spadek kosztów technologii związanych z OZE.

System wsparcia powinien generalnie obejmować rozwój (wdrażanie) nowych technologii generowania energii ze źródeł odnawialnych, a w przypadku biomasy – rozwój technologii charakteryzujących się wysoką efektywnością.

W odniesieniu do biomasy drzewnej w pierwszej kolejności powinien zostać zaspokojony popyt przemysłu przetwarzającego drewno (przemysł celulozowo-papierniczy,

producenci płyt drewnopochodnych). Dopiero po tym należałoby próbować spełnić oczekiwania energetyki.

Literatura

- Bocian P., Golec T., Rakowski J. (red.) 2010. Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy. Monografia. Warszawa, Instytut Energetyki.
- Development and promotion of a transparent European Pellets Market. Creation of a European real-time Pellets Atlas. Deliverable 5.1, Final report on producers, traders and consumers of mixed biomass pellets. 2009. <http://www.pelletsatlas.info> (12.05 2013 r.).
- Dyrektywa 2001/77/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 września 2001 r. w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych. Dziennik Urzędowy Wspólnot Europejskich nr L.283/33 z 27.10.2001 r.
- Gawor M. 2013. Rozmowa z dr inż. Markiem Gaworem. DBFZ. <http://www.oze.pl/biomasa/rozmowa-z-dr-inz-markiem-gaworem-pracownikiem-naukowym-niemieckiego-centrum-badan-nad-biomasa-dbfz,354.html> (6.06.2013 r.).
- Hikiert M.A. 2005. Gdzie przebiega granica rodzaju surowca drzewnego, którego spalanie jest gospodarczo uzasadnione. II Międzynarodowa Konferencja Procesorów Energii: Eco-Euro-Energia w Bydgoszczy. Materiały konferencyjne, 1, 135–139.
- Lewandowski M.L. 2006. Proekologiczne odnawialne źródła energii. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Polityka Energetyczna Polski do 2030 roku. 2009. Warszawa, Ministerstwo Gospodarki, 10 listopada 2009 r., <http://www.mg.gov.pl/Bezpieczenstwo+gospodarcze/Energetyka/Polityka+energetyczna> (12.05.2013 r.).
- Ratajczak E. (red.) 2010. Scenariusze rozwoju badań naukowych w drzewnictwie. Poznań, Wydawnictwo Instytutu Technologii Drewna.
- Ratajczak E. (red.) 2011. Foresight w drzewnictwie – Polska 2020. Obszar badawczy: bioenergia. Poznań, Wydawnictwo Instytutu Technologii Drewna.
- Rosillo-Calle F., de Groot P., Hemstock S.L., Woods J. 2007. The Biomass Assessment Handbook. London–Sterling, Earthscan.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 9 listopada 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii (Dz.U.2012.1229).
- Rybak W. (2006). Spalanie i współspalanie biopaliw stałych. Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- Ściażko M., Zuwała J., Pronobis M. (red.) 2007a. Współspalanie biomasy i paliw alternatywnych w energetyce. Zabrze, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla i Politechnika Śląska.
- Ściażko M., Zuwała J., Sobolewski A. (red.) 2007b. Przewodnik metodyczny. Procedury bilansowania i rozliczania energii wytworzonej w procesach współspalania. Warszawa – Zabrze, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla i Towarzystwo Gospodarcze Polskie Elektrownie.
- Taubman J. 2011. Węgiel i alternatywne źródła energii. Prognozy na przyszłość. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- van Loo S., Koppejan J. (red.) 2010. The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing., London–Washington DC, Earthscan.
- Wiśniewski G., Michałowska-Knap K., Arcipowska A. 2012. O niezrównoważonym wykorzystaniu odnawialnych zasobów energii w Polsce i patologii w systemie wsparcia OZE. Warszawa, Instytut Energetyki Odnawialnej.
- Wiśniewski G., Michałowska-Knap K., Kunikowski G. 2013. Ocena skutków ekonomicznych utrzymania wsparcia dla technologii współspalania węgla z biomasą. Aktualizacja raportu. Warszawa, Instytut Energetyki Odnawialnej.
- Wójcik W. (red.) 2005. Nowe kierunki wytwarzania i wykorzystania energii. Zrównoważone systemy energetyczne. Lublin, Lubelskie Towarzystwo Naukowe.

Opracowania ekspertów

SESJA

4

Udział lasów Polski w ochronie klimatu

mgr inż. Tomasz KOWALCZEWSKI, mgr inż. Marcin ŻACZEK²

Ministerstwo Środowiska,

² Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami w Instytucie Ochrony Środowiska, Warszawa

Wstęp

Zmiany klimatu stanowią obecnie jedno z największych wyzwań, przed jakim staje świat. Międzyrządowy Panel do Spraw Zmian Klimatu (IPCC), w czwartym raporcie z 2007 r., stwierdził, że dostępne są „nowe i mocniejsze dowody, że obserwowany przez ostatnie 50 lat wzrost globalnej temperatury spowodowany jest działalnością człowieka” (IPCC 2007). Użytkowanie gruntu, włączając w to leśnictwo i rolnictwo, jest jednym z ważniejszych źródeł emisji gazów cieplarnianych. Właśnie użytkowanie gruntu, głównie wylesianie, odpowiada za ok. 20% emisji gazów cieplarnianych na świecie (IPPC 2000, 2007). Jednocześnie leśnictwo ma znakomity potencjał mitygacyjny zmian klimatu.

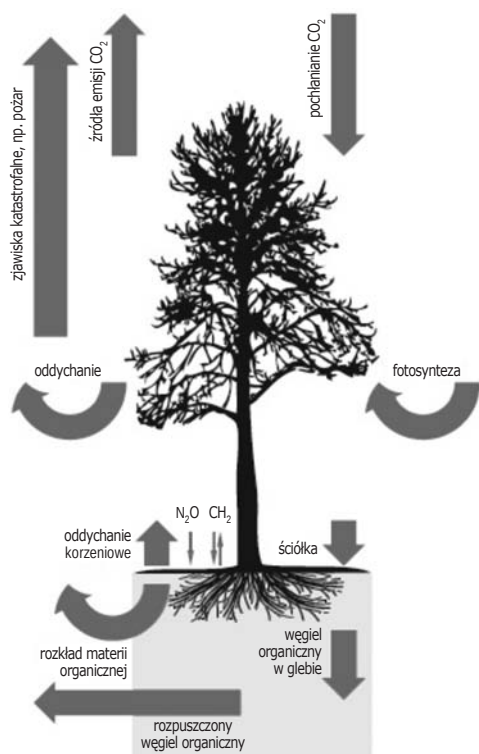
Właściwości mitygacyjne lasów, a także całej biomasy roślinnej, wynikają z roli lasów w naturalnym procesie obiegu węgla w przyrodzie. Podstawowym komponentem biosfery jest biomasa roślinna, czyli różnego rodzaju zbiorowiska roślin porastające obszary lądowe i mające znaczący udział w nieprzerwanym procesie wymiany (obiegu) węgla.

Rośliny pochłaniają dwutlenek węgla w procesie fotosyntezy, po czym tlen wraca do atmosfery w wyniku oddychania, a węgiel zostaje wbudowany w tkanki. Proces ten został zilustrowany na rycinie 1.

Ilość węgla związanego w biomasie zależy przede wszystkim od gatunku roślin. W przypadku drzew ważne są także takie czynniki, jak żyzność siedliska, jego wilgotność czy temperatura powietrza. Znaczny wpływ na tempo przyrostu masy drzewnej ma wiek drzew: przyrost masy drzewnej, a tym samym dynamika pochłaniania CO₂, jest bardziej intensywny u drzew młodszych niż u drzew starszych.

Ze względu na swoją względną trwałość oraz potencjał kumulowania biomasy, w sekwestracji węgla najbardziej liczą się ekosystemy leśne, które stanowią największy naturalny rezerwuar węgla. Dlatego ochrona lasów i ich zrównoważone użytkowanie są dziś ważnym elementem polityk ochrony klimatu na świecie, zmierzających do powstrzymania rosnącego stężenia CO₂ w atmosferze.

Na forum Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w Sprawie Zmian Klimatu (UNFCCC) podkreślono znaczenie lasów w procesie przeciwdziałania zmianom kli-



Rezerwuar węgla:

- w lesie:
 - biomasa powyżej poziomu gruntu: drewno (kłody, gałęzie), kora, liście,
 - biomasa poniżej poziomu gruntu: pniaki, korzenie,
 - ściółka,
 - martwe drewno,
 - materia organiczna w glebie;
- poza lasem/wywieziony z lasu:
 - produkty z drewna,
 - drewno opałowe.

Ryc. 1. Schemat obiegu węgla w ekosystemie leśnym

matu: „państwa powinny działać na rzecz ochrony i podnoszenia efektywności, m.in. pochłaniaczy i zbiorników wszystkich gazów cieplarnianych, takich jak biomasa i lasy” (UNFCCC 1992, art. 4d). W ten sposób zdefiniowano nową, poza-produkcyjną funkcję lasu, jaką jest pochłanianie dwutlenku węgla, oraz podkreślono rolę lasów jako ekosystemu, który ze względu na świadczenie szeregu usług środowiskowych powinien być objęty szczególną ochroną. Wraz z rozwijaniem ram prawnych rozliczania emisji i pochłaniania węgla rozpoczęto prace nad tworzeniem wytycznych niezbędnych do zliczania i późniejszego raportowania wielkości zasobów węgla w lasach oraz innych ekosystemach.

W niniejszym opracowaniu przeanalizowane zostały przepisy prawa międzynarodowego, wyznaczające kierunki i zasady rozliczania emisji i pochłaniania węgla w sektorze leśnictwa. Ponadto analizie poddane zostały dostępne metodologie IPPC zliczania zasobów węglowych w ekosystemach leśnych. Opracowanie zawiera także prognozy kształtowania się zasobów węglowych w polskich lasach do 2020 r. przy różnych założeniach gospodarowania lasami.

Otoczenie prawne

Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu

Rok 1992 stanowił cezurę w międzynarodowym procesie ochrony środowiska. Wówczas odbyła się II konferencja Organizacji Narodów Zjednoczonych na temat środowiska i rozwoju. Konferencja ta, potocznie nazywana szczytem Ziemi, toczyła się w dniach 3–14 czerwca 1992 roku w Rio de Janeiro w Brazylii i zakończyła się przyjęciem czterech dokumentów, a mianowicie:

- ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu;

- Agendy 21 – stanowiącej katalog celów ochrony przewidzianych do realizowania w XXI wieku;
- konwencji o zachowaniu różnorodności biologicznej;
- deklaracji dotyczącej kierunku rozwoju, ochrony i użytkowania lasów.

Jednym z rezultatów konferencji było podpisanie przez przedstawicieli państw ramowej konwencji w sprawie zmian klimatu. Oficjalną władzą konwencji stała się Konferencja Stron (Conference of Parties – COP), składająca się z przedstawicieli wszystkich krajów, które ratyfikowały konwencję.

Polska zrobiła to 26 lipca 1994 roku¹.

Konwencja ta stała się podstawą do prowadzenia polityki w dziedzinie ochrony klimatu. Jej nadrzędnym celem jest ustabilizowanie stężeń gazów cieplarnianych w powietrzu na poziomie, który mógłby zapobiec globalnej zmianie systemu klimatycznego. Konwencja, zgodnie z artykułem 4.c., zobowiązała państwa do podjęcia działań na rzecz ograniczenia antropogenicznej emisji gazów cieplarnianych we wszystkich sektorach gospodarki, w tym w leśnictwie. W myśl artykułu 4d konwencji, państwa powinny także działać na rzecz ochrony i podnoszenia efektywności m.in. takich pochłaniaczy i zbiorników gazów cieplarnianych, jak biomasa i lasy. Podpisanie i ratyfikacja konwencji nie skutkowały wiążącymi działaniami w celu osiągnięcia założeń konwencji. Dopiero protokół uzgodniony w Kioto (Japonia) nałożył określone ograniczenia emisji w okresie 2008–2012 roku, formułując tzw. cele redukcyjne.

Tabela 1. Lista dotychczasowych spotkań stron konwencji UNFCCC i protokołu z Kioto (PzK)

1. 1995 – COP 1, Mandat berliński, Berlin
2. 1996 – COP 2, Genewa, Szwajcaria
3. 1997 – COP 3, Kioto, Japonia
4. 1998 – COP 4, Buenos Aires, Argentyna
5. 1999 – COP 5, Bonn, Niemcy
6. 2000 – COP 6, Haga, Holandia
7. 2001 – COP 7, Marakesz, Maroko
8. 2002 – COP 8, Nowe Delhi, Indie
9. 2003 – COP 9, Mediolan, Włochy
10. 2004 – COP 10, Buenos Aires
11. 2005 – COP 11/CMP 1, Montreal, Kanada
12. 2006 – COP 12/ CMP 2, Nairobi, Kenia
13. 2007 – COP 13/ CMP 3, Bali, Indonezja
14. 2008 – COP 14/ CMP 4, Poznań, Polska
15. 2009 – COP-15/ CMP 5, Kopenhaga, Dania
16. 2010 – COP 16/ CMP 6, Cancún, Meksyk
17. 2011 – COP 17/ CMP 7, Durban, RPA
18. 2012 – COP 18/ CMP 8, Doha, Katar
19. 2013 – COP 19/ CMP 9, Warszawa, Polska

Protokół z Kioto

W 1995 r. odbył się pierwszy COP w Berlinie, podczas którego przyjęto tzw. mandat berliński². Zgodnie z tym mandatem – Decyzja 1/CP.1 – powołano proces, który miał zostać zakończony na trzeciej konferencji stron (COP 3). W ramach tego procesu strony konwencji, zgodnie z artykułem 4.2a, b konwencji, zobowiązały się do wzmocnienia zo-

¹ Dziennik Urzędowy z 1994 r., Nr 53 poz. 238.

² FCCC/CP/1995/7/Add. 1

bowiązań grupy krajów rozwiniętych³, dotyczących stworzenia odpowiednich regulacji i instrumentów w celu redukcji antropogenicznych emisji gazów szklarniowych (GHG) oraz ustanowienia konkretnych ograniczeń i celów redukcyjnych.

Na COP 3 w 1997 r. w Kioto uzgodniono protokół do konwencji klimatycznej, określający cele wskaźnikowe dla poszczególnych krajów. Głównym postanowieniem protokołu, zgodnie z art. 3 ust. 1, była globalna redukcja emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 5% do 2012 roku, w odniesieniu do roku bazowego – 1990. Państwa rozwinięte (wymienione w aneksie I) powinny wykazać na koniec okresu rozliczeniowego, obejmującego lata 2008–2012, wypełnienie konkretnych celów redukcyjnych. Polski cel emisyjny to redukcja o 6% w stosunku do roku 1988.

Protokół z Kioto wszedł w życie w 2005 roku i od tego momentu powstał nowy organ konwencji – tzw. spotkanie stron protokołu (Meeting of the Parties to the Kyoto Protocol, CMP).

Poprzez regulacje protokołu z Kioto, strony, które ratyfikowały protokół, mają obowiązek składania corocznych raportów z inwentaryzacji gazów cieplarnianych, zawierających także szacunkowe dane dla sektora „Użytkowanie gruntów, zmiany użytkowania gruntów i leśnictwa” (Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF). Wszelkie zmiany dotyczące biomasy czy sposobu użytkowania gruntu zawarto w jednym sektorze LULUCF. Sektor ten łączy w sobie różne działania powiązane z rolnictwem oraz z leśnictwem. Użytkowanie gruntu rozumiane jest jako sposób zagospodarowania gleby, czyli np. prowadzenie upraw lub użytkowanie pastwiskowe. Zmiany użytkowania gruntu to m.in. konwersja terenów uprawnych na tereny pastwiskowe lub przekształcenie terenów użytkowanych rolniczo na tereny leśne. Leśnictwo to działania polegające na zagospodarowaniu, pielęgnowaniu, ochronie, użytkowaniu oraz odnawianiu lasów. W związku z faktem, iż spośród działań zawartych w tym sektorze leśnictwo ma największy potencjał mitygacyjny, często upraszcza się cały sektor LULUCF tylko do leśnictwa.

W trakcie COP 18 w Dausze (Katar) przyjęto poprawki do protokołu z Kioto, które wprowadzają drugi okres rozliczeniowy na lata 2013–2020.

Międzyrządowy Panel do Spraw Zmian Klimatu IPCC

Międzyrządowy Panel do Spraw Zmian Klimatu (The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) jest organem międzyrządowym, założonym w 1988 r. przez dwie organizacje globalne – Światową Organizację Meteorologiczną (WMO) oraz Program Środowiskowy Organizacji Narodów Zjednoczonych (UNEP) w celu oceny ryzyka związanego z wpływem człowieka na zmianę klimatu. IPCC jest ciałem naukowym, funkcjonującym pod auspicjami Organizacji Narodów Zjednoczonych (ONZ). Jego głównym celem jest przegląd i ocena najnowszych doniesień naukowych, technicznych oraz informacji o sytuacji ekonomiczno-społecznej na świecie tak, aby najlepiej zrozu-

³ Kraje zaliczane do grupy państw rozwiniętych wyszczególnione są w załączniku I do konwencji klimatycznej UNFCCC. Szczegółowa lista dostępna na stronie: http://unfccc.int/parties_and_observers/parties/annex_i/items/2774.php.

mieć proces zmian klimatu. IPCC nie prowadzi badań naukowych, opiera się tylko na dostępnych źródłach informacji.

Organizacja jest otwarta dla wszystkich krajów członkowskich ONZ i WMO. Najważniejsze decyzje dotyczące struktury IPCC i jego pracy, takie jak raporty i ich zakres, podejmowane są w trakcie sesji plenarnych, odbywających się na szczęblu przedstawicieli rządowych średnio raz w roku. Każdy rząd ma swój własny punkt kontaktowy IPCC, który koordynuje działania związane z IPCC w danym kraju.

IPCC zostało oficjalnie włączone do prac nad metodyką rozliczania emisji GHG ze wszystkich sektorów gospodarczych. Zgodnie z Decyzją 4/CP.1⁴ konferencji stron w Berlinie w 1995 roku. Raporty IPCC stanowią naukową podstawę dla całego procesu negocjacyjnego UNFCCC.

Polityka klimatyczna UE i miejsce sektora LULUCF

W roku 2007, podczas posiedzenia ministrów ds. środowiska UE, przyjęto założenia dotyczące przeciwdziałania zmianom klimatu, stanowiące, że Unia Europejska do 2020 roku:

- zredukuje emisję gazów cieplarnianych o 20% (z opcją redukcji o 30%, jeżeli zostaną zawarte stosowne porozumienia międzynarodowe) w stosunku do poziomu emisji z 1990 r.;
- zwiększy udział energii odnawialnej w finalnej konsumpcji energii o 20%;
- zwiększy efektywność energetyczną, w stosunku do prognoz o 20%;
- zwiększy udział biopaliw w ogólnej konsumpcji paliw transportowych co najmniej do 10%.

Kierując się tymi założeniami, Komisja Europejska przygotowała pakiet dokumentów legislacyjnych tworzących tzw. pakiet energetyczno-klimatyczny (PEK). Pod koniec 2008 roku osiągnięto porozumienie pomiędzy Parlamentem Europejskim i Radą UE w zakresie przepisów PEK. Pakiet ten, który stanowi zbiór aktów prawnych wprowadzających politykę klimatyczną poszczególnych sektorów gospodarczych, wszedł w życie 1 stycznia 2013 roku.

Pomimo iż zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/29/WE (EU ETS)⁵ wszystkie sektory powinny partycypować w procesie redukcji emisji gazów cieplarnianych, nie ujęto w unijnej polityce klimatycznej sektora LULUCF. Natomiast w decyzji Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/406/WE (non ETS)⁶ w artykule 9 widnieje zapis zobowiązujący Komisję Europejską do przedstawienia raportu (komunikatu) oceniającego możliwości włączenia emisji z sektora LULUCF do celu redukcyjnego Unii Europejskiej.

⁴ Patrz: <http://unfccc.int/resource/docs/cop1/07a01.pdf>.

⁵ Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/29/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu usprawnienia i rozszerzenia wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych (tzw. dyrektywa EU ETS), artykuł 28.

⁶ Decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/406/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie wysiłków podjętych przez państwa członkowskie, zmierzających do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych w celu realizacji do roku 2020 zobowiązań Wspólnoty dotyczących redukcji emisji gazów cieplarnianych (tzw. decyzja non-ETS).

Komisja Europejska oszacowała, że w 2008 r. wielkość pochłaniania CO₂ z sektora LULUCF wyniosła ok. 410 mln ton, co stanowiło ok. 8% łącznej emisji gazów cieplarnianych w UE. Jednakże z dużym prawdopodobieństwem to oszacowanie obarczone było błędem z uwagi na słabe rozpoznanie sektora w tamtym okresie. Kolejne raporty inwentaryzacyjne składane na potrzeby UNFCCC przez państwa i konkretne uwagi audytorów dały lepsze podstawy do szacowania zasobności poszczególnych rezerwuarów węgla. Ponadto, przyjęcie zasad rozliczania sektora LULUCF na II. okres rozliczeniowy (decyzja 2/CMP.7, 2011 r.) pozwoliło na podjęcie próby włączenia sektora LULUCF do polityki klimatycznej Unii Europejskiej.

W marcu 2012 r. Komisja Europejska przedstawiła propozycję decyzji⁷ w sprawie zasad rozliczania i planów działania dotyczących emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych w wyniku działalności związanej z użytkowaniem gruntów i ze zmianą użytkowania gruntów w leśnictwie. Projekt decyzji KE oparty jest w znakomitej większości na postanowieniach zawartych w Durbanie (podczas COP 17), dotyczących zmiany zasad rozliczania sektora LULUCF z obowiązujących w ramach Konwencji na obowiązujące w Unii Europejskiej.

Projekt decyzji KE określa wspólne zasady rozliczania emisji i pochłaniania CO₂ z sektora LULUCF dla państw członkowskich oraz nakłada obowiązek raportowania oszacowanej wielkości emisji związanej z działalnością antropogeniczną, a także i pochłaniania, z obecnie stosowanych form użytkowania gruntu. KE zaproponowała obowiązkowość raportowania takich działań jak: zalesianie, ponowne zalesianie, wylesianie, gospodarka leśna, gospodarka gruntami uprawnymi oraz pastwiskami i łąkami. Projekt decyzji KE stanowi pierwszy etap przed rozważaniem włączenia sektora LULUCF do celu redukcyjnego UE. Projekt decyzji został już uzgodniony w procesie trójstronnym pomiędzy Komisją Europejską, Parlamentem Europejskim oraz Radą Unii Europejskiej, i będzie niebawem opublikowany w europejskim dzienniku ustaw.

Porozumienie w sprawie ochrony lasów Europy

W Europie początek lat 90. to okres nie tylko wielkich przemian politycznych i gospodarczych. Zaczęto wówczas również zwracać uwagę na potrzebę ochrony zasobów naturalnych i środowiska. To czas znaczących porozumień i rozpoczętych procesów dotyczących ochrony środowiska w Europie i na całym świecie. Troska o lasy europejskie, zdegradowane gwałtownym rozwojem przemysłu, doprowadziła w 1990 r. do powstania Ministerialnego Procesu Ochrony Lasów w Europie (MCPFE). Proces ten jednoczył 46 krajów Europy i Unię Europejską oraz około 40 organizacji międzynarodowych o statusie obserwatora. Stał się platformą do dialogu i wypracowywania rozwiązań politycznych mających na celu ochronę i zrównoważone zarządzanie lasami w Europie. Postanowienia tego ministerialnego procesu przez lata zyskiwały coraz większą rangę polityczną w obrębie całego regionu. Zakres oddziaływania tej inicjatywy jest bardzo

⁷ Propozycja decyzji Parlamentu Europejskiego i Rady, COM (2012) 93.

znaczący, ponieważ niemal 44% powierzchni Europy stanowią lasy, zarządzane zgodnie z wytycznymi przyjętymi przez MCPFE.

Pierwsza konferencja ministerialna odbyła się w Strasburgu w 1990 r. Ministrowie, świadomi rosnącego zagrożenia lasów w Europie i widząc potrzebę współpracy transgranicznej w zakresie leśnictwa, zainicjowali proces naukowej i technicznej współpracy w dziedzinie ochrony i lepszego zarządzania ekosystemami leśnymi na obszarze całej Europy. Na pierwszej konferencji przyjęto jedną ramową deklarację i sześć rezolucji w sprawie monitoringu zasobów leśnych w Europie, ochrony leśnych zasobów genetycznych, utworzenia bazy danych o pożarach leśnych oraz adaptacji lasów górskich do nowych warunków środowiskowych.

Druga konferencja odbyła się w Helsinkach w 1993 r. Ministrowie podczas tej konferencji odpowiedzieli na wiele postulatów zawartych w uzgodnieniach przyjętych na szczycie Ziemi w 1992 r. Najważniejszym postanowieniem helsińskiej konferencji było przyjęcie rezolucji (H1)⁸ dotyczącej ogólnych wytycznych do prowadzenia zrównoważonej gospodarki leśnej. Dokument ten określił (I część – ogólne wytyczne, pkt 1), iż działania i wysiłki muszą prowadzić do utrzymania emisji zanieczyszczeń powietrza i gazów szklarniowych poniżej zakładanego poziomu tolerancji.

Koncepcja zrównoważonej gospodarki leśnej w Europie łączy w sobie problematykę ochrony lasów⁹, zalesiania i ponownego zalesiania¹⁰ oraz degradacji lasów¹¹. Proces MCPFE w trakcie czwartej konferencji wyrażał pełne poparcie i zobowiązał kraje do działań mających na celu pełne wdrożenie postanowień konwencji UNFCCC oraz protokołu z Kioto¹².

Trzecia konferencja odbyła się w Lizbonie w 1998 r. Skoncentrowano się na społeczno-ekonomicznych aspektach gospodarki leśnej, ponadto przyjęto paneuropejskie kryteria dla zrównoważonej gospodarki leśnej. Kryteria te odzwierciedlają porozumienie zawarte pomiędzy europejskimi krajami w zakresie najważniejszych aspektów zrównoważonej gospodarki leśnej oraz stanowią wytyczne do rozwijania krajowych regulacji prawnych w tym zakresie. Są one następujące:

- zachowanie i właściwe wzmacnianie zasobów leśnych i ich udział w globalnym obiegu węgla;
- utrzymanie zdrowia i żywotności ekosystemu leśnego;
- zachowanie i wzmacnianie produkcyjnych funkcji lasów (produkty drzewne i nie-drzewne);
- zachowanie, ochrona i właściwe wzmacnianie różnorodności biologicznej ekosystemów leśnych;
- zachowanie i właściwe wzmacnianie funkcji ochronnych w gospodarce leśnej (zwłaszcza gleby i wody);
- zachowanie innych funkcji i warunków społeczno-ekonomicznych.

⁸ Patrz: http://www.foresteurope.org/docs/MC/MC_helsinki_resolutionH1.pdf.

⁹ MCPFE, 1 Rezolucja z Helsinek z 1993 r.; ogólne wytyczne pkt 6.

¹⁰ MCPFE, 1 Rezolucja z Helsinek z 1993 r.; ogólne wytyczne pkt 8 oraz przyszłe działania pkt 14.

¹¹ MCPFE, 1 Rezolucja z Helsinek z 1993 r.; ogólne wytyczne pkt 1.

¹² MCPFE, 5 Rezolucja z Wiednia z 2003 r.; p. 6.

Na piątej ministerialnej konferencji, w Warszawie w 2007 r., rozpoczęto proces zgłębiania potencjalnych korzyści ustanowienia prawnie wiążącego porozumienia obejmującego cały region Europy. Po konferencji w Warszawie zmieniono nazwę procesu na Forest Europe. W 2011 r., podczas szóstej konferencji, wypracowano mandat polityczny¹³ (tzw. Mandat z Oslo) do osiągnięcia porozumienia prawnie wiążącego w sprawie lasów Europy.

Porozumienie o lasach będzie odnosić się do każdego z kryteriów zrównoważonej gospodarki leśnej, w tym także do kryterium dotyczącego roli lasów w obiegu węgla na ziemi.

Zgodnie z tekstem negocjacyjnym¹⁴, wypracowanym podczas ostatniej sesji negocjacyjnej Międzyrządowego Komitetu Negocjacyjnego¹⁵ (INC), państwa, które staną się stroną porozumienia, będą zobligowane m.in. do wdrażania na swoim terenie zrównoważonej gospodarki leśnej (sustainable forest management, SFM). Przyszłe, prawnie wiążące porozumienie dotyczące lasów Europy, może wspomóc kraje w podkreśleniu trzech równoważnych aspektów leśnictwa: ekologicznego, ekonomicznego oraz społecznego. Porozumienie może stać się punktem odniesienia dla krajów do wskazywania międzysektorowych powiązań leśnictwa.

Kryteria zrównoważonej gospodarki leśnej, określone w ramach procesu Forest Europe, odnoszą się także do elementów związanych z polityką klimatyczną, m.in. kryterium pierwsze – „zachowanie i właściwe wzmacnianie zasobów leśnych i ich udział w globalnym obiegu węgla”, oraz kryterium drugie – „zachowanie i wzmacnianie produkcyjnych funkcji lasów (produkty drzewne i nie drzewne)”. Kryterium drugie opisuje ekonomiczną wartość zasobów drzewnych, a przez to odnosi się do wielkości pozyskania drewna oraz do relacji pomiędzy przyrostem biomasy na pniu a wielkością pozyskania.

Zgodnie z obecnym kształtem proponowanego tekstu porozumienia państwa, które staną się stroną porozumienia, zobligowane zostaną m.in. do:

- zachowania i właściwego zwiększania zasobów leśnych oraz ich udziału w globalnym obiegu węgla stosownie do międzynarodowych, regionalnych i krajowych zobowiązań;
- wsparcia działań niezbędnych do zwiększenia magazynowania węgla w produktach leśnych oraz zastępowanie materiałów nieodnawialnych i źródeł energii.

Tworzenie prawnie wiążącego porozumienia o lasach Europy i późniejsze jego przyjęcie do prawa krajowego może pomóc w zakotwiczeniu pojęcia zrównoważonej gospodarki leśnej i intersektorowości leśnictwa. Przyszła konwencja o lasach Europy może stać się międzynarodowym dokumentem łączącym m.in. przyrodnicze, społeczne, gospodarcze i klimatyczne funkcje lasu.

¹³ Patrz: http://www.forestnegotiations.org/sites/default/files/oslo2011_mandate_14-16june2011.pdf.

¹⁴ Patrz: http://foris.fao.org/static/forestnegotiations/DOC2_INC3_EN.pdf.

¹⁵ Podczas Konferencji Ministerialnej w Oslo powołano Międzyrządowy Komitet Negocjacyjny (Intergovernmental Negotiating Committee, INC), którego zadaniem jest wypracowanie prawnie wiążącego porozumienia o lasach w Europie. Do wypełnienia swojego zadania INC powinien kierować się dotychczasowymi osiągnięciami procesu Forest Europe.

Mierzenie, raportowanie i weryfikacja emisji dla sektora LULUCF

Potencjał mitygacyjny sektora LULUCF

LEŚNE PROJEKTY INWESTYCYJNE ELEMENTEM SPOSOBU WYCENY WARTOŚCI LASÓW POPRZEZ POTENCJAŁ SEKWESTRACYJNY (MECHANIZMY ELASTYCZNE USTANOWIONE NA MOCY PROTOKOŁU Z KIOTO)

Protokół z Kioto, formułując określone cele redukcji emisji zanieczyszczeń, ustanowił także narzędzia, jakimi państwa mogą wspomagać ten proces. Na mocy artykułów 6 oraz 12 protokołu z Kioto uchwalono mechanizmy projektowe mające na celu wsparcie redukcji antropogenicznych emisji gazów cieplarnianych lub zwiększenie antropogenicznego pochłaniania CO₂ we wszystkich sektorach gospodarki.

Stworzono tzw. mechanizmy elastyczne (flexible mechanisms), do których należy zaliczyć:

- międzynarodowy handel emisjami (international emission trading);
- mechanizm wspólnych wdrożeń (joint implementation, JI);
- mechanizm czystego rozwoju (clean development mechanism, CDM).

Mechanizmy JI i CDM są mechanizmami projektowymi, których ideą jest transfer technologii z jednego państwa do drugiego, przy czym inwestor, poza potencjalnymi dochodami generowanymi dzięki funkcjonowaniu instalacji, otrzymuje także jednostki redukcji emisji. Różnica pomiędzy tymi mechanizmami polega na lokalizacji projektu. W przypadku projektów JI kraj rozwinięty (wyszczególniony w załączniku I. do konwencji UNFCCC) realizuje przedsięwzięcie mające na celu redukcję emisji GHG w państwie, w którym osiągnięcie takiej redukcji jest tańsze. Dzięki takiemu mechanizmowi kraj goszczący konkretne przedsięwzięcie zyskuje nowoczesną technologię i przyjazne środowisku rozwiązanie technologiczne. Kraj inwestujący natomiast uzyskuje jednostki emisji (emissions reductions unit, ERU), które może wykorzystać na krajowe cele redukcyjne lub mogą one stać się przedmiotem handlu.

W przypadku mechanizmu CDM zasada jest podobna, jednakże kraj rozwinięty (wymieniony w załączniku I konwencji UNFCCC) prowadzi działanie inwestycyjne w kraju rozwijającym się (nie wymienionym w załączniku I) mające na celu redukcję GHG. W wyniku inwestycji kraj rozwijający się zyskuje nowoczesną technologię przyjazną środowisku, a kraj inwestujący pozyskuje jednostki emisyjne (certified emission reduction unit, CER). Jednostki te mogą posłużyć do wypełniania zobowiązań redukcyjnych lub mogą stać się przedmiotem handlu.

W ramach projektów JI i CDM dopuszczono możliwość realizacji działań związanych z użytkowaniem gruntu. W trakcie negocjacji nad wytycznymi dla mechanizmu CDM najtrudniejszym zagadnieniem, jakie ograniczało rozwój takiego rozwiązania, była kwestia trwałości jednostek emisyjnych generowanych przez projekty inwestycyjne. Na COP 9 w Mediolanie zgodzono się, aby działania realizowane w ramach projektów CDM ograniczyć tylko do zalesień i ponownych zalesień, a dopuścić wykorzystanie

jednostek emisyjnych pozyskanych z tych projektów – w wysokości 1% – na wywiązanie się ze zobowiązań wynikających z I. okresu rozliczeniowego¹⁶.

Ustanowienie mechanizmu CDM i dopuszczenie do realizacji projektów związanych z leśnictwem dało duże nadzieje, zwłaszcza krajom afrykańskim, na pozyskanie dużych inwestycji w sektorze leśnym (Streck 2006). Niestety skomplikowane reguły oraz zmniejszenie popytu na jednostki generowane przez CDM nie dały szans na rozwój projektów leśnych realizowanych w ramach CDM. Znaczącym czynnikiem załamania się rynku uprawnień pochodzących z projektów leśnych była europejska dyrektywa 2004/101/WE¹⁷. Dyrektywa ta nie dopuszczała do wykorzystywania w Unii Europejskiej jednostek generowanych przez projekty leśne¹⁸.

Do chwili obecnej zarejestrowano 36 projektów¹⁹ leśnych realizowanych w ramach CDM, a ponad 600 projektów redukujących emisję z zakresu gospodarki odpadami.

Dla porównania, w ramach mechanizmu JI kraje rozwinięte mogą realizować projekty mające na celu zwiększenie pochłaniania. Od początku funkcjonowania mechanizmu zarejestrowany został tylko jeden projekt.

ZASADY ROZLICZANIA SEKTORA LULUCF W LATACH 2008–2012

usunęłam "r."

Cztery lata po podpisaniu protokołu z Kioto społeczność międzynarodowa spotkała się na 7. konferencji stron (COP) w Marakeszu (Maroko). Podczas tego spotkania ustalono zbiór zasad regulujących proces wypełniania celów redukcyjnych ustanowionych protokołem z Kioto, co de facto umożliwiło wejście w życie całego protokołu.

W odniesieniu do sektora LULUCF zasady z Marakeszu zapewniły, iż działania podejmowane w ramach sektora LULUCF nie powinny podważać integralności środowiskowej protokołu z Kioto. Zasady te formułowały konieczność spójnej metodologii, opartej na badaniach naukowych, jak również wskazywały na wagę ochrony bioróżnorodności. Doprecyzowano także, iż pochłanianie gazów cieplarnianych, zachodzące naturalnie, bez dodatkowej działalności człowieka, powinno zostać wyłączone z systemu raportowania. W celu spójności i porównywalności systemów raportowania obowiązujących w różnych krajach, wprowadzono wspólną definicję lasu. Pamiętając jednak, że definicje lasu w różnych krajach są skrajnie różne, dopuszczono możliwość dostosowania niektórych parametrów do krajowej specyfiki. Jednakże definicja raz wybrana staje się obowiązkowa. Postanowienia z Marakeszu przyniosły także definicje działań zawartych w katalogu art. 3.4 protokołu z Kioto.

Porozumienie z Marakeszu wyznaczyło metody rozliczania emisji i pochłaniania CO₂ związanych z poszczególnymi działaniami w sektorze LULUCF. Dla działań z katalogu art. 3.3 zalesianie, ponowne zalesienie, wylesianie oraz dla gospodarki leśnej

obowiązująca?

¹⁶ Patrz decyzja 17/CP.7 w sprawie sposobów i procedur dla mechanizmu czystego rozwoju, FCCC/CP/2001/13/add. 2

¹⁷ Dyrektywa 2004/101/WE, zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE, ustanawiającą system handlu przydziałami emisji gazów cieplarnianych we Wspólnocie, z uwzględnieniem mechanizmów projektowych protokołu z Kioto (2003/87/EC), ustanawiająca system handlu przydziałami emisji gazów cieplarnianych we Wspólnocie.

¹⁸ Artykuł 11a.

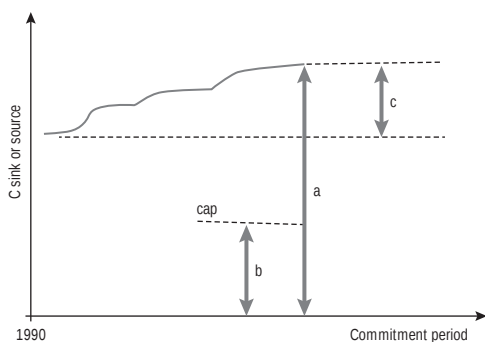
¹⁹ Źródło: strona internetowa konwencji klimatycznej www.unfccc.int (dostęp 13.03.2013).

???

(działanie 3.4) przyjęto metodę gross-net. Dla innych działań zawartych w katalogu art. 3.4 przyjęto metodę rozliczania emisji net-net. Sposób rozliczania jest przedstawiony na wykresie 1.

Metody rozliczeniowe zostały przyjęte przez COP 11/CMP.1 w Montrealu w 2005 r. Wydawały się relatywnie proste i transparentne, natomiast po przyjęciu tych zasad rozpoczęła się fala krytyki, wykazująca brak metodologicznej spójności.

Pierwszy zarzut dotyczył możliwości wyboru tylko tych działań, które potencjalnie są źródłem uprawnień (Schlamadinger 2007). Podstawową luką w stosowanej metodologii był brak obowiązkowego raportowania emisji i pochłaniania będącego skutkiem gospodarki leśnej. Dało to możliwość nieraportowania tego działania krajom, w których sektor leśny miał niekorzystne wyniki. Kolejnym zarzutem była kolejność działań. Najpierw ustalono cele redukcyjne, a następnie reguły rozliczania się z tych celów. Ponadto metoda gross-net uniemożliwiała w odpowiedni sposób wyróżnienie w bilansie emisyjnym tych wielkości pochłaniania CO₂, które były efektem dodatkowych działań podejmowanych w ramach gospodarki leśnej. Dlatego też w 2008 roku rozpoczęto rozmowy mające na celu wypracowanie nowej metody rozliczania gospodarki leśnej po I. okresie rozliczeniowym protokołu z Kioto.



Metoda rozliczania	Co jest rozliczane jako emisja/pochłanianie	Działanie rozliczane tą metodą
Gross-net	całkowita emisja/pochłanianie w okresie rozliczeniowym (a)	zalesianie, ponowne zalesienie, wylesianie (art 3.3 PzK)
Gross-net z limitem	całkowita emisja/pochłanianie w okresie rozliczeniowym ograniczone określonym krajowym limitem (dla Polski 3 mln t CO ₂ /rok) (b)	gospodarka leśna w I okresie rozliczeniowym
Net-net z przywróceniem do 1990	różnica pomiędzy emisją/pochłanianiem w okresie rozliczeniowym a emisją/pochłanianiem w 1990 r.	działania rolnicze z katalogu art. 3.4 PzK

Wykres 1. Metody rozliczania emisji lub pochłaniania z sektora LULUCF obowiązujące w I okresie rozliczeniowym (źródło: opracowanie własne na podstawie JRC)

ZASADY ROZLICZANIA SEKTORA LULUCF OBOWIĄZUJĄCE OD 2013 R.

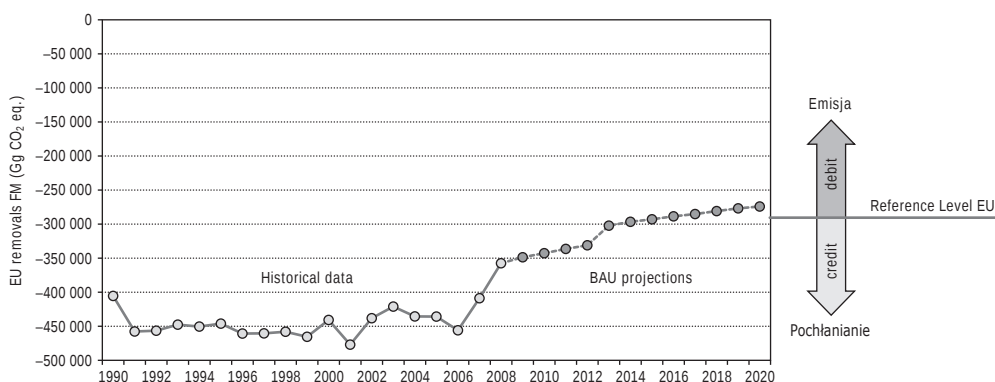
W Cancun w trakcie COP 16 w 2010 r. przyjęto decyzję 2/CMP.6²⁰, która zobligowała kraje do wyznaczenia konkretnych poziomów odniesienia dla gospodarki leśnej (FMRL). Decyzja ta określiła także, jak FMRL powinien zostać skontrolowany. Do wyliczenia FMRL należało wziąć pod uwagę historyczne wielkości emisji i pochłaniania z gospodarki leśnej, strukturę wiekową drzewostanów, działania i praktyki stosowane w gospodarce leśnej oraz prognozy aktywności. Przedmiotowa decyzja określiła także mechanizm przeglądu tego poziomu przez niezależnych audytorów. Proces był zarzą-

²⁰ Patrz: <http://unfccc.int/resource/docs/2010/cmp6/eng/12a01.pdf#page=5>.

dzany przez sekretariat Konwencji. Proces weryfikacji poziomu odniesienia dla gospodarki leśnej w Polsce²¹ zakończył się pomyślnie.

Na konferencji stron w Durbanie (COP 17) przyjęto decyzję w sprawie nowych zasad rozliczania emisji i pochłaniania pochodzących z sektora LULUCF. Ponadto decyzja wskazała nową metodologię rozliczania emisji i pochłaniania dwutlenku węgla z gospodarki leśnej. W ramach tej metodologii umożliwiono rozliczanie emisji z produktów z pozyskanego drewna (harvested wood products, HWP) oraz wyłączenie obszarów dotkniętych klęskami żywiołowymi.

Nowa metodologia rozliczania polega na porównywaniu corocznego bilansu emisji i pochłaniania z poziomem odniesienia FMRL, który dla Polski wynosi $-27\,133\text{ Mt CO}_{2\text{eq}}/\text{rok}$ ²² (znak minus oznacza pochłanianie). Efekt rocznego bilansu trzeba będzie przysporować do FMRL i powstały wynik wskaże taką wartość emisji lub pochłaniania z gospodarki leśnej, jaką Polska będzie mogła wykazać w krajowych bilansach emisji gazów cieplarnianych przekazywanych do sekretariatu UNFCCC.



Wykres 2. Ilustracja mechanizmu funkcjonowania poziomu odniesienia (źródło: opracowanie własne na podstawie zasobów JRC)

Rozliczanie emisji z produktów drzewnych (HWP) oparte jest na założeniu, że w strukturach takich produktów węgiel jest związany przez cały czas, co oznacza, iż część drewna pozyskanego w ramach użytkowania lasu nadal jest traktowana jako rezerwuuar węgla. Długość okresu wiązania węgla zależy od rodzaju produktu drzewnego (dla rozliczeń ilości węgla w ten sposób zakumulowanego produkty drzewne usystematyzowano w trzech kategoriach, wskazując średni okres ich trwałości (tab. 2).

²¹ Zgłoszenie polskiego poziomu odniesienia dla gospodarki leśnej znajduje się pod adresem http://unfccc.int/files/meetings/ad_hoc_working_groups/kp/application/pdf/poland_150911.pdf.

²² W polskim zgłoszeniu poziomu odniesienia zostały wyznaczone dwa poziomy jeden $-22\,750\text{ MtCO}_2$, drugi natomiast $-27\,133\text{ MtCO}_2$. Pierwszy przy założeniu, iż emisje pochodzące z pozyskanych produktów drzewnych (HWP) rozliczane będą jako emisja w roku pozyskania, drugi – że w rozliczaniu HWP będzie stosowana zasada połowicznego rozpadu. Decyzja jednoznacznie wskazuje, iż kraje które do wyznaczenia poziomu odniesienia korzystają z prognoz dla gospodarki leśnej zobligowane są do rozliczania HWP zgodnie z zasadą połowicznego rozpadu.

Drewno wykorzystywane do celów energetycznych jest rozliczane tak, jak w pierwszym okresie obowiązywania PzK, na zasadach natychmiastowego utlenienia. Wyliczając wielkość pochłaniania uzyskanego dzięki gospodarce leśnej, państwa będą więc mieć możliwość późniejszego (przesuniętego w czasie) rozliczania emisji związanych z uwalnianiem węgla z produktów drzewnych.

Uzgodniono także, iż z bilansu emisji i pochłaniania z gospodarki leśnej będą wyłączone wielkości emisji z terenów, na których wystąpiły zjawiska ekstremalne w postaci katastrof naturalnych, np. wiatrołomy, pożary, gdyż zjawiska katastrofalne z natury rzeczy są zjawiskami nieprzewidywalnymi.

W trakcie negocjacji UNFCCC nad opracowywaniem nowej metodyki rozliczania salda emisji i pochłaniania z gospodarki leśnej, przeciwnicy obecnej metody krytykowali ją za wysoki poziom złożoności, brak dostarczania prawdziwych zachęt dla sektora leśnego, brak gwarancji zachowania integralności środowiskowej. Po części jest to efektem możliwości pozyskiwania jednostek pochłaniania (RMU) bez faktycznego dodatkowego działania na gruncie. Pomimo to, metodologia weszła w życie i zaczyna być stosowana.

Tabela 2. Długość okresu trwałości produktów z pozyskanego drewna

Produkt z pozyskanego drewna	Okres trwałości (w latach)
Papier	2
Płyty i panele drzewne	25
Drewno tartaczne	35

PORÓWNYWALNOŚĆ POZIOMÓW ODNIESIENIA DLA GOSPODARKI LEŚNEJ W KRAJACH BĘDĄCYCH STRONAMI PROTOKOŁU Z KIOTO

Głównym celem wypracowywania nowych zasad rozliczania gospodarki leśnej było uzgodnienie jednej metody, która pozwoliłaby uzyskać określoną porównywalność gospodarek poszczególnych krajów i jednocześnie odzwierciedlałaby dodatkowe działania podejmowane przez te kraje w ramach gospodarki leśnej. Decyzja 2/CMP.6, która zobligowała państwa do wyznaczenia poziomów odniesienia i poddania ich audytowi UNFCCC, faworyzowała prognozowane poziomy odniesienia. Domyślnym okresem prognozowania był rok 2020.

Schemat wyznaczenia poziomów odniesienia Unii Europejskiej i wszystkich jej państw członkowskich opierał się na wykorzystaniu prognoz do roku 2020, przy założeniu, że obecne trendy emisji nie uległyby zmianie (business as usual scenario, BAU). Rosja, Norwegia oraz Białoruś w zupełnie inny sposób zinterpretowały zapisy decyzji z Cancun. Za poziom odniesienia przyjęły saldo emisji i pochłaniania CO₂ z roku 1990. Jeszcze inaczej postąpiła Japonia, która za poziom odniesienia przyjęła poziom zero, co oznacza, iż w II okresie rozliczeniowym gospodarka leśna w tym kraju, będzie rozliczana metodą gross-net. W wyniku przeprowadzonego przeglądu FMRL, prowadzonego przez niezależnych audytorów i nadzorowanego przez Sekretariat UNFCCC²³, wszystkie poziomy odniesienia zostały zaakceptowane (załącznik I do decyzji 2/CMP.7).

²³ Sekretariat UNFCCC przygotował raport podsumowujący proces przeglądu poziomów odniesienia dostępny pod adresem: <http://unfccc.int/resource/docs/2011/awg16/eng/inf02.pdf>.

STOSOWANE DEFINICJE LASU

Kwestią kluczową we wszystkich aktach prawnych i porozumieniach są definicje i związana z nimi interpretacja. Zgodnie z decyzją 16/CMP.1²⁴ z 2005 r. państwa zgodziły się, aby przyjęto definicję lasu, w której zastosowano przedziały wielkości wybranych parametrów (minimalna powierzchnia, potencjał wzrostu dorosłych drzew czy minimalne pokrycie powierzchni koronami drzew). Państwa zobowiązały się, że do końca 2006 r. w raportach wstępnych, przekażą parametry krajowe, które będą wykorzystywane podczas identyfikacji gruntów w ramach raportowania działań z zakresu art. 3.3 (ARD) i art. 3.4 (FM) PzK.

Opisane podejście jest zgodnie z wytycznymi IPCC²⁵ z 2003 roku, w których w rozdziale 4.1.1²⁶ stwierdza się, że dobrą praktyką jest, aby kraje określiły minimalną szerokość obszaru leśnego, jednostkę powierzchni stosowaną przy rozliczaniu zalesień, ponownych zalesień i wylesień oraz minimalną powierzchnię traktowaną jako las.

Parametry charakteryzujące las muszą być spójne z definicjami używanymi na potrzeby UNFCCC i PzK.

Polska w 2006 r. w raporcie wstępnym²⁷ do protokołu z Kioto zdefiniowała las zgodnie z krajową definicją, tj. określając:

- minimalny obszar – 0,1 ha;
- minimalna szerokość obszaru leśnego – 10 m;
- minimalne pokrycie koronami drzew – 10% (drzewa, które osiągną wysokość co najmniej 2 m).

Zgodnie z artykułem 20 decyzji 2/CMP.7 z Durbanu, strony PzK zobowiązane są do zachowania niezmienionej definicji lasu pomiędzy okresami rozliczeniowymi.

Państwa zobowiązane do raportowania zmian wielkości zasobów węgla w sektorze LULUCF mogły dobrowolnie precyzować źródła danych oraz ustalać krajowe podstawy prawne określające sposób zagospodarowania gruntu. Jednocześnie musiały zachować spójność i transparentność w przedkładanych raportach.

W ramach krajowych inwentaryzacji zmian zasobów węgla na gruntach leśnych Polska wykazuje saldo emisji i pochłaniania z gruntów leśnych zgodnie z artykułem 3 ustawy o lasach²⁸. Zgodnie z przepisami krajowymi, w ramach gruntów leśnych kwalifikowanych w działaniu 'gospodarka leśna' (art. 3.4 PzK) uwzględnia się również grunty związane z gospodarką leśną, tj. zajęte przez budynki i budowle, urządzenia melioracji wodnych, linie podziału przestrzennego lasu, drogi leśne, tereny pod liniami energetycznymi, szkółki leśne, miejsca składowania drewna, a także parkingi leśne i urządzenia turystyczne. Podejście tego typu jest zgodne z dobrymi praktykami identyfikacji gruntów zawartymi w rozdziale 4.1.1 wytycznych dotyczących gazów szklarniowych w sektorze LULUCF²⁹.

²⁴ Patrz: <http://unfccc.int/resource/docs/2005/cmp1/eng/08a03.pdf>.

²⁵ Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry.

²⁶ Patrz: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/Chp4/Chp4_1_to_24.pdf.

²⁷ Patrz: http://unfccc.int/files/national_reports/initial_reports_under_the_kyoto_protocol/application/pdf/raport_aau_eng_22-12-06.pdf.

²⁸ Dziennik Ustaw z 2011 r., nr 34 poz. 170.

²⁹ Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry.

WYMIERNE KORZYŚCI Z POZAPRODUKCYJNYCH FUNKCJI LASÓW – JEDNOSTKI POCHŁANIANIA

Głównym osiągnięciem PzK w kontekście leśnictwa jest, bez wątpienia, możliwość wykorzystania jednostek pochłaniania (RMU) pochodzących z działań lub projektów powstałych do wypełniania zobowiązań krajów rozwiniętych. Innymi słowy, im większa jest biologiczna sekwestracja dwutlenku węgla zaliczana do bilansu emisyjnego danego kraju, tym mniejsze są wymagane redukcje emisji ze spalania paliw kopalnych. Takie założenie determinowało motywację do ustanowienia systemu rozliczania emisji i pochłaniania, w którym znaczącą rolę odgrywać będą jednostki pochłaniania.

W przypadku, gdy na skutek działań określonych w art. 3.3 i 3.4 PzK wykazane zostanie pochłanianie netto, strona protokołu – po wywiązaniu się z obowiązków sprawozdawczych dotyczących okresu rozliczeniowego – ma możliwość generacji jednostek pochłaniania (removal units, RMU). Jednostki te mogą zostać wykorzystane do wypełnienia krajowego celu redukcyjnego. W przypadku, gdy cel redukcji emisji, do którego strona zobowiązała się w ramach Protokołu z Kioto, został wypełniony, jednostki RMU mogą stać się przedmiotem obrotu w ramach międzynarodowego systemu handlu emisjami. W 2006 r. strony zobowiązane były do deklaracji sposobu rozliczania i generowania jednostek RMU.

Podstawową metodą, którą wybrała znakomita większość krajów Unii Europejskiej (w tym Polska), jest rozliczanie i naliczanie potencjalnych jednostek RMU na koniec okresu rozliczeniowego, tj. w 2014 roku (raport podsumowujący pierwszy okres zobowiązań za okres 2008–2012). Każda jednostka jest równoważna 1 megagramowi [Mg] dwutlenku węgla. Mniej popularną możliwość corocznych rozliczeń oraz generowania jednostek RMU wybrały Francja, Węgry i Włochy.

Jednostki pochłaniania wygenerowane w ramach krajowych rejestrów mogą zostać wykorzystane do wypełnienia krajowych celów redukcyjnych lub stanowić mogą element nadwyżki uprawnień.

OGRANICZENIA W NALICZANIU JEDNOSTEK POCHŁANIANIA

Wykorzystywanie jednostek RMU przez kraje rozwinięte jest ograniczone. Takie ograniczenie nałożyło porozumienie z Marakeszu na wykorzystanie jednostek pochłaniania w celu wypełniania krajowych celów redukcyjnych. Polska, zgodnie z decyzją 16/CMP.1 z 2005 roku, w pierwszym okresie rozliczeniowym posiada limit (cap) na rozliczanie pochłaniania z gospodarki leśnej w wysokości 3 mln ton CO₂ na rok. Takie ograniczenia dają Polsce możliwość wygenerowania 15 mln jednostek RMU na koniec I okresu rozliczeniowego PzK. Dla porównania – Niemcy mają przyznany limit w wysokości 4,5 mln ton CO₂ na rok.

Na mocy artykułu 16 decyzji 13/CMP.1³⁰ jednostki pochłaniania RMU nie mogą być przenoszone na II okres rozliczeniowy. Wobec powyższego wszelkie krajowe jednostki,

³⁰ Patrz: <http://unfccc.int/resource/docs/2005/cmpl/eng/08a02.pdf>.

które nie zostały wykorzystane na pokrycie własnych zobowiązań lub nie zostały sprzedane, trzeba było umorzyć na koniec I. okresu rozliczeniowego (2008–2012).

Zupełnie innym regulacjom dotyczącym rozliczeń salda GHG podlegają działania w zakresie artykułu 3.3 protokołu z Kioto, czyli zalesianie gruntów, ponowne zalesianie i wylesianie. W związku z tym, iż te działania bezpośrednio wpływają na zwiększenie (zalesianie) lub zmniejszanie (wylesianie) powierzchni lasów, nie zostały zastosowane ograniczenia w możliwości generowania jednostek RMU.

W przypadku drugiego okresu rozliczeniowego protokołu z Kioto, tj. dla lat 2013–2020, zdecydowano się na zastosowanie innego mechanizmu limitacji generowania jednostek pochłaniania. W przypadku pochłaniania z gospodarki leśnej dla wszystkich krajów rozwiniętych zastosowano limit generowania jednostek RMU w wysokości 3,5% krajowych emisji z roku bazowego z wyłączeniem sektora LULUCF. Limit ten dla Polski wynosi ok. 19 720 Gg CO₂. Polska przyjęła za rok bazowy 1988 r., dla którego wartość emisji CO₂ z gospodarki z wyłączeniem sektora LULUCF wynosiła 563 442,77 Gg.

Regulacje dotyczące działania 3.3 pozostały do dziś bez zmian.

POTENCJAŁ POCHŁANIANIA POLSKIEGO SEKTORA LULUCF

Na podstawie analizy dostępnych danych oszacowano ilość jednostek pochłaniania na koniec I okresu rozliczeniowego. Polska dysponowała potencjałem ok. 45–50 mln jednostek pochłaniania (RMU). Składało się na to pochłanianie CO₂ wygenerowane przez gospodarkę leśną – 15 mln ton, oraz pochłanianie wygenerowanego przez działania z artykułu 3.3 – 30–35 mln ton. Wielkości pochłaniania w Polsce, w podziale na działania, są zawarte w tabeli 3. Należy przy tym zauważyć, iż w świetle prowadzonych prac nad poprawą jakości informacji przekazywanych do Sekretariatu konwencji UNFCCC w ramach krajowych inwentaryzacji GHG, wartości te mogą ulec zmianom.

Tabela 3. Raportowana przez Polskę wielkość pochłaniania [t/CO₂ ekw.]

Działania	2008	2009	2010
Zalesianie, Ponowne zalesienia i Wylesianie (3.3)	–6 478 952	–6 934 470	–9 813 456
Gospodarka leśna (3.4)	–42 761 372	–44 742 207	–42 189 511

Źródło: opracowanie własne na podstawie UNFCCC (www.unfccc.int) dostęp 13.03.2013.

W ramach II. okresu rozliczeniowego, który rozpoczął się 1 stycznia 2013 r., jednostki pochłaniania będą naliczane na podstawie innych założeń. Mechanizm naliczania jednostek pochłaniania oparty jest o poziom odniesienia dla gospodarki leśnej. Dodatkowym elementem ograniczeń jest limit (cap) generowania jednostek. W związku z dużą zmiennością czynników sterujących finalnym saldem emisji i pochłaniania, wszelkie prognozy wielkości jednostek pochłaniania, które Polska mogłaby wygenerować w okresie 2013–2020, obarczone są poważnym błędem. Niemniej jednak wielkość limitu pochłaniania CO₂ do rozliczenia w okresie 2013–2020 wynosić będzie w przybliżeniu –14 831 Gg rocznie. Przyjmując lata od 2008 do 2010 (okres dostępnych danych) jako okres referencyjny, można założyć, iż wartość pochłaniania będzie osiągnięta.

PRZYSZŁY KIERUNEK NEGOCJACJI PROWADZONYCH W RAMACH UNFCCC W ZAKRESIE LULUCF

Przyjęcie zasad rozliczeniowych dla sektora LULUCF w 2011 r. było uważane przez społeczność międzynarodową za wielki sukces negocjacyjny. Decyzją z Durbanu powołano cztery programy pracy (working programs), które mają być realizowane w ramach Organu Pomocniczego Konwencji UNFCCC ds. Badań i Technologii (SBSTA).

Jeden z tych programów dotyczy wypracowania bardziej wszechstronnych zasad rozliczania emisji i pochłaniania z sektora LULUCF (more comprehensive accounting, MCA), odpowiadających nowej wizji przyszłej polityki klimatycznej, która ma nastąpić po 2020 r.

W trakcie 17 szczytu klimatycznego w Durbanie przyjęto decyzję 1/CP.17³¹, powołując proces przygotowania protokołu lub innego prawnego wiążącego instrumentu, który obejmie wszystkich sygnatariuszy konwencji UNFCCC. Zgodnie z przyjętymi ramami czasowymi porozumienie ma zostać uzgodnione w 2015 r., a wejść w życie od 2020 r. Wspólne porozumienie ma obejmować wszystkie strony konwencji.

Metody rozliczeń sektora LULUCF, w porównaniu z rozliczeniami innych sektorów, wymagają dużych zasobów ludzkich i dostępności danych. Dlatego też złożoność zobowiązań często przerasta potencjał krajów rozwijających się. Nowe podejście musi zatem łączyć wymagania dotyczące raportów na potrzeby konwencji UNFCCC oraz raportowania na potrzeby protokołu z Kioto (rozdzielenie w podejściach do raportowania jest omówione w rozdziale 4.4). Rozważa się także określenie poziomów odniesienia dla rozliczeń emisji z innych działań identyfikowanych w ramach sektora LULUCF.

Przewidywana rola sektora użytkowania gruntu i leśnictwa po 2020 r.

Przyjęcie decyzji w sprawie metod rozliczania emisji z sektora LULUCF nie przesądza o włączeniu sektora LULUCF do unijnego celu redukcyjnego, ani o sposobie tego włączenia, a tym bardziej o włączeniu jednostek pochłaniania do europejskiego systemu handlu emisjami. Ponadto decyzja nie niesie żadnych strat ani korzyści dla osób prywatnych, w tym prywatnych właścicieli lasów.

Po obserwacjach procesu uzgadniania unijnej decyzji, należy stwierdzić, iż są dwa punkty sporne co do roli sektora LULUCF w unijnej polityce klimatycznej po roku 2020: wysokość poziomów odniesienia oraz definicja lasu.

Zgodnie z decyzją 2/CMP.6 w 2011 r. poziom odniesienia dla gospodarki leśnej został wyznaczony w poszczególnych państwach. Wspólnotowe Centrum Badań KE (Joint Research Center, JRC) oferowało pomoc państwom członkowskim UE w przypadku trudności technicznych w wyznaczeniu tego poziomu. Należy założyć, iż w przypadku pełnego włączenia gospodarki leśnej do celu redukcyjnego UE powstanie wymóg, aby poziom odniesienia dla gospodarki leśnej był wyznaczany przez jeden ośrodek, przy zastosowaniu tych samych metod, na podstawie jednego źródła danych charakteryzu-

³¹ Patrz: <http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/eng/09a01.pdf#page=2>.

jących leśnictwo w poszczególnych krajach UE. Takie podejście daje szanse uniknięcia nadpodaży uprawnień, nieodpowiednio wygenerowanych i zweryfikowanych.

Drugim aspektem, który nierozdzielnie łączy się z gospodarką leśną, jest sposób definiowania lasu, a w szczególności jego parametrów. W Unii Europejskiej narasta przekonanie o dużej wartości dodanej przyjęcia jednej wspólnej definicji lasu. Należy założyć, iż w przypadku podjęcia prac dotyczących zmian definicji lasu na poziomie Unii Europejskiej, zmiany będą szły w kierunku definicji obowiązującej w ramach FAO, zgodnie z którą minimalna powierzchnia lasu to 0,5 hektara. Na potwierdzenie tej tezy należy wskazać projekt decyzji KE w sprawie zasad rozliczania i planów działania dotyczących emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych w wyniku działalności związanej z użytkowaniem gruntów, zmianą użytkowania gruntów i leśnictwie, w której zaproponowano wspólną definicję lasu, przyjmując powierzchnię minimalną w wysokości 0,5 hektara. W procesie negocjacji pozostawiono definicje spójne z obowiązującymi w ramach protokołu z Kioto, natomiast w ramach negocjacji przyszłego porozumienia o lasach rozważa się zastosowanie definicji lasu opartej na definicji FAO, choć możliwe jest stosowanie definicji krajowych.

Innym dokumentem dotyczącym działań w całej gospodarce oraz w sektorze leśnym, jest opublikowany na początku 2011 r. komunikat KE COM (2011)112³², w sprawie przejścia gospodarki UE na gospodarkę niskoemisyjną do 2050 r. Dokument ten zakłada ustanowienie progresywnych celów redukcyjnych na poziomie 40% do roku 2030, 60% do roku 2040 i w końcu 80% do roku 2050, w odniesieniu do 1990 roku. Z uwagi na ambitne cele redukcyjne KE spodziewa się wzrostu zapotrzebowania na bioenergię wraz z istniejącym i wzrastającym zapotrzebowaniem m.in. na drewno, wyroby papierowe i bioprodukty. Dlatego KE zakłada także konieczność zachowania szybkiego tempa zwiększania produktywności w sektorach rolnym i leśnym.

Obowiązujące metody i zasady rozliczania emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych

METODYKA SZACOWANIA EMISJI GAZÓW CIEPLARNIANYCH ZE WSZYSTKICH SEKTORÓW GOSPODARKI

Nadrzędnym celem konwencji UNFCCC jest stabilizacja koncentracji gazów szklarniowych (GHG) w atmosferze. Szacowanie poziomu emisji GHG stało się równie ważne, jak same działania mające na celu redukcję samej emisji. Przyjęcie takich celów wymagało stworzenia wytycznych dla państw sygnatariuszy konwencji UNFCCC, ze wskazaniem metod szacowania wielkości emisji gazów cieplarnianych do atmosfery.

Próby opracowania ujednoliconych zasad szacowania emisji gazów cieplarnianych dla wszystkich sektorów gospodarki podjęła się organizacja ściśle związana z konwencją klimatyczną UNFCCC, a mianowicie IPCC.

³² Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów COM (2011)112 pt. „Plan działania prowadzący do przejścia na konkurencyjną gospodarkę niskoemisyjną do 2050 r.”.

Efektem prac IPCC było opublikowanie w roku 1996 wytycznych „Guidelines For National Greenhouse Gas Inventories”, zawierających metodykę szacowania emisji dla głównych sektorów gospodarki. Wytyczne te zostały zrewidowane jeszcze w tym samym roku oraz zatwierdzone do oficjalnego wykorzystania decyzją COP w Genewie w roku 1996, co umożliwiło ich publikację w zmienionej wersji w roku 1997. Wytyczne te były wykorzystywane do momentu publikacji „Przewodnika dobrych praktyk dla sektora użytkowanie gruntu, zmiana użytkowania gruntu i leśnictwo” (Good practice guidance for land use, land-use change and forestry in the preparation of national greenhouse gas inventories under the Convention, GPG for LULUCF) i akceptacji go na forum UNFCCC.

OBECNIE OBOWIĄZUJĄCA MIĘDZYNARODOWA METODYKA IPCC

Raport IPCC zawierający wskazówki dobrych praktyk w zakresie użytkowania gruntów, zmiany użytkowania gruntów i leśnictwa został opublikowany w roku 2003. W tym samym roku, podczas konferencji stron konwencji klimatycznej UNFCCC w Mediolanie, decyzją 13/CP.9 przedstawione wytyczne – Good practice guidance for land use, land-use change and forestry in the preparation of national greenhouse gas inventories under the Convention, GPG for LULUCF – zostały zatwierdzone do oficjalnego wykorzystania przy szacowaniu wielkości gazów cieplarnianych w ramach obowiązków sprawozdawczych do konwencji UNFCCC. Wytyczne „GPG for LULUCF” zawierają metody i wskazówki dobrych praktyk w zakresie oceny, pomiaru, monitorowania i raportowania zmian ilości węgla i gazów cieplarnianych dla sektora LULUCF.

W latach późniejszych, w związku z potrzebą uzupełnienia wytycznych o informacje pozwalające stronom konwencji UNFCCC, które ratyfikowały również protokół z Kioto, wywiązywać się z dodatkowych obowiązków sprawozdawczych wynikających z wejścia w życie decyzji konferencji stron protokołu z Kioto przyjętych w Marakeszu, w tym decyzji: 15/CMP.1 (Guidelines for the preparation of the information required under Article 7 of the Kyoto Protocol) oraz 16/CMP.1 (Land use, land-use change and forestry), nastąpiło uaktualnienie wytycznych o dodatkowy rozdział zawierający informacje metodyczne, będące efektem implementacji zapisów protokołu z Kioto.

IMPLEMENTACJA METODYKI IPCC

Proces szacowania emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych dla sektora LULUCF przygotowywany jest zgodnie z procedurami kontroli jakości i zgodności raportowanych danych zawartymi w rozdziale 4.3.4 wytycznych „GPG for LULUCF”.

W zależności od metodyki zastosowanej do szacowania salda GHG, wdrażana jest odpowiednia procedura kontroli jakości szacunków. W zależności od wielkości źródła emisji lub pochłaniania dla mniej znaczących kategorii, nie stanowiących kategorii kluczowych³³, jest to metoda Tier³⁴ 1, a dla kategorii kluczowych – Tier 2. Jednocześnie

³³ Do kategorii kluczowych zalicza się wszystkie źródła emisji stanowiące 95% emisji krajowej.

³⁴ Tier (ang) – poziom szczegółowości metodyki.

nie rozszerzona procedura kontroli QC, sprawdzająca poprawność obliczania emisji, stosowana jest także w kategoriach, w których opracowywane są krajowe współczynniki emisji.

Jednym z elementów zapewnienia procedury jakości (QA) jest analiza możliwości wykorzystania danych statystycznych na potrzeby raportowania w ramach UNFCCC

Tabela 4. Schemat przypasowania krajowej klasyfikacji gruntów do kategorii IPCC

Kategoria IPCC	Krajowy system identyfikacji gruntów
5.A. grunty leśne	grunty leśne
5.B. grunty uprawne	grunty orne + sady
5.C. grunty trawiaste	użytki zielone + grunty zadrzewione i zakrzewione
5.D. grunty podmokłe	grunty pod stawami + grunty pod rowami + grunty pod wodami + użytki ekologiczne + nieużytki
5.E. grunty zamieszkałe	grunty rolne zabudowane + grunty zabudowane i zurbanizowane
5.F. grunty inne	tereny różne + pow. wyrównawcza

i protokołu z Kioto. Elementem takiej analizy jest wykorzystanie i przypasowanie krajowych kategorii użytkowania gruntów³⁵, w Polsce możliwe dzięki rocznym wykazom gruntów wprowadzonym do odpowiednich kategorii użytkowania gruntów IPCC³⁶ rozporządzeniami ministrów: rolnictwa oraz gospodarki komunalnej z dnia 20 lutego 1969 r. w sprawie ewidencji gruntów³⁷, gospodarki przestrzennej i budownictwa oraz rolnictwa i gospodarki żywnościowej z dnia 17 grudnia 1996 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków³⁸, ministra rozwoju regionalnego i budownictwa z dnia 29 marca 2001 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków³⁹. Przypasowanie kategorii w wykazach krajowych i kategorii gruntów IPCC przedstawia tabela 4.

Proces szacowania wielkości emisji gazów cieplarnianych opiera się na ocenie zmian ilości węgla w określonych jego rezerwuarach, występujących w ekosystemach leśnych, dla określonego odstępu czasu. Metodyka oceny wielkości salda emisji i pochłaniania związana jest z wykorzystaniem wzorów zawartych w wytycznych „GPG for LULUCF”. Według informacji zawartych w raporcie „Krajowy raport inwentaryzacyjny 2013”⁴⁰ szacunki te opierają się na wykorzystaniu dostępnych danych statystycznych, pozwalających określić wielkość zmian zasobów leśnych. Elementem dodatkowym, lecz jednocześnie sterującym wielkością salda GHG, jest wielkość pozyskania drewna (netto). Należy przy tym zauważyć, iż pewna część współczynników przeliczeniowych wykorzystywanych w procesie estymacji GHG przybiera wartość domyślną (zalecaną przez IPCC), stanowiąc element mogący podlegać dalszym modyfikacjom na bazie krajowych badań naukowych. Współczynniki przeliczeniowe zostały wskazane w tabeli 5.

³⁵ Według rozporządzenia Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 29 marca 2001 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków (Dz.U. Nr 38, poz. 454).

³⁶ Rozdział 3.2.1. GPG for LULUCF.

³⁷ Monitor Polski 1969, Nr 11, poz. 98.

³⁸ Dziennik Ustaw z 1997 r. Nr 158, poz. 813.

³⁹ Dziennik. Ustaw z 2002 Nr 38, poz. 454.

⁴⁰ Krajowy raport inwentaryzacyjny 2013; Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce w latach 1988–2011. KOBiZE 2013.

Wielkości współczynników, dla których wykorzystywane są domyślne wielkości współczynników przeliczeniowych, przedstawiają tabele zawarte w dalszej części opracowania.

Tabela 5. Rodzaje współczynników przeliczeniowych

Skrót	Opis
BEF ₁	współczynnik ekspansji dotyczący przyrostu zasobów drzewnych
BEF ₂	współczynnik ekspansji dotyczący pozyskania drewna
R	współczynnik przeliczeniowy biomasy podziemnej
Fbl	współczynnik udziału biomasy pozostawianej w ekosystemie do rozkładu
CF	współczynnik udziału węgla w biomasie
f _{forest type}	współczynnik odzwierciedlający efekt zmian stanu lasu
f _{man intensity}	współczynnik odzwierciedlający efekt intensywności gospodarowania lasem
f _{dist regime}	współczynnik odzwierciedlających efekt zmian w sytuacji wystąpienia zjawisk ekstremalnych

Tabela 6. Wartości współczynników przeliczeniowych odnoszących się do biomasy

Gatunki	BEF ₁	BEF ₂	R	Fbl	CF
Liściaste	1,05	1,4	0,24	0,1	0,5
Iglaste	1,05	1,3	0,20	0,1	0,5

Tabela 7. Zawartość węgla pierwiastkowego w glebie (SOC ref) oraz współczynniki odzwierciedlające wg typu gleb

Typ gleb wg GPG for LULUCF	SOC ref (Mg C/ha)	f _{forest type}	f _{man intensity}	f _{dist regime}
Aktywne	50	1	1	1
Nisko aktywne	33	1	1	1
Piaszczyste	34	1	1	1
Podmokłe	87	1	1	1

IMPLEMENTACJA METODYKI IPCC JAKO ELEMENT DECYZJI ZATWIERDZONYCH NA FORUM KONFERENCJI STRON KONWENCJI UNFCCC STANOWIĄCEJ SPOTKANIE STRON PROTOKOŁU Z KIOTO (CMP)

Zestaw informacji, do raportowania których kraj-strona PzK jest zobowiązany w ramach protokołu z Kioto, jest uzupełnieniem informacji przekazywanych na mocy zapisów konwencji UNFCCC. Strony nie są zobowiązane do przekazywania dwóch oddzielnych raportów, natomiast składany raport powinien zawierać w swojej treści informacje dodatkowe, wynikające z decyzji podjętych na konferencji stron konwencji UNFCCC, stanowiącej spotkanie stron protokołu z Kioto (CMP). Wśród dodatkowych informacji wyróżnia się elementy umożliwiające przeprowadzenie rozliczeń wykazywanego salda emisji i pochłaniania. W głównej mierze elementy te odnoszą się do sposobów oszacowań oraz systemu i formatu raportowania, wykorzystywanego później w ramach oceny zgodności informacji zgłaszanych przez kraj ze zobowiązaniami wynikającymi z protokołu z Kioto.

Ważnym elementem rozróżniającym jednocześnie system inwentaryzacji gazów cieplarnianych pomiędzy konwencją UNFCCC a protokołem z Kioto jest identyfikacja aktywności stanowiących element wyjściowy dla późniejszych szacunków. System raportowania w ramach konwencji UNFCCC opiera się w głównej mierze na wykazywaniu emisji przypisanych określonymu sposobowi wykorzystania i użytkowania grun-

tu. W przypadku protokołu z Kioto szacunkom podlegają emisje i pochłanianie będące wyłącznie efektem antropogenicznych aktywności na określonych rodzajach gruntów.

Prognoza salda emisji i pochłaniania z gruntów będących przedmiotem gospodarki leśnej

Z analizy informacji zawartych w ramach „Krajowy raport inwentaryzacyjny 2013” (KOBIZE 2013) wynika, iż głównymi czynnikami sterującymi wielkością salda emisji i pochłaniania są:

- wielkość przyrostu bieżącego brutto,
- wielkość pozyskania grubizny netto,
- zmiany w strukturze powierzchniowej poszczególnych typów troficznych gleb.

W związku z trudnościami związanymi z określeniem potencjalnej wielkości przyrostu bieżącego brutto dla okresu 2012–2020 jedynym elementem przyjętym jako zmienna w dalszych próbach prognoz jest pozyskanie drewna netto. Trudności związane z określeniem wielkości przyrostu bieżącego brutto związane są z kilkoma czynnikami, głównymi z nich są problemy związane z interpretacją i porównywalnością dostępnych danych statystycznych. Schemat obliczeń przyrostu bieżącego brutto oraz źródła danych zostały zaczerpnięte z informacji zawartych w „Krajowym raporcie inwentaryzacyjnym 2013” (KOBIZE 2013).

Informacje będące efektem analiz prognostycznych, przedstawione w dalszych rozdziałach, odnoszą się wyłącznie do gruntów leśnych będących przedmiotem działania ‘gospodarka leśna’. Dodatkowo, w związku z koniecznością przypisania wielkości pozyskania drewna do odpowiedniej kategorii użytkowanych gruntów, przyjęto że całość pozyskania drewna powiązana jest z gruntami będącymi przedmiotem działania ‘gospodarka leśna’.

Główną zmienną salda gazów cieplarnianych na analizowanych gruntach leśnych jest sumaryczna wielkość pozyskania drewna. Szczegółowe wartości dla przyjętych trzech scenariuszy pozyskania do roku 2020 przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Wielkości głównych czynników sterujących finalną wielkością salda GHG przyjęte do analizy

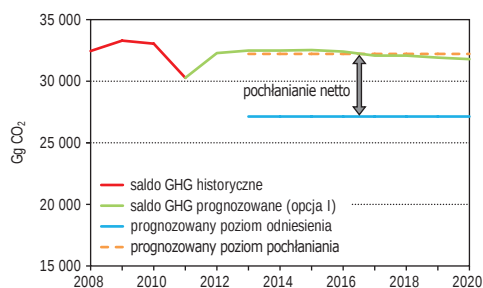
Scenariusz	Przyrost bieżący brutto [m ³ /ha/rok]	Pozyskanie drewna netto [mln m ³]
I	8,81	37,180
II	8,81	42,570
III	8,81	43,318

Scenariusz I

Scenariusz I opiera się na założeniu, iż wielkość pozyskania drewna netto nie ulegnie większym fluktuacjom, utrzymując wartość zbliżoną do osiągniętej w roku 2011, tj. 37,180 mln m³ (GUS; Leśnictwo 2013).

Możliwości rozliczenia salda emisji i pochłaniania jako pochłaniania netto są ściśle uzależnione od wielkości różnicy pomiędzy prognozowanym poziomem odniesie-

nia a prognozowanym poziomem pochłaniania. Dla gruntów leśnych, które będą przedmiotem gospodarki leśnej w okresie 2013–2020, prognozowany poziom pochłaniania jest w istocie średnią arytmetyczną salda emisji i pochłaniania. Pochłanianie netto, dla którego możliwe jest wygenerowanie jednostek pochłaniania (RMU), rozliczane będzie jedynie wtedy, gdy wartość średniej arytmetycznej salda emisji i pochłaniania za okres 2013–2020 osiągnie wartość niższą niż prognozowany poziom odniesienia (por. wykres 3). Wartość ta powinna być mniejsza niż $-27\,133\text{ Gg CO}_2$. Utrzymanie się wartości przyjętych w scenariuszu I może umożliwić coroczne rozliczanie pochłaniania netto co najmniej na poziomie ok. 6000 Gg CO_2 .



Wykres 3. Prognozowane saldo emisji i pochłaniania wg scenariusza I (wartości bezwzględne)

Scenariusz II

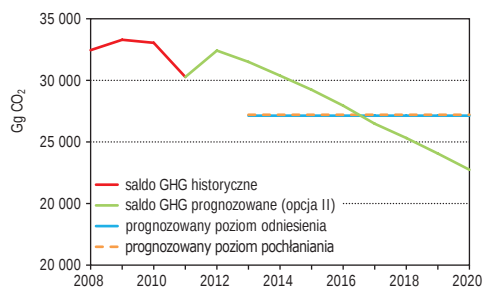
Scenariusz II opiera się na założeniu, iż wielkość pozyskania drewna netto zachowa obecny trend wzrostowy i w roku 2020 osiągnie wielkość $43,318\text{ mln m}^3$.

Scenariusz III

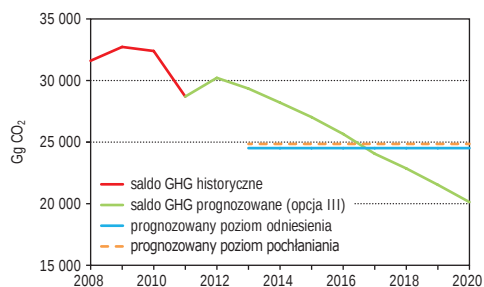
Scenariusz III opiera się na założeniu, iż przy liniowym trendzie wzrostowym wielkość pozyskania drewna netto osiągnie w roku 2020 wielkość $42,570\text{ mln m}^3$. Wielkości przedstawione na wykresach stanowią bezwzględną wartość salda emisji i pochłaniania dla działania gospodarka leśna.

Według scenariuszy II oraz III, w przypadku krajowych gruntów będących przedmiotem działania gospodarka leśna, obecnie prognozowany poziom odniesienia nie umożliwia rozliczania emisji netto, co najmniej do roku 2020, gdy – zakładając liniowy trend wzrostu pozyskania – krajowe pozyskanie drewna osiągnie poziom 43 mln m^3 .

Faktyczne rozliczanie emisji może mieć miejsce jedynie wtedy, gdy wielkość pozyskania drewna osiągnie tak duży poziom, że bezpośredni wpływ gazów cieplarnianych na saldo emisji i pochłaniania dla gruntów będących przedmiotem gospodarki leśnej spowoduje obniżenie poziomu pochłaniania prognozowanego (linia czerwona; wykresy nr 4 oraz 5) do poziomu przekraczającego wielkość pro-



Wykres 4. Prognozowane saldo emisji i pochłaniania wg scenariusza II (wartości bezwzględne)



Wykres 5. Prognozowane saldo emisji i pochłaniania wg scenariusza III (wartości bezwzględne)

gnozowanego poziomu odniesienia (linia niebieska; wykresy nr 4 oraz 5).

Należy przy tym zauważyć, iż analiza ta w żaden sposób nie odnosi się do możliwych zmian dynamiki przyrostu bieżącego brutto. W przededniu uzyskania informacji z kolejnego cyklu wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasów należy mieć na uwadze, iż dostępność odpowiednich informacji powinna prowadzić do ciągłego udoskonalania i uaktualniania analiz prognostycznych.

Produkty z pozyskanego drewna jako rezerwuár węgla

Obieg węgla w przyrodzie zostaje zaburzony między innymi poprzez działania związane z gospodarką leśną na gruntach leśnych, w szczególności poprzez pozyskanie drewna. Produkty z pozyskanego drewna, które są przedmiotem wykorzystania w ramach działalności człowieka, stanowią jeden z istotnych rezerwuarów węgla pierwiastkowego związanego w biomase drewna. Węgiel pierwiastkowy zmagazynowany w strukturach drzewnych jest powoli uwalniany podczas wyrębu i później, podczas procesu przetwarzania drewna, aż do pełnego rozłożenia konkretnego produktu drzewnego.

Podejście metodologiczne wyrażone i rekomendowane przez IPCC w 1996 r., domyślnie zakładało, że węgiel związany w biomase i usuwany z ekosystemów leśnych jest utleniany w trakcie procesu jego usuwania w roku faktycznego pozyskania. Oparte to było na założeniu, że zapasy dotyczące produktów z pozyskanego drewna są niezmiennie.

Założenie to podyktowane było silną korelacją pomiędzy pozyskaniem drewna a utlenianiem produktów drzewnych (HWP), które powinny zostać rozliczone w tym samym roku, zgodnie z zasadą natychmiastowego utlenienia. Sytuacja ta oznaczała, że roczny napływ węgla związanego w biomase, jak i jego odpływ z produktów z pozyskanego drewna, są równe, a utlenianie związane z degradacją czy zużywaniem istniejących zapasów HWP jest wymienne (a tym samym pominięte) przez założenie pełnej oksydacji drewna w trakcie procesu jego usuwania w roku faktycznego pozyskania. Było to duże uproszczenie, poza tym nie stwarzało żadnych zachęt dla przedsiębiorców i całej gospodarki do zwiększania ilości węgla zmagazynowanego w pozyskanych produktach drzewnych ani do zastępowania nimi materiałów wysokoemisyjnych. Podejście to zostało zmienione w chwili publikacji przez IPCC kolejnych wytycznych w 2006 r.

Przyjęcie nowych zasad rozliczania emisji z gospodarki leśnej dało możliwość rozpoznania nowego rezerwuaru węgla – produktów z pozyskanego drewna. Dało to możliwość uwzględnienia w bilansie pochłaniania i emisji sektora LULUCF węgla zakumulowanego w produktach drzewnych. Oznacza to, że część drewna pozyskanego w ramach

użytkowania lasu nadal traktowana jest jako rezerwuar węgla, którego długość związania zależy od rodzaju produktu drzewnego.

METODYKA SZACUNKÓW WĘGLA ZAKUMULOWANEGO W PRODUKTACH Z POZYSKANEGO DREWNA

Określenie zmian zasobów węgla w produktach z pozyskanego drewna opiera się na wskazaniu różnicy w wielkości zasobów w określonym czasie. Wielkość tej różnicy definiuje wartość finalnej emisji netto. Sumę zasobów węgla w biomasie HWP określa się za pomocą równania empirycznego, opartego na stałej szybkości rozkładu k pierwszego rzędu (połowicznego rozkładu) poszczególnych rodzajów produktów.

Należy przy tym zauważyć, iż elementem wejściowym dla szacunków będzie dopływ węgla w produktach HWP, łącznie z biomasą poszczególnych produktów, w kolejnych latach.

Zgodnie nową metodyką rozliczania gospodarki leśnej emisję z produktów z pozyskanego drewna rozlicza się według wzoru wypracowanego przez IPPC w 2006 r.:

$$C_{i+1} = e^{-k} \times C_i \left(\frac{1 - e^{-k}}{k} \right) \times \text{Inflow}_i$$

$$\Delta C_i = C_{i+1} - C_i$$

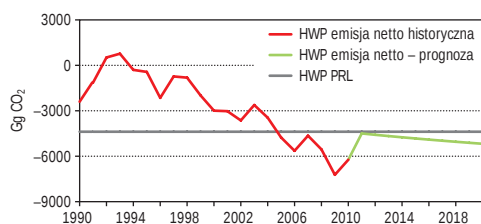
gdzie:

- i – rok inwentaryzacji (szacunku),
- C_i – wielkość zasobów węgla w rezerwuarze HWP na początku inwentaryzowanego okresu i , wyrażona w Gg,
- k – stała szybkości reakcji rozkładu pierwszego rzędu wyrażona w latach,
- Inflow_i – dopływ węgla w rezerwuarze HWP w trakcie inwentaryzowanego okresu i , wyrażona w Gg/rok,
- ΔC_i – zmiana zasobów węgla w rezerwuarze HWP w trakcie inwentaryzowanego okresu i , wyrażona w Gg/rok.

PROGNOZA UDZIAŁU POZYSKANYCH PRODUKTÓW DRZEWNYCH W BILANSIE EMISJI CO₂ DO 2020 R.

Wyznaczając poziom odniesienia dla gospodarki leśnej (FMRL), wyznaczono także poziom odniesienia dla produktów z pozyskanego drewna (HWP), wynoszący –4,383 Mt CO₂/rok. W przypadku, gdy wielkość pochłaniania (rezultat bilansu dla całego rezerwuaru) zostanie oszacowana na poziomie mniejszym niż wartość prognozowana (–4,383 Mt CO₂/rok), wówczas różnica pomiędzy prognozowanym poziomem odniesienia a jego realną wartością będzie rozliczana na potrzeby drugiego okresu zobowiązań protokołu z Kioto jako pochłanianie netto. Sytuacja ta umożliwi generowanie jednostek pochłaniania.

Na wykresie 6 zaprezentowano prognozę trendu akumulacji węgla w produktach z pozyskanego węgla do 2020 r. Omawiane produkty (HWP) w ciągu ostatnich lat sta-



Wykres 6. Wielkość emisji historycznej i prognozowanej dla produktów z pozyskanego drewna

nowią coraz większy rezerwuar węgla. Ponadto, porównując ilość węgla zakupowaną w HWP obecnie i w okresie PRL (HWP PRL), można wykazać pochłanianie netto z tego rezerwuaru węgla, co może umożliwić Polsce generowanie jednostek pochłaniania.

Prognoza ta została przeprowadzona w oparciu o publicznie dostępne informacje w bazach danych FAO. Przedstawiona

analiza obarczona jest błędami m.in. związanymi ze zmianami trendów w produkcji i wykorzystaniu poszczególnych produktów z pozyskanego drewna.

Analiza prognostyczna udziału emisji netto z gruntów leśnych w krajowym bilansie emisji dwutlenku węgla

Poniżej znajdują się tabelaryczne zestawienia historycznych i prognostycznych danych charakteryzujących wielkość pochłaniania raportowanego w ramach działań wymienionych w artykule 3.3 i 3.4 protokołu z Kioto. Przedstawione dane były przywoływane w powyższym opracowaniu.

Tabela 9. Wielkość limitu rozliczeń emisji zgodnie z decyzją 2/CMP.7 dla okresu 2013–2017 (2020)

Rok bazowy	Wielkość emisji CO ₂ w roku bazowym (Gg eq.), z wyłączeniem LULUCF	Wielkość limitu	Wielkość limitu możliwa do rozliczeń zgodnie z decyzją 2/CMP.7	Referencje
1988	563 442,77	3,50% wartości emisji w roku bazowym	-19 720,49	2/CMP.7

Tabela 10. Historyczne wielkości emisji netto [Gg eq. CO₂] aktywności opisanych w ramach art. 3.3 i 3.4 protokołu z Kioto dla gruntów leśnych⁴¹

Rok	Aktywność			
	art. 3.3			art 3.4
	zalesianie/ponowne zalesianie [A/R]	wylesienie [D]	S A/R/D	gospodarka leśna
2008	-9 161,31	258,02	-8 903,30	-41 132,33
2009	-9 701,94	268,07	-9 433,87	-42 570,43
2010	-10 042,17	228,72	-9 813,46	-42 189,51
Średnia*			-9 383,54	

* Przyjęta jako wartość referencyjna.

⁴¹ Krajowy raport inwentaryzacyjny (NIR 2012) do konwencji UNFCCC i protokołu z Kioto. Dane historyczne dostępne na stronie: http://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/application/zip/pol-2012-crf-25may.zip.

Tabela 11. Wielkość emisji netto [Gg eq. CO₂] aktywności opisanych w ramach art. 3.4 protokołu z Kioto dla gruntów leśnych oszacowana na podstawie średniej z lat 2008–2010

Okres referencyjny	Okres analizy	Średnia wielkość emisji	Poziom odniesienia	Wielkość pochłaniania możliwa do rozliczenia w okresie 2013–2020
2008–2010	2013–2020	–41 964,09	–27 133	14 831,09

Tabela 12. Średnie wielkości emisji netto [Gg eq. CO₂] dla aktywności opisanych w ramach art. 3.3 Protokołu z Kioto dla gruntów leśnych, mogące być rozliczone w okresie 2013–2020, oszacowane na podstawie średniej dla lat 2008–2010

Okres analizy	Średnia roczna emisja netto			Udział wielkości emisji możliwej do rozliczenia w sektorze LULUCF w ramach protokołu z Kioto w całkowitej wielkości emisji z roku bazowego
	art. 3.3	art. 3.4	razem	
2013–2020	–9 383,54	–14 831,09	–24 214,63	–4,29%

Wnioski i rekomendacje

1. Zarówno globalna, jak i europejska polityka klimatyczna, dotyczy bezpośrednio sektora „użytkowanie gruntów, zmiany użytkowania gruntów i leśnictwo”, w sposób znaczący oddziałując na cały sektor leśny.
2. W Polsce ekosystemy leśne na gruntach będących przedmiotem gospodarki leśnej posiadają znakomity potencjał sekwestracji dwutlenku węgla. Wpływa to bezpośrednio na potencjał mitygujący zmian klimatu.
3. Wszelkie korzyści z pochłaniania dwutlenku węgla przez ekosystemy leśne, na mocy obecnie obowiązującego prawa, odnosi Rzeczpospolita Polska, jednocześnie zapisy decyzji zatwierdzonych na konferencji stron konwencji UNFCCC, stanowiącej też spotkanie stron protokołu z Kioto, nie umożliwiają przenoszenia korzyści płynących z generowania jednostek pochłaniania (RMU) na osoby fizyczne lub prawne.
4. Analiza wariantowo-porównawcza wskazuje, iż nawet znaczące zwiększenie pozyskania grubizny netto zapewnia rozliczanie pochłaniania dwutlenku węgla netto dla gruntów leśnych, będących przedmiotem gospodarki leśnej.
5. Tworzenie nowych polityk sektorowych, w tym polityk dotyczących leśnictwa, jako elementu sektora „użytkowanie gruntów, zmiany użytkowania gruntów i leśnictwo”, powinno być zintegrowane z polityką klimatyczną. Należy przy tym zwracać uwagę na konieczność zachowania porównywalności wdrażanych polityk we wspólnym horyzoncie czasowym.
6. Przepisy na forum międzynarodowym i UE idą w kierunku postrzegania lasu jako efektywno-kosztowego sposobu redukcji emisji dwutlenku węgla, co mogłoby odciążyć inne wysokoemisyjne sektory gospodarcze. To sprawia, że w następnych dekadach presja na ekosystemy leśne i na ich zarządców będzie coraz większa. Z jednej strony, popyt na drewno będzie rósł za sprawą presji przemysłu drzewnego i energetycznego. Z drugiej strony, będzie wywierana presja na prowadzenie

- działań mających na celu zwiększenie możliwości pochłaniania dwutlenku węgla, co w ogólnym bilansie będzie mogło przyczynić się do odciążenia innych sektorów gospodarczych.
7. Konieczny jest permanentny udział środowisk naukowych w tworzeniu modeli prognostycznych ilustrujących scenariusze zmian wielkości gromadzenia węgla w poszczególnych rezerwuarach, jako element pełnego wdrażania metodyki IPCC.

Literatura

- Decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/406/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie wysiłków podjętych przez państwa członkowskie, zmierzających do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych w celu realizacji do roku 2020 zobowiązań Wspólnoty dotyczących redukcji emisji gazów cieplarnianych.
- Dyrektywa 2004/101/WE zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE ustanawiającą system handlu przydziałami emisji gazów cieplarnianych we Wspólnocie, z uwzględnieniem mechanizmów projektowych Protokołu z Kioto (2003/87/EC) ustanawiająca system handlu przydziałami emisji gazów cieplarnianych we Wspólnocie.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/29/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu usprawnienia i rozszerzenia wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych.
- Gwiazdowicz M., Kowalczewski T. 2012. Rola lasów w polityce klimatycznej. *Studia BAS* 1(29), 55–84.
- IPCC 1996, 1997. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf.
- IPCC 2007. The Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. 2007. Geneva. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm.
- Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów COM (2011)112 pt „Plan działania prowadzący do przejścia na konkurencyjną gospodarkę niskoemisyjną do 2050 r.”.
- Kowalczewski T. 2012. Wpływ i konsekwencje adaptacji lasów do zmian klimatu oraz obowiązku rozliczania przez leśnictwo wielkości pochłaniania dwutlenku węgla. *Postępy Techniki w Leśnictwie*, 120.
- Krajowy raport inwentaryzacyjny 2013; Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce w latach 1988–2011. KOBIZE 2013.
- Macey K. 2010. LULUCF Guide, Air Pollution & Climate Secretariat AirClim.
- Ministerialny mandat negocjacyjny dla rozpoczęcia negocjacji nad prawnie wiążącym porozumieniem dotyczącym lasów w Europie. 2011. Oslo. http://www.forestnegotiations.org/sites/default/files/oslo2011_mandate_14-16june2011.pdf.
- Propozycja decyzji Parlamentu Europejskiego i Rady, COM(2012)93 w sprawie zasad rozliczania i planów działania dotyczących emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych w wyniku działalności związanej z użytkowaniem gruntów, zmianą użytkowania gruntów i leśnictwie.
- Protokół z Kioto do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu sporządzony w Kioto dnia 11 grudnia 1997 r. Dz.U. z 2005 r. Nr 203, poz. 1684.
- Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu (UNFCCC) sporządzona w Nowym Jorku dnia 9 maja 1992 r. Dziennik Ustaw z 1996 r. Nr 53 poz. 238.
- Rezolucja 5 Zmiany klimatu oraz zrównoważona gospodarka leśna, Wiedeń 2003.
- MCPFE 1993. Rezolucja H1. Ogólne wytyczne dla zrównoważonej gospodarki leśnej dla Lasów Europy, Helsinki.

- UNDP 2008. Key issues on land use, land use change and forestry (LULUCF) with an emphasis on developing country perspectives. (C. Robledo, J. Blaser – eds), Bern, Switzerland.
- Rozporządzenie Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 29 III 2001 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków (Dz.U. z 2001 r. Nr 38, poz. 454).
- Schlamadinger B. et al. 2007. A synopsis of land use, land use change and forestry (LULUCF) under Kyoto Protocol and Marrakesh Accords. Environmental Sciences & Policy.
- O'Sullivan R., Streck C., Janson-Smith T., Haskett J., Schlamadinger B., Niles J.O. 2006. Local and Global Benefits of Including LULUCF Credits in the EU ETS. http://www.climatefocus.com/documents/files/local_and_global_benefits_of_including_lulucf_credits_in_the_eu_ets_.pdf.
- UNFCCC 2011. Synthesis report of the technical assessments of the forest management reference level submissions. <http://unfccc.int/resource/docs/2011/awg16/eng/inf02.pdf>.

Plantacje drzew i krzewów szybkorosnących jako alternatywa biomasy z lasu, czyli nowe źródła energii odnawialnej – stan obecny, możliwości, bariery i perspektywa rozwoju

prof. dr hab. Janusz GOŁASZEWSKI, prof. dr hab. Stefan SZCZUKOWSKI,
prof. dr hab. Mariusz STOLARSKI

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Cel opracowania

W niniejszej pracy podjęto dyskusję nad uwarunkowaniami produkcji biomasy drzewnej na gruntach rolniczych oraz ograniczeniami i możliwościami rozwoju „zielonej energii” w perspektywie długookresowej. Na podstawie wcześniejszych prac autorów tego opracowania, a także poglądów prezentowanych w ramach działalności różnych gremiów krajowych i międzynarodowych pracujących nad zagadnieniami rozwoju zrównoważonego, w tym polityki biomasowej, przyjęto że: 1) biomasa drzewna będzie surowcem odnawialnym biorafinerii lignocelulozowej, w której produkcja biopaliw i bioenergii będzie składową kaskady procesów biorafineryjnych, oraz 2) energia pierwotna z biomasy drzewnej będzie generowana i konsumowana lokalnie.

Biomasa drzewna – analiza stanu i prognozy rozwoju produkcji

Biomasa drzewna lub lignocelulozowa¹ oznacza materię organiczną zbudowaną z trzech biopolimerów: celulozy, hemicelulozy i ligniny. Jako surowiec przemysłowy stanowi alternatywę dla produktów i energii wytwarzanych z paliw kopalnych. Stanowi potencjał do wytwarzania szerokiej gamy bioproduktów, w tym paliw, materiałów i che-

¹ Biomasa lignocelulozowa, z uwagi na skład chemiczny, jest zazwyczaj utożsamiana z biomasą drzewną, niemniej jednak jest to pojęcie szersze, obejmuje bowiem wszystkie rodzaje biomasy zawierającej w swoim składzie chemicz-

mikaliów pozyskiwanych dzisiaj z ropy naftowej, natomiast z energetycznego punktu widzenia stanowi jedyną alternatywę paliw kopalnych. Obecnie, spośród wymienionych biopolimerów, jedynie celuloza ma istotne znaczenie gospodarcze, aczkolwiek ograniczone do sektora materiałów drewnopochodnych i papieru. O znaczeniu tego surowca dla gospodarki światowej świadczy poziom wykorzystania celulozy, który jest 3-krotnie wyższy aniżeli stali i równy poziomowi konsumpcji zbóż (Das, Singh 2004). Pozostałe biopolimery: hemicelulozy i lignina, ale także celuloza w biomasie rolniczej oraz w odpadach leśnych i rolniczych, stanowią nieokreślony jeszcze potencjał nowych bioproduktów. Prognozuje się, że produkty biomasopochodne, w tym z surowca drzewnego, wytwarzane w rafinerii przyszłości – biorafinerii, będą kształtowały jakościowo nowy rynek – biogospodarkę. Istotą przyszłych procesów biorafinerii będzie przemysłowy odzysk organicznych związków chemicznych i materiałów z różnych surowców lignocelulozowych, dalsze ich przetwórstwo i ostatecznie wytwarzanie biopaliw lub bioenergii (Clark, Deswarte 2008). Oznacza to, że dzisiaj zasadniczy podział surowca drzewnego na drewno użytkowe i opałowe będzie modyfikowany przez postęp technologii chemicznej i biotechnologicznej przeróbki drewna. W efekcie należy oczekiwać silniejszej niż obecnie presji na surowiec drzewny z przeznaczeniem na inne cele aniżeli w przypadku tradycyjnej gospodarki leśnej, tzn. na wytwarzanie szerokiej gamy bioproduktów, w tym biopaliw i bioenergii. Wśród bioproduktów z masy lignocelulozowej, które można uzyskać obecnie, wymienić należy bioenergię (energię elektryczną i/lub ciepłą), bioetanol, metan, chemikalia, miazgę drzewną, substancje pochodne celulozy, a wśród przyszłych produktów – odpowiednio: nutraceutyki, metanol, polimery, emulgatory, antyoksydanty, nawozy, dodatki paszowe i inne (Gołaszewski i in. 2012).

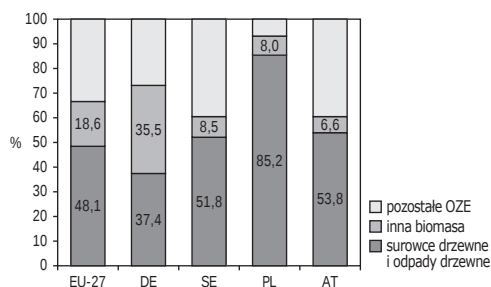
Prognozuje się, że do 2030 roku światowy popyt na energię wzrośnie o 50% i podwoi się do 2050 roku². Dlatego też racjonalne i zrównoważone wykorzystanie wszystkich dostępnych źródeł energii, w tym odnawialnych, jest dzisiaj istotnym elementem globalnej i lokalnej polityki energetycznej. Wśród źródeł energii odnawialnych istotną rolę ma i będzie miała biomasa pozyskiwana z produkcji rolniczej i odpadowa, co przy ograniczonej możliwości szybkiego odnawiania lasu i zwiększenia wykorzystania biomasy leśnej stanowi wyzwanie i jednocześnie szansę rozwoju alternatywnych źródeł biomasy drzewnej. Jednakże przyszła produkcja i konsumpcja energii wytwarzanej z pierwotnych źródeł biomasy drzewnej będzie miała wymiar lokalny (Gołaszewski 2009).

Szacuje się, że wśród światowych źródeł energii pierwotnej udział biomasy, wynoszący dzisiaj około 10%, w 2050 roku będzie 3-krotnie wyższy (Macqueen, Korhaliller 2011). Założenie to powinno być zrewidowane, gdyż biomasa może też być wtórnym źródłem energii.

W Unii Europejskiej w strukturze energii pierwotnej pozyskiwanej ze źródeł odnawialnych udział energii wytwarzanej z biomasy wynosi 67%, w tym 48,1% stanowi biomasa drzewna (ryc. 1).

nym dużą ilość ligniny, a ponadto celulozę i hemicelulozy. Tego typu biomasę mogą stanowić trawy uprawiane na cele energetyczne (miskant, spartina preriowa i wiele innych), glony, odpady z produkcji rolniczej takie jak słoma, a także obornik, i inne.

² The state and prospects of European energy research. Comparison of commission, member and non-member states R&D portfolios. 2006. EUR 22397, Directorate-General for Research, Directorate Energy.



Ryc. 1. Udział energii pierwotnej ze źródeł odnawialnych w wybranych krajach Unii Europejskiej (źródło: Eurostat 2011 [nrg_1071a])

na poziomie ok. 680 mln m³. W planowanej strukturze zużycia surowca drzewnego zakłada się coraz mniejsze wykorzystanie biomasy na cele materiałowe z 57% w 2010 r. do 44% w 2030 r., aczkolwiek te relacje będą silnie zróżnicowane między krajami UE. W tym kontekście istotne znaczenie przypisuje się procesom aforestacyjnym na gruntach rolniczych i marginalnych, przede wszystkim dlatego, iż nowe lasy wpłyną na zwiększenie biosekwestracji węgla i bioróżnorodność. Wśród systemów agroleśnych za przyszłościowe, alternatywne źródła biomasy na cele energetyczne, uznaje się uprawy wieloletnich roślin lignocelulozowych, tworzące tzw. las odroślowy lub niskopienny pochodzenia vegetatywnego. Są to uprawy agroleśne o krótkiej 2–4-letniej rotacji³ – głównie wierzby (*Salix* L.), topoli (*Populus* L.) i robinii akacjowej (*Robinia pseudoacacia* L.) lub stosunkowo krótkorotacyjne uprawy drzew⁴ osiągające optymalne parametry energetyczne po 8–15 latach (Weih 2007, 2008; Temanord 2008; Stolarski 2009; Lambert i in. 2010). W uprawach agroleśnych można będzie wykorzystać potencjał relatywnie szybkiego odnawiania olchy, jesionu, buka, brzozy, eukaliptusa, topoli, wierzby, klonu, jaworu, morwy papierowej, paulownii, akacji i innych gatunków.

Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA 2004) oszacowała, iż w 2024 roku energia wytwarzana z surowca drzewnego może stanowić 2/3 produkcji energii z biomasy. Według EUwood Report (2010) w Unii Europejskiej do 2030 r. uprawy agroleśne mogą objąć powierzchnię 5,1–14,1 mln ha, przy założeniu średniej produktywności na poziomie 12 t s.m. z 1 ha oraz 15,3–42,4 mln ha, przy założeniu niskiej przeciętnej produktywności na poziomie 4 t s.m. z 1 ha.

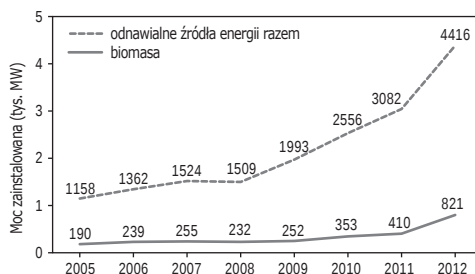
Zgodnie z Dyrektywą UE 2009/28/EC⁵ w Polsce do 2020 r. udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto powinien osiągnąć 15%, a w transporcie co najmniej 10%. W 2012 r. moc zainstalowana elektryczna koncesjonowanych źródeł energii odnawialnych w Polsce stanowiła 4416 MW, w tym w elektrowniach biomasowych 821 MW (ryc. 2). Prognozy wykorzystania biomasy na cele energetyczne zakładają redukcję udziału biomasy w wytwarzaniu energii elektrycznej i cieplnej

³ SRC – Short Rotation Coppice, lub SRWC – Short Rotation Woody Crops.

⁴ SRF – Short Rotation Forestry.

⁵ Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych.

z dzisiejszego poziomu 52% (w tym ponad 80% ze współspalania z węglem) do 31% w 2020 r. W przypadku biopaliw/biokomponentów określono Narodowe Cele Wskaźnikowe (NCW) dochodzenia do zakładanego poziomu 10% w 2020 r.⁶ W 2011 r., przy NCW na poziomie 6,3%, wytworzono 140 tys. ton biokomponentów, co stanowiło około 25% ogółu rynku biopaliw⁷. Oznacza to, że surowiec biopaliw/biokomponentów głównie importowano. Należy zaznaczyć, że w Unii Europejskiej dokonuje się pewna rewizja polityki dotyczącej biopaliw, wynikająca przede wszystkim z ewidentnej konkurencyjności produkcji biopaliw I generacji i produkcji żywnościowej surowców rolniczych (ziarno zbóż, oleje roślinne) oraz z uwzględnienia globalnych zaburzeń środowiskowych, polegających na deforestacji gruntów przeznaczanych na produkcję surowca biopaliw/biokomponentów. Nie oznacza to zmiany celów wskaźnikowych, ale oznacza, że rynek biopaliw należy skuteczniej i szybciej przeorientować na produkcję biopaliw II generacji, w tym przede wszystkim z masy lignocelulozowej upraw agroleśnych.



Ryc. 2. Moc zainstalowana elektryczna koncesjonowanych elektrowni biomasowych na tle odnawialnych źródeł energii w Polsce w latach 2005–2012 (Urząd Regulacji Energetyki – stan na dzień 31 grudnia 2012)

Uprawy agroleśne a wybrane kwestie środowiskowe

EMISJE DO ATMOSFERY. Teoretycznie, wykorzystanie biomasy w celach energetycznych (spalanie) lub transportowych powinno być neutralne środowiskowo, bowiem w analizie cyklu życia biomasy ilość CO_2 uwalniana w procesie wytwarzania energii jest na poziomie ilości CO_2 sekwestrowanej z atmosfery przez rośliny podczas wzrostu i rozwoju. Jednakże, jeśli uwzględnimy utechnicznienie produkcji i transportu biomasy oraz sam proces konwersji do bioproduktów, to w efekcie bilans nie jest neutralny środowiskowo. Analiza emisyjności gazów cieplarnianych powiązanych z uprawami agroleśnymi wymaga uwzględnienia szeregu założeń wyjściowych dotyczących m.in. produktyjności netto z 1 ha, ilości gruntów przeznaczonych na drzewostany, efektywności konwersji biomasy na energię, substytucyjności energii z różnych paliw, oraz nakładów energetycznych paliw kopalnych na produkcję biomasy (Graham i in. 1992). Porównawcze bilanse emisyjności wykonane dla biomasy wierzby i pozostałości z produkcji leśnej wykorzystanej w elektrowni dowodzą, że oddziaływania środowiskowe są bardzo zbliżone. Zarówno wytwarzanie energii elektrycznej w elektrowni biomasowej, jak też współspalanie z węglem są korzystne dla środowiska ponieważ redukują zużycie paliw kopalnych

⁶ Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 15 czerwca 2007 r. w sprawie Narodowych Celów Wskaźnikowych na lata 2008–2013 (Dz.U. Nr 110, poz. 757).

⁷ Biuletyn Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki. Nr 2 (80) 29 czerwca 2012, ISSN 1506-090X.

oraz emisję gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń, w tym oprócz CO₂, także SO₂, Hg, NO_x. W całym cyklu życia wytwarzania energii elektrycznej z biomasy wskaźnik FER (Fossil Energy Ratio) wynosi 13, co oznacza, że na każdą zużytą jednostkę energii paliwa kopalnego przypada 13 jednostek wyprodukowanej energii elektrycznej. W przypadku współspalania, np. z udziałem biomasy w wysokości z 10%, wskaźnik FER zwiększa się tylko o ok. 9% (Heller i in. 2004). W badaniach amerykańskich uwzględniających m.in. 23-letnią uprawę wierzby (SRWC) dowiedziono, że z energetycznego punktu widzenia jest to system uprawy zrównoważony (Heller i in. 2003).

BIORÓŻNORODNOŚĆ. Systemy upraw agroleśnych, w tym drzewostany śródpolne, charakteryzują się relatywnie większą bioróżnorodnością aniżeli systemy rolnicze. Z uwagi na nową, specyficzną agrocenozę, jaką tworzą rośliny wieloletnie, stanowią one nowe środowisko bytowania wielu ptaków, owadów i innych zwierząt. Ponadto, z uwagi na wieloletni okres użytkowania tego typu agrocenoza ma większe możliwości samoregulacji, co sprawia że zakres ewentualnych chorób i inwazji szkodników jest znacznie mniejszy aniżeli w agrocenozach rolniczych.

WODA. Podstawowym problemem uprawy roślin drzewnych rozważanym w kontekście środowiskowym jest zużycie wody oraz ewentualny wpływ na lokalne zasoby wody. Z drugiej strony uprawy agroleśne wpływają korzystnie na cały ekosystem. Badania prowadzone w Anglii dowodzą, że czynnikiem decydującym o tym, czy oddziaływanie upraw agroleśnych na zasoby wody jest korzystne czy niekorzystne, jest wielkość plantacji (Hardcastle i in. 2006). Jeśli powierzchnia uprawy obejmuje obszar zlewni mniejszy niż 20%, to wielkość ewentualnego niekorzystnego oddziaływania jest praktycznie nie do uchwycenia. Oznacza to, że w większym stopniu powinny być preferowane plantacje agroleśne prowadzone w blokach upraw na relatywnie małych powierzchniach.

GLEBA. Uprawy agroleśne prowadzone przez wiele lat mogą wyczerpywać glebę ze składników pokarmowych i zwiększać kwasowość gleby. Dlatego też niezbędne jest racjonalne planowanie nawożenia plantacji. Jednocześnie, pozostałości roślin odgrywają istotną rolę w zwiększeniu masy organicznej gleby i glebowej sekwestracji węgla. Przekształcenie użytkowania gruntów z upraw rolniczych na uprawy agroleśne wpływa pozytywnie na glebową sekwestrację węgla i zwiększa akumulację węgla w glebie do 20%, przy czym ten korzystny efekt jest szczególnie wyraźny na glebach o niskiej zawartości węgla. Sprzyja to także zwiększeniu bioróżnorodności całego systemu produkcji (Vanguelova, Pitman 2011).

FUNKCJA FITOREMEDIACYJNA. Plantacje agroleśne lokalizowane na gruntach nieurodzajnych wymagają stałego zasilania gleby w materię organiczną oraz łatwo przyswajalne składniki mineralne. Koncepcją, która znajduje zastosowanie w praktyce, jest wykorzystanie w tym celu ścieków, osadów ściekowych, masy pofermentacyjnej z biogazowni utylizacyjnej lub frakcji podsitowej odpadów komunalnych. Badania z zakresu wykorzystania tego typu odpadów do zasilania plantacji roślin lignocelulozowych i innych roślin wieloletnich prowadzone przez Dimitriu (2005) w Szwecji potwierdzają 2–4-krot-

ny wzrost produktywności roślin, jednakże przyjęcie określonych założeń technologicznych takiej metody zagospodarowania ścieków lub odpadów komunalnych, m.in. dotyczących dawki i częstotliwości stosowania, wymaga gruntownej analizy środowiskowej i racjonalizacji sposobu implementacji. Wieloletnie plantacje agroleśne mogą być wykorzystane jako fitoremediatory gruntów skażonych, np. metalami ciężkimi.

Plantacje roślin wieloletnich, a szczególnie plantacje wierzby, pełnią rolę swoistego reaktora biologicznego, katalizującego wiele procesów rewitalizujących glebę, w tym procesów fitoremediacyjnych, takich jak fitoekstrakcja, fitodegradacja, rizofiltracja i fitostabilizacja, oraz ograniczającego fizyczne procesy erozji wodnej i wietrznej (Kuzovkina, Quigley 2005). W efekcie takich procesów biologicznych dokonujących się w glebie następuje rozkład materii organicznej przez organizmy glebowe oraz absorpcja składników pokarmowych i wody ze ścieków pochodzenia komunalnego lub przemysłowego przez korzenie. Powyższe pozytywne oddziaływania środowiskowe wynikają z właściwości fizjologicznych rośliny przejawiających się w wysokiej wydajności fotosyntetycznej, wysokiej efektywności pobierania składników pokarmowych z gleby, tolerancji na okresowe zalewanie, zdolności do akumulacji metali ciężkich, intensywnym rozwoju krótkiego systemu korzeniowego (ok. 40 cm), zdolności do szybkiego odrostu po zbiorze i łatwej propagacji. Równocześnie wierzba jest rośliną o relatywnie wysokim wskaźniku ewapotranspiracji w trakcie wegetacji, aczkolwiek – w zależności od formy i warunków uprawy – zmiennym w szerokim zakresie wartości: od 15 do 27 litrów na 1 m². Te właściwości fizjologiczne sprawiają, że wierzba może w sposób naturalny przywracać funkcję użytkową gruntom marginalnym. Tego typu podejście proponuje system Eko-Salix®, zaprojektowany w odniesieniu do gruntów nieprzydatnych do uprawy na cele konsumpcyjne, odłogowanych, okresowo podmokłych, lub stanowiących ekstenzywne użytki zielone, głównie kompleksu 2z klasy bonitacyjnej III i IV (Stolarski i in. 2011; Szczukowski in. 2011).

Uprawy agroleśne w Polsce

Wskaźniki energetyczne obrazujące nakłady energetyczne na produkcję biomasy w uprawach agroleśnych w stosunku do ilości energii wytworzonej z biomasy są korzystne i kształtują się w relacji 1 : 30–40, natomiast w przypadku węgla 3 : 1, co oznacza, że trzy jednostki energii zakumulowanej w węglu wykorzystuje się do wyprodukowania jednostki energii elektrycznej. Równocześnie średnia wartość kaloryczna wytworzonej biomasy kształtuje się na poziomie około 15 MJ/kg przy 20% wilgotności biomasy i około 18 MJ/kg suchej masy, wynosi zatem, odpowiednio, około 60% i 70% kaloryczności węgla.

W Europie coraz większe powierzchnie gruntów rolnych i leśnych przeznaczają się na uprawy roślin lignocelulozowych, w tym drzewiastych. Dominują uprawy wierzby i topoli, a największy areal pod uprawą tych roślin znajduje się w Szwecji, Polsce, Niemczech, Austrii i Włoszech (tab. 1). W krajach skandynawskich i w Polsce dominują uprawy wierzby, natomiast we Włoszech – uprawy topoli.

Tabela. 1. Powierzchnia uprawy wierzby i topoli w wybranych krajach UE (w ha)

Kraj	Wierzba	Topola
Austria	1 100	1 100
Dania	5 500	820
Niemcy	4 000	5 000
Włochy	670	5 490
Polska	9 000	300 (1500*)
Szwecja	11 000	550

Źródło: zestawienie własne według AEBIOM Statistical Report 2012, ss. 124, * szacunek autorów.

Produkcyjność upraw agroleśnych zależy od jakości materiału sadzeniowego, technologii uprawy oraz szeregu czynników natury biotycznej i abiotycznej. Potencjał plonowania roślin w uprawach agroleśnych jest wysoki i w sprzyjających warunkach uprawy może osiągać 25–30 t s.m. z 1 ha. Zakładając jednak specyficzne uwarunkowania produkcji na gruntach o małej żyzności, przewiduje się przeciętne plony w wysokości 4–12 t s.m. z 1 ha. Z uwagi na plastyczność środowiskową wierzby i topoli można modelować technologie produkcji adekwatnie – w dużym zakresie – do danych warunków środowiska, uwzględniając m.in. formę biologiczną roślin, technologie uprawy i częstość/rotację zbioru.

Nowe obszary badań w agroleśnictwie

W ostatnich latach w Polsce zintensyfikowano prace badawcze nad technologiami produkcji roślin lignocelulozowych. W efekcie tych prac wyprowadzono i zarejestrowano pierwsze polskie odmiany wierzby predysponowane do upraw energetycznych w określonych warunkach środowiska. Ponadto w różnym stopniu zaawansowane są prace nad przydatnością i potencjałem produkcyjnym wielu gatunków roślin lignocelulozowych oraz nad procesami konwersji tych roślin do paliw i innych bioproduktów. Należy jednak zaznaczyć, że mimo pewnych osiągnięć hodowlanych, w badaniach nad roślinami drzewiastymi wykorzystuje się głównie rodzimy materiał sadzeniowy, nieuszlachetniony i zasadniczo nieprzystosowany do specyficznych warunków upraw produkcyjnych, np. na gruntach marginalnych. Uwzględniając powyższe, a także cały kontekst przyszłego rynku biomasy pozyskiwanej z upraw agroleśnych, należy stwierdzić, że otwierają się nowe przestrzenie badawcze, warunkujące dalszy rozwój, przy czym warty podkreślenia jest fakt, że istotą przyszłych badań będzie ich interdyscyplinarność.

BADANIA GENETYCZNO-HODOWLANE, BIOINŻYNIERIA. Prace badawcze w tym zakresie będą miały dwa zasadnicze cele 1) wyprowadzenie nowych form roślin o dużej adaptacyjności środowiskowej i odporności na stresy środowiskowe, oraz 2) modyfikację struktury składu chemicznego biomasy. Pogłębione prace genetyczno-hodowlane wraz z metodami inżynierii genetycznej powinny doprowadzić do zwiększenia plonów roślin oraz sterowania składem chemicznym biomasy pod kątem zastosowań.

W Polsce wieloletnie uprawy energetyczne zajmują powierzchnię około 10 200 ha, co w odniesieniu do ogólnej powierzchni użytków rolnych w kraju stanowi 0,06%. Dominującymi gatunkami w uprawie są wierzba krzewiasta (62%), topola (7%), a następnie brzoza i olcha 0,3% (pozostałą powierzchnię zajmują rośliny z rodziny traw). Szacuje się, że do 2020 roku na produkcję roślin lignocelulozowych można przeznaczyć do 1,0 mln ha użytków rolnych (Jadczyżsyn i in. 2008).

BADANIA AGROTECHNICZNE. Niezbędne są dalsze badania nad doskonaleniem poszczególnych ogniw technologicznych produkcji polowej w zakresie nawożenia, ochrony roślin przed agrofagami, sposobu zbioru, suszenia i uszlachetniania surowca.

BADANIA W ZAKRESIE EFEKTYWNOŚCI PRODUKCJI. Ważnym zadaniem prac badawczych będzie zwiększenie efektywności fotosyntetycznej roślin, efektywności wykorzystania dostępnych składników pokarmowych w glebie (nutrient use efficiency, NUE) oraz efektywnego gospodarowania wodą (water use efficiency, WUE).

BADANIA ŚRODOWISKOWE. Badania uprawy i produkcji biomasy roślin wieloletnich na gruntach marginalnych oraz skażonych, nieprzydatnych do uprawy roślin żywnościowych i paszowych, rozwijanie potencjału fitoremediacyjnego upraw agroleśnych oraz kompleksowe badania w zakresie oceny długości życia biomasy (life cycle assessment, LCA).

BADANIA NAD STRESAMI ŚRODOWISKOWYMI. Wieloletnie uprawy agroleśne mają wpływ na redukowanie zasobów wody i wyczerpywanie składników pokarmowych z gleby. Uwzględniając potrzeby wodne roślin lignocelulozowych oraz relatywnie niską żyzność gleb marginalnych i zdegradowanych, trzeba rozwijać badania nad większą produktywnością i produkcyjnością roślin oraz zwiększeniem tolerancji na niekorzystne warunki środowiska, w tym przede wszystkim na zalewanie, suszę i zasolenie. W tym zakresie kwestią badawczą, która wymaga szczególnej uwagi, jest systemowa integracja małej retencji wodnej i upraw agroleśnych.

BADANIA NAD EFEKTYWNYMI PROCESAMI PRZETWARZANIA BIOMASY. Wykorzystanie biomasy w zintegrowanych biorafineriach, stosujących różnorodne procesy konwersji biologicznej, chemicznej i fizycznej biomasy w celu wytwarzania wielu produktów o wysokiej wartości rynkowej. Szczególnie duży wpływ na rozwój nowych bioproduktów będą miały badania agrochemiczne i agrobiotechnologiczne w zakresie białej biotechnologii. Poza tym, w grupie metod konwersji termicznej biomasy są metody wykorzystujące całe spektrum temperatur, które pozwalają uzyskiwać różne półprodukty i nośniki energii. Wciąż mała jest wiedza o tym, który proces termiczny zastosować do danego rodzaju biomasy. Ogólne i względnie szerokie zakresy temperatur określają dość wyraźnie, z jakiego typu procesem mamy do czynienia (piroliza, zgazowanie, spalanie w płamie) i jakiego typu produktów należy oczekiwać. Jednakże, niezależnie od procesu termicznego, uzyskujemy wiele półproduktów i potencjalnych dalszych ścieżek konwersji.

BADANIA EKONOMICZNO-SPOŁECZNE. W związku z tym, że instalacje przetwórstwa biomasy drzewnej będą zasadniczymi składowymi nowego rynku produktów i usług – biogospodarki, potrzebny będzie rozwój nowej nauki – bioekonomii. Biorafinerie będą kształtowały nową rzeczywistość rynkową, zatem badania w zakresie oddziaływania społecznego, regulacji prawnych będą naturalnym uzupełnieniem wiedzy.

Ograniczenia i potencjał rozwojowy upraw agroleśnych

Ograniczenia produkcji i wykorzystania biomasy z upraw agroleśnych na cele biorafineryjne, o charakterze rynkowym, środowiskowym i społecznym, mają wymiar zarówno lokalny, jak i krajowy. Ograniczenia po stronie producenta biomasy odnoszą się do sposobu produkcji biomasy (celem jest sposób zrównoważony) oraz logistyki jej zbytu.

ZRÓWNOWAŻONA PRODUKCJA BIOMASY. Gwarancja dostawy biomasy w odpowiedniej ilości i standaryzowanej jakości jest podstawą powodzenia technologii konwersji biomasy z upraw agroleśnych do bioproduktów. Istotna w tym kontekście jest konserwacja i kondycjonowanie biomasy, ułatwiające składowanie, przechowywanie i zwiększenie gęstości biomasy. Przykładowo, gęstość energii w drewnie wynosi 6 MJ/kg, a w brykiecie i pelecie jest 2–3-krotnie większa, ale brykietowanie, peletowanie czy wytwarzanie biowęgla wiąże się z dodatkowymi nakładami energii i kosztami. Brak monitoringu i w efekcie brak adekwatnych danych o ilości i jakości biomasy oraz brak stabilizacji cen biomasy na rynku zwiększają finansowe, techniczne i operacyjne ryzyko, co z kolei utrudnia decyzje inwestycyjne.

Presja na bioprodukty inne niż bioenergia może wpływać na zwiększenie areału gruntów na uprawy agroleśne prowadzone w celach energetycznych, co może prowadzić do klasycznego konfliktu z sektorem produkcji żywnościowej i paszowej. Podobnie jak w przypadku rozszerzania upraw na cele produkcji biopaliw I generacji, tak i ekspansja upraw agroleśnych może zacząć konkurować z produkcją żywnościową, redukować zasoby wody i bioróżnorodność, a ponadto z powodu możliwości zmiany użytkowania gruntów (indirect land use change, ILUC) przyczyniać się do zwiększenia emisji gazów cieplarnianych i straty węgla organicznego z gleby. Brak jest dzisiaj wiarygodnych metod oceny środowiskowej produkcji biomasy drzewnej, uwzględniających zużycie nawozów, wykorzystanie wody lub zmiany materii organicznej w glebie, a jest to tylko jeden z wielu elementów analizy cyklu życia w podejściu systemowym.

Biomasa z produkcji dedykowanej na cele energetyczne prowadzona na gruntach ornych powinna być traktowana jako ostateczność, gdy produkcja z wszystkich innych źródeł będzie niewystarczająca, oraz gdy nie będzie konkurowała z produkcją żywnościową. Podstawą będą odpady, a w przypadku biomasy z produkcji agroleśnej niezbędne będzie zwiększenie produktywności upraw oraz zrównoważone technologie produkcji. Oznacza to konieczność prowadzenia racjonalnej polityki rozszerzenia upraw agroleśnych i koncentrację tych upraw na gruntach marginalnych, niewykorzystanych lub zdegradowanych. Ograniczenia w tym zakresie będą warunkowane bioróżnorodnością, zachowaniem lub restytucją przyrodniczą ekosystemów oraz koniecznością minimalizacji degradacji gleb.

SYSTEM LOGISTYCZNY. Ograniczenia w zakresie logistyki dostaw do biorafinerii biomasy pozyskiwanej z upraw agroleśnych wynikają z braku dojrzałej techniki sprzętu roślin oraz jakości biomasy po zbiorze. Wynika to z dużej zmienności biologicznej roślin, w tym właściwości fizycznych i chemicznych surowca, ale także z przyjętej technologii produkcji, o określonej rotacji zbiorów i zakładanej wydajności z jednostki powierzchni (zależnej od zagęszczenia uprawy, średnicy drzew, terminu zbioru). Ponadto standaryza-

cja surowca lignocelulozowego dla biorafinerii jest trudniejsza niż w przypadku surowców wykorzystywanych w produkcji biopaliw I generacji (ziarno zbóż, oleje roślinne itp.).

Rozwój upraw agroleśnych jest warunkowany możliwością przezwyciężenia szeregu barier o charakterze polityczno-ekonomicznym, rynkowym, agrotechnicznym i mentalnościowym (tab. 2).

Tabela. 2. Uwarunkowania i bariery rozwoju produkcji drewna z upraw agroleśnych

Uwarunkowania	Bariera
Polityczne	– niespójna i nie dająca się przewidzieć polityka i priorytety rozwojowe – polityka „zamrażania” gruntów pod uprawami leśnymi, trwale zmieniająca status gruntów, nie stymuluje rozwoju obszarów wiejskich – dotowane jest wyłączenie gruntów rolnych z uprawy, a powinno uwzględniać także produkcję agroleśną, – brak polityki prorozwojowej, co sprawia, że uprawy agroleśne nie są konkurencyjne względem innych upraw rolniczych z uwagi na: wysokie nakłady na założenie i likwidację plantacji, długi okres oczekiwania na pierwsze przychody (co najmniej 3 lata), brak specjalistycznego sprzętu,
Rynkowe	– brak stabilizacji rynku biomasy, – brak regulacji standaryzacyjnych i certyfikujących biomasę, – niewłaściwe regulacje promujące wykorzystanie biomasy przez energetykę wielkoskalową i współspalanie, co powoduje, że biomasę opłaca się transportować do elektrowni (emisje) zamiast wykorzystać lokalnie, – brak dojrzałej infrastruktury systemu logistycznego loco gospodarstwo lub franco instalacja przetwórstwa biomasy,
Agrotechniczne	– ograniczona liczba odmian gatunków roślin drzewiastych predysponowanych do upraw agroleśnych gwarantujących określoną produktywność, – nieznajomość agrotechniki produkcji wieloletnich roślin drzewiastych, – brak kompleksowych rozwiązań dotyczących mechanizacji produkcji i standaryzacji surowca,
Mentalnościowe	– brak wsparcia ekonomicznego nie motywuje do dodatkowej aktywności produkcyjnej, – tradycyjne podejście gospodarstwa do produkcji rolniczej preferujące roczną cykliczność upraw/produkcji, – niechęć do podejmowania ryzyka uprawy wieloletnich roślin drzewiastych w krótkiej rotacji (brak subsydiów) przy jednocześnie funkcjonującym dofinansowaniu stałego wyłączenia gruntów rolnych z uprawy i przekwalifikowania na grunty leśne,
Spoleczne	– brak wiedzy związanej z wymiennością efektów ekonomicznych, energetycznych i środowiskowych (trade-off), – brak promocji i działań uświadamiających, – brak świadomości (i akceptacji) społecznej.

Wykorzystanie gruntów na uprawy agroleśne można rozpatrywać w różnych wymiarach.

WYMIAR SPOŁECZNY. Wielofunkcyjne wykorzystanie gruntów rolnych, w tym na produkcję drewna, zwiększa potencjał rozwojowy obszarów wiejskich. Przede wszystkim uprawy agroleśne mogą być prowadzone na gruntach odłogowanych, marginalnych, zdegradowanych, wyrobiskach, terenach pokopalnianych, które nie mogą być wykorzystane na produkcję żywnościową lub też ich produktywność nie gwarantuje zadowalającej efektywności produkcji. Poprzez alternatywną produkcję drewna i lokalne przetwórstwo można zwiększyć aktywność przedsiębiorczą i zmniejszyć ubóstwo obszarów wiejskich.

WYMIAR EKONOMICZNY. Uprawy agroleśne są elementem dywersyfikacji dochodów gospodarstw rolniczych. Zmianowanie w perspektywie długookresowej, np. z roślinami motylkowatymi lub użytkowanie przemienne agroleśno-pastwiskowe, przyczyni się do wzrostu żyzności gleby na gruntach ornych, a pośrednio poprzez większe plony – do efektywniejszej produkcji żywnościowej. Na efektywność energetyczną i ekonomiczną produkcji biomasy w uprawach agroleśnych wpływa stosowanie chemikaliów do nawożenia i ochrony roślin. W warunkach globalnego ocieplenia uprawy agroleśne mogą stabilizować produkcję poprzez wykorzystywanie nowych form o dużym stopniu tolerancji na stresy środowiskowe, w tym na zalewanie, suszę i zasolenie, a pośrednio poprzez zwiększenie powierzchni upraw agroleśnych.

WYMIAR TECHNICZNY. Uprawy agroleśne stanowią nową jakość w produkcji rolniczej na cele nieżywnościowe. Problemy związane z utechnicznieniem produkcji można sprowadzić do oczywistej konkluzji, że w produkcji biomasy nie można zaadaptować tradycyjnego sprzętu obsługującego produkcję rolniczą. Niezbędne jest budowanie w gospodarstwie nowego parku technicznego, przy czym część sprzętu wymaga oryginalnego opracowania od nowa. Ograniczeniem jest też brak pewnych kompleksowych rozwiązań technicznych, które wspierałyby zarówno mechanizację produkcji, jak i standaryzację surowca.

WYMIAR ŚRODOWISKOWY. Argumentem wyjściowym jest niwelowanie globalnych efektów deforestacji oraz zmniejszenie presji na biomasę leśną poprzez produkcję drewna na gruntach rolniczych. Pozytywne oddziaływanie upraw roślin drzewiastych obejmuje cały ekosystem, w tym wpływa na jakość wód poprzez ograniczenie spływu biogenów, ograniczenie erozji glebowej, a także mniejsze zużycie nawozów i środków ochrony roślin.

Propozycje zmian prawnych

POLITYKA ENERGETYCZNA. Uwzględniając polskie regulacje prawne⁸ należy zwrócić uwagę na fakt, iż kreowana polityka zakłada systematyczne zwiększanie udziału biomasy lignocelulozowej w wytwarzaniu energii. Udział biomasy nieleśnej użytkowanej w źródłach o mocy elektrycznej wyższej niż 5 MW, w których biomasa jest współ-

⁸ Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18 października 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii

spalana z innymi paliwami, powinien wynosić w 2012 r. nie mniej niż 50% i wzrastać w kolejnych latach, do osiągnięcia poziomu 85% od 2018 r. Natomiast w przypadku układów hybrydowych oraz jednostek, które będą spalały wyłącznie biomasę, w urządzeniach o mocy elektrycznej powyżej 20 MW, udział biomasy nieleśnej ma wynosić 20% w 2012 r. i docelowo, poczynając od 2019 r., ma wzrosnąć do 50%. Jakkolwiek regulacje te promują wykorzystanie biomasy, to wydaje się, że są przeciwstawieniem światowych tendencji zakładających racjonalizację wykorzystania biomasy i powinny być zmienione.

PROGRAMY ROZWOJOWE. Z punktu widzenia gospodarstwa rolniczego/leśnego duże znacznie w podjęciu decyzji o założeniu plantacji wieloletniej odgrywa aspekt ekonomiczny związany z wysokimi nakładami finansowymi w pierwszych latach na założenie plantacji i długim okresem oczekiwania na pierwsze przychody. Dlatego też potrzebne są regulacje prawne uwzględniające w programach rozwojowych działania długookresowe, takie jak:

- 1) wsparcie finansowe zakładania upraw agroleśnych na gruntach rolniczych podobnie jak w przypadku zakładania lasów. Gospodarstwo będzie miało wybór między jednym a drugim sposobem gospodarowania. Wsparcie w obecnej postaci nie generuje rozwoju obszarów wiejskich. Średni koszt założenia plantacji wierzby i topoli szacuje się na około 5 tys. zł/ha;
- 2) długoterminowe umowy odbioru biomasy przez zakłady przetwórstwa przy odpowiednio skalkulowanej cenie. Powinny one stanowić gwarancję stabilności produkcji surowców na cele nieżywnościowe: bioproduktów, biopaliw, bioenergii;
- 3) powiązanie kwestii upraw wieloletnich i sekwestracji CO₂.

PROGRAMY OCHRONY PRZYRODY. Celowa jest rewizja niektórych zapisów wykonawczych w programach ochrony przyrody pod kątem możliwości pozyskania biomasy. Przykładowo, w programie Natura 2000 można przyjąć zapis o produkcji biomasy na terenach zalewowych w międzywałach rzek.

Perspektywy wykorzystania biomasy

Biomasa lignocelulozowa przeznaczona na cele rafineryjne konkuruje z paliwami kopalnymi i mimo, że ceny tradycyjnych paliw kopalnych mogą być tylko wyższe, to w przyszłości konkurencję dla biomasy mogą stanowić także inne paliwa, pochodzące z pokładów trudniej dostępnych (gaz łupkowy, ropa naftowa, węgiel). Należy się też liczyć z wprowadzeniem efektywnych technologii wytwarzania uniwersalnych nośników energii: wodoru i elektryczności (w tym z paliw kopalnych). Zatem, kwestie rozwojowe upraw agroleśnych należy rozpatrywać w kontekście trzech głównych kryteriów rozwojowych, korespondujących bezpośrednio z założeniami polityki klimatycznej i śró-

elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii.

dowiskowej. U podstaw tych kryteriów jest założenie, że pierwotna biomasa drzewna jest zbyt wartościowa, aby wykorzystywać ją w celach li tylko energetycznych, ponieważ przyszłościowy potencjał energetyczny biomasy obejmuje tylko biomasę odpadową wszelkiego typu, ale i w tym przypadku w przyszłości będziemy odzyskiwali wartościowszą część odpadów, zanim przeznaczymy je na cele energetyczne.

PERSPEKTYWA 2030. Zintegrowana biorafineria lignocelulozowa – wytwarzanie wielu produktów z drewna, w tym biopaliw lignocelulozowych II generacji i docelowo zastąpienie paliw kopalnych w transporcie oraz eliminowanie biomasy do wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej w instalacjach wielkoskalowych.

PERSPEKTYWA 2050. Budowanie wartości dodanej biorafinerii poprzez kaskadowy system wytwarzania produktów. O efektywności ekonomicznej biorafinerii w pierwszej kolejności będą stanowiły zaawansowane bioprodukty wytwarzane z drewna, w dalszej kolejności biopaliwa i bioenergia.

PERSPEKTYWA 2080. W rafinacji produktów, energii, i paliw nastąpi integracja procesów konwersji biomasy i paliw kopalnych.

Uzasadnienie – podsumowanie

1. Nie ma konkurencji między sektorami produkcji drewna z gruntów leśnych lub rolnych, jest raczej niebezpieczeństwo deficytu drewna. W przyszłości będziemy w stanie zagospodarować każdą ilość biomasy drzewnej efektywniej i z szerszą ofertą rynkową produktów.
2. Jest mało prawdopodobne, aby podstawowy cel produkcji leśnej na drewno użytkowe zmienił się istotnie w następnych dekadach. Przemysł papierniczy, tartaczny, stolarki budowlanej, meblarski, płyt i sklejek, a także opakowań, zapalczany i inne oczekują na odpowiedniej jakości surowiec drzewny. Pozostałości leśne pierwotne i wtórne z przemysłu drzewnego klasycznie wykorzystujemy na cele energetyczne. Podobny cel energetyczny jest przesłanką wykorzystania biomasy z plantacji rolniczych. Dziś racjonalne jest założenie, że dla zapewnienia stabilności wolumenu produkcji drewna część produktów przemysłu drzewnego będzie musiała być wytwarzana z surowca pozyskanego z dedykowanych plantacji rolniczych. Nawet, jeśli w oficjalnych scenariuszach zakłada się wzrost lesistości z 29% dzisiaj do 33% w 2050 r., to będzie to możliwe zasadniczo dzięki agroleśnictwu i plantacjom krótkorotacyjnym, pozwalającym uzyskiwać wystarczającą produktywność biomasy w cyklu – w zależności od uprawy – 2–4-letnim lub dłuższym – 8–15-letnim. W tym kontekście można wskazać przesłanki pewnej konkurencyjności plantacji rolniczych z produkcją agroleśną, która jest predysponowana do efektywniejszego wykorzystania potencjału terenów trudniejszych do zagospodarowania – nieużytków, gruntów marginalnych i zdegradowanych. Jednakże w kontekście nowego

przemysłu biomasy celowe jest raczej wskazanie komplementarności produkcji drewna z tych dwóch źródeł.

3. W przyszłości biomasa drzewna nie będzie stanowiła istotnej części potencjału energetycznego kraju. Dzisiaj tak jest, że drewno z przemysłu drzewnego i pozostałości leśne wykorzystywane na cele energetyczne stanowią istotny odsetek biomasy, sięgający nawet 85%. Jeśli jednak weźmiemy pod uwagę fakt, że prowadzimy niezrozumiałą politykę energetyczno-klimatyczną i idącą za tym dystrybucję środków na cele pseudo-środowiskowe, gdy realizując cele wskaźnikowe udziału energetyki odnawialnej biomasa jest współspalana z węglem, to z pewnością taka polityka powinna być zrjonalizowana. W przyszłości będziemy w stanie zminimalizować lub wyeliminować zużycie drewna do wytwarzania energii w wielkoskalowej energetyce, gdyż inne źródła energii odnawialnej powinny zabezpieczyć nasze zapotrzebowanie na energię elektryczną, ciepło i chłód.
4. Już dziś technologie w zakresie efektywnej gospodarki drewnem uzyskują prymat w niektórych krajach, głównie w krajach skandynawskich, ale także w Kanadzie i USA. Na etapie instalacji pilotażowych są tam już rafinerie, w których z drewna wytwarza się wiele bioproduktów. Budowane są głównie na bazie struktury przemysłu papierniczego, jako naturalna ewolucja tego przemysłu. Takim samym wartościowym surowcem przyszłej biorafinerii będzie biomasa z produkcji agroleśnej, przede wszystkim dzięki możliwości jej odtwarzania w relatywnie krótszym czasie. Można więc przyjąć, że uprawy agroleśne stanowią ten obszar działalności przemysłu drzewnego, w którym można próbować wybić się na krajową specjalizację wiodącą. Już teraz niektóre zakłady papiernicze w kraju rozwijają samozaopatrzenie surowcowe.
5. Zasadniczy potencjał produkcji drzewnej będą stanowiły w przyszłości grunty o relatywnie niższej produkcyjności, których zagospodarowanie będzie możliwe w postaci upraw całkiem dużej grupy drzew i krzewów. Sztandarowym dzisiaj gatunkiem, kosmopolitycznym, o dobrej adaptacyjności w bardzo różnych warunkach siedliskowych, jest wierzba. Korzystne cechy tego gatunku wynikają przede wszystkim z właściwości fizjologicznych rośliny, które przejawiają się w wysokiej wydajności fotosyntetycznej, wysokiej efektywności pobierania składników pokarmowych z gleby, tolerancji na okresowe zalewanie, zdolności do akumulacji metali ciężkich, intensywnym rozwoju stosunkowo krótkiego systemu korzeniowego, zdolności do szybkiego odrostu po zbiorze i łatwej propagacji. Co prawda jest to roślina o wysokim wskaźniku ewapotranspiracji w trakcie wegetacji, a więc niezbyt efektywnie gospodarująca wodą, ale i w tym przypadku można dobrać formy adekwatne do danych warunków środowiska, bowiem spektrum ewapotranspiracji jest dość szerokie i zawiera się od 15 do 25 litrów na 1 m². Wierzby, a także topole lub robinia akacja, stanowią przykłady roślin, które można efektywnie prowadzić w krótkim 2–5-letnim cyklu uprawy na słabszych gruntach. Możliwość relatywnie szybkiego odnawiania, w cyklu do 15–20 lat, mają także drzewostany olchy, jesionu, buka, brzozy, topoli, wierzby, klonu, jaworu, morwy papierowej, paulownii, akacji i innych gatunków.
6. Zarówno gospodarka leśna, jak i produkcja drewna na gruntach rolnych, mimo ewidentnych różnic, są równie istotne. Las ma wyjątkowe funkcje przyrodnicze i spo-

łeczne do wypełnienia. Warto jednak zwrócić uwagę na funkcje plantacji i zadrzewień prowadzonych w krótkiej rotacji, które mogą pozytywnie odróżniać tę formę gospodarki. Plantacje agroleśne, szczególnie na glebach mniej żyznych, wymagają stałego zasilania gleby w materię organiczną oraz łatwo przyswajalne składniki mineralne. Koncepcją, która znajduje zastosowanie w praktyce, jest wykorzystanie w tym celu wstępnie przetworzonych (lub nie) ścieków, osadów ściekowych lub frakcji podsitowej odpadów komunalnych. Badania z tego zakresu pokazują, że dzięki zastosowaniu ścieków w uprawach jest możliwy nawet 2–4-krotny wzrost produktywności roślin, jednak taka metoda zagospodarowania ścieków czy odpadów komunalnych, wymaga gruntownej analizy środowiskowej i racjonalizacji sposobu implementacji, m.in. w zakresie dawki i częstotliwości stosowania. Wieloletnie plantacje agroleśne mogą być także wykorzystane jako fitoremediatory gruntów skażonych, np. metalami ciężkimi. Elementem tego typu proekologicznego podejścia jest także wdrażany obecnie system Eko-Salix®, zaprojektowany do stosowania na gruntach marginalnych lub zdegradowanych.

Reasumując, plantacje agroleśne mogą stanowić swoiste reaktory biologiczne katalizujące procesy rewitalizujące gleby zdegradowane i nieużytki, w tym poprzez uruchomienie takich procesów biologicznych jak fitoekstrakcja, fitodegradacja, rizofiltracja i fitostabilizacja oraz ograniczenia procesów fizycznych – erozji wodnej i wietrznej. Ze społecznego punktu widzenia istotny jest także fakt aktywizacji obszarów wiejskich oraz możliwość generowania alternatywnych źródeł dochodu rolniczego.

7. Z teoretycznego punktu widzenia wykorzystanie biomasy na cele energetyczne jest neutralne, tzn. ilość CO_2 emitowana do atmosfery podczas spalania biomasy jest taka sama jak sekwestrowana w trakcie przyrostu biomasy. Jednakże, jeśli w pozyskaniu biomasy i konwersji do energii wykorzystujemy paliwa kopalne, to w analizie cyklu życia biomasy ten bilans będzie zawsze niekorzystny. Zważmy na fakt, że dzisiaj wskaźniki udziału energetycznego wykorzystania biomasy budują głównie procesy spalania/współspalania (najtańszy). Ale w przyszłości procesy termiczne będą efektywniejsze i będą stanowiły zintegrowany w biorafinerii system procesów konwersji. Oprócz spalania biomasy tradycyjnie możliwe jest wykorzystanie innych procesów termicznych, z szerokiego zakresu temperatur, które przy określonym ciśnieniu pozwalają uzyskać szereg półproduktów lub nośników energii. Wciąż mało wiemy o tym, który proces termiczny zastosować do danej biomasy. Znając ogólnie stosowany zakres temperatur, można dość wyraźnie określić, z jakiego typu procesem mamy do czynienia i jakiego typu produktów należy oczekiwać. Chodzi o procesy pirolizy, zgazowania lub spalania w plazmie. Niezależnie od procesu termicznego, uzyskujemy wiele półproduktów i potencjalnych dalszych ścieżek konwersji – to kolejna szansa rozwojowa przemysłu biomasy. Niezbędne jest także przygotowanie zestandaryzowanego surowca do biorafinerii – są szanse, że takim surowcem dla biorafinerii będzie biowęgiel.
8. Niezbędna będzie stabilna i konsekwentna polityka rozwojowa, zakładająca stabilną koniunkturę, szczególnie w okresie przejściowym, gdy technologie procesów biorafineryjnych są na etapie badań wdrożeniowych. W tym okresie powinniśmy być

elastyczni w zagospodarowaniu i efektywnym wykorzystaniu każdej możliwości produkcji biomasy drzewnej, z poszanowaniem uwarunkowań środowiskowych konkretnej lokalizacji. Można zadać pytanie, dlaczego, np. w Szwecji lokalna gospodarka może być w dużej części oparta na surowcu *stricto* leśnym. Wiek rębności jest tam dostosowany do zapotrzebowania na surowiec drzewny, a produkcja agroleśna pozostaje także w gestii leśnictwa. Termin krótkorotacyjnego leśnictwa (short rotation forestry, SRF) jest w dużej mierze wypadkową programów rozwoju sektora leśnictwa w Szwecji. Oczywiście jest, że ze względu na położenie geograficzne, wskaźniki demograficzne oraz wiele innych uwarunkowań niemożliwe jest proste przeniesienie takiego wzorca na grunt krajowy. Ale można przenieść wzorzec zdrowego myślenia w budowaniu programu rozwoju zrównoważonej produkcji biomasy. Szacuje się, że dojrzałe technologicznie biorafinerie w postaci instalacji komercyjnych pojawią się na rynku około 2030 r. Zaniechanie lub opóźnienie działań w polityce biomasy drzewnej ustawi nas w roli petenta nowych technologii, podobnie jak ma to miejsce w przypadku nowych technologii rynku odnawialnych źródeł energii.

9. Przyszłe badania nad uprawami agroleśnymi otwierają nowe przestrzenie badawcze, w zakresie których dokona się postęp w rozwoju koncepcji biorafinerii lignocelulozowej oraz nowej nauki – bioekonomii. Ważny podkreślenia jest fakt, że istotą przyszłych badań będzie ich interdyscyplinarność i integracja osiągnięć w zakresie badań genetyczno-hodowlanych, bioinżynieryjnych, agrotechnicznych, białej biotechnologii i środowiskowych z technicznymi procesami przetwarzania biomasy oraz badań ekonomiczno-społecznych otoczenia produkcji i przetwórstwa biomasy.
10. Biomasa drzewna będzie stanowiła o przyszłej biogospodarce, zatem przyjęcie dobrych programów rozwojowych w tym zakresie jest koniecznością. Dzisiaj jeszcze mamy pewien komfort zabezpieczenia surowcowego z paliw kopalnych, głównie węgla, ale jeśli zwrócimy uwagę na oczywiste fakty, że jesteśmy w szczycie wydobycia ropy naftowej, jeśli szacunki dotyczące gazu ziemnego pokazują, że około 2040 r. będziemy mieli szczyt wydobycia tego paliwa, a potencjał paliw jądrowych określa się na kilkadziesiąt lat, to oznacza, że surowca z tych źródeł będzie coraz mniej i jego wykorzystanie musi być bardziej efektywne. Na globalnym rynku paliw kopalnych doświadczamy różnych stresów, w tym wahań cenowych, co sprawia, że nawet racjonalne regulacje dotyczące energetycznego i transportowego wykorzystania biomasy nie gwarantują dzisiaj konkurencyjności w porównaniu z paliwami kopalnymi. Nie zmienia to faktu, że w przyszłości biomasa będzie stanowić jedyną rozsądną alternatywę paliw kopalnych, nawet w sytuacji, gdy odkryjemy efektywny sposób pozyskiwania gazu z łupków. W tym kontekście, szczególnie newralgicznym sektorem gospodarki, który będzie wymagał dobrego programu rozwojowego, będzie zastąpienie procesów rafineryjnych ropy naftowej przez procesy (bio)rafineryjne biomasy. Ocenia się, że wytwarzamy około dwa tysiące produktów petrochemicznych, które w nieodległej przyszłości, w jakiejś części, powinny mieć swoje analogi wśród produktów z biomasy. Im wcześniej zrozumiemy, że biogospodarka jest działalnością związaną z biomasą i procesami biologicznymi, a biomasa drzewna jest istotną składową rozwoju biogospodarki, tym szybciej włączymy się w nurt zrównoważonego rozwoju kraju.

Literatura

- AEBIOM Statistical Report 2012, ss. 124.
- Clark J.H., Deswarte F.E.I. 2008. Introduction to Chemicals from Biomass. s. 1–184. Wiley Series in Renewable Resources.
- Das H., Singh S.K. 2004. Useful by products from cellulosic wastes of agriculture and food industry – a critical appraisal. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 44(2): 77–89.
- Dimitriou I. 2005. Performance and Sustainability of Short-Rotation Energy Crops Treated with Municipal and Industrial Residues. Doctoral thesis. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Gołaszewski J. 2009. Renewables and Environmental Implications. *Environmental Biotechnology*, 5(1): 11–24.
- Gołaszewski J., Żelazna K., Karwowska A., Olba-Zięty E. 2012. Conceptual framework of bioethanol production from lignocellulose for agricultural profitability. *Environmental Biotechnology*, 8(1): 7–14.
- Graham R.L., Wright L.L., Turhollow A.F. 1992. The potential for short-rotation woody crops to reduce U.S. CO₂ emissions. *Climatic Change*, 22(3): 223–238.
- Hardcastle P.D., Calder I., Dingwall I., Garrett W., McChesney I., Mathews J., Savill P. 2006. A review of the potential impacts of short rotation forestry. Final Report on SRF by LTS International.
- Heller M.C., Keoleiana G.A., Mann M.K., Volk T.A. 2004. Life cycle energy and environmental benefits of generating electricity from willow biomass. *Renewable Energy*, 29: 1023–1042.
- Heller M.C., Keoleiana G.A., Volk T.A. 2003. Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system. *Biomass and Bioenergy*, 25: 147–165.
- Jadczyszyn J., Faber A., Zalewski A. 2008. Wyznaczanie obszarów potencjalnie przydatnych do uprawy wierzby i ślazuwca pensylwańskiego na cele energetyczne w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 11: 55–65.
- Kuzovkina Y.A., Quigley M.F. 2004. Willow beyond wetlands: uses of *Salix* L. species for environmental projects. *Water, Air, and Soil Pollution*, 162: 183–204.
- Surhone L.M., Timpelton M.T., Marseken S.F. 2010. Short Rotation Forestry. VDM Publishing. ISBN 9786131016851.
- Macqueen D., Korhaliller S. 2011. Bundles of energy. The case for renewable biomass energy. *Natural Resource Issues* No. 24. IIED, London.
- Mantau U. (ed) 2010. EUwood – Real potential for changes in growth and use of EU forests. Final report. Hamburg/Germany, June 2010. s. 160.
- Stolarski M.J. 2009. Agrotechniczne i ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby krzewiastej (*Salix* spp.) jako surowca energetycznego. *Rozprawy i Monografie. Olsztyn, UWM*, 148: 1–145.
- Stolarski M.J., Szczukowski S., Tworkowski J., Klasa A. 2011. Willow biomass production under conditions of low-input agriculture on marginal soils. *Forest Ecology and Management*, 262: 1558–1566.
- Szczukowski S., Stolarski M., Tworkowski J. 2011. Plon biomasy wierzby produkowanej systemem Eko-Salix. *Fragmenta Agronomica*, 28(4): 104–115.
- Vanguelova E., Pitman R. 2011. Impacts of Short Rotation Forestry on soil sustainability. w: McKay H. (ed.) *Short Rotation Forestry: review of growth and environmental impacts. Forest Research Monograph*, 2, Forest Research, Surrey, s. 212.

Możliwości poszerzenia bazy surowcowej dla przemysłów drzewnych – inwestycje własne na przykładzie plantacji drzew szybko rosnących IP Kwidzyn

dr Andrzej SAMBORSKI

International Paper Kwidzyn

Unia Europejska konsekwentnie prowadzi swoją politykę energetyczną i ochrony środowiska naturalnego, polegającą między innymi na zwiększaniu udziału odnawialnych źródeł energii oraz redukcji emisji gazów – dwutlenku węgla i siarki. Nowe, bardziej wymagające cele zostały określone dla państw członkowskich, w tym Polski. W naszym kraju udział węgla kamiennego i brunatnego w produkcji energii elektrycznej wynosi ponad 90%. Najlepszym rozwiązaniem redukcji emisji CO₂ jest zastępowanie węgla paliwem odnawialnym, w tym najbardziej popularną biomasą. International Paper chce wykorzystać biomasę z plantacji, aby częściowo zastąpić węgiel zużywany do produkcji pary oraz wykorzystać biomasę jako papierówkę do produkcji celulozy.

Obecne światowe zasoby leśne, wobec wzrostu zapotrzebowaniu na drewno oraz ograniczania pozyskania i zwiększania reżimu ochronności, nie są w stanie dostarczać odpowiedniej ilości surowca. Na niestabilnym rynku własne źródło drewna może pokryć część potrzeb surowcowych oraz ograniczyć import, co wpływa na redukcję emisji związaną z transportem. Specyficzny sposób zakładania plantacji przyjęty przez International Paper umożliwia produkcję zarówno biomasy, jak i drewna o parametrach odpowiednich do produkcji celulozy.

Pilotażowy projekt plantacji drzew szybko rosnących został rozpoczęty przez International Paper w Polsce w 2007 roku. Ponad trzydzieści różnych odmian topoli zostało przetestowanych w celu wybrania tych, które są najlepiej dostosowane do polskich warunków i osiągają najlepsze przyrosty. Wybrano topole, gdyż najszybciej przyrastają w naszym klimacie, mogą być wykorzystane zarówno na biomasę, jak i papierówkę, oraz są sprawdzone na plantacjach przemysłowych w Europie. W przypadku topoli możliwy jest mechaniczny system sadzenia, pielęgnacji i zbioru, co składa się na efektywny system uprawy.

Stan obecny projektu to ponad 3 tys. ha założonych plantacji. Głównym celem projektu: „Największa plantacja biomasy w Europie” jest zamiar posadzenia ponad 9 tys. hektarów plantacji w najbliższych latach, aby uzyskać około 300 tys. ton biomasy rocznie. Długoterminowe umowy na zakładanie i obsługę plantacji zostały zawarte z lokalnymi rolnikami i firmami. Uprawa odbywa się na terenach dzierzawionych, w tym nieużytkowanych rolniczo, znajdujących się w odległości do 130 km od zakładu IP Kwidzyn, gdzie biomasa będzie wykorzystywana. Do nasadzeń wykorzystywane są dwa rodzaje materiału sadzeniowego: zrzesy oraz żywokoły z odmian wyselekcjonowanych na własnych plantacjach badawczych. Zbiór z plantacji będzie odbywał w cyklu 3–6-letnim, w zależności od sposobu założenia plantacji oraz potrzeb surowcowych.

Innowacyjny projekt IP niesie ze sobą wiele wyzwań, a jego powodzenie zależy od wielu czynników, zarówno środowiskowych, ekonomicznych, jak i społecznych. Obecnie głównym czynnikiem hamującym tego typu inwestycje oraz powodującym niepewność opłacalności jest brak długoterminowych uregulowań prawnych w energetyce. Inwestycja w plantacje jest wieloletnia i wymaga wielu nakładów, dlatego prawo powinno ustabilizować jak najszybciej rynek zielonej energii. Oczekujemy również wsparcia państwa przy tego typu projektach, np. w postaci dopłat bądź preferencyjnych kredytów na zakładanie plantacji. Badania naukowe, które nasza firma prowadzi od 2007 roku samodzielnie lub we współpracy z instytucjami naukowymi, są finansowane wyłącznie ze środków własnych. Kolejnym czynnikiem hamującym jest brak systemów certyfikacji drewna pochodzącego z plantacji nieleśnych, a nasza firma wykorzystuje do produkcji drewno wyłącznie kontrolowane, w tym dużą część certyfikowanego. Dużym wyzwaniem są również wymagania środowiskowe, np. niesprecyzowane regulacje dotyczące zakładania plantacji drzew szybko rosnących na obszarach Natura 2000. Bardzo ważnym aspektem jest także przekonanie społeczności lokalnej do nowej, nieznannej wcześniej formy produkcji drewna na terenach nieleśnych.

Pomimo wielu wyzwań i niepewności, nasza firma zdecydowała się na tak innowacyjny projekt na wielką skalę. Obserwacje wzrostu oraz pierwsze wyniki są bardzo obiecujące. Uważamy, że nasz projekt mógłby zostać powielony w pozostałych regionach Polski oraz innych państwach członkowskich UE. Obecnie w Europie importuje się biomasę z innych części świata, podczas kiedy większość potrzeb mogłaby być zaspokojona przez lokalne uprawy. Co więcej, to rozwiązanie pozwoliłoby na ograniczenie emisji związanych z transportem. Plantacje drzew szybko rosnących produkują więcej drewna niż tradycyjna gospodarka leśna. Są szansą na zmniejszenie deficytu drewna w Polsce, w szczególności drewna liściastego. Plantacje będą też przyczyniać się do ograniczenia pozyskania drewna z istniejących, chronionych lasów. Wydajność plantacji może być zwiększana poprzez stosowanie nawożenia w postaci popiołów ze spalania biomasy, wapna z procesów dekarbonizacji wody oraz osadów ściekowych. Plantacje stanowią szansę na rozwój przedsiębiorczości i generują nowe miejsca pracy w regionie. Stanowią również wsparcie dla polskiej gospodarki i UE. W ujęciu globalnym plantacje topoli mogą stanowić ogromny generator świeżego powietrza, pochłaniacz emisji gazów cieplarnianych oraz wód opadowych.

Znaczenie biomasy leśnej w realizacji wymogów pakietu klimatyczno-energetycznego w Polsce; udział drewna w produkcji energii. Stan, perspektywy, uwarunkowania, bariery, zachęty, udział w dywersyfikacji źródeł i bezpieczeństwie energetycznym (perspektywa krajowa i lokalna)

mgr inż. Ryszard GAJEWSKI

Polska Izba Biomasy, Prezes Zarządu

Tło międzynarodowe

Unia Europejska jest na szóstym miejscu na świecie pod względem wielkości powierzchni zalesionej, obejmującej zróżnicowane typy lasów, na których prowadzi się odpowiednią gospodarkę i które mają znaczący potencjał gospodarczy. W branży produkcji drewna i papieru zatrudnionych jest 4,3% pracowników sektora surowcowego oraz 3,7% sektora przetwórczego, co stanowi 2,5% ogólnej liczby zatrudnionych w UE. Jest to ponad 3,5 mln miejsc pracy, zlokalizowanych zwykle na terenach wiejskich, które wnoszą decydujący wkład w aktywizację obszarów wiejskich, gdzie możliwości rozwoju gospodarczego są znacznie ograniczone. Udział lasów w UE wykazuje tendencję wzrostową (w przeciwieństwie do udziału użytkowanej powierzchni rolnej, który stale maleje), rocznie powstaje ponad 450 tys. ha nowych lasów.

W Unii Europejskiej, leśnictwo, w przeciwieństwie do rolnictwa (wspólna polityka rolna), nie dysponuje odpowiednią podstawą prawną dotyczącą lasów. Brak odniesień do leśnictwa w traktacie rzymskim (drewno oraz inne produkty pochodzące z lasów – z wyjątkiem korka – nie zostały wymienione pośród produktów w załączniku II do traktatu) stanowi główną przeszkodę dla utworzenia wspólnej polityki leśnej. W europejskiej strategii leśnej (rozwinętej pomimo braku właściwej podstawy prawnej) nacisk kładziony jest na zrównoważoną gospodarkę leśną. Unia jest również partnerem porozumień międzynarodowych dotyczących środowiska naturalnego, w tym: forum leśnego Narodów Zjednoczonych (UNFF), ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (UNFCCC), oraz protokołu z Kioto, dołączonego do wspomnianej konwencji. W skali światowej wylesianie jest odpowie-

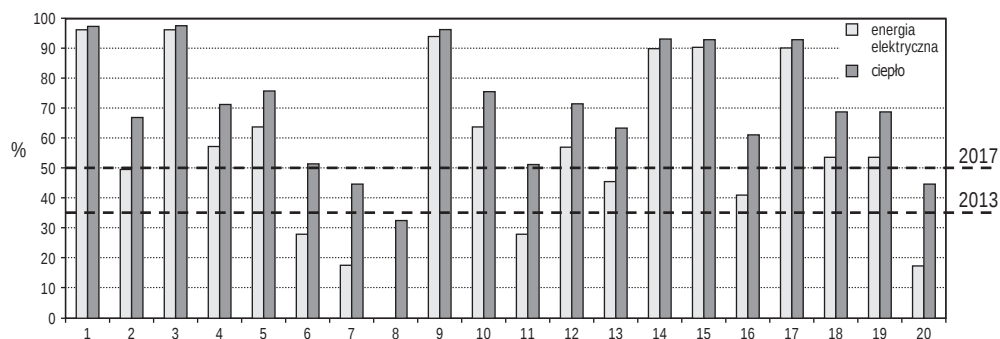
działne za około 20% globalnych emisji gazów cieplarnianych. W UE plan działania na rzecz lasów został przyjęty w 2006 r. Plan działania nie jest jednak opatrzony oceną skutków finansowych, przez co skrytykowany został jako plan „pusty”. Istotne znaczenie dla możliwości pozyskania drewna z lasów mają dwie dyrektywy Unii Europejskiej: dyrektywa ptasia¹ i siedliskowa². Dyrektywy te określają gatunki i siedliska godne ochrony na obszarze Europy (Unii Europejskiej), a także sposoby ich ochrony w postaci ogólruropejskiej sieci obszarów chronionych pod nazwą Natura 2000. W 2011 r. uchwalono zieloną księgę „Ochrona lasów i informacje o lasach w UE: przygotowanie lasów na zmianę klimatu”. Jest ona pewnego rodzaju kompendium wiedzy o wpływie, jaki wywierają lasy na zjawiska klimatyczne. Przedstawia ogólną sytuację lasów, ich znaczenie na świecie oraz cechy i funkcje lasów w UE. Zgodnie z zasadą pomocniczości (art. 5 traktatu założycielskiego UE), kompetencje w zakresie polityki leśnej należą do państw członkowskich UE, jednak Komisja Europejska zwraca uwagę na możliwości zwiększenia skuteczności programów krajowych m.in. przez monitorowanie stanu lasów UE oraz przewidywanie tendencji rozwojowych. Unia Europejska oraz 19 innych krajów Europy są sygnatariuszami procesu politycznego Forest Europe. Zawarto w nim wiele narzędzi politycznych w celu promowania i implementacji trwałej i zrównoważonej gospodarki leśnej. W czerwcu 2011 r. ministrowie odpowiedzialni za lasy krajów należących do procesu Forest Europe podpisali dwie decyzje: decyzję o rozpoczęciu negocjacji w sprawie prawnie wiążącego porozumienia o lasach w Europie (Oslo Ministerial Mandate) oraz decyzję Europejskie Lasy 2020. Pierwszy z dokumentów dotyczy otwarcia negocjacji i ustanowienia Międzyrządowego Komitetu Negocyjnego (MKN), który został upoważniony do opracowania prawnie wiążącego porozumienia o lasach w Europie. W dokumentach unijnych „Plan działania w sprawie biomasy” oraz „Strategia UE dla biopaliw” Komisja Europejska informuje, że 4% zapotrzebowania UE na energię zaspokajane jest poprzez wykorzystanie biomasy.

Komisja Europejska w dyrektywie 2009/28/WE, promującej wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii, określiła kryteria zrównoważonej produkcji biomasy oraz jej konwersji do biopaliw. Podstawowym wymogiem nałożonym na każdy zakład jest prowadzenie obliczeń wielkości ograniczenia emisji gazów cieplarnianych metodą analizy cyklu życia (LCA). W przypadku produkcji biopaliw płynnych (np. z materiałów lignocelulozowych) ograniczenie od 2017 r. ma wynosić 50%, a od 2018 r. – 60%. W dokumencie określającym analogiczne kryteria dla biomasy stałej wykorzystywanej do produkcji energii elektrycznej, ciepła i chłodu Komisja ustaliła takie progi w konsultacjach z krajami członkowskimi. Komisja pozostawiła krajom członkowskim decyzję w sprawie określenia wielkości ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w wymienionych procesach, ale opublikowała wartości graniczne (tab. 1). Prawdopodobnym jest, że wymagane przez Komisję Europejską ograniczenie emisji gazów cieplarnianych przy produkcji biopaliw z biomasy stałej wynosić będzie 50%

¹ Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/147/WE z dnia 30 listopada 2009 r. w sprawie ochrony dzikiego ptactwa.

² Dyrektywa Siedliskowa – Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory

od 2017 r. W 2010 r. Komisja Europejska wyraźnie postawiła na zwiększenie efektywności energetycznej konwersji biomasy do energii oraz preferowanie technologii zapewniających zwiększone ograniczenie emisji dwutlenku węgla z prawdopodobnym wprowadzeniem etykiet węglowych (ryc. 1)³.



Ryc. 1. Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w elektrowniach i ciepłowniach dla różnych asortymentów biomasy liczone metodą LCA, przy standardowych emisjach podanych przez KE

Oznaczenia: 1 – zrębki leśne (UE), 2 – zrębki leśne (strefa tropikalna), 3 – pelety z drewna (UE), 4 – pelety z drewna: UE, jako paliwo tech., 5 – pelety z drewna: strefa tropikalna, drewno jako paliwo tech., 6 – pelety z drewna: strefa tropikalna, jako paliwo tech., 7 – węgiel drzewny, UE, 8 – węgiel drzewny, strefa tropikalna, 9 – słoma pszenna (UE), 10 – brykiet Begasse: paliwo drewno, 11 – brykiet Begasse, 12 – bale Begasse, 13 – wytloki orzechów palmowych, 14 – miskant, 15 – zrębki z drewna plantacji wieloletnich, EU (wierzba, topola, robinia), 16 – zrębki, strefa tropikalna (np. Eukaliptus), 17 – pelety, UE, paliwo drewno, 18 – pelety, EU, 19 – pelety, strefa tropikalna, paliwo drewno, 20 – pelety, strefa tropikalna.

Ze względu na parametry emisyjne wykorzystywanie biomasy w ciepłownictwie będzie nieco większe niż w elektrowniach (ryc. 1). O możliwościach pozyskiwania biomasy ze źródeł zewnętrznych decydują w chwili obecnej nie tyle zasoby biomasy i jej ceny w krajach trzecich, co przyjęte regulacje dotyczące kryteriów zrównoważonej produkcji biomasy i jej konwersji do energii elektrycznej i ciepłej oraz produkcji chłodu (tab. 1).

Z przedstawionego zestawienia wynika jasno, że ze względu na koszty emisyjne sprowadzanie biomasy ze stref tropikalnej i subtropikalnej całkowicie nie będzie się opłacać, ponieważ wykorzystywanie takiej biomasy musiałoby się wiązać z wykorzystywaniem dużych ilości biomasy niskoemisyjnej pochodzącej z Polski lub z innych krajów Europy. Wynika to z faktu, że elektrownie lub elektrociepłownie, aby uzyskać świadectwa pochodzenia, będą musiały określić ograniczenie emisji wynikające ze spalania lub współspalania biomasy nie dla każdego asortymentu z osobna, lecz uśrednioną wartość dla całej wykorzystanej biomasy. Rynek zaopatrzenia, w intencji Komisji, w zasadzie został zawężony do Europy.

³ Por. Commission staff working document impact assessment. Accompanying document to the Report from the Commission to the Council and the European Parliament on sustainability requirements for the use of solid and gaseous biomass sources in electricity, heating and cooling. SEC(2010) 65, 2010.

Tabela 1. Typowe i standardowe emisje gazów cieplarnianych przy spalaniu biomasy stałej i gazowej (bez emisji pośrednich związanych ze zmianami w użytkowaniu gruntów w trakcie produkcji)

Biomasa	Typowe emisje gazów cieplarnianych (g CO₂ eq/MJ)	Standardowe emisje gazów cieplarnianych (g CO₂ eq/MJ)
Zrębki leśne z resztek pozrębowych (europejskie lasy kontynentalne strefy umiarkowanej)	1	1
Zrębki leśne z resztek pozrębowych (las tropikalne i subtropikalne)	21	25
Zrębki z wieloletnich plantacji roślin energetycznych (Europa)	3	4
Zrębki z wieloletnich plantacji roślin energetycznych (strefa tropikalna i subtropikalna np. eukaliptus)	24	28
Brykiety lub pelety z odpadów drewna pozrębowego (europejskie lasy kontynentalne strefy umiarkowanej) – przygotowane z użyciem drewna jako paliwa technologicznego	2	2
Brykiety lub pelety z odpadów drewna pozrębowego (las tropikalne lub subtropikalne) – przygotowane z użyciem gazu ziemnego jako paliwa technologicznego	17	20
Brykiety lub pelety z odpadów drewna pozrębowego (las tropikalne lub subtropikalne) – przygotowane z użyciem drewna jako paliwa technologicznego	15	17
Brykiety lub pelety z odpadów drewna pozrębowego (europejskie lasy kontynentalne strefy umiarkowanej) – przygotowane z użyciem gazu ziemnego jako paliwa technologicznego	30	35
Brykiety lub pelety wytworzone z biomasy pochodzącej z wieloletnich plantacji (Europa) – przygotowane z użyciem drewna jako paliwa technologicznego	4	4
Brykiety lub pelety wytworzone z biomasy pochodzącej z wieloletnich plantacji (Europa) – przygotowane z użyciem gazu ziemnego jako paliwa technologicznego	19	22

Dotychczasowe krajowe osiągnięcia i niepowodzenia

Do osiągnięć krajowych związanych z biomasą leśną można zaliczyć:

1. Ustanowienie Krajowego Programu Zwiększania Lesistości (KPZL⁴). Zwiększanie lesistości kraju, prowadzone od 1997 roku, jest jednym z ważniejszych elementów polityki leśnej państwa. Konsekwentna realizacja celów tej polityki powinna zapewnić zwiększenie lesistości kraju do 30% w roku 2020 i 33% w roku 2050. W latach 1995–2011 zalesiono łącznie 261,5 tys. ha gruntów rolnych (od 2008 r. także innych niż rolne) wobec planowanych w tym okresie 366 tys. ha. Na koniec 2011 r. powierzchnia lasów w Polsce wynosiła 9144 tys. ha (wg GUS – stan w dniu 31.12.2011 r.), co odpowiada lesistości 29,2%.
2. Zalesianie gruntów rolnych oraz zalesianie gruntów innych niż rolne objętych Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013 (Rozporządzenie Mi-

⁴ www.mos.gov.pl/arttykul/326_leśnictwo/296_krajowy_program_zwiększania_lesistości, dn 2.05.2013

nistra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 marca 2009 r., Dz.U. z 2009 r. Nr 48, poz. 390 z późn. zm.).

3. Opracowanie systemu sprzedaży drewna przez Lasy Państwowe. System sprzedaży drewna opiera się na następujących formach:

- a) internetowy przetarg ograniczony w portalu leśno-drzewnym, obejmujący 55% puli ofertowej dla przedsiębiorców,
- b) internetowe aukcje systemowe w aplikacji e-drewno, obejmujące 45% puli dla przedsiębiorców,
- c) nabywcy detaliczni zaopatrują się w drewno w ramach tzw. puli detalicznej (według cennika cen detalicznych ustalanego przez nadleśniczego).

Udział w przetargu ograniczonym w portalu leśno-drzewnym biorą nabywcy dokonujący wcześniej zakupów w PGLLP. Wszelkie nadwyżki drewna, wynikające np. z usuwania kłesk żywiołowych, kierowane są na bieżące aukcje internetowe w aplikacji e-drewno.

W 2010 r. Ministerstwo Gospodarki opublikowało „Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych”, będący realizacją zobowiązania wynikającego z art. 4 ust. 1 dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych, zmieniającej i w następstwie uchylającej dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE, w której oszacowane zostało zużycie energii ze źródeł odnawialnych. Prognozowane zapotrzebowanie na biomasę [PJ] w podziale na rodzaj energii finalnej podano w tabeli 2.

Aby zapobiec dewastacji lasów minister gospodarki w 2008 r. wydał rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii, określające zasady kwalifikowania biomasy na cele energetyczne⁵.

Tabela 2. Prognozowane zapotrzebowanie na biomasę [PJ] w podziale na rodzaj energii finalnej

Rodzaj energii	2006	2010	2015	2020	2025	2030
Energia elektryczna	6,7	12,5	21,1	37,4	39,9	41,6
Ciepło	178,1	180,8	192,6	226,5	246,0	265,4

Źródło: opracowanie własne na podstawie projektu „Krajowego planu działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych” (Min. Gosp., 2010).

Ograniczenia

Ograniczenie związane z uznawaniem biomasy leśnej za odpad. Aby surowiec energetyczny został zaklasyfikowany jako biomasa, musi spełnić łącznie trzy warunki określone w Komunikacie Komisji, Rady i Parlamentu Europejskiego z dnia 21.02.2007 roku w sprawie odpadów i produktów ubocznych. Warunki te znajdują również swoje od-

⁵ Dz.U. z 2008 r. Nr 156, poz. 969 z późn. zm.

zwierciedlenie w stanowisku Departamentu Gospodarki Odpadami w Ministerstwie Środowiska z dnia 23.12.2009 roku.

Ograniczeniem jest zbyt małe wsparcie w przypadku szybko rosnących gatunków roślin uprawianych w krótkim okresie⁶. W tym wypadku wsparcie może dotyczyć jedynie kosztów założenia plantacji. Określenie „gatunki szybko rosnące” oznacza gatunki, których wiek rębności jest krótszy niż 15 lat⁷.

Zapotrzebowanie na biomasę leśną spowodowało istotny wzrost cen dostępnego drewna i reakcję prawodawcy, polegającą na wprowadzeniu w krajowych przepisach prawa, różnego rodzaju ograniczeń i obostrzeń w zakresie możliwości wykorzystania poszczególnych rodzajów dostępnej biomasy.

Ograniczeniem jest też krótki okres składowania na powierzchniach leśnych w LP, w miejscu inwestycji drogowych, gdyż wymaga to dobrze zorganizowanej logistyki wywozu.

Wymagania energetyki zawodowej co do jakości paliwa są rozbieżne z rzeczywistymi właściwościami paliwa drzewnego.

Z punktu widzenia ochrony przyrody program Natura 2000 jest bardzo pozytywny, jednak z punktu widzenia gospodarczego użytkowania lasu wprowadza szereg ograniczeń. Obok programu Natura 2000 funkcjonuje w Polsce projekt sieci ekologicznej Econet, który jest rozwinięciem tego programu w kierunku tworzenia rzeczywistych powiązań ekologicznych między terenami chronionymi. Projekt Econet został wprowadzony do polityki planistycznej i strategii rozwoju wielu województw, szczególnie w kwestiach dotyczących utrzymania i poszerzenia korzyarzy leśnych.

Udział drewna w produkcji energii – stan bieżący

Drewno na cele energetyczne wykorzystywane jest przez jednostki energetyczne różnej skali: energetykę zawodową, przemysłową, lokalną (kotłownie) oraz gospodarstwa domowe. W tabeli 3. przedstawiono szacunkowe zapotrzebowanie na biomasę leśną i na biomasę rolną w roku 2013.

Na rycinie 2 przedstawiono prognozowane zmiany w potrzebach biomasy w roku 2015, w odniesieniu do roku 2013.

Przykładem wykorzystywania biomasy leśnej i agro może być grupa energetyczna CEZ (ryc. 3). Grupa CEZ a.s. i należąca do niej Elektrownia Skawina rozpoczęła współspalanie biomasy z węglem kamiennym w 2005 r. W 2007 r., po modernizacji układu podającego biomasę, uzyskano zmianę koncesji zwiększającą udział masowy do 15%. We wrześniu 2010 Elektrownia Skawina otrzymała pozwolenie na udział biomasy do 50%.

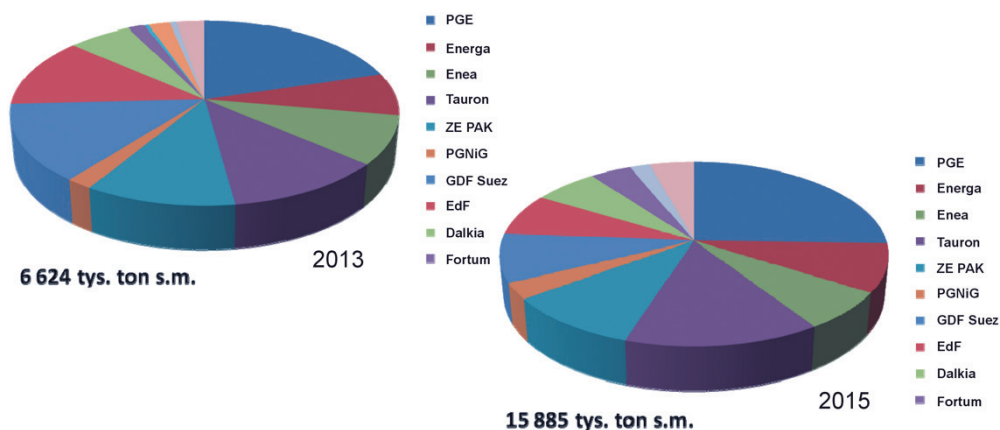
⁶ Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 marca 2009 r. w sprawie szczegółowych warunków i trybu przyznawania pomocy finansowej w ramach działania „Zalesianie gruntów rolnych oraz zalesianie gruntów innych niż rolne” objętego Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013 (Dz.U. z 2009 r. Nr 48, poz. 390 z późn. zm.

⁷ Rozporządzenie RE (UE) 445/2002.

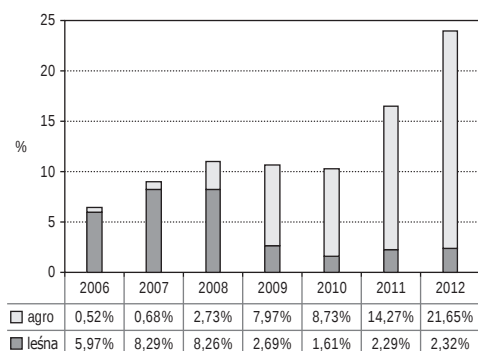
Tabela 3. Szacunkowe zapotrzebowanie na biomasę leśną i na biomasę rolną w roku 2013

Skala energetyki	Nazwa i lokalizacja	Zapotrzebowanie na biomasę leśną		Zapotrzebowanie na biomasę rolną	
		tys. t	TJ	tys. t	TJ
Zawodowa	Grupa EDF	720	6 480	480	6 720
	ZE PAK: Patnów, Adamów, Konin	816	7 344	204	2 856
	PGN i G Termika Warszawa	150	1 350	100	1 400
	GdF Suez	960	8 640	240	3 360
	Grupa Tauron	680	6 120	170	2 380
	Grupa ENEA SA	495	4 455	165	2 310
	ENERGA	380	3 420	163	2 282
	Grupa PGE	1 130	10 170	450	6 300
	Dalkia (Łódź i Poznań)	489	4 401	236	3 304
	Grupa CEZ	50	450	250	3 500
Przemysłowa	Kronospan Mielec	260	2 340	–	–
	Fibris w Przemysłu	160	1 440	–	–
	Stora Enso Ostrołęka	15	135	–	–
	International Paper w Kwidzynie	50	450	20	280
	Mondi w Świeciu	400	3 640	100	1400
	OPEC Bio w Grudziądzu	40	390	20	280
	Projekt elektrownia Janów Lubelski	50	450	20	280
Lokalna	Ciepłownictwo lokalne	170	1 530	20	280
	GRUPA PEP Zamość Biomasa Energetyczna Wschód Sp. z o.o.	–	–	60	840
Razem		7 015	63 205	2 698	37 772

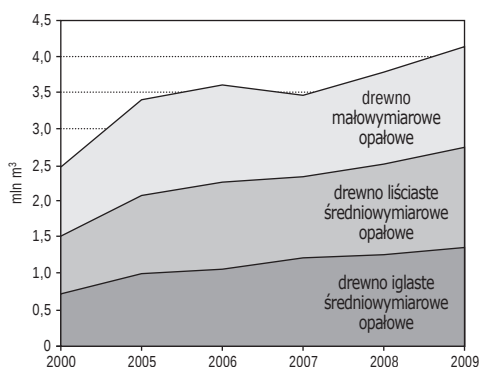
Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 2. Zapotrzebowanie na biomasę w latach 2013- 2015 (źródło: IUNG-PIB, 2012)



Ryc. 3. Udział masowy biomasy w całości paliwa w rozbiu na biomasę leśną oraz agro w latach 2006–2012 (źródło: CEZ)



Ryc. 4. Pozyskanie drewna opałowego w Polsce w latach 2000–2009 [tys. m³] (GUS Leśnictwo 2010)

Potrzeby gospodarstw domowych oszacowano na 170 tys. ton (1,5 tys. TJ).

Obecnie z polskich lasów pozyskuje się 4,1 mln m³ drewna opałowego. Zdecydowanie najwięcej drewna opałowego dostarczane jest z PGL Lasy Państwowe, co wynika w głównej mierze ze specyfiki własnościowej lasów w Polsce. Stosunkowo mało drewna (177 tys. m³) jest pozyskiwane w lasach prywatnych, stanowi to tylko 4,3% ogółu surowca opałowego.

Koncepcje zmiany stanu rzeczy

Uzasadnienie merytoryczne

W roku 2011 we współspalaniu wyprodukowano 6 TWh energii elektrycznej (46% całego wolumenu energii elektrycznej z OZE). Do lutego 2013 roku wydano już świadectwa pochodzenia dla 5,7 TWh energii ze współspalania wyprodukowanej w roku 2012, należy oczekiwać, że ilość ta wzrośnie do 6,5–7 TWh. Pod koniec 2012 roku nastąpiło załamanie się rynku świadectw pochodzenia i zatrzymanie inwestycji w nowe OZE. W ślad za tym koncerny energetyczne zapowiedziały ograniczenie współspalania w starych blokach węglowych, zaprzęstały zakupu biomasy, w wyniku czego natychmiast powstały problemy dotychczasowych dostawców biomasy. Trudno ocenić dokładnie wpływ tej technologii na rynek biomasy, ponieważ udział biomasy w paliwie może być różny dla danej instalacji w poszczególnych latach. Produkcja energii we współspalaniu może osiągnąć pułap 8000 GWh, dający się uzasadnić od strony technicznej, w raporcie z roku 2013 oceniany jako potencjał współspalania biomasy w Polsce w istniejących instalacjach⁸, a następnie nie będzie już rosła ze względu na oczekiwane wycofanie wsparcia lub jego ograniczenie.

⁸ Wiśniewski G., Michałowska-Knap K., Kunikowski G. 2013. Ocena skutków ekonomicznych utrzymania wsparcia dla technologii współspalania węgla z biomasą. Warszawa, EC BREC IEO. www.ieo.pl. Ocena skutków ekonomicznych utrzymania wsparcia dla technologii współspalania węgla z biomasą, Aktualizacja raportu, autorzy: G. Wiśniewski, K. Michałowska-Knap, G. Kunikowski, Warszawa 2013, EC BREC IEO, www.ieo.pl.

Znaczące moce zostały oddane do użytkowania lub znajdują się w końcowej fazie realizacji i przyczynią się do zwiększenia podaży energii z biomasy w roku 2013 i popytu na biomasę. W szczególności są to:

- EC Elbląg 25 MW
- Elektrownia Jaworzno III 50 MW
- Elektrownia. Stalowa Wola 50 MW (końcowa faza realizacji)
- EC Tychy 40 MW (końcowa faza realizacji)
- Elektrownia Połaniec 205 MW (zsynchronizowana z KSE)
- Elektrownia Konin 50 MW.

Ponadto trwają prace na różnych etapach również w następujących jednostkach:

- PGNiG Termika – EC Siekierki (100% biomasy),
- EC Zofiówka (przystosowanie kotła OP-140),
- EC Bydgoszcz (dostosowanie OP-140 do 100% biomasy),
- Elektrociepłownia w Lublinie,
- EC Będzin (dostosowanie OP-140),
- CHP biomasowego w Brzegu,
- EC we Wrocławiu.

Jak wynika z powyższych materiałów, zapotrzebowanie na biomasę, w tym drzewną, będzie rosło. Największe szanse na jej pozyskanie będzie miała energetyka systemowa. Rosnący popyt na biomasę wpływa na wzrost cen surowca na rynku. Cena surowca drzewnego wzrosła o 100% – ze 150 zł/t w roku 2006 do około 300 zł/t w roku 2012. Od roku 2010 wzrasta import drewna do Polski. Drewno opałowe importowane do Polski klasyfikowane jest w bazie danych handlu zagranicznego w 4 kategoriach:

- 440110 – drewno opałowe w postaci kłód, szczap, gałęzi, wiązek lub w podobnych postaciach,
- 440121 – drewno opałowe w postaci wiórków lub kawałków, iglaste,
- 440122 – drewno w postaci wiórków lub kawałków, liściaste,
- 440130 – trociny i drewno odpadowe i ścinki drewniane, brykiety, pelety.

Ilość drewna sprowadzonego do Polski w roku 2012 mogła przekroczyć nawet 1 mln ton. W roku 2012 wystąpiły zmiany struktury gatunkowej drewna przywożonego do Polski, dominowały wióry i kawałki drewna iglastego i liściastego.

Na sytuację w odległej perspektywie – do 2080 roku, będą miały wpływ zróżnicowane czynniki, w tym zmiany klimatu. Międzyrządowy Panel do spraw Zmian Klimatu, od 1988 roku analizujący sytuację, stwierdził, że średni wzrost temperatury na ziemi do 2050 r. wyniesie około trzech stopni Celsjusza, jeśli globalna emisja gazów cieplarnianych pozostanie bez zmian. Do 2050 r. stężenie gazów cieplarnianych w atmosferze może nawet osiągnąć wartość 685 ppm. Wzrost temperatury nie musi być równomierny, w niektórych obszarach zmiana może być nawet dwukrotnie większa niż w innych. Wystąpi również deficyt wody oraz może nastąpić eliminacja gatunków zwierząt i roślin do 30%. Do końca XXI wieku temperatura na Ziemi może wzrosnąć o 3–6°C, a tym samym uniemożliwić realizację uzgodnionego na szczepie międzynarodowym celu, jakim jest ograniczenie światowego ocieplenia do 2°C. Przekroczenie tego prognozy zmieniłoby wzorce opadów atmosferycznych, zwiększyło tempo topnienia lodowców i wiecznej zmarzliny, a co za tym idzie spowodowałoby podniesienie poziomu mórz oraz wzrost intensywno-

ści i częstotliwości ekstremalnych zjawisk pogodowych. To z kolei miałoby negatywny wpływ na zdolność ludzi i ekosystemów do adaptacji. Zamiast dotychczasowych pór roku mogłyby być dwie pory roku – deszczowa zimą i sucha latem. Za 90 lat temperatury w Polsce będą odpowiadać obecnym temperaturom we Włoszech, Grecji czy Hiszpanii. Latem upały mogą sięgać 35°C, a okresowo nawet 40°C. Zdarzające się latem opady mogą mieć charakter ulew tropikalnych, podczas których dochodzić będzie do powodzi opadowych. Znikną za to wiosenne powodzie roztopowe. Wzrośnie prawdopodobnie ilość burz, sztormów i trąb powietrznych. Pojawią się nowe w naszej szerokości geograficznej gatunki szkodników. Aktualnie brak jest analizy wrażliwości i podatności systemów przyrodniczych na zmiany klimatu. Trudno jest zatem bez szczegółowych badań modelowych określić, jak zachowają się polskie lasy. Jednak ze względu na konieczność ograniczania emisji gazów cieplarnianych biomasa, a w szczególności drewno, nadal będzie poszukiwanym artykułem na różne cele, w tym energetyczne. Niżej przedstawiono czynniki zmniejszające i zwiększające zapotrzebowanie drewna na cele energetyczne.

Tabela 4. Czynniki zmniejszające i zwiększające rynek drewna na cele energetyczne

Czynniki zmniejszające rynek drewna energetycznego	Czynniki zwiększające rynek drewna
Wyższe temperatury – mniej opał	Dalsze ograniczanie emisji gazów
Zmniejszenie ilości pozyskania drewna w związku z mniejszymi przyrostami	Zwiększenie rocznych przyrostów drewna w drzewostanach istniejących
Nowe technologie energetyczne o większej efektywności	Nowe rodzaje lasów np. akacjowe – możliwość dla energetyki
Przepisy prawne uniemożliwiające wykorzystywanie drewna we współspalaniu	Lasy krótkiej rotacji (15 lat), hodowane na cele energetyki
Większe wykorzystanie energii słońca jako substytutu biomasy	Większa liczba ludności
Wysoki koszt usług ekosystemowych	Uprawy leśne na terenach rolnych
Mniejsza powierzchnia łądu z uwagi na podtopienia	Zadrzewienia i zakrzaczenia śródpolne

Badanie wpływu zmian klimatu na ekosystemy leśne można przeprowadzić wykorzystując specjalnie opracowane do tego celu modele systemowe.

Konsekwencje

Zmniejszenie ilości drewna wykorzystywanego w technologii współspalania może spowodować uwolnienie znaczącego potencjału, który może być wykorzystany w innych technologiach, np. w indywidualnych systemach grzewczych, w tym w kominkach lub w energetyce lokalnej.

Według autorów raportu z 2013 r.⁹ szczegółowe analizy pokazały, że eliminacja współspalania obniżyłaby zapotrzebowanie na biomasę o 15 mln ton (do 20 mln ton,

⁹ Wiśniewski G., Michałowska-Knap K., Kunikowski G. 2013. Ocena skutków ekonomicznych utrzymania wsparcia dla technologii współspalania węgla z biomasą. Warszawa, EC BREC IEO.

czyli akceptowalnej gospodarczo i środowiskowo ilości biomasy zużywanej łącznie na cele energetyczne w Polsce w 2020 roku). Wprowadzanie systemów zadrzewień, zakrzewień i plantacji drzew, jako ważnego substytutu lasu w rolniczej przestrzeni produkcyjnej generuje dodatkowe koszty, w wysokości około 4–6 zł/ha. Ze społecznego punktu widzenia będzie możliwe zatrudnienie dodatkowo osób na terenach rolnych, często bardzo ubogich. Konsekwencją takiego stanu może być ochrona ludzkiego zdrowia lub integralność środowiska.

Synteza i propozycje działań

Zapotrzebowanie na biomasę drzewną z roku na rok wzrasta i będzie rosło w przyszłości. W ślad za tym notuje się wzrost cen oraz wzrost importu.

W celu rozwoju sektora produkcji biomasy na cele energetyczne konieczne jest:

- opracowanie (na podstawie badań) wzorcowych wielkości biomasy leśnej przeznaczonej na cele energetyczne,
- opracowanie systemu certyfikacji biomasy na cele energetyczne przez akredytowane jednostki, z potwierdzeniem jej pochodzenia (ma to znaczenie np. przy produkcji peletów),
- modelowe opracowanie ilości biomasy leśnej, która może być wykorzystana na cele energetyczne,
- zbadanie śladu węglowego biomasy leśnej pochodzącej z różnych źródeł i w różnej postaci handlowej, łącznie z dostarczaną do odbiorcy końcowego (emisje),
- opracowanie prostszego i jednoznacznego prawnie systemu kwalifikacji odpadów biomasy do wykorzystania energetycznego – uproszczenie przepisów prawnych albo takie ich skonstruowanie, żeby wyeliminować jakąkolwiek uznaniowość na drodze administracyjnej,
- opracowanie bezpiecznych sposobów przechowywania biomasy leśnej. Obecnie, przy dłuższym przechowywaniu biomasy w większych hałdach na składowiskach istnieje niebezpieczeństwo samozapłonu.

Propozycje zmian w istniejących regulacjach i systemach zarządzania

Rekomendowana jest nowelizacja dokumentów regulujących gospodarkę leśną w Polsce, w tym nowelizacja ustawy o lasach, polityki leśnej państwa, zapisów w instrukcjach, zasadach, zarządzeniach.

W „Polityce leśnej Państwa” powinny znaleźć się odniesienia dotyczące:

- tworzenia wspólnej polityki leśnej na poziomie UE,
- zachowania i wzmacniania udziału lasów w globalnym bilansie węgla,
- tworzenia mechanizmu pozwalającego na promowanie składowania dwutlenku węgla przez ekosystemy leśne,
- zwiększania lesistości kraju do 30% w roku 2020 i 33% do roku 2050. Zwiększenie lesistości kraju uzasadnione jest przede wszystkim potrzebą większego wykorzy-

- stania funkcji lasów w wiązaniu CO₂ i gazów przemysłowych z powietrza, wody i gleby oraz neutralizacji ich negatywnego działania,
- definicji biomasy leśnej możliwej do wykorzystania na cele energetyczne,
 - konieczności prowadzenia lasów krótkiej rotacji z przeznaczeniem dla przemysłu (energetyki),
 - zgrania polityki leśnej państwa z polityką energetyczną Polski do 2030 roku, między innymi w zakresie ograniczenia oddziaływania energetyki na środowisko przez redukcję emisji.
 - rozwoju odnawialnych źródeł energii, wykorzystujących biomasę leśną, gdyż przyczynia się on do zrównoważonego rozwoju, opartego na wykorzystywaniu dóbr natury przy zminimalizowaniu ujemnego oddziaływania na środowisko i jest gwarantem zrównoważonego rozwoju społeczności lokalnych. Następuje rozwój przedsiębiorczości oraz kreowanie rynku pracy.

Usunąć z Polityki Leśnej Państwa należy akapit we wprowadzeniu, pkt 5 „Wzrost jednych funkcji lasu może ograniczać funkcje pozostałe, co rodzi konflikty między nimi”. Konfliktowość funkcji lasów wyraża się w dotychczasowym antagonizmie między intensywnym użytkowaniem gospodarczym lub rekreacyjnym a niektórymi funkcjami ekologicznymi, jak ochrona różnorodności biologicznej, ochrona gleb. Konflikt występuje także między użytkowaniem turystycznym lasów a funkcjami produkcyjnymi i ekologicznymi (zaśmiecanie lasu, niszczenie runa i młodych drzew, zwiększone zagrożenie pożarowe, płoszenie zwierząt etc.).

W ustawie o lasach (z dnia 28 września 1991 r. z późn. zm.; tekst jednolity z 1 stycznia 2012 r., Dz.U. z 2011 r. Nr 12, poz. 59) należy wprowadzić następujące zmiany:

- powinna być podana definicja biomasy leśnej możliwej do wykorzystania na cele energetyczne,
- należy wprowadzić pojęcie upraw leśnych na terenach rolnych (plantacje energetyczne) i nadać im znaczenie w horyzoncie roku 2020 i dalej jako źródła biomasy dla energetyki,
- należy określić zadania, w tym dotyczące:
 - a) ilości drewna przewidzianego do pozyskania i przeznaczonego na cele energetyczne,
 - b) gwarancji dostarczania drewna opałowego dla lokalnych gospodarstw indywidualnych, bowiem zainteresowanie drewnem opałowym ze strony gospodarstw domowych będzie coraz większe, gdyż prawie w każdym nowo budowanym domu standardowym wyposażeniem jest instalacja kominkowa. Istotną rolę odgrywa również cena drewna. W chwili obecnej jest to najtańszy nośnik energii.

Propozycje działań edukacyjnych/promocyjnych/badawczych

Programy nauczania powinny być nakierowane na podnoszenie kompetencji przyszłej kadry dyrektorskiej nauczycielskiej oraz absolwentów średnich leśnych szkół zawodowych.

Podnoszenie kompetencji przyszłej kadry powinno się odbywać poprzez wprowadzenie do programów nauczania nowych, następujących treści:

- las jako system przyrodniczo-gospodarczy,
- las jako sektor wspomagający rozwój ekonomiczny kraju,
- las w planowaniu przestrzennym,
- funkcje handlowe lasu (handel produktami i usługami leśnymi),
- nowoczesne systemy grzewcze,
- technologie przygotowania drewna do celów energetycznych,
- symulacje dotyczące pozyskania, przygotowania, wykorzystania drewna w energetyce.

Kursy i szkolenia na różnych poziomach związanych z tematyką przeznaczone dla osób wykorzystujących drewno powinny obejmować następującą tematykę:

- sposoby pozyskania drewna w lesie, w tym drewna opałowego,
- drewno jako nośnik energetyczny,
- znaczenie logistyki w pozyskiwaniu i przetwórstwie drewna,
- przygotowanie drewna dla energetyki,
- systemy grzewcze,

Badania

Badaniami należy objąć takie obszary, jak:

- systemowe monitorowanie stanu lasów i poziomu ich zagrożeń w celu wiarygodnego prognozowania możliwości pozyskania drewna,
- wpływ wylesiania na emisję gazów cieplarnianych,
- kształtowanie współpracy poszczególnych użytkowników biomasy, zgodnie z zasadami gospodarki rolnej i leśnej,
- opracowanie krajowego programu rozwoju leśnictwa w perspektywie roku 2100,
- opracowanie metod trwałego i zrównoważonego użytkowania lasów, z uwzględnieniem zmienności środowiska globalnego i niepewności ekologicznej,
- modelowanie wpływu zmian klimatycznych na pozyskanie drewna,
- określenie czynników motywacyjnych do wprowadzania upraw energetycznych,
- opłacalność upraw leśnych o krótkiej rotacji i upraw energetycznych.

Potrzeby działań operacyjnych do 2030 roku oraz perspektywa wizyjna do 2080

- Powinno się sukcesywnie odchodzić od wsparcia dla współspalania biomasy.
- Możliwości wsparcia finansowego dla budowania nowych, wysokosprawnych, kogeneracyjnych dedykowanych mocy na biomasę – do 50MW
- Opracowanie przepisów prawnych krajowych umożliwiających import biomasy na potrzeby energetyki zgodnie z zaleceniami UE – ważnych ze względu na tzw. ślad węglowy (rozdz. 1).

- Wsparcie prawne i finansowe powinno dotyczyć wykorzystania krajowych zasobów drewna do lokalnej i indywidualnej produkcji ciepła z uwzględnieniem trwałych warunków do rozwoju zrównoważonego.
- Urządzenia (kotły, ogrzewacze) powinny posiadać certyfikaty dotyczące warunków spalania drewna.
- Instalatorzy montujący kominki również powinni być przeszkoleni i posiadać licencję na montaż takich urządzeń.
- Odrębną grupę stanowią wysokowydajne, automatyczne kotły na pelety i brykiety, które również powinny posiadać certyfikaty.
- Na potrzeby energetyki drewno nie musi pochodzić z lasu, a z upraw leśnych na terenach rolnych (np. lasów o krótkiej rotacji) zatem wskazane by było zidentyfikowanie jakościowe i ilościowe możliwości takich upraw w pobliżu zakładów energetycznych i podjęcie działań w formie np. partnerstwa publiczno-prywatnego.
- Potrzeba wprowadzania systemów zadrzewień, zakrzewień i plantacji drzew, jako ważnego substytutu lasu w rolniczej przestrzeni produkcyjnej oraz dodatkowego źródła surowca drzewnego,
- Przegląd, a następnie stabilizacja krajowego rynku drzewnego ze szczególnym uwzględnieniem drewna na cele energetyczne,
- Zakończenie prac nad ustawą o OZE i wprowadzenie stabilnych regulacji prawnych do roku 2020.
- Wytyczenie poligonów badawczych do śledzenia kierunków adaptacji do zmian klimatu – prowadzenie monitoringu przyrodniczego i określania priorytetów dla działań.
- Powołanie na poziomie NPL ekspertów do zarządzania ryzykiem zdarzeń ekstremalnych i żywiołowych, z możliwością przeznaczenia drewna na cele przemysłowe, w tym energetyczne.

W proces tworzenia nowej, uzasadnionej środowiskowo, energetycznie i ekonomicznie energetyki, czyli w zmiany stanu rzeczy powinni się włączyć następujący aktorzy:

- Ministerstwo Gospodarki,
- Ministerstwo Środowiska,
- Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi,
- Ministerstwo Skarbu,
- Ministerstwo Nauki,
- Lasy Państwowe,
- Urząd Regulacji Energetyki,
- Polska Izba Biomasy,
- Polskie Towarzystwo Biomasy,
- Towarzystwo Elektrowni i Elektrociepłowni,
- Przedstawiciele nauki – w tym Wydziałów Leśnictwa i Instytutów Naukowych,
- Firmy przetwarzające drewno,
- Towarzystwa Ekologiczne,
- Niezależni eksperci,

Bibliografia

- Climate change: A three-degree warmer world by 2050? <http://www.irinnews.org/report/95182/climate-change-a-three-degree-warmer-world-by-2050>.
- Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory. Dz.U. L 206 z 22.07.1992 r., s. 7.
- Dyrektywa Rady 79/409/EWG z 2.04.1979 w sprawie ochrony dzikiego ptactwa. Dz.U. L 103 z 25.04.1979 r., s. 1.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/147/WE z dnia 30 listopada 2009 w sprawie ochrony dzikiego ptactwa. Dz.U. L 20/7 z 26.01.2010 r.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniającej i w następstwie uchylającej dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE Dz.U. z 2008 r. Nr 156, poz. 969 z późn. zm.
- FAO 2011. State of the World's Forests. Rome, 2011. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gadomski W. 2012. Czarne płuca Europy. Polskie lasy płoną na ołtarzu unijnej ekologii. *Gazeta Wyborcza*, 163, s. 30–31.
- Gieffing F.D. 1997. Pozyskiwanie drewna a bilans CO₂ w atmosferze. Użytkowanie lasu i problemy regulacji użytkowania lasu w Polsce. Sympozjum Komisji Nauk Leśnych PAN. Warszawa–Sękocin.
- GUS 2011. Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2009 i 2010 r. Informacja i opracowanie statystyczne. ISSN 1506-7947, s. 290.
- GUS 2010. Efektywność wykorzystania energii w latach 1998–2008. Warszawa.
- GUS 2010. Leśnictwo. Warszawa.
- Informacja o stanie lasów oraz o realizacji „Krajowego Programu Zwiększania Lesistości” w 2011 r. 2012. Warszawa, Minister Środowiska.
- Krajowy Plan Działania w Zakresie Energii ze Źródeł Odnawialnych 2010. Warszawa, Minister Gospodarki.
- Krowiak A. 2010. Korzyści ekonomiczne z handlu uprawnieniami do emisji CO₂ przy spalaniu w energetyce zawodowej mieszanek węgla z komponentami organicznymi. *Polityka Energetyczna*, 10, 2, s. 213–228.
- Wiśniewski G., Michałowska-Knap K., Kunikowski G. 2013. Ocena skutków ekonomicznych utrzymania wsparcia dla technologii współspalania węgla z biomasą. Warszawa, EC BREC IEO.
- Polityka Energetyczna Polski do 2030 roku. 2009. Załącznik do uchwały Rady Ministrów nr 202/2009 z dnia 10 listopada 2009 r. Warszawa, Minister Gospodarki.
- Polityka Leśna Państwa. 1997. Warszawa, Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa. ISBN 83-86564-60-1.
- Polska Polityka Kompleksowej Ochrony Zasobów Leśnych. 1994. Warszawa, MOŚZNiL, dokument wewnątrz resortowy.
- OECD (2012). OECD Environmental Outlook to 2050. The Consequences of Inaction, OECD Publishing. doi: 10.1787/9789264122246-en.
- Report From The Commission to The Council and The European Parliament on sustainability requirements for the use of solid and gaseous biomass sources in electricity, heating and cooling. SEC(2010) 65, 2010.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 marca 2009 r. w sprawie szczegółowych warunków i trybu przyznawania pomocy finansowej w ramach działania „Zalesianie gruntów rolnych oraz zalesianie gruntów innych niż rolne” objętego Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013 (Dz.U. z 2009 r. Nr 48, poz. 390 z późn. zm.).
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii wytworzonych w odnawialnym źródle energii (Dz.U. Nr 156, poz. 969, z późn. zm.).
- Skęta M. 2012. Zasady obrotu biomasą leśną w Polsce. Łagów, 5–6.06.2012, prezentacja.
- Ślęzak G. 2010. Zasoby biomasy leśnej z lasów zarządzanych przez PGL Lasy Państwowe w perspektywie lat 2015 i 2020. Forum Leśne „Człowiek – Las – Drewno”. Targi Leśne, Świebodzin.
- Ustawa z dnia 28 września 1991 r. o lasach. Dz.U. z 2011 r. Nr 12, poz. 59, tekst ujednolicony.
- Zarządzenie nr 24 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 7 marca 2013 r., zmieniające Zarządzenie nr 82 z dnia 19.11.2012 r. w sprawie sprzedaży drewna przez Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe na 2013 rok (EM-900-2/13).

Sprzedaż drewna energetycznego z Lasów Państwowych

Andrzej BALLAUM

Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych

Surowiec drzewny będący przedmiotem obrotu w Lasach Państwowych ewidencjonuje się z podziałem na grubiznę, drobnicę, karpinę i zrębki.

Do grubizny zalicza się drewno wielkowymiarowe (W), kładowane (WK), średniowymiarowe (S).

W drewnie średniowymiarowym wyróżnia się grupy: 1 – drewno kopalniakowe (S1), 2 – drewno papierówkowe (S2), 3 – drewno typu żerdziowego (S3), 4 – drewno opałowe (S4).

W drobnicy wyróżnia się: drewno małowymiarowe do zrębkowania (M1), drewno iglaste małowymiarowe do przerobu mechanicznego (M1PO), drobnicę opałową (M2).

Karpina dzieli się na karpinę przemysłową (KP) i karpinę opałową (KO).

W zrębkach wyróżniamy zrębki przemysłowe (ZP), zrębki energetyczne (ZE), zrębki opałowe (ZO).

Tabela 1. Klasyfikacja grup handlowo-gatunkowych (podano jedynie GHG istotne w sprzedaży drewna energetycznego w Lasach Państwowych)

Nazwa i kod grupy handlowej	Klasa, grupa jakości Gatunek (symbol)	Klasa jakościowo-wymiarowa
Drewno stosowe energetyczne przemysłowe S_S2A_ENER	S2AC iglaste / liściaste	S2AC
Drewno stosowe ogólnego przeznaczenia S_S2A_OPAL	S2AP wszystkie gatunki	S2AP
Zrębki leśne opałowe ZREBKI_OP	ZO	ZO
Karpina opałowa KARPINA_OP	KO	KO
Drobnica na cele energetyczne M2E M2ZE/M2BE iglaste/liściaste	M2ZE iglaste/ liściaste M2BE iglaste/ liściaste	M2

W Lasach Państwowych hurtowa sprzedaż drewna, które może być wykorzystane na cele energetyczne, odbywa się według grup handlowo-gatunkowych (GHG) (tab. 1).

Drewno stosowe energetyczne, przemysłowe S_S2A ENER (S2AC iglaste, liściaste) oraz drewno stosowe typu opałowego do przemysłowego zastosowania S_S2A OPAL (S2AP wszystkie gatunki) są sortymentami typu opałowego przeznaczonymi do celów przemysłowych. Umieszczenie tych grup w sortymencie S2A związane jest między innymi z odmienną stawką VAT w stosunku do drewna opałowego S4 dla indywidualnych gospodarstw domowych.

Drewna grupy M2ZE (drobnicy na cele energetyczne) nie planuje się. Wykorzystanie pozostałości drzewnych na cele energetyczne musi być uzależnione od warunków siedliska, a szczególnie jego żyzności. Powierzchnie mogą być udostępniane do uprzętanania pozostałości drzewnych, z zachowaniem zasady pierwszeństwa wyrobu drobnicy opałowej (M2) przez miejscową ludność, jeśli taka tradycja i zainteresowanie istnieje na danym terenie. Ostateczny pomiar i ewidencja sprzedaży przyporządkowana jest, w zależności od rodzaju artykułu finalnego wyrobionego przez nabywcę, do zrębków energetycznych gatM2 ZE lub balotów gatM2 BE. Wielkość sprzedaży przez Lasy Państwowe sortymentów na cele energetyczne przedstawiono w tabelach 2 i 3.

Rozporządzenie ministra gospodarki z dnia 18 października 2012 roku w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawiania do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczania opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej

w odnawialnym źródle energii (Dz.U. z 2012 r., poz. 1229), wprowadzające definicję drewna pełnowartościowego, do którego zalicza także się drewno oznaczone symbolem S2, powoduje, że drewnem pełnowartościowym jest każde drewno oprócz sortymentów drzewnych oznaczonych jako S4, M2, M2ZE, ZE. Pomijamy tu takie sortymenty, jak karpina opałowa, zrębki opałowe, których pozyskanie w LP jest niewielkie. Oznacza to, że drewno stosowe energetyczne, przemysłowe S_S2A ENER (S2AC iglaste, liściaste) oraz drewno stosowe typu opałowego do przemysłowego zastosowania S_S2A OPAL (S2AP wszystkie gatunki), pomimo że są to sortymenty typu opałowego przeznaczone do celów przemysłowych, nie ma już praktycznego znaczenia w energetyce, a baza drewna przeznaczonego dla tej branży została zmniejszona do końca 2012 roku o około 870 tys. m³. Ograniczenia sprzedaży drewna energetycznego należącego do grupy S2AC

Tabela 2. Sprzedaż drewna grup S2A i S2AP oraz drewna energetycznego (zrębki energetyczne i baloty) w latach 2010–2012 (tys. m³)

Rok	Sortyment			
	S2AC	S2AP	zrębki i baloty	razem
2010	534,2	143,3	84,7	762,2
2011	661,1	132,6	176,3	970,0
2012	644,6	226,5	165,6	1038,7

Tabela 3. Sprzedaż surowca opałowego (S4 i M2) dla nabywców detalicznych (indywidualnych) w latach 2010–2012 (tys. m³)

Rok	Sortyment		
	S4	M2	razem
2010	2 387,9	1 381,5	3 769,4
2011	2 784,1	1 757,7	4 541,8
2012	2 952,7	1 602,4	4 555,1

i S2AP powodują zmianę sytuacji rynkowej, szczególnie z uwagi na fakt, że w otoczeniu rynku polskiego takich ograniczeń nie ma.

Lasy Państwowe oferują nie typową biomasę leśną, lecz sortymenty mogące mieć zastosowanie w energetyce zawodowej. Wybór kierunku zastosowania należy do podmiotu zakupującego drewno.

Lasy Państwowe nie są jedynym podmiotem oferującym drewno (biomasę leśną) dla energetyki. Źródłem drewna dla tej branży są także lasy prywatne, zadrzewienia przydrożne oraz import, głównie ze wschodu, a ponadto przemysł drzewny, oferujący biomasę w formie zrębków, trocin itp.

Podsumowując, można stwierdzić, że:

1. Rynek surowca drzewnego w Polsce, pomimo że charakteryzuje się stałym niedoborem drewna, to jednak okresowo, w momentach dekonunktury, jednostki organizacyjne Lasów Państwowych mają znaczne problemy ze sprzedażą drewna.
2. Lasy Państwowe zmuszone są do zachowań elastycznych, dających możliwość wypełnienia podstawowych zadań nałożonych na PGLLP. Taki kierunek działania dał możliwość zaoferowania w ostatnich latach drewna, które ze względu na położenie geograficzne, niską jakość oraz znaczne koszty pozyskania nie znajdowały nabywców. Drewno to oznaczone symbolami S2AC oraz S2AP (drewno stosowe energetyczne, przemysłowe S_S2A ENER oraz drewno stosowe typu opałowego do przemysłowego zastosowania S_S2A OPAL) znalazło nabywców głównie z segmentu energetyki przemysłowej. Nie oznacza to, że nie jest kupowane przez przemysł przetwórczy, głównie z uwagi na dość konkurencyjną cenę.
3. Wychodząc naprzeciw dalszym oczekiwaniom rynku surowca drzewnego, jednostki organizacyjne Lasów Państwowych w swojej ofercie umieściły nowe grupy handlowo-gatunkowe mogące mieć zastosowanie w energetyce przemysłowej, tj. drobnicę gałęziowo-chrustową na zrębki energetyczne oraz baloty. Możliwości pozyskania tego surowca są jednak ograniczone ze względu na politykę ekologiczną państwa i konieczność pozostawiania części masy pozębrowej na powierzchni oraz zabezpieczenie możliwości zaopatrzenia się w drewno gałęziowe na cele opałowe przez miejscową ludność.
4. W latach 2010–2012 średniorocznie sprzedawano 0,8–1,0 mln m³ drewna typowego dla energetyki przemysłowej. Można założyć, że w przypadku zwiększenia udziału zagospodarowania drewna poeksploatacyjnego (M2ZE, MZBE) ogólna baza drewna energetycznego do przemysłowego wykorzystania mogłaby wzrosnąć do około 1,5 mln m³.
5. Lasy Państwowe dysponują stałą bazą drewna opałowego dla okolicznej ludności pozyskiwanego w ramach sortymentów S4 (grubizna opałowa) i M2 (drobnica opałowa), wynoszącą około 4,5 mln m³. W najbliższym okresie, wraz ze wzrostem pozyskania, baza ta może osiągnąć poziom ponad 5 mln m³.
6. Wbrew ogólnym opiniom ceny drewna energetycznego nie były wyższe od cen drewna przemysłowego.
7. Sytuacja ograniczająca zakup drewna z grup handlowych dotychczas zwyczajowo przeznaczonych dla przemysłu energetycznego (S2AC i S2AP) zakłóciła dotychczas ustalony stan i doprowadziła do praktycznego wyeliminowania z zakupów

przez energetykę drewno grup S2AC i S2AP. Jest to wielkość około 800 tys. m³ w skali roku.

Literatura

Rozporządzenie ministra gospodarki z dnia 18 października 2012 roku w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawiania do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. Dz.U. z 2012 r., poz. 1229.

Podsumowania i rekomendacje

1. Z prezentowanych w trakcie panelu symulacji wynika, że zróżnicowanie klimatyczne w Polsce ma charakter południkowy, z silnym zaznaczeniem odmienności na granicy wschodniej. Przewiduje się, że w następstwie zachodzących obecnie zmian zróżnicowanie to jeszcze bardziej się zwiększy w stosunku do stanu obecnego (**Liszewska**). Dotyczy to zarówno średniej temperatury i opadów, jak i długości okresu wegetacyjnego (poprawa warunków wegetacji na północy i północnym wschodzie, pogorszenie zaś na południowym wschodzie; długość okresu wegetacyjnego w Suwałkach zrówna się z długością okresu wegetacyjnego we Wrocławiu; w górach długość okresu wegetacyjnego wzrośnie dwukrotnie, zmniejszy się liczba dni z pokrywą śnieżną, zwiększy się ilość opadów zimowych, a zmniejszy ilość opadów letnich, długie okresy suszy przeplatane będą nadmiarem gwałtownych opadów, ekstrema pogodowe zaostczą się (**Kundzewicz**). Istnieje wyraźne regionalne i sezonowe zróżnicowanie zmian klimatycznych. Zróżnicowane więc powinny być środki i metody łagodzenia skutków oraz postępowanie adaptacyjne do już zaistniałych, jak i przyszłych zmian.

Dotychczasowe zróżnicowanie fizjograficzne lasów w Polsce, utrwalone w wyniku gospodarki opartej na regionalizacji przyrodniczo-leśnej (krainy i dzielnice przyrodniczo-leśne), ma przebieg równoleżnikowy, głównie z uwagi na układ utworów geologicznych. W koncepcji regionalizacji przyrodniczo-leśnej Polski z 1990 roku i obowiązującej do 2010 r., która była jednym z głównych narzędzi planowania hodowlanego, klimat był traktowany jako ważny element siedliska różnicujący szatę leśną. Jeśli poprzednie ustalenia sprzed ponad 50 laty tracą wiele z aktualności (przy tworzeniu regionalizacji posługiwano się danymi i wiedzą z lat 60–70. XX w.), to przyszłe prace, zmierzające do adaptacji lasów i gospodarki leśnej do zmian klimatycznych, będą potrzebowały nowej regionalizacji. Wprawdzie nie zmienią się gatunki drzew, ale zmieni się ich funkcja w ekosystemie (**Szwagrzyk**). Wyniki symulacji, jak również obserwacje zebrane do tej pory, wskazują na potrzebę korekty lub opracowanie nowej regionalizacji przyrodniczo-leśnej w Polsce.

REKOMENDACJA (1): Należy stworzyć system monitorowania wpływu zmian klimatycznych na lasy, z wykorzystaniem istniejącego monitoringu lasów, wprowadzając nowe kryteria i wskaźniki (dotyczące fenologii roślin i owadów, wydzielania się posuszu). Na stałych powierzchniach monitoringowych należy wyznaczyć transekty, uwzględniające zróżnicowanie gatunkowe oraz przewidywany kierunek zmian (z południowego zachodu na północny wschód).

REKOMENDACJA (2): Należy powołać zespół ds. weryfikacji regionalizacji przyrodniczo-leśnej lasów w Polsce, z uwzględnieniem kierunków i nasilenia zmian klimatycznych.

REKOMENDACJA (3): Należy stworzyć interdyscyplinarny, międzyinstytucjonalny program badawczy dotyczący wzajemnego oddziaływania klimatu i lasów; wytyczyć poligony badawcze do śledzenia kierunków adaptacji lasów do zmian klimatu oraz prowadzić monitoring klimatyczno-przyrodniczy i określić priorytety działań (wykorzystując zarówno sieć stałych powierzchni monitoringu lasów jak i powierzchnie referencyjne tworzone w ramach urządzania lasu).

2. Z uwagi na spodziewane zwiększenie częstotliwości, zasięgu i natężenia zjawisk ekstremalnych, które powinny być traktowane jako naturalne zaburzenia rozwoju lasów (**Kundzewicz, Walczykiewicz**), należy wziąć pod uwagę stworzenie zasad specjalnego zagospodarowania „pokłeskowego”, które uwzględniałyby cały cykl zagospodarowania, począwszy od pozyskania drewna (**Noskowiak**), przez sposoby odnowienia i pielęgnacji oraz metody ochrony. Takie zagospodarowanie „pokłeskowe” powinno być wykorzystane do przyspieszenia adaptacji lasów do zmian klimatycznych i przebudowy drzewostanów (**Szwagrzyk**).

REKOMENDACJA (4): Konieczne jest stworzenie aneksów do istniejących dokumentów techniczno-gospodarczych („Instrukcja urządzania lasu”, „Zasady hodowli lasu”, „Instrukcja ochrony lasu”), określających sposoby postępowania w przypadku „klęsk klimatycznych”. Nie chodzi o postępowanie ukierunkowane na „likwidację szkód”, ale o postępowanie profilaktyczne, tzn. zagospodarowanie lasu zmierzające do regeneracji ekosystemu, który będzie lepiej przystosowany do przyszłych warunków i uodporniony na przyszłe zagrożenia. Chodzi o stworzenie „kodeksu zarządzania skutkami klęsk żywiołowych” w lasach.

3. Główną linią postępowania w zagospodarowaniu lasu pozostaje rozpraszanie ryzyka hodowlanego. W świetle zmian klimatycznych zachodzi potrzeba zmiany lub przystosowania niektórych zasad i przyjętych strategii.

(1) Weryfikacji wymaga, przyjęta w polskim leśnictwie, hodowla oparta na selekcji pochodzeń i ekotypów tzw. najlepszych (głównie z uwagi na zdolności przyrostowe i jakość surowca) (**Szwagrzyk**). Należy rozważyć zaniechanie programu

hodowli selekcyjnej, testowania potomstw, wyboru i uznawania baz nasiennych (z których praktycznie gospodarka leśna nie korzysta) oraz wprowadzenie bardziej elastycznych zasad funkcjonowania rejonów nasiennych (lub rezygnacja z nich). Szansą adaptacji lasów do zmian klimatycznych jest możliwie szeroka pula genowa gatunków drzew leśnych oraz umożliwienie oddziaływania praw naturalnej selekcji. Sprawą kluczową jest naturalne odnawianie się drzew (**Szwagrzyk, Brzezicki**) i poszerzenie możliwości stosowania odnowienia naturalnego oraz rozluźnienie sztywnych ram odnowienia sztucznego.

(2) Z uwagi na wysoką efektywność sekwestracji węgla należy przywrócić właściwą rangę gatunkom dotychczas marginalizowanym przez leśnictwo surowcowe, takim jak: brzoza, olsza, grab, jesion, lipa, jawor (**Szwagrzyk**). Wykorzystanie całej listy gatunków i całej puli genowej gatunku zgodnie z koncepcją zagospodarowania adaptacyjnego (*adaptive management = learning by doing*) jest najlepszą drogą dla rozwoju hodowli lasu w warunkach ryzyka (**Szwagrzyk**).

(3) Sosnę zwyczajną, jako gatunek o dużej tolerancji na zmiany środowiska (wysoka elastyczność ekologiczna) i o stosunkowo niskich wymaganiach siedliskowo-wodnych, należy traktować jako ważny element adaptacji lasów do zmian klimatycznych. Rozwagi wymaga dalsza presja na zwiększanie udziału gatunków liściastych (dąb, buk), które w warunkach zmian klimatycznych mogą być zagrożone z powodu niedostatku wody i/lub w wyniku wystąpienia nowych szkodników i chorób (np. opiótki na dębach, *Phytophthora* na jesionie). Konieczne jest zatem większe niż kiedykolwiek powiązanie hodowli lasu z ochroną lasu (**Hilszczański**). Wychoząc z założenia, że w zmieniających się warunkach środowiska najlepszą ochroną będzie prawidłowa hodowla lasu, powiązań między tymi działami gospodarki leśnej należy szukać w konkretnych działaniach praktycznych o charakterze eksperymentów (jest ich bardzo wiele w praktyce gospodarczej), a wyniki utrzymywać na poziomie harmonizowania dokumentów techniczno-gospodarczych („Instrukcji zarządzania lasu”, „Zasad hodowli lasu” i „Instrukcji ochrony lasu”).

(4) Zmiany temperatury i wilgotności wpływają bezpośrednio na warunki bytowania owadów, a pośrednio – poprzez zmianę fizjologii roślin żywicielskich (gospodarzy/drzew), na ich procesy rozwoju (przyspieszony/opóźniony rozwój, dodatkowe generacje w wydłużonym sezonie wegetacyjnym, zaburzenia fenologii, zmiany dyspersji, przeżywalności, płodności, liczebności naturalnych wrogów (parazytoidów, drapieżców) (**Hilszczański**). Należy się liczyć z jednej strony ze wzrostem zagrożeń, ale również z ograniczeniem rozwoju szkodników i chorób dotychczasowych i pojawieniem się nowych zagrożeń i organizmów szkodliwych. Realne jest zagrożenie ze strony organizmów inwazyjnych.

(5) Ogólne zasady rozpraszania ryzyka w planowaniu leśnym w warunkach zmian klimatycznych powinny obejmować różnicowanie strategii, metod i struktur. Konieczne jest zaniechanie ujednolicenia, jedynych rozwiązań i powszechnie obowiązujących zasad. Rozpraszanie ryzyka to również elastyczność przy określaniu np. granic zasięgów występowania gatunków, granic krain i dzielnic przyrodniczo-leśnych, granic rejonów nasiennych itp.

REKOMENDACJA (5): Należy zweryfikować Program Zachowania Leśnych Zasobów Genowych i Hodowli Selekcyjnej do 2035 r. pod kątem modyfikacji celów strategicznych tego programu; hodowlę selekcyjną ograniczyć do eksperymentów naukowych w kierunku selekcji ekotypów lub genetycznych modyfikacji populacji, zwiększających tolerancję na suszę oraz wzmagających zdolności adaptacyjne do zmieniających się warunków środowiska.

REKOMENDACJA (6): W interesie gospodarki leśnej, ze względu na rozpraszanie ryzyka hodowlanego, należy przywrócić odpowiednią rangę gatunkom marginalizowanym, w tym brzozie, olszy, grabowi, jaworowi, trześni, których potencjał produkcyjny nie jest dostatecznie wykorzystany, oraz określić zasady zagospodarowania adaptacyjnego poprzez poszerzenie opcji hodowlanych (różnicowane sposoby odnowienia, różnicowany skład gatunkowy, rozbudowana struktura upraw) i ograniczenie interwencji w trakcie wzrostu i rozwoju drzewostanów jedynie do niezbędnych (adaptacja zabiegów hodowlano-ochronnych stosownie do zaistniałej sytuacji, tzn. przystosowanie postępowania do stanu lasu i rysujących się trendów zmian).

REKOMENDACJA (7): Potrzebna jest krytyczna analiza zwiększania udziału gatunków liściastych i ograniczania udziału sosny, jako postępowania pro-ekologicznego; rozważyć należy regionalizację postępowania hodowlano-ochronnego stosownie do wyników monitoringu zmian klimatu oraz możliwość stosowania rozwiązań lokalnych.

REKOMENDACJA (8): Należy określić działania o charakterze ochronnym, które leżą w zakresie hodowli lasu i powinny być ujęte w planie urządzenia lasu. W stosunku do zagrożeń biotycznych i abiotycznych należy rozwijać metody hodowlane (poszerzyć stosowanie metody ogniskowo-kompleksowej w ochronie lasu). W ramach corocznej oceny występowania szkodników i chorób należy monitorować pojawianie się gatunków inwazyjnych, w tym inwazyjnych gatunków roślin. Występowanie posuszu należy traktować jako bioindykację zmian klimatycznych i odnieść do regionalnego różnicowania się warunków klimatycznych i występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych.

REKOMENDACJA (9): Wobec zmian warunków środowiska leśnego konieczne jest poddanie krytycznej weryfikacji pojęć: „gatunki obce”, „gatunki rodzime”, „szkodniki pierwotne”, „szkodniki wtórne”, „posusz jałowy”, „posusz czynny”, „drewno użytkowe”, „drewno pełnowartościowe” (...) i innych.

4. Należy dążyć do różnicowania hodowli lasu: żaden model przyjęty jako obowiązujący i jedynie słuszny nie spełni wszystkich oczekiwań i nie sprostą ani dzisiejszym potrzebom, ani tym bardziej przyszłym wyzwaniom.

(1) Dotychczasowy główny kierunek hodowli lasu, nastawiony na produkcję wysokowartościowego, wielkowymiarowego surowca, wymaga utrzymywania drzewo-

stanów w wysokim zwarcie, co w warunkach stresu środowiskowego destabilizuje drzewostan i osłabia odporność. To samo dotyczy wydłużania wieku rębności, co prowadzi do zwiększania udziału starszych klas wieku i zwiększania się średniego wieku drzewostanów, co zmniejsza przyrost bieżący (**Borecki**), a co za tym idzie – tempo sekwestracji węgla. Trzeba być świadomym, że takie mogą być skutki pro-ekologicznej hodowli lasu. Zmiany klimatyczne mogą zwielokrotnić i zaostrzyć negatywne efekty takiego postępowania (**Szwagrzyk**). Pozytywnym efektem pro-ekologicznej hodowli może być natomiast wzrost różnorodności biologicznej i atrakcyjności turystycznej lasu.

(2) Zmniejszenie nasilenia trzebieży oraz wydłużenie cyklu produkcyjnego (zwiększenie wieku rębności), czyli zabiegi hodowli pro-ekologicznej, mogą przyczynić się do zwiększenia zawartości węgla w biomase drzewostanu o ok. 50% w jednym cyklu produkcji. Następuje to jednak kosztem prawie 4-krotnego zmniejszenia ilości wyprodukowanego surowca w dłuższej perspektywie czasowej (**Brzeziecki**), a więc również 4-krotnego zmniejszenia ilości węgla, który mógłby być zakumulowany w wyprodukowanym drewnie i pozostać na dłużej w produktach z drewna. Taka hodowla lasu jest sprzeczna z ochroną klimatu i substytucyjnym użytkowaniem drewna. Negatywnie również wpływa na zaopatrzenie rynku i rozwój sektora drzewnego, tzn. z ekonomicznego i społecznego punktu widzenia jest nierozwójowa.

(3) Strategia oparta na półnaturalnej hodowli lasu, rezygnująca z odnowienia sztucznego, kształtująca drzewostany o zróżnicowanej strukturze wiekowej i gatunkowej, zwiększa ilość węgla na końcu okresu produkcji (**Brzeziecki**), ale nie powinna odrzucać kryteriów ekonomicznych i ograniczać rozmiaru użytkowania lasu ze względu na potrzeby hodowlane, zmniejszyłoby to bowiem pozytywny efekt klimatyczny zwiększonej sekwestracji i substytucyjnego zastosowania drewna. Gospodarka leśna „zbliżona do natury” może przynieść negatywne skutki klimatyczne: z uwagi na zmniejszone tempo sekwestracji, a zwiększona podaż martwego drewna może być źródłem większej emisji CO₂. Czy wobec zmian klimatycznych leśnictwo tzw. pro-ekologiczne, a w nim „hodowla półnaturalna” powinno być jedyną obowiązującą opcją gospodarki leśnej/hodowli lasu w Polsce?

Uważnej refleksji wymaga efekt „gospodarki leśnej zbliżonej do natury”, czyli zwiększania wieku rębności, na który składa się starzenie się lasów, a wraz z nim zwiększenie ryzyka uszkodzeń ze strony szkodników, chorób, czynników abiotycznych, zwiększenie się ilości drewna martwego, posuszu i wzrost emisji CO₂ oraz spadek tempa sekwestracji, co nie sprzyja ochronie klimatu. Inaczej mówiąc, rosną koszty ekonomiczne, społeczne oraz wzrasta ryzyko kosztów przyrodniczych.

(4) Duża zasobność drzewostanów nie świadczy o ilości sekwestrowanego węgla; świadczy jedynie o końcowym stanie zapasu węgla – efekcie sekwestracji w określonym czasie. Ale okres ten można podzielić na krótsze etapy sekwestracji, tzn. skrócić okres produkcji i na tej samej powierzchni produkować drewno wielokrotnie. W ten sposób sekwestracja odbywa się w drzewostanach młodszych, których przyrosty są większe, a suma sekwestracji jest większa. Pozyskane drewno zaś, przechowywane w produktach w okresie dłuższym niż wynosił okres jego produk-

- cji, daje czysty efekt redukcji CO₂ w atmosferze. Powyższa opcja pro-klimatycznej gospodarki leśnej może być realizowana głównie poza istniejącymi lasami, jako równoważenie opcji pro-ekologicznej, w powiązaniu z krajowym programem zwiększania lesistości, rozwojem gospodarstw agro-leśnych (**Golaszewski, Szczukowski, Stolarski**) w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW), samozaoptymizacją w drewno przemysłu drzewnego itp. W PGL Lasy Państwowe powinien powstać program (dział) produkcji drewna poza ekosystemami leśnymi (**Kowalkowski**) oraz system wspierania takiej produkcji przez inne podmioty gospodarcze. Decyzje w tej sprawie powinny podejmować nadleśnictwa lub regionalne dyrekcje LP, po głębokiej analizie opłacalności takiej produkcji.
5. Gospodarka leśna w zderzeniu ze zmianami klimatycznymi znalazła się w ekologicznej pułapce: zmiana koncepcji leśnictwa z lat 90. XX w. i przejście z gospodarki surowcowej na pro-ekologiczną grozi – w perspektywie roku 2030 i dalej, wspomaganie zmian klimatycznych (w skrajnych przypadkach wzrostem emisji z ekosystemów leśnych), a z pewnością nie oznacza wykorzystania wszystkich możliwości przeciwdziałania zmianom poprzez zwiększoną sekwestrację węgla, wzrost produkcji, przetwarzania i przechowywania węgla w produktach drzewnych i korzystanie w maksymalnym wymiarze z substytucyjnych właściwości drewna. A przecież te ostatnie działania są najbardziej pro-ekologiczne, powstrzymują bowiem zmiany i chronią klimat, od którego zależy stan przyrody. Rysujący się dylemat polskiej gospodarki leśnej może być rozstrzygnięty jedynie poprzez przyjęcie obydwu opcji rozwojowych: leśnictwa ekosystemowego i leśnictwa plantacyjnego. Umożliwi to rozwój całego sektora leśno-drzewnego, lepiej zaspokoi potrzeby surowcowe, a także zwiększy szansę na poszerzenie obszarów chronionych.

REKOMENDACJA (10): Ze względu na ochronę klimatu najbardziej efektywną i bezpieczną strategią gospodarki leśnej jest dążenie do produkcji jak największej ilości drewna i do jak najszerzego wykorzystania go jako surowca oraz jako odnawialnego źródła energii. Leśnictwo plantacyjne powinno być równoważone leśnictwem ekosystemowym, zwiększającym ochronę procesów ekologicznych oraz obiektów powierzchniowej ochrony przyrody. Potrzebna jest wielokierunkowa, kompleksowa analiza skutków klimatycznych obydwu opcji.

REKOMENDACJA (11): Potrzebna jest weryfikacja statycznej wizji przyrody w hodowli lasu opartej na odnowieniu sztucznym oraz rozbudowanej selekcji i szkółkarstwie. Potrzebna jest hodowla lasu, w której jest miejsce na uzyskiwanie zarówno wielkowymiarowego, wysokowartościowego surowca liściastego, produkowanego w długiej kolei rębny, jak i średniowymiarowego (cienkiego), o niskiej jakości technicznej surowca iglastego i liściastego, produkowanego w skróconym cyklu. O takiej potrzebie świadczy wzrost popytu na biomasa drzewną na cele energetyczne oraz wzrost cen drewna gorszej jakości. Między tymi opcjami możliwe są różnorakie rozwiązania stosownie do lokalnych wa-

runków i zapotrzebowania oraz w zależności od przyjętych kierunków rozwoju, polityki leśnej i polityki klimatycznej państwa.

6. Miejscem trwałego gromadzenia węgla w ekosystemach leśnych jest gleba, a formą najbardziej trwałą są związki humusowe. Uprawa gleby, mechaniczne przemieszczanie wierzchnich warstw, pozostawianie dużej ilości martwego drewna, odsłanianie dna lasu w wyniku cięć, przyspieszają utlenianie materii organicznej i emisję CO_2 – las może stać się emitorem węgla do atmosfery (**Wójcik, Kowalkowski**). Działaniami korzystnymi dla ochrony materii organicznej w glebie i dla zwiększenia zasobów węgla w lasach jest odnowienie naturalne – preferowane w leśnictwie ekosystemowym, unikanie intensywnej uprawy gleby, wprowadzanie podszytów i przebudowa drzewostanów (**Wójcik**).

REKOMENDACJA (12): Przyjęte sposoby zagospodarowania i użytkowania lasu powinny unikać niszczenia powierzchniowych warstw i zachowywać glebę w stanie niezmienionym. Konieczne jest rozpoznanie stopnia odżywienia drzew leśnych głównych gatunków w różnych warunkach siedliskowo-glebowych przy różnym zaopatrzeniu w wodę (wskaźniki stanu odżywienia).

7. Jednym z najważniejszych problemów w gospodarce leśnej, zwłaszcza w hodowli lasu, w związku ze zmianami klimatycznymi, jest dostępność zasobów wodnych. Niedostępność wody może ograniczać działania adaptacyjne, eliminując gatunki o zwiększonych wymaganiach wodnych. Trzeba brać np. pod uwagę większe zapotrzebowanie na wodę gatunków liściastych niż iglastych (**Pierzgański**). Ponieważ wielkość i jakość zasobów wodnych zależy w dużym stopniu od stanu i wielkości zasobów leśnych, konieczne jest wspólne planowanie rozwoju obydwu zasobów naturalnych. Im większa jest lesistość zlewni, tym wyższa jest stabilność zasobów wodnych w przypadku zmian klimatycznych i tym większy potencjał naturalnej retencji. Chodzi zwłaszcza o retencję wody zimowej, której należy spodziewać się więcej niż dotychczas (**Kundzewicz**). Wiele zagrożeń biotycznych ma charakter wtórny i jest związanych z niedoborem wody, a destrukcyjna synergia wynikająca z tego związku będzie się nasilać (**Kowalkowski, Hilszczański**). Należy stworzyć system wzajemnego wspierania gospodarki leśnej i gospodarki wodnej (**Walczukiewicz**). Wspólnym elementem planowania obu gospodarek jako jednostka urzędzeniowa może być obszar zlewni. Wymaga to nowego podejścia do urządzania lasu i krytycznej analizy dotychczasowych metod urządzania, które w przyszłości powinny dotyczyć znacznie większych obszarów niż dotychczas, tzn. większych niż obszar nadleśnictwa (**Szabla**). Planowanie leśne powinno obejmować również tereny nieleśne, pozostające pod wpływem lasu lub kształtowane poprzez korzyści materialne, przyrodnicze i społeczne, których źródłem są lasy.

REKOMENDACJA (13): Potrzebna jest weryfikacja metod urządzania lasu z punktu widzenia planowania przestrzennego i gospodarki wodnej, uwzględnienie

poziomu krajobrazu oraz powiązanie planów urządzania ze strategią i planami zagospodarowania przestrzennego.

REKOMENDACJA (14): Należy podjąć/pogłębić współpracę w zakresie planowania i realizacji działań pomiędzy regionalnymi zarządami gospodarki wodnej a regionalnymi dyrekcjami Lasów Państwowych.

REKOMENDACJA (15): W świetle zmian klimatycznych należy docenić wysiłki Lasów Państwowych zmierzające do zatrzymania wody w ekosystemach leśnych. Konieczne jest jak najszybsze zintensyfikowanie prac i rozszerzenie programów malej retencji w lasach, a także uczynienie z nich strategii przeciwdziałania zmianom klimatycznym i adaptacji do nowych warunków gospodarki leśnej i innych resortów (np. rolnictwa i rozwoju wsi, gospodarki, rozwoju regionalnego).

8. Weryfikacji należy poddać poziom użytkowania lasów w Polsce – jeden z najniższych w Europie (ok. 55% przyrostu). Użytkowanie lasu powinno służyć nie tylko poprawie stanu lasu i potrzebom hodowlanym, ale również rozwojowi gospodarki i potrzebom społecznym, a ustalając wiek rębności należy brać pod uwagę zapotrzebowanie na surowiec drzewny. Kształtowanie zasobów leśno-drzewnych w Polsce oraz bilans drewna powinny dotyczyć nie tylko zasobów Lasów Państwowych, ale również zasobów lasów niepaństwowych, gospodarstw agro-leśnych (w Szwecji produkcja agro-leśna pozostaje pod nadzorem gospodarki leśnej), lasów/plantacji przemysłowych oraz zadrzewień (łącznie spoza Lasów Państwowych pochodzi ok. 1/3 użytkowanego drewna w Polsce).

REKOMENDACJA (16): Należy opracować bilans oraz strategię kształtowania i wykorzystania zasobów leśno-drzewnych Lasów Państwowych, lasów niepaństwowych, gospodarstw agro-leśnych, lasów/plantacyjnych i plantacji przemysłowych oraz zadrzewień.

9. Wielkość użytkowania rębego jest następstwem zmian struktury wiekowej oraz wzrostu powierzchni lasów. Ustalana jest rutynowo, w wyniku tzw. aktualizacji stanu zasobów i nie uwzględnia ważnych procesów kształtujących zasoby: zmian tempa przyrostu z powodu zmian klimatycznych (np. zwiększenie przyrostu, zwiększenie zapasu), zmian z tytułu poprawy gospodarki, zmian związanych z tzw. klęskami żywiołowymi, tzn. użytków przygodnych, zmian z tytułu wzrostu zagrożeń biotycznych i wydzielania się posuszu itp. Prognoza rozwoju zasobów leśnych jest nieadekwatna do rzeczywistości (**Kowalkowski**). Dane dotyczące stanu zasobów zastosowane do sporządzenia prognozy ich rozwoju są o ok. 10% mniejsze niż wielkość zasobów rzeczywistych (**Borecki**). Zaniża to jednocześnie prognozowane możliwości użytkowania. Wobec przewidywanych zmian klimatycznych wyznaczanie wieku rębności traci na znaczeniu, ważne są kryteria doboru drzewostanów do użytkowania (**Stępień**). Priorytetem powinno być użytkowanie i przebudowa drzewostanów osłabionych (**Szabla**). Wymaga to wyprzedzających decyzji na etapie

planowania oraz weryfikacji celów hodowlanych i produkcyjnych oraz terminów i sposobów ich osiągnięcia. Nasuwa się potrzeba opracowania nowych zasad użytkowania lasów.

REKOMENDACJA (17): Potrzeba zmiany metodologii planowania hodowlanego i metodologii planowania rozmiaru użytkowania oraz dotychczasowej praktyki i metod prognozowania rozwoju zasobów. W tym kontekście należy podjąć prace nad tablicami węglowymi, opartych na modelach ekologicznych drzewostanów i nad wprowadzeniem ich do praktyki zamiast nieadekwatnych do rzeczywistości przyrodniczej XXI wieku tablic zasobności z przełomu wieków poprzednich, na których opiera się do dzisiaj zarówno planowanie hodowlane, jak i prognozowanie rozwoju i użytkowania zasobów.

10. Najbardziej odczuwalne następstwa zmian klimatu na poziomie drzewostanu najprawdopodobniej będą dotyczyć wzrostu intensywności wydzielania się drzew (ilości posuszu) i użytkowania przygodnego, zróżnicowanego regionalnie. Wzrost intensywności wydzielania się drzew i częstotliwości występowania zjawisk kłęskowych spowoduje znaczne zwiększenie użytkowania przygodnego, prowadzące do zatarcia się granicy między cięciami pielęgnacyjnymi a rębnymi. Należy przypuszczać, że cięcia o charakterze pielęgnacyjnym i cięcia wymuszone w drzewostanach wszystkich klas wieku zrealizują w znaczącym procencie planowany rozmiar cięć (**Borecki, Stępień**). Doprowadzi to do zmiany zasad ustalania kolejności i pilności użytkowania lasu. Przypuszczać należy, że rola zrębowego sposobu zagospodarowania zostanie ograniczona do minimum, a cięcia będą miały charakter ciągły i realizowane będą po całym lesie. Brak wyraźnej granicy między cięciami pielęgnacyjnymi a rębnymi wymagać będzie weryfikacji i elastyczności sposobu rozliczania etatu całkowitego. Należy się liczyć ze zwiększeniem kosztów takiego użytkowania.

REKOMENDACJA (18): Wzrost zagrożeń z tytułu zmian klimatycznych wymaga zweryfikowania strategii i uelastycznienia podejścia do użytkowania i tym samym do odnowienia lasu. Użytkowanie lasu w przypadku przewidywanych zmian klimatycznych powinno zmienić zasady kwalifikowania drzewostanów do wyrębu i brać pod uwagę aktualny stan drzewostanów i pilność użytkowania, kierując się następującą kolejnością:

- 1 – użytkowanie przygodne wynikające z likwidacji skutków zjawisk kłęskowych (zagospodarowanie pokłęskowe),
 - 2 – użytkowanie przedrębne w starszych klasach wieku,
 - 3 – użytkowanie przedrębne w młodszych klasach wieku,
 - 4 – użytkowanie rębne (rębnie częściowe, przebudowa),
 - 5 – użytkowanie rębne pozostałych drzewostanów.
11. Zmiany klimatyczne i rosnące zapotrzebowanie na drewno energetyczne (biomasę drzewną) stworzyły warunki ostrej konkurencji o dostęp do zasobów drzewnych w Polsce. Należy dążyć do maksymalizacji produkcji drewna, a przez to do maksy-

malnego pochłaniania węgla przez drzewa (w istocie jest to ten sam proces). Drewno na potrzeby energetyki odnawialnej nie musi pochodzić wyłącznie z lasu (ok. 40% drewna użytkowego na świecie pochodzi z plantacji). Do roku 2060, z uwagi na politykę klimatyczną, światowe zapotrzebowanie na drewno potroi się. Jeśli kraje rozwinięte nie chcą uczestniczyć w wylesianiu świata (chodzi o import drewna z krajów rozwijających się), to powinny zbudować własne źródła zasobów leśno-drzewnych, bo nie jest możliwe, ażeby zapotrzebowanie rządu 10–11 mld m³ drewna rocznie mogły pokryć lasy obecnie istniejące (**Samborski**).

12. W interesie sektora leśno-drzewnego i polityki klimatycznej jest dywersyfikacja źródeł pochodzenia drewna, zwiększanie jego produkcji i rozszerzanie listy producentów. Drewno może i powinno pochodzić również z upraw leśnych na terenach rolnych (np. z lasów o krótkiej rotacji z gospodarstw agro-leśnych), z plantacji drzew leśnych przy zakładach energetycznych i zakładach przemysłu drzewnego, również z zadrzewień (przy zachowaniu ich ważnych funkcji nieprodukcyjnych) itp. Zwiększenia produkcji i dostaw drewna należy oczekiwać wraz z realizacją krajowego programu zwiększania lesistości.

Biomasa leśna/drzewna, z uwagi na właściwości techniczne i użytkowe, stosunkowo wysoką wartość opałową oraz znaczący jej potencjał w Polsce, jest jednym z podstawowych odnawialnych źródeł energii do produkcji energii elektrycznej i ciepła w energetyce zawodowej oraz ważnym źródłem energii dla gospodarstw domowych. Zaletą biomasy drzewnej jest możliwość wykorzystania jej zasobów na rynku lokalnym, co sprzyja rozproszeniu energetyki z korzyścią dla lokalnych rynków pracy i aktywizacji gospodarczej (**Bartoszewicz-Burczy, Soliński**). Do 2030, i dalej do 2080, powierzchnia lasów wzrośnie nieznacznie (do 33% do 2050 r.). Powinien więc nastąpić wzrost potencjału biomasy leśnej/drzewnej do 18,7 mln ton w 2080 (łącznie z lasów i z przemysłu drzewnego). Oznacza to potrzebę intensywnej produkcji drewna poza lasem. W plantacji topolowo-osikowej o 4-letniej rotacji można w warunkach Polski wyprodukować rocznie do 14 ton suchej biomasy drzewnej **na 1 ha** (**Samborski**). Alternatywą jest import biomasy drzewnej (**Bartoszewicz-Burczy, Soliński**).

Zwiększenie produkcji drewna poza ekosystemami leśnymi oraz maksymalizacja pochłaniania węgla może nastąpić poprzez (**Gajewski**):

- wprowadzenie systemów zadrzewień, zakrzewień, upraw i plantacji drzew jako ważnego substytutu lasu w rolniczej przestrzeni produkcyjnej oraz dodatkowe źródła surowca drzewnego i dochodów ludności oraz jako elementu poprawiającego stan środowiska;
- zidentyfikowanie możliwości zakładania takich upraw i zadrzewień w pobliżu zakładów energetycznych i zakładów przemysłu wykorzystującego surowiec drzewny i podjęcie działań w tym kierunku w formie np. partnerstwa publiczno-prywatnego;
- przegląd, a następnie stabilizację krajowego rynku drzewnego (np. dzięki wspólnej strategii użytkowania drewna), ze szczególnym uwzględnieniem drewna na cele energetyczne;

- zakończenie prac nad ustawą o odnawialnych źródłach energii i wprowadzenie regulacji prawnych stabilnych w perspektywie do roku 2030.

REKOMENDACJA (19): Należy poddać weryfikacji krajowy program zwiększania lesistości, uwzględniając zmiany klimatyczne, potrzeby zwiększenia produkcji drewna, tworzenie korytarzy ekologicznych i zmniejszanie fragmentacji leśnych kompleksów, tworzenie nowych baz surowcowych we współpracy z przemysłem drzewnym. Do produkcji drewna poza ekosystemami leśnymi należy zaangażować Lasy Państwowe (leśnictwo plantacyjne). We współpracy z samorządami, sektorami rozwoju regionalnego energetyki, rolnictwa i rozwoju wsi należy podjąć prace nad krajowym programem zadrzewień. Potrzebna jest wspólna polityka zalesieniowa i zadrzewieniowa resortów odpowiedzialnych za użytkowanie ziemi, planowanie przestrzenne i rozwój regionalny.

13. Nie do zaakceptowania jest traktowanie użytkowania lasu, tzn. pozyskiwania drewna, jako operacji równoznacznej z emisją CO₂ do atmosfery, jak to ma miejsce w międzynarodowych dokumentach klimatycznych (protokół z Kioto) (**Tomaszewski**). Wręcz przeciwnie: drewno pozyskane w procesie użytkowania stwarza szansę na skuteczną redukcję koncentracji CO₂ w atmosferze w przypadku substytucji kopalnych źródeł energii (węgiel, ropa, gaz) oraz wysokoemisyjnych produktów i surowców (stal, aluminium, cement). Należy także doprowadzić do posługiwania się masą właściwą substancji drzewnej zindywidualizowaną, ponieważ zabiegi hodowlane mogą zmieniać masę właściwą przy tej samej miąższości (**Tomaszewski**). Może to stworzyć ważne narzędzie sterowania zawartością węgla w ekosystemach leśnych i uznać wiele operacji leśnych za działalność chroniącą klimat.
14. „Las → drzewo → drewno → wyroby z drewna → użytkowanie energetyczne (spalanie)” – to droga taniego i najbardziej trwałego wiązania, przechowywania i wykorzystania węgla z atmosfery. To jednocześnie system kaskadowy użytkowania drewna (**Strykowski**), w którym można optymalizować przetwórstwo, jako najbardziej efektywne wykorzystanie drewna, generujące największą wartość dodaną, ograniczające wykorzystanie drewna w energetyce wielkoskalowej, ograniczające współspalanie, stwarzające możliwości wtórnego użytku surowca/produktu, którego cykl życia kończy się generowaniem energii. Rozwój biotechnologii stwarza perspektywę wydłużenia użytkowania i głębszego przetworzenia drewna w zintegrowanej technologii biorafinerii lignocelulozowej, uzyskiwanie biopaliw lignocelulozowych II generacji i – podobnie jak użytkowanie – kaskadowe wytwarzanie produktów (**Golaszewski, Szczukowski, Stolarski**). Na wszystkie elementy obydwu systemów: użytkowania i wytwarzania, człowiek ma wpływ i może nimi sterować w interesie klimatu, środowiska, ochrony przyrody, rozwoju gospodarczego i społecznego. Wykorzystanie tego naturalnego, energetycznie samowystarczającego, odnawiającego się systemu wymaga właściwej polityki energetycznej, zmian niektórych regulacji na poziomie kraju, np. dotyczących współspalania i tzw. zielonych certyfikatów, oraz na poziomie UE, np. dotyczących

wprowadzania wyrobów z drewna na rynek, harmonizacji klasyfikacji wyrobów z drewna (**Tomaszewski**), wspólnej polityki leśnej, rolnej i rozwoju wsi, rozwoju regionalnego, budownictwa, środowiska, zagospodarowania przestrzennego, skarbu i finansów, ustanowienia strategicznych kierunków badawczych oraz właściwych programów edukacyjnych.

REKOMENDACJA (20): Trzeba uruchomić działania polityczne, poparte opiniami ekspertów krajowych i międzynarodowych, zmierzające do uznania drewna pozyskiwanego z ekosystemów leśnych zagospodarowanych zgodnie z zasadami trwałego rozwoju (*sustainable forest management – SFM*) za pulę węgla zakumulowanego, a nie za emisję, oraz zweryfikować okresy, po których następuje uruchamianie węgla z surowców i produktów drzewnych. Należy podjąć systematyczne badania nad cyklem życiowym (LCA) drewna w różnych postaciach użytkowych. Pozwoli to na obiektywizację efektów działania gospodarki leśnej w ochronie klimatu.

15. Rozwój biotechnologii pozwala myśleć o zastosowaniu do roku 2080 rozwiązań genetycznych w sektorze leśno-drzewnym, ukierunkowanych na produkcję drzew o wyższej efektywności pochłaniania CO₂, zwiększonej biomasy oraz spełniających wymagania odbiorców (cechy anatomiczne, skład chemiczny). Wzrost biomasy może być osiągnięty poprzez zwiększenie wydajności fotosyntetycznej chloroplastów lub zmniejszenie procesu fotooddychania. Trwające obecnie prace dotyczą drzew odpornych na szkodliwe czynniki biotyczne (patogeny i owady), na herbicydy (w intensywnych uprawach energetycznych), oraz czynniki abiotyczne, jak deficyt wody (susza), niskie temperatury lub niedostatek elementów odżywczych, a więc związane ze zmianami klimatycznymi (**Nowakowska**). Dzięki transformacji roślin drzewiastych możemy uzyskać zmniejszenie zawartości ligniny w strukturze drewna i zwiększenia zawartości celulozy w ścianach komórkowych oraz wpływać na długość włókien. W celu zredukowania obaw z tytułu uwolnienia drzew GMO do środowiska (**Kowalkowski**) są podejmowane badania nad kontrolowanym kwitnieniem. Pierwszym krokiem w hodowli drzew transgenicznych, do 2030 roku, powinno być uzyskanie sterylnej linii, u których nie dochodzi do wytworzenia kwiatów, pyłku i nasion.

REKOMENDACJA (21): Konieczne jest włączenie polskich leśnych badań genetycznych w światowy nurt nowoczesnych biotechnologii i utworzenie, przy udziale Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, Lasów Państwowych oraz finansowym udziale prywatnego przemysłu drzewnego, platformy badań w zakresie genomiki funkcjonalnej gatunków drzewiastych. Badania powinny być ukierunkowane na doskonalenie warsztatu (stabilność transgeny, metoda transformacji, sterylność drzew) oraz uzyskanie do 2030 roku sterylnej linii modelowych gatunków drzew. Do 2080 roku powinno natomiast nastąpić udoskonalenie produktu – wyhodowanie i komercjalizacja zmodyfikowanego drzewa o pożądanych cechach hodowlanych i surowcowych.

16. W Polsce wciąż dominuje przekonanie, że stosowanie drewna oznacza niszczenie lasów i że lasów w Polsce ubywa. W świadomości społecznej istnienie lasu jest oddzielone od drewna: „las – tak, drewno – nie” (Strykowski), albo „drewno – tak, ścinanie drzew – nie”. W relacjach publicystów środowiskowych i działaczy ochrony przyrody stosowana jest retoryka „kata i ofiary”. Leśnicy nie ścinają drzew, lecz „drzewa idą pod topór”. Z drugiej strony, do chlubnych postaci w historii Polski należy Kazimierz Wielki, utrwalony w pamięci jako ten, który „zastał Polskę drewnianą, a zostawił murowaną”. Drewno było zawsze postrzegane jako materiał nienowoczesny, chociaż jego stosowanie stało się w krajach rozwiniętych wyrafinowanym luksusem. Żle pojęta w przeszłości ochrona lasu/przyrody kazała szukać substytutów drewna i rozwijała produkcję tworzyw sztucznych, surowców i materiałów syntetycznych, propagowała stosowanie aluminium, betonu czy stali, zamiast drewna. Zmiany klimatyczne odwracają taką perspektywę: to drewno, niezależnie od jego jakości, staje się dzisiaj, wobec potrzeb ochrony środowiska i klimatu, substytutem wysokoemisyjnych produktów, surowców i materiałów.

Potrzeba edukacji i zmiany programów oraz metod, zarówno edukacji społecznej, jak i zawodowej, nauczania szkolnego, a także komercyjnej promocji drewna. W działalności edukacyjnej społeczeństwa potrzebne jest wspólne działanie leśników, drzewiarzy i działaczy ochrony przyrody. Trzeba wykazać, że lasy i drewno są wielką szansą wobec zmian klimatycznych (Noskowiak). Należy stworzyć rodzaj filozofii produktu (las można traktować jako produkt gospodarki leśnej) i pokazać drewno jako produkt procesów przyrodniczych, które tworzą warunki do istnienia tysięcy innych organizmów. Las i drewno należy pokazać w ich wielowymiarowości środowiskowej, kulturowej, społecznej, przyrodniczej, ekonomicznej. Nie skupiać się na poprawianiu wizerunku Lasów Państwowych, ale poprawiać błędy i polepszać wiedzę. Operować danymi, nie hasłami i myśleniem życzeniowym. Lasy Państwowe uczyniły wielki wysiłek finansowy i organizacyjny prowadząc od ponad 20 lat specjalne programy leśnej edukacji. Poprawiło to obraz leśników w oczach społeczeństwa (80% społecznego zaufania), w dalszym ciągu jednak ponad połowa Polaków twierdzi, że lasów w Polsce ubywa, a odsetek tych, którzy uważają, że leśnicy sadzą lasy, zmniejsza się. 70% w ogóle nie słyszało, co to jest „zrównoważona gospodarka leśna”.

REKOMENDACJA (22): Potrzebne są nowe treści i formy edukacyjne, które kojarzyłyby las z drewnem, drewno z życiem codziennym (meblem i książką), a las i drewno z ochroną przyrody. Więcej wiedzy o lesie i gospodarce leśnej może dać wizyta w fabryce mebli czy papieru, niż na ścieżce dydaktycznej, gdzie na ogół eksploatowana jest wiedza przyrodnicza czy ekologiczna ze szkolnych lekcji biologii. Stworzenie takich programów ułatwia sytuacja, w której las i drewno stają się narzędziami ochrony klimatu Ziemi.

W edukacji społecznej powinny znaleźć się treści mówiące:

- o lesie i leśnictwie jako systemach przyrodniczo-gospodarczo-społecznych,
- o lesie i drewnie jako instrumentach ochrony klimatu,
- o lesie w krajobrazie i o zagospodarowaniu przestrzennym,

- o drewnie jako źródle energii (elektrycznej i ciepłej),
 - o aksjologii lasu jako systemie przyrodniczym.
17. Weryfikacji wymagają mało precyzyjne pojęcia, jak „drewno pełnowartościowe”, „drewno niepełnowartościowe” (**Szabla**), „drewno energetyczne”, „drewno użytkowe”, „drewno przemysłowe”. Refleksji w tym kontekście wymaga także obowiązująca sortymentacja, łącząca klasyfikacje przeznaczeniową z jakościowo-wymiarową.
- Czy zarządcy i właściciele lasów, a więc producenci drewna, powinni interesować się, gdzie trafia ich produkt i jak jest użytkowany (z pewnością nie interesuje to producentów telewizorów (**Zaleski**)). Dla prywatnych właścicieli lasów istotnie nie ma to większego znaczenia. Ale nie powinno to być obojętne dla zarządców własności publicznej. Wytwarzanie produktu w lasach publicznych i misyjna rola Lasów Państwowych w stosunku do realizacji środowiskowych i społecznych funkcji lasu zobowiązują do innego spojrzenia. Lasy Państwowe powinny być zainteresowane produkcją drewna poza ekosystemami leśnymi, rozwojem leśnictwa prywatnego, gospodarką plantacyjną, zadrzewieniami, produkcją drewna energetycznego czy rozwojem gospodarstw agro-leśnych i samozaopatrzeniem w drewno zakładów przemysłu drzewnego. Zaspokojenie potrzeb surowcowych może wspomagać pełnienie innych funkcji lasów, jak ochrona przyrody. Również prywatni producenci drewna powinni być objęci spójną polityką leśno-drzewną, jakkolwiek w tym wypadku instrumenty powinny mieć charakter nie normatywny, ale formę rozwiązań prawno-finansowych (umów cywilno-prawnych, spółek kapitałowych, zachęt finansowych, ulg podatkowych, warunków kredytowych itp.). Współistnienie i niezbędna współpraca sektora leśno-drzewnego, który w części „leśnej” jest w większości państwowy, w części „drzewnej” zaś – prywatny, wymaga specjalnej, zróżnicowanej strategii i elastycznej harmonizacji.
- REKOMENDACJA (23):** Powinna powstać spójna polityka/koncepcja rozwoju sektora leśno-drzewnego i zarządzania ochroną przyrody w lasach. Rozdzielenie tych obszarów w sensie organizacji, zarządzania i nadzoru (nie chodzi o stosunki własnościowe) i nadanie im różnej dynamiki, stworzyło sytuacje konfliktowe na tle dostępności do surowca i kompetencji w zarządzaniu obszarami chronionymi. Należy dokonać przeglądu regulacji prawnych i instrumentów finansowych z tego obszaru, uproszczyć je i zharmonizować.
18. Należy przygotować gospodarkę leśną i cały sektor leśno-drzewny na nieuchronny deficyt drewna, pogłębiający się w przyszłości. W okresie do 2030 roku można się spodziewać silnej presji na zwiększenie dostaw surowca drzewnego opałowego (czytaj: energetycznego), zarówno do bezpośredniego spalania, jak i do chemicznego i biochemicznego przerobu na biopaliwa stałe i ciekłe. Tradycyjny podział surowca drzewnego na drewno użytkowe i opałowe (w klasycznym podziale drewno opałowe nie jest drewnem użytkowym!) dzięki postępowi technologicznemu ulega modyfikacji, co stwarza szansę szerszego wykorzystania tego surowca. Oprócz bioenergii z drewna produkowana jest celuloza i jej pochodne (papier), lignina i jej polime-

ry, emulgatory, antyoksydanty, nawozy, dodatki paszowe, i inne produkty „zielonej gospodarki”. Procesy toryfikacji, pirolizy, zgazowania, spalania w plazmie mogą wzbogacać wykorzystanie drewna i rozwijać przemysł biomasy, który będzie mógł być energetycznie samowystarczalny, korzystając z własnych źródeł energii, pochodzącej z odpadów drzewnych. Gospodarka wchłonie każdą ilość biomasy drzewnej oferując szeroką gamę „klimatycznie czystych” produktów. Biomasa drzewna ze źródeł nieleśnych ma tu do odegrania zasadniczą rolę, jako istotne wsparcie drewna z lasów (**Gołaszewski, Szczukowski, Stolarski**). Plantacje mogą chronić lasy.

19. Dotychczasowy tryb i metody zwiększania lesistości na gruntach rolniczych (zalesienia) są nierozwojowe i nie stymulują gospodarki (**Gołaszewski, Szczukowski, Stolarski**). Należy wziąć pod uwagę agro-leśną produkcję biomasy, która może efektywniej wykorzystać potencjał terenów trudniejszych, przeznaczonych do zalesień (nieużytków, gruntów marginalnych, zdegradowanych, zalewowych) i stworzyć drugie, obok lasu, rzeczywiste źródło drewna i nowy przemysł biomasy drzewnej. Obawa przed dekoniunkturą na rynku drewna i rynku biopaliw nie może hamować rozwiązań przyszłościowych środowiskowo i społecznie. Potrzebna jest pewność inwestowania w biomasę drzewną (**Samborski**), która stanowi jedyną przyszłą rozsądną alternatywę paliw kopalnych w Polsce. „Zielone certyfikaty” nie sprawdziły się – nastąpił spadek cen i wielu producentów biomasy drzewnej zbankrutowało. Potrzebne jest wsparcie finansowe produkcji plantacyjnej (kredyty, ulgi). W chwili obecnej chodzi nie tyle o wielkoskalową energetykę, ale o dywersyfikację lokalnych źródeł energii. Dlatego już teraz potrzebna jest stabilna i konsekwentna polityka rozwojowa państwa i jasna polityka energetyczno-klimatyczna. Bo przecież nie chodzi tu wyłącznie o doraźne spełnianie wymogów unijnych i rozliczanie się z przyjętych zobowiązań, chociaż to jest potrzebne już dzisiaj, ale o stworzenie realnej, prośrodowiskowej perspektywy rozwojowej dla klimatu, gospodarki i dla przyrody na przyszłość.

Plantacje agro-leśne to biologiczna rehabilitacja gruntów, odtwarzanie gleb zdegradowanych, nieużytków, gleb skażonych (**Bartoszewicz-Burczy, Soliński**). To również produkcja tlenu, wstrzymywanie erozji wietrznej i wodnej, a społecznie to aktywizacja obszarów wiejskich i alternatywne źródła dochodu, jak również odciążenie Lasów Państwowych od obowiązku dostaw drewna i umożliwienie objęcia ochroną większych, przyrodniczo cennych obszarów.

20. Dotychczasowa promocja drewna nie przyniosła oczekiwanych rezultatów (**Strykowski**). W zasadzie nikt nie był promocją zainteresowany w pełni (Lasy Państwowe nie muszą troszczyć się o zwiększoną sprzedaż drewna, nie od przemysłu drzewnego zależy zwiększenie ilości drewna na rynku, a na popyt produktów z drewna przemysł nie narzeka, ochrona przyrody zaś pozostaje „nieczuła” na związek produkcji drewna z jakością środowiska i ochroną przyrody: w dalszym ciągu wyrąb lasu/wycinkę drzew traktuje się jako zamach na ojczystą przyrodę. Potrzebna jest nowa strategia promocji drewna: z nową polityką Lasów Państwowych w odniesieniu do produkcji drewna poza lasem, nowymi programami edu-

kacji leśnej społeczeństwa, w których produkt nie będzie oderwany od warsztatu produkcyjnego. Konieczne jest nowe rozumienie ochrony przyrody, w której istotną rolę odegra drewno, jako narzędzie ochrony klimatu, a zwiększona produkcja drewna będzie rozumiana jako szansa dla powiększania powierzchni przyrodniczo cennych obszarów chronionych.

REKOMENDACJA (24): Uściślenia wymagają zasady certyfikacji FSC i PEFC drewna energetycznego z plantacji leśnych (zasady FSC nie przewidują drewna z upraw agro-leśnych; certyfikaty są wymagane na drewno przeznaczone na papierówkę). Nowych regulacji wymaga także zalesianie oraz zakładanie plantacji na terenach Natura 2000.

21. Las jest najtańszym sposobem redukcji CO₂ w atmosferze, sposobem, który może odciążyć inne wysokoemisyjne sektory gospodarki. Jest szansą dla działań łagodzących skutki zmian klimatycznych. Dlatego wielkość pochłaniania z sektora „Użytkowanie gruntów, zmiany użytkowania gruntów i leśnictwo” (LULUCF) oraz sposób jego rozliczania w ramach zobowiązań międzynarodowych, powinny być trwałym elementem polityki leśnej państwa (Kowalczewski, Żaczek). Pełne wdrożenie metodyki szacowania emisji i pochłaniania CO₂ z sektora LULUCF zależy od krytycznej analizy współczynników i parametrów przeliczeniowych właściwych dla polskich warunków przyrodniczych, które są udostępnione przez IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

Trudne do przyjęcia, choć obowiązujące, jest założenie, że drewno pozyskane z lasu, niezależnie od metody zagospodarowania, jest czystą emisją węgla do atmosfery. W ten sposób przekreślono cały wysiłek Procesu Ochrony Lasów w Europie (MCPFE; Forest Europe) i tworzenia kryteriów i wskaźników trwałego rozwoju (Sustainable Forest Management – SFM).

Włączenie drewna do bilansu energetycznego kraju nie oznacza jedynie generowania zwiększonej ilości energii z drewna jako biomasy (jak to ma miejsce w przypadku zwiększania produkcji energii z innych źródeł odnawialnych (np. roślin energetycznych, słomy). Poprzez zwiększoną produkcję drewna w lasach i poza lasami istnieje możliwość objęcia ochroną nowych, cennych przyrodniczo obszarów leśnych. Drzewa, jako bezpośredni producenci drewna, uczestniczą, niejako „po drodze”, w tworzeniu wielu dóbr i usług wynikających z biochemicznych, fizjologicznych i ekologicznych procesów, niezbędnych lub towarzyszących biologicznej produkcji drewna (produkcja tlenu, redukcja CO₂, zatrzymywanie zanieczyszczeń, oczyszczanie i ochrona wody, ochrona gleby, ochrona przed powodziami, wiatrami, tworzenie miejsc i warunków życia tysięcy gatunków roślin i zwierząt, poprawa estetyki krajobrazu, tworzenie miejsc wypoczynku i aktywnej rekreacji, poprawa zdrowia somatycznego i psychicznego itd.). Zwiększona produkcja drewna oznacza wzmożony udział gospodarki leśnej w wielu procesach rozwojowych, cywilizacyjnych, przyrodniczych i społecznych kraju.

REKOMENDACJA (25): Uwzględniając potrzeby ochrony klimatu, w interesie wszystkich zarządców i właścicieli lasów, jako producentów drewna, oraz

wszystkich użytkowników drewna i przetwarzających ten surowiec, konieczne jest włączenie się w proces tworzenia, w ramach Narodowego Programu Leśnego, uzasadnionej ekonomicznie, bezpiecznej środowiskowo i społecznie pożądananej „koalicji zielonej ekonomii” (koalicji na rzecz biogospodarki), która powinna współtworzyć polityki sektorowe, angażując następujące podmioty:

- Ministerstwo Gospodarki,
- Ministerstwo Środowiska,
- Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi,
- Ministerstwo Skarbu,
- Ministerstwo Rozwoju Regionalnego,
- Ministerstwo Nauki,
- Lasy Państwowe,
- Urząd Regulacji Energetyki,
- Polska Izba Biomasy,
- Polskie Towarzystwo Biomasy,
- Towarzystwo Elektrowni i Elektrociepłowni,
- przedstawiciele nauki – w tym wydziałów leśnych i instytutów naukowych,
- firmy przetwarzające drewno,
- towarzystwa ekologiczne,
- niezależni eksperci.

Aneksy

Aneks 1

Sprawozdanie z organizacji i przebiegu panelu KLIMAT

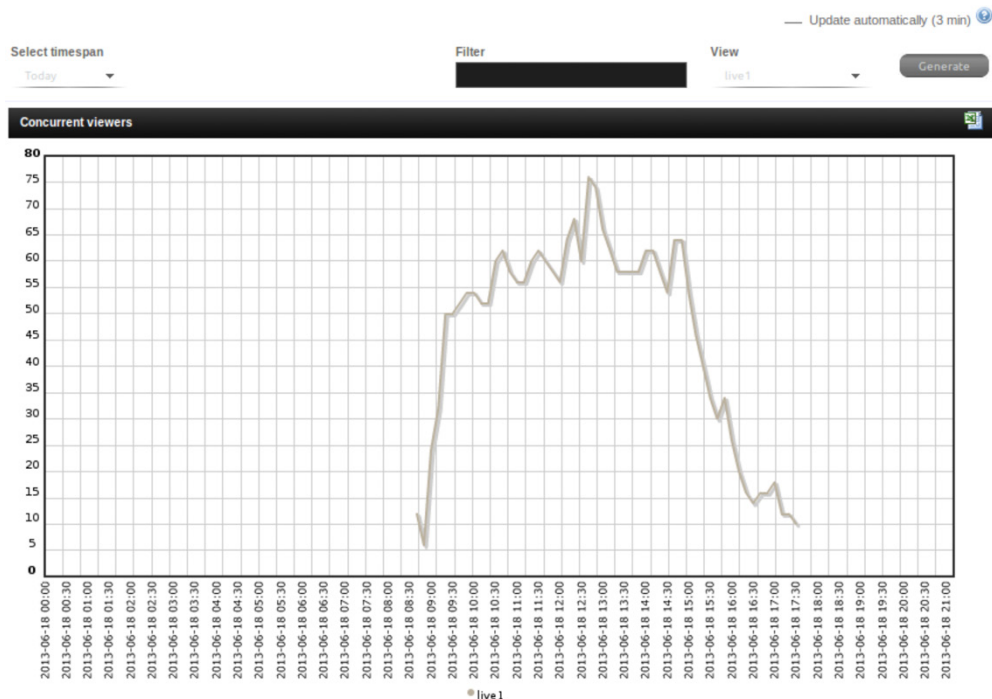
1. Zgodnie z przyjętym zakresem i harmonogramem prac nad Narodowym Programem Leśnym (zlecenie DGLP nr BLP-393) zorganizowano i przeprowadzono w dniu 18 czerwca 2013 pierwszy panel ekspertów KLIMAT, pt. „Lasy i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse”.

W ramach przygotowań merytorycznych, organizacyjnych i technicznych wykonano następujące prace:

- (1) Skompletowano listy interesariuszy (wraz z adresami, afiliacjami, adresami emailowymi lub innymi formami kontaktu);
- (2) Przygotowano i wysłano korespondencję w postaci 3212 listów z informacjami o Narodowym Programie Leśnym i o potrzebie oraz możliwościach współpracy w jego tworzeniu, do grup interesariuszy, w tym do:
 - administracji państwowej i samorządowej wszystkich szczebli – 2594 listów;
 - administracji Lasów Państwowych wszystkich szczebli – 441;
 - instytucji i organizacji ochrony przyrody – 62;
 - właścicieli i organizacji lasów prywatnych – 10;
 - urzędów odpowiedzialnych za lasy komunalne – 12;
 - instytucji naukowych – 15;
 - organizacji, firm i stowarzyszeń przemysłu drzewnego – 10;
 - prasy leśnej, ochrony środowiska i przyrody – 21;
 - organizacji pozarządowych – 16;
 - zakładów usług leśnych (ZUL) – 16;
 - indywidualnych wybitnych postaci leśnictwa, drzewnictwa, nauk leśnych i ochrony przyrody – 15;
- (3) Przygotowano indywidualne zaproszenia skierowane do 141 uznanych autorytetów/ekspertów oraz instytucji i organizacji z zakresu gospodarki leśnej, przemysłu drzewnego i ochrony przyrody, którzy będą zapraszani, jako stali uczestnicy wszystkich paneli ekspertów w ramach prac nad Narodowym Programem Leśnym (Aneks 2);
- (4) Ustalono tematykę, zakres oraz wspólną strukturę 19 eksperckich opracowań programowych panelu KLIMAT;

- (5) Przygotowano i uruchomiono stronę internetową www.npl.ibles.pl, jako szeroką formę społecznych konsultacji (również dla kolejnych paneli ekspertów). Na stronie tej znajdują się wszystkie materiały i informacje o całym realizowanym projekcie oraz program panelu KLIMAT, pełne teksty opracowań oraz prezentacje. Na stronie znajdują się również zarejestrowane transmisje on line czterech sesji panelu oraz sprawozdanie z dyskusji i rekomendacje do Narodowego Programu Leśnego.
2. W panelu KLIMAT, w dniu 18 czerwca 2013, wzięło udział 121 uczestników (Aneks 3) z 41 instytucji, w tym z: 4 ministerstw, 2 Urzędów Wojewódzkich, 15 ośrodków naukowych, 7 jednostek i instytucji Lasów Państwowych, 2 instytucji ochrony środowiska, Stowarzyszenia Obrony Lasów Państwowych, oraz przedstawiciele prywatnych właścicieli lasów i prywatnego przemysłu drzewnego, przedstawiciele samorządów i inni.

Z otrzymanych 38 odpowiedzi z urzędów państwowych, samorządowych i instytucji oraz z licznych rozmów telefonicznych wynika, że inicjatywa podjęcia prac nad Narodowym Programem Leśnym wzbudziła zainteresowanie, a adresaci deklarowali gotowość współpracy (listy w sprawie poparcia inicjatywy oraz deklaracje współpracy znajdują się na stronie www.npl.ibles.pl).



Ryc. 1. Oglądalność transmisji on line obrad panelu KLIMAT

Statystyki wskazują, że transmisję on line obrad panelu KLIMAT śledziło od 50 do 75 internautów (ryc. 1), a liczba wejść na stronę NPL w czasie obrad panelu wyniosła 432 razy (przy średniej dziennej ok. kilkunastu wejść) (ryc. 2).

tytuł wydarzenia	data	liczba wejść	typ wydarzenia
Instytut Badawczy Leśnictwa Sesja2, 18 czerwca 2013	2013-06-14	12	OnDemand
Instytut Badawczy Leśnictwa Sesja 3, 18 czerwca 2013	2013-06-14	9	OnDemand
Instytut Badawczy Leśnictwa Live, 18 czerwca 2013	2013-06-14	432	PostLive
Instytut Badawczy Leśnictwa Sesja1, 18 czerwca 2013	2013-06-14	33	OnDemand

Ryc. 2. Statystyka wejść na stronę www.npl.ibles.pl w dniu 18 czerwca 2013 w trakcie obrad panelu KLIMAT

3. Na podstawie opracowań eksperckich, prezentacji, dyskusji w trakcie panelu oraz w wyniku konsultacji z Autorami opracowań przygotowano „Podsumowanie i rekomendacje do Narodowego Programu Leśnego”.

Niniejszy „Raport z organizacji i przebiegu panelu KLIMAT w ramach prac nad Narodowym Programem Leśnym” wraz z aneksami 1–4 stanowi przedmiot dalszych konsultacji na stronie www.npl.ibles.pl.

Koordynator:

Prof. dr hab. Kazimierz Rykowski

Aneks 2

Stala lista instytucji i osób zapraszanych do uczestnictwa w panelach ekspertów w ramach prac nad Narodowym Programem Leśnym

MINISTERSTWO ŚRODOWISKA

Janusz ZALESKI, Podsekretarz Stanu – Główny Konserwator Przyrody

Nina DOBRZYŃSKA, Dyrektor Departamentu Leśnictwa i Ochrony Przyrody

LASY PAŃSTWOWE

Adam WASIAK, Dyrektor Generalny Lasów Państwowych

Marcin POLAK, Zastępca dyrektora generalnego ds. ekonomicznych

Jan SZRAMKA, Zastępca dyrektora generalnego ds. gospodarki leśnej

Tomasz WÓJCIK, Kierownik Zespołu Doradców Dyrektora Generalnego

Zofia CHREMPIŃSKA, Doradca dyrektora

Jerzy KAPRAL, Naczelnik Wydziału Organizacji i Badań Naukowych

RDLP

– Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Białymstoku

Ryszard ZIEMBLICKI, dyrektor

– Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Gdańsku

Zbigniew KACZMARCZYK, dyrektor

– Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Katowicach

Kazimierz SZABLA

– Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Krakowie

Stanisław SENNIK, dyrektor

– Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Krośnie

Edward BALWIERCZAK, dyrektor

– Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Lublinie

Jan KRACZEK, dyrektor

– Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Łodzi

Edward JANUSZ, dyrektor

– Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Olsztynie

Jan KARETKO, dyrektor

– Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Pile

Ryszard STANDIO, dyrektor

- Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Poznaniu
Piotr GRYGIER Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Pile
- Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Radomiu
Tomasz SOT, dyrektor
- Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Szczecinie
Witold KOSS, dyrektor
- Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Szczecinku
Sławomir CICHON, dyrektor
- Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Toruniu
Janusz KACZMAREK, dyrektor
- Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Warszawie
Konrad GRZYBOWSKI, dyrektor
- Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych we Wrocławiu
Grzegorz PIETRUKO, dyrektor
- Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Zielonej Górze
Leszek BANACH, dyrektor
- Centrum Informacyjne Lasów Państwowych
Sławomir TRZASKOWSKI, dyrektor
- Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu
Tomasz MODLIŃSKI, dyrektor
- Ośrodek Kultury Leśnej w Gołuchowie
Benedykt ROŻMIAREK, dyrektor
- Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej
Janusz DAWIDZIUK, dyrektor
- Towarzystwo Przyjaciół Lasu
prof. dr hab. **Tomasz BORECKI**, prezes
- Zarząd Główny Polskiego Towarzystwa Leśnego
prof. dr hab. inż. **Andrzej GRZYWACZ**, prezes PTL
- Zarząd Główny SITLID
prof. dr hab. **Piotr PASCHALIS-JAKUBOWICZ**, przewodniczący

INSTYTUCJE NAUKOWE

- Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
prof. dr hab. **Henryk ŻYBURA**, dziekan Wydziału Leśnego
- Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
prof. dr hab. **Roman GORNOWICZ**, dziekan Wydziału Leśnego
- Uniwersytet Rolniczy w Krakowie im. Hugona Kołłątaja
prof. dr hab. inż. **Stanisław ORZEŁ**, dziekan Wydziału Leśnego
- Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
dr hab. **Jakub BORKOWSKI**, prof. UWM, Katedra Leśnictwa i Ekologii Lasu
- Instytut Badawczy Leśnictwa
prof. dr hab. **Tomasz ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI**, dyrektor
- Instytut Technologii drewna w Poznaniu
dr **Władysław STRYKOWSKI**, dyrektor

- prof. dr hab. **Ewa RATAJCZAK**, wicedyrektor
– Instytut Ochrony Przyrody Polskiej Akademii Nauk
prof. dr hab. **Henryk OKARMA**, dyrektor
– Instytut Biologii Ssaków Polskiej Akademii Nauk
dr hab. **Krzysztof SCHMIDT**, dyrektor
– Białowieska Stacja Geobotaniczna
dr inż. **Bogdan JAROSZEWICZ**, kierownik
– Instytut Dendrologii PAN Kórnik
prof. dr hab. **Jacek OLEKSYN**, dyrektor
– Uniwersytet Rolniczy w Krakowie im. Hugona Kołłątaja
Leśny Zakład Doświadczalny
– Leśny Zakład Doświadczalny SGGW
Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowiei
– Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Leśny Zakład Doświadczalny Siemianice
– Wyższa Szkoła Zarządzania Środowiskiem w Tucholi
dr **Krzysztof KANNENBERG**
– Instytut Ochrony Środowiska
prof. dr hab. inż. **Barbara GWOREK**

OCHRONA ŚRODOWISKA

- Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska
Michał KIELSZNIA, Generalny Dyrektor Ochrony Środowiska
– Centrum Koordynacji Projektów Środowiskowych
Piotr ADAMSKI, dyrektor
– Państwowa Rada Ochrony Przyrody
prof. dr hab. **Andrzej BERESZYŃSKI**, przewodniczący

OCHRONA PRZYRODY – ORGANIZACJE POZARZĄDOWE

- Stowarzyszenie Pracownia na rzecz Wszystkich Istot
dr **Janusz KORBEL**
– GREENPEACE Polska
Maciej MUSKAT, dyrektor
– Fundacja WWF Polska
Magdalena DUL-KOMOSIŃSKA, dyrektor naczelny Zarządu:
– Biuro Klubu Przyrodników:
Paweł PAWLACZYK
– Liga Ochrony Przyrody – Zarząd Główny
Ryszard KAPUŚCIŃSKI, prezes:
– Polski Klub Ekologiczny
prof. **Adam GUŁA**, prezes

PARKI NARODOWE

- Babiogórski Park Narodowy
Józef OMYLAK, dyrektor
- Białowieski Park Narodowy
dr **Mirosław STEPANIUK**, dyrektor
- Biebrzański Park Narodowy
mgr **Roman SKĄPSKI**, dyrektor
- Bieszczadzki Park Narodowy
inż. **Leopold BEKIER**, dyrektor
- drawieński Park Narodowy
dr inż. **Paweł BILSKI**, dyrektor
- Gorczański Park Narodowy
mgr inż. **Janusz TOMASIEWICZ**, dyrektor
- Kampinoski Park Narodowy
mgr inż. **Jerzy MISIAK**, dyrektor
- Karkonoski Park Narodowy
dr **Andrzej RAJ**, dyrektor
- Magurski Park Narodowy
mgr inż. **Andrzej CZADERNA**, dyrektor
- Narwiański Park Narodowy
mgr inż. **Ryszard MODZELEWSKI**, dyrektor
- Park Narodowy „Bory Tucholskie”
Janusz **KOCHANOWSKI** dyrektor
- Park Narodowy „Góry Stołowe”
mgr inż. **Janusz KORYBO**, dyrektor
- Park Narodowy „Ujście Warty”
mgr **Konrad WYPYCHOWSKI**, dyrektor
- Pieniński Park Narodowy
mgr inż. **Michał SOKOŁOWSKI**, dyrektor
- Poleski Park Narodowy
mgr inż. **Jarosław SZYMAŃSKI**, dyrektor
- Rostoczański Park Narodowy
mgr inż. **Zdzisław STRUPIENIUK**, dyrektor
- Słowiński Park Narodowy
Katarzyna WOŹNIAK, dyrektor
- Świętokrzyski Park Narodowy
mgr inż. **Wojciech ŚWIĄTKOWSKI**, dyrektor
- Tatrzański Park Narodowy
dr inż. **Paweł SKAWIŃSKI**, dyrektor
- Wielkopolski Park Narodowy
Adam KACZMAREK, dyrektor
- Wigierski Park Narodowy
dr inż. **Jacek ŁOZIŃSKI**, dyrektor

- Woliński Park Narodowy
dr inż. **Ireneusz LEWICKI**, dyrektor
- Ojcowski Park Narodowy
Rudolf SUCHANEK, dyrektor

PARKI KRAJOBRAZOWE

- Zespół Parków Krajobrazowych Województwa Śląskiego w Będzinie
Marek BRODA, dyrektor
- Zespół Parków Krajobrazowych Chełmińskiego i Nadwiślańskiego, Świecie
- Mazowiecki Zespół Parków Krajobrazowych
Sylwester CHOŁAST, dyrektor
- Zespół Karpackich Parków Krajobrazowych w Krośnie
- Dyrekcja Zespołu Parków Krajobrazowych Województwa Małopolskiego
Jerzy ZAWARTKA, dyrektor
- Zespół Parków Krajobrazowych W Przemysłu
Tadeusz KROKER, dyrektor
- Dyrekcja Zespołu Parków Krajobrazowych Województwa Lubuskiego, Gorzów Wielkopolski
- Zespół Lubelskich Parków Krajobrazowych w Lublinie
- Zespół Parków Krajobrazowych Polesia
- Pomorski Zespół Parków Krajobrazowych
Bożena SIKORA, dyrektor
- Zespół Parków Krajobrazowych Województwa Wielkopolskiego
mgr inż. **Janusz ŁAKOMIEC**, dyrektor
- Zespół Nadpilicznych Parków Krajobrazowych w Moszczenicy
Piotr WYPYCH, dyrektor
- Zespół Parków Krajobrazowych Wyżyny Lubelskiej z siedzibą w Lublinie
- Zespół Świętokrzyskich i Nadnidziańskich Parków Krajobrazowych
Tomasz HAŁATKIEWICZ, dyrektor
- Zespół Opolskich Parków Krajobrazowych
Ireneusz HEBDA, dyrektor
- Zespół Parków Krajobrazowych Pogórza w Tarnowie
- Zespół Parków Krajobrazowych Pojezierza Iławskiego i Wzgórz Dylewskich

LASY PRYWATNE

- Polski Związek Zrzeszeń Leśnych
Władysław PĘDZIWIATR, prezes
- Stowarzyszenie Przedsiębiorców Leśnych Zarząd Główny
Jan KUBIAK, prezes
- PEFC Polska
dr Krzysztof **JODŁOWSKI** IBL
- FSC Polska Związek Stowarzyszeń na rzecz Odpowiedzialnego Leśnictwa
Romuald **ROMAN**, prezes

EKSPERCI INDYWIDUALNI

Dariusz BĄK, poseł na Sejm RP

Edwin BENDYK, redakcja tygodnika „Polityka”

prof. dr hab. **Eugeniusz BERNADZKI**, Wydział Leśny SGGW

Lech BLOCH, przewodniczący Zarządu Głównego Polskiego Związku Łowieckiego

prof. dr hab. **Tomasz BORECKI**, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Leśny

Grzegorz BOŻEK, redaktor naczelny czasopisma „Dziki Życie”

prof. dr hab. **Arkadiusz BRUCHWALD**, Instytut Badawczy Leśnictwa

Janusz DAWIDZIUK, dyrektor Biura Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej

Jerzy FIJAS, zastępca dyrektora ds. gospodarki leśnej RDLP Gdańsk

Izabela FLOR, Ogólnopolskie Towarzystwo Ochrony Ptaków

Stanisław Andrzej GORCZYCA, senator RP, Parlamentarny Zespół ds. Leśnictwa, Ochrony Środowiska i Tradycji Łowieckich

prof. dr hab. inż. **Andrzej GRZYWACZ**, Wydział Leśny SGGW; członek PAN, prezes PTL Polskiego Towarzystwa Leśnego

Michał JARCZYŃSKI, prezes Stowarzyszenia Papierników Polskich

dr **Andrzej KASSENBERG**, Instytut na Rzecz Ekorozwoju

prof. dr hab. **Andrzej KLOCEK**, Instytut Badawczy Leśnictwa

prof. dr hab. **Alojzy KOWALKOWSKI**, Instytut Badawczy Leśnictwa

prof. dr hab. **Zbigniew LAUROW**, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Leśny

prof. dr hab. inż. **Maciej MACIEJEWSKI**, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Krakowie

Grzegorz MAJCHRZAK, AB-WOOD Słupsk

Andrzej NOWAKOWSKI, Zarząd Główny SITLID

prof. **Maciej NOWICKI**, Minister Środowiska, Centrum Strategii Energetycznych w Instytucie Badań nad Gospodarką Rynkową

prof. dr hab. **Romuald OLACZEK**, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Łódzki

Henryk PARGIEŁA, przewodniczący Ruchu Obrony Lasów Polski

prof. dr hab. **Piotr PASCHALIS-JAKUBOWICZ**, Wydział Leśny SGGW; Zarząd Główny SITLID

prof. dr hab. **Edward PIERZGALSKI**, Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Ekologii Lasu

dr **Jerzy SMYKAŁA**, Instytut Badawczy leśnictwa

prof. dr hab. **Aleksander SOKOŁOWSKI**, Instytut Badawczy Leśnictwa

Witold SUMISŁAWSKI, prezes Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej Warszawa

prof. dr hab. **Ewa Luiza SYMONIDES**, Instytut Botaniki Uniwersytetu Warszawskiego

prof. dr hab. **Andrzej SZUJECKI**, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Leśny

prof. dr hab. **Jan SZYSZKO**, minister ochrony środowiska, Pracownia Oceny i Wyceny Zasobów Przyrodniczych, Wydział Ogrodnictwa, Biotechnologii i Architektury Krajobrazu SGGW, Stowarzyszenie na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju Polski

dr inż. **Konrad TOMASZEWSKI**, Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu

Jacek TWARÓG, prezes Ogólnopolskiej Izby Gospodarczej Producentów Mebli

Adam WAJRAK, „Gazeta Wyborcza”

Sławomir WROCHNA, prezydent Polskiej Izby Gospodarczej Przemysłu drzewnego

ks. prof. dr hab. **Stanisław ZIĘBA**, KUL, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy

Stanisław ŻELICHOWSKI, poseł na sejm RP, Klub Parlamentarny Polskiego Stronnictwa Ludowego, minister ochrony środowiska

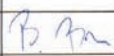
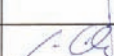
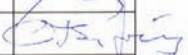
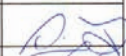
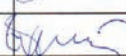
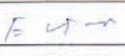
prof. dr hab. **Tomasz ŻYLICZ**, Uniwersytet Warszawski, Warszawski Ośrodek Ekonomii Ekologicznej

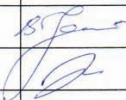
Aneks 3

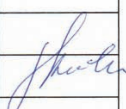
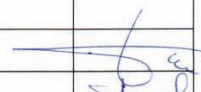
Lista uczestników

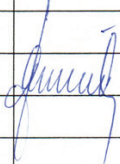
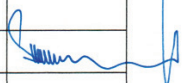
LISTA UCZESTNIKÓW NA PANELU EKSPERTÓW: KLIMAT		
Lasy i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse		
Sękocin Stary, 18 czerwca 2013 r.		
Lp.	Nazwisko i imię	Instytucja
1	Ballaun Andrzej	DGLP
2	Bartoszewicz-Burczy Hanna	Instytut Energetyki
3	Borecki Tomasz	SGGW
4	Brzeziecki Bogdan	SGGW
5	Cichy Wojciech	Instytut Technologii Drewna
6	Gajewski Ryszard	Polska Izba Biomasy
7	Gołaszewski Janusz	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
8	Hilszczański Jacek	Instytut Badawczy Leśnictwa
9	Kowalczewski Tomasz	Ministerstwo Środowiska
10	Kundzewicz Zbigniew	IOŚ RiL PAN
11	Liszewska Małgorzata	ICMMiK Politechnika Warszawska
12	Noskowiak Andrzej	Instytut Technologii Drewna
13	Nowakowska Justyna	Instytut Badawczy Leśnictwa
14	Samborski Andrzej	Internationale Paper Kwidzyn
15	Sierota Zbigniew	Instytut Badawczy Leśnictwa
16	Soliński Jan	Instytut Energetyki
17	Stolarski Mariusz	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
18	Stępień Edward	SGGW
19	Strykowski Władysław	Instytut Technologii Drewna
20	Szczukowski Stefan	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
21	Szwagrzyk Jerzy	Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
22	Walczykiewicz Tomasz	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
23	Wójcik Józef	Instytut Badawczy Leśnictwa
24	Żaczek Marcin	Ministerstwo Środowiska

25	Walczykiewicz Tomasz	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej	
26	Węgiel Andrzej	Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu	
27	Wójcik Józef	IBL	
28	Żaczek Tomasz		
29	<i>Tomasz Czopek</i>	<i>IBL</i>	<i>d</i>
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			

LISTA UCZESTNIKÓW NA PANELU EKSPERTÓW: KLIMAT			
Lasy i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse			
Sękocin Stary, 18 czerwca 2013 r.			
Lp.	Nazwisko i imię	Instytucja	Podpis
1	Bartoszewicz-Burczy Hanna	Instytut Energetyki	
2	Brzeziecki Bogdan	SGGW	
3	Cichy Wojciech	Instytut Technologii Drewna	
4	Chojnicki Bogdan	Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu	
5	Gajewski Ryszard	Polska Izba Biomasy	
6	Gołaszewski Janusz	Uniwersytet Warmińsko-Mazuski w Olsztynie	
7	Hilszczański Jacek	IBL	v
8	Jagodziński Andrzej	Instytut Dendrologii PAN	
9	Kowalczewski Tomasz	IOŚ RiL PAN	
10	Kundzewicz Zbigniew	IOŚ RiL PAN	
11	Liszewska Małgorzata	ICMM UW	v
12	Noskowiak Andrzej	Zakład Badania i Zastosowania Drewna 	
13	Nowakowska Justyna	IBL	
14	Olejniak Janusz	Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu	
15	Rykowski Kazimierz	IBL	v
16	Sadowski Maciej	Instytut Ochrony Środowiska-PIB	
17	Samborski Andrzej	International Paper Kwidzyn	
18	Sierota Zbigniew	IBL	
19	Soliński Jan	Instytut Energetyki	
20	Stępień Edward	SGGW 	
21	Stolarski Mariusz	Uniwersytet Warmińsko-Mazuski w Olsztynie	v
22	Strzebiński Paweł	Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu	
23	Szczukowski Stefan	Uniwersytet Warmińsko-Mazuski w Olsztynie	v
24	Szwagrzyk Jerzy	Uniwersytet Rolniczy w Krakowie	

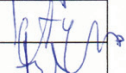
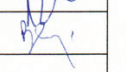
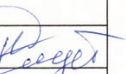
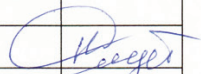
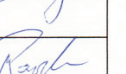
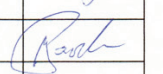
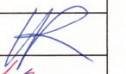
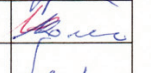
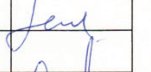
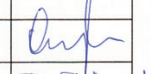
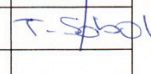
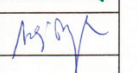
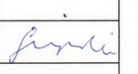
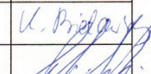
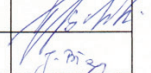
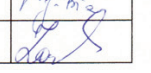
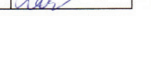
25	Gałecki Iwo	LZD Siemianice	
26	Gornowicz Roman	Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu	
27	Grygier Piotr	RDLP w Poznaniu	
28	Grzybowski Konrad	RDLPw Warszawie	
29	Grzywacz Andrzej	Polskie Towarzystwo Leśne	
30	Hałatkiewicz Tomasz	Zespół Świętokrzyskich i Nadnidziańskich PK	
31	Hebda Ireneusz	Zespół Opolskich Parków Krajobrazowych	
32	Jakubiak Jan	Stowarzyszenie Przedsiębiorców Leśnych	
33	Janusz Edward	RDLP w Łodzi	
34	Jarczyński Michał	Stowarzyszenie Papierników Polskich	
35	Jaroszewicz Bogdan	Białowieska Stacja Geobotaniczna	
36	Jodłowski Krzysztof	PEFC Polska	
37	Kaczmarczyk Zbigniew	RDLP w Gdańsku	
38	Kaczmarek Adam	Wielkopolski PN	
39	Kaczmarek Janusz	RDLP w Toruniu	
40	Kannenberga Krzysztof	WSZŚ w Tucholi	
41	Kapral Jerzy	DGLP	
42	Jodłowski Krzysztof	PEFC Polska	
43	Kaczmarczyk Zbigniew	RDLP w Gdańsku	
44	Kaczmarek Janusz	RDLP w Toruniu	
45	Kapuściński Ryszard	Liga Ochrony Przyrody	
46	Karetka Jan	RDLP w Olsztynie	
47	Kassenberg Andrzej	Instytut na Rzecz Wspierania Ekorozwoju	
48	Kiełsznia Michał	GDOŚ	
49	Kłoczek Andrzej	IBL	
50	Kochanowski Janusz	PN Bory Tucholskie	
51	Korbel Janusz	Pracownia na rzecz Wszystkich Istot	
52	Korybo Janusz	PN Gór Stołowych	

53	Koss Witold	RDLP w Szczecinie	
54	Kowalkowski Alojzy	IBL	
55	Kraczek Jan	RDLP w Lublinie	
56	Kroker Tadeusz	Zespół Parków Krajobrazowych w Przemysłu	
57	Kubiak Jan	Stowarzyszenie Przedsiębiorców Leśnych	
58	Kowalkowski Alojzy	IBL	
59	Laurow Zbigniew	SGGW	
60	Lewicki Ireneusz	Woliński PN	
61	Liszewska Małgorzata	ICMM UM	
62	Łakomiec Janusz	Zespół Parków Krajobrazowych Woj. Wielkopolskiego	
63	Łoziński Jacek	Wigierski PN	
64	Maciejewski Maciej	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej	
65	Majchrzak Grzegorz	AB-WOOD Słupsk	
66	Misiak Jerzy	Kampinowski PN	
67	Modliński Tomasz	ORWLP w Bedoniu	
68	Modzelewski Ryszard	Narwiański PN	
69	Muskat Maciej	Greenpace Polska	
70	Nowakowski Andrzej	SITLiD	
71	Nowicki Maciej	Centrum Strategii Energetycznych	
72	Okarma Henryk	Instytut Ochrony Przyrody	
73	Omylak Józef	Babiogórski PN	
74	Olaczek Romuald	Uniwersytet Łódzki	
75	Orzeł Stanisław	Uniwersytet Rolniczy w Krakowie	
76	Pargieła Henryk	Ruch Obrony Lasów Polski	
77	Paschalis-Jakubowicz Piotr	SITLiD	
78	Pawlaczyk Paweł	Klub Przyrodników	
79	Pędziwiatr Władysław	PZZL	
80	Pierzgański Edward	IBL	

81	Pietruńko Grzegorz	RDLP Wrocław	
82	Polak Marcin	DGLP	
83	Raj Andrzej	Karkonoski PN	
84	Ratajczak Ewa	Instytut Technologii Drewna	
85	Roźniarek Benedykt	Ośrodek Kultury Leśnej w Gołuchowie	
86	Roman Romuald	Związek Stowarzyszeń Grupa Robocza FSC Polska	
87	Schmidt Krzysztof	Instytut Biologii Ssaków PAN	
88	Sennik Stanisław	RDLP w Krakowie	
89	Sikora Bożena	Pomorski Zesół Parków Krajobrazowych	
90	Skawiński Paweł	Tatrzański PN	
91	Skąpski Roman	Biebrzański PN	
92	Smykała Jerzy	IBL	
93	Sokołowski Aleksander	IBL	
94	Sokołowski Michał	Pieniński PN	
95	Sot Tomasz	RDLP w Radomiu	
96	Standio Ryszard	RDLP w Pile	
97	Staniszewska Maria	Polski Klub Ekologiczny	
98	Stepaniuk Mirosław	Białowiecki PN	
99	Strpieniuk Zdzisław	Roztoczański PN	
100	Strykowski Władysław	Instytut Technologii Drewna	
101	Suchanek Rudolf	Ojcowski PN	
102	Sumiński Witold	Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej	
103	Symonides Ewa Luiza	Instytut Botaniki UW	
104	Szabla Kazimierz	RDLP w Katowicach	
105	Szramka Jan	DGLP	
106	Szujecki Andrzej	SGGW	
107	Szymański Jarosław	Poleski PN	
108	Szysko Jan	Pracownia Oceny i Wyceny Zasobów Przyrodniczych	

LISTA UCZESTNIKÓW STAŁYCH NA PANELU EKSPERTÓW: KLIMAT			
Lasy i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse			
Sękocin Stary, 18 czerwca 2013 r.			
Lp.	Nazwisko i imię	Instytucja	Podpis
1	Adamski Piotr	CKPŚ	
2	Ballaun Andrzej	DGLP	
3	Balwierczak Edward	RDLP w Krośnie	
4	Banach Leszek	RDLP w Zielonej Górze	
5	Bekier Leopold	Bieszczadzki PN	
6	Bereszyński Andrzej	Państwowa Rada Ochrony Przyrody	
7	Bernadski Eugeniusz	SGGW	
8	Biały Tomasz	Zespół Karpackich Parków Krajobrazowych	
9	Bilski Paweł	Drawieński PN	
10	Bloch Lech	Polski Związek Łowiecki	
11	Bogacz Józef	LZD Krynica Zdrój	
12	Borecki Tomasz	SGGW	
13	Borkowski Jakub	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie	
14	Broda Marek	Zespół Parków Krajobrazowych Woj. Śląskiego	
15	Bruchwald Arkadiusz	IBL	
16	Chołast Sylwester	Zespół Parków Krajobrazowych Woj. Mazowieckiego	
17	Chrempińska Zofia	DGLP	
18	Cichoń Sławomir	RDLP w Szczecinku	
19	Czaderna Andrzej	Magurski PN	
20	Dawidziuk Janusz	BULiGL	
21	Dul-Komosińska Magdalena	WWF Polska	
22	Falkowski Janusz	LZD Rogów	
23	Fijas Jerzy	RDLP w Gdańsku	
24	Flor Izabela	Ogólnopolskie Towarzystwo Ochrony Ptaków	

LISTA UCZESTNIKÓW NA PANELU EKSPERTÓW: KLIMAT			
Lasy i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse			
Sękocin Stary, 18 czerwca 2013 r.			
Lp.	Nazwisko i imię	Instytucja	Podpis
1	Artych Paweł	RDLP Olsztyn	
2	Adamczyk Witold	MŚ	
3	Adamowicz Marek	OIPM	
4	Adamczyk Włodzimierz	MŚ	
5	Bartoszewicz-Burczy Hanna	IE	
6	Bobrek Rafał	Ptaki Karpat	
7	Boczoń Andrzej	IBL	
8	Chećko Ewa	Białowieska Stacja Geobotaniczna	
9	Chrempińska Zofia	GDLP	
10	Cichocki Jacek	RDLP Toruń	
11	Dulega Ryszard	Urząd Marszałkowski woj. łódzkiego	
12	Famielec Józefa	Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie	
13	Dynakowska Magdalena	IOŚ-PIB	
14	Gadomska Dorota	UMiG Konstancin	
15	Gątecki Iwo	LZD Siemianice	
16	Głowacz Michał	RDLP w Krakowie	
17	Gołaszewski Janusz	UWM w Olsztynie	
18	Górski-Kłodziński Mariusz	RDLP Olsztyn	
19	Jaroszewicz Bogdan	Białowieska Stacja Geobotaniczna	
20	Klimkowska Ewa	UMiG Konstancin	
21	Klisz Sebastian	RDLP Gdańsk	
22	Kornatowska Bożena	IOŚ-PIB	
23	Kowalkowski Alojzy	IBL	
24	Kundzewicz Zbigniew	IOŚ RiL PAN	
25	Łoziński Jacek	WPN	

26	Majchrzak Grzegorz	AB-WOOD Sławno	
27	Milewska-Golczak Agnieszka	UMiG Konstancin	
28	Michorczyk Artur	BIULiGL - Zarząd	
29	Neroj Bożydar	BIULiGL - Zarząd	
30	Olszowska Grażyna	IBL	
31	Pargieła Henryk	SROLP	
32	Paschalis-Jakubowicz Piotr	SITLiD	
33	Pawelec Marcin	RDLP Kraków	
34	Pierzgalski Edward	IBL	
35	Rdzanek Kazimierz	MRR	
36	Romańczak Anna	IOŚ-PIB	
37	Sadowski Maciej	IOŚ-PIB	
38	Samborski Andrzej	SPP	
39	Schleser Andrzej	RDLP Gdańsk	
40	Sobol Tomasz	RDLP Kraków	
41	Soliński Jan	IE	
42	Szabla Kazimierz	RDLP Katowice	
43	Szleser Andrzej	RDLP Gdańsk	
44	Talarczyk Andrzej	BIULiGL - Zarząd	
45	Urban Krzysztof	Uniwersytet Rolniczy w Krakowie	
46	Walczkiewicz Tomasz	IMiGW	
47	Wasiak Adam	DGLP	
48	Zajączkowski Stanisław	BULiGL	
49	Zięba Stanisław	KUL Lublin	
50	Zych Dariusz	Polska Biomasa	
51	Kataryna Bielawska	CIIP „Pedagogia „6Tos dani”	
52	Tomasz Grogalski	DGLP	
53	Tomasz Biernacki	DGLP	
54	Robert Zuchowicz	PPN	

55	Wojciech Wolcendorp	DGLP	WGP
56	Jarostaw Sodica	UR KRAKÓW	Alona
57	Grzegorz Dąbko	UR KRAKÓW	De
58	Szymon Paweł	UR KRAKÓW	
59	Anna Bura	Międzygospodarki	AW
60	Maciej Michał Pilecki	DGLP	MT
61	WALDEMAR SIENIOWSKI	UWM	E
62	Dariusz Pilecki	PZL	RP
63	Maciej Pilecki	DGLP	RP
64	Krzysztof Kozłowski	RDLP Kosmo	RP
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			

LISTA OBECNOŚCI

na panel ekspertów: „Klimat”¹ pt. „Lasy i drewno a zmiany klimatyczne: Zagrożenia i szanse”.
w dniu 18.06.2013 r.

Lp	Imię i nazwisko	Instytucja	Podpis
1	Zdzisław Tyburski	Kompiński Park Narodowy	Tyburski
2	Magdalena Lisiecka	ICM UW	[Podpis]
3	Maciej Głuchowski	RAP Opatów	[Podpis]
4	Grzegorz Góralowski	IBL	[Podpis]
5	Łukasz Rojczak	OKL Górnica	[Podpis]
6	Tadeusz Krokos	Zespół Państwowych Gospodartw Leśnych w Opatowie	[Podpis]
7	Tomasz Walecki	IMEG - PIB	[Podpis]
8	Stanisław Twardowski	CICP	[Podpis]
9	Janina Jagodzińska	University of Goettingen	[Podpis]
10	Zdzisław Kozłowski	DLP MS	[Podpis]
11	Deborah Mies	DLP MS	[Podpis]
12	Grzegorz Jankowski	IBL	[Podpis]
13	Janina Hübner	ZoL IDL	[Podpis]
14	Monika Polak	DGLP	[Podpis]
15	Grzegorz Wąsowski	IBL	[Podpis]
16	Zofia Chmura	DGLP	[Podpis]
17	Adam Wasiak	DGLP	[Podpis]
18	Monika Niemczyk	IBL	[Podpis]
19	Grzegorz Chmura	ZEL	[Podpis]
20	Grzegorz Chmura	ZEL IBL	[Podpis]
21	Tadeusz Walecki	ZEL IDL	[Podpis]

N 125 0006

Lp	Imię i nazwisko	Instytucja	Podpis
22	Pawo Leś	IBL	P. Leś
23	Krzysztof Karpuch	Grodzie MS	K. Karpuch
24	Anna Kordacka	Śledzi i ogd województwa	A. Kordacka
25	ROBERT KRAJCIUK	N-Go WIEBARK	R. Krajciuk
26	Marek Jabłonki	IBL	M. Jabłonki
27	Krzysztof Lepkiewicz	IBL	K. Lepkiewicz
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			

Aneks 4

Biogramy

**ANDRZEJ BALLAUN**

Wydział Marketingu i Handlu, Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych w Warszawie

Absolwent Technikum Chemicznego nr 3 w Warszawie. Studia na Wydziale Technologii Drewna Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego AR w Warszawie ukończył w 1980 roku.

W latach 1980–1985 – specjalista, p.o. dyrektora zakładu, ze specjalizacją w przemysłowym przetarciu drewna, produkcji domów drewnianych, mebli szkieletowych i tapicerowanych, w Mazowieckim Przedsiębiorstwie Przemysłu Drzewnego oraz Zakładzie Przemysłu Drzewnego w Łomiankach.

Od 1985 roku w Naczelnym Zarządzie Lasów Państwowych, następnie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych, w Wydziale Użytkowania Lasu i Transportu, Gospodarki Drewnem, Marketingu i Handlu. Od 1993, z przerwą w latach 1997–2001, kieruje Wydziałem Marketingu i Handlu DGLP, od czerwca 2013 roku Biurem Marketingu DGLP.

Autor i współautor polskich norm warunków technicznych na surowiec drzewny; kierował zespołem ds. opracowania i wdrożenia do praktyki leśnej systemu klasyfikacji jakościowo-wymiarowej surowca drzewnego, brakarz – pierwsza klasa instruktorska.

Autor licznych opracowań z zakresu rynku surowca drzewnego, systemów klasyfikacji i obrotu drewna, normalizacji i brakarstwa, systemów sprzedaży drewna.

**HANNA BARTOSZEWICZ-BURCZY**

Pracownia Ekonomiki Energetyki, Instytut Energetyki w Warszawie

Dr n. ekon. Hanna Bartoszewicz-Burczy, kierownik Pracowni Ekonomiki Energetyki, w Instytucie Energetyki, zajmuje się zagadnieniami ekonomiczno-finansowymi energetyki, odnawialnymi źródłami energii, a zwłaszcza zwiększeniem ich roli i zużycia w krajowym bilansie paliwowym, uwarunkowaniami ekonomicznymi ich wykorzystania oraz nowymi niskoemisyjnymi technologiami do produkcji energii elektrycznej i ciepłej w Polsce. Prowadzi badania dotyczące bezpieczeństwa systemu energetycznego i występujących zagrożeń.

Jest autorem i współautorem ponad 50 prac badawczych prowadzonych w Instytucie Energetyki i publikacji w czasopiśmie technicznych.

**TOMASZ BORECKI**

Wydział Leśny, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Problematyka badawcza: inwentaryzacja lasów, regulacja użytkowania rębego i przedrębego, polityka leśna.

Działalność dydaktyczna: na kierunku studiów „leśnictwo” – zarządzanie lasu i propedeutyka leśnictwa, a na kierunku studiów „biologia” – podstawy leśnictwa.

Inna działalność: dyrektor Instytutu Problemów Współczesnej Cywilizacji; Społeczny Doradca Prezydenta RP ds. Wsi, Rolnictwa, Ochrony Środowiska i Przyrody; prezes Towarzystwa Przyjaciół Lasu; członek kolegium Lasów Państwowych; przewodniczący Rady Naukowej Instytutu Badawczego Leśnictwa – przewodniczący; członek rad Biebrzańskiego Parku Narodowego i Leśnego Kompleksu Promocyjnego „Puszcza Białowieska”.

**BOGDAN BRZEZIECKI**

Wydział Leśny, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Prof. dr hab. Bogdan Brzezicki urodził się w 1957 r. w Chełmie. W latach 1976–1981 studiował na Wydziale Leśnym SGGW w Warszawie. W latach 1981–1984 był uczestnikiem Stacjonarnych Studiów Doktoranckich z Zakresu Gospodarki Leśnej. W 1984 roku rozpoczął pracę w Katedrze Hodowli Lasu SGGW w Warszawie, w której pracuje do dziś. W 1999 roku uzyskał stopień doktora habilitowanego, a w 2003 roku tytuł naukowy profesora nauk leśnych.

Dorobek naukowy prof. B. Brzezickiego obejmuje ponad 100 pozycji (artykułów naukowych i popularno-naukowych oraz książek i monografii), dotyczących różnych zagadnień z zakresu ekologii i hodowli lasu, ze szczególnym uwzględnieniem półnaturalnej hodowli lasu oraz struktury i dynamiki lasów naturalnych. Znaczna część tych prac została opublikowana w czasopiśmie i wydawnictwach zagranicznych.

Ważną część pracy prof. B. Brzezickiego stanowi działalność dydaktyczna. Obejmuje ona różnego rodzaju zajęcia, prowadzone w ramach wielu przedmiotów na różnych stopniach studiów (od inżynierskich po doktoranckie), w tym zajęcia w języku angielskim dla studentów z zagranicy. Prof. B. Brzezicki był opiekunem ponad 100 prac dyplomowych (inżynierskich i magisterskich) oraz promotorem 7 zakończonych przewodów doktorskich.

Działalność organizacyjna prof. B. Brzezickiego obejmuje m.in. członkostwo w Komitecie Leśnym PAN, w komitecie redakcyjnym „Sylwana”, w Radzie Naukowej Białowieskiego Parku Narodowego oraz w Radzie Naukowo-Społecznej Leśnego Kompleksu Promocyjnego „Lasy Puszczy Białowieskiej”, udział w pracach Korpusu Ekspertów Narodowego Centrum Nauki. Prof. B. Brzezicki od 2008 r. pełni funkcję kierownika Stacjonarnych Studiów Doktoranckich przy Wydziale Leśnym SGGW, a od początku 2013 r. funkcję kierownika Katedry Hodowli Lasu na Wydziale Leśnym SGGW.

**WOJCIECH CICHY**

Pracownia Bioenergii, Instytut Technologii Drewna w Poznaniu

Absolwent Wydziału Technologii Drewna Akademii Rolniczej w Poznaniu (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu), specjalność chemiczna technologia drewna.

Całe swoje życie zawodowe związał z Instytutem Technologii Drewna w Poznaniu. Aktualnie kieruje Pracownią Bioenergii oraz pełni funkcję zastępcy kierownika Zakładu Ochrony Środowiska i Chemii Drewna. W funkcjonującym w strukturach ITD laboratorium kieruje Sekcją Badania Biopaliw Stałych.

Jego zainteresowania zawodowe związane są od wielu lat z problemami zagospodarowania odpadów drzewnych i wykorzystaniem biomasy roślinnej do wytwarzania energii. Tej tematyce poświęcone były projekty badawcze realizowane w Instytucie Technologii Drewna, których był kierownikiem (5 projektów) i głównym wykonawcą (7 projektów).

Reprezentował Polskę w europejskiej inicjatywie COST Action E31 „Management of recovered wood”, a w aktualnie realizowanym projekcie Solid Standards (w ramach IEE) jest członkiem Komitetu Sterującego.

Przygotował kilkadziesiąt opracowań i ekspertyz na potrzeby podmiotów gospodarczych (przedsiębiorstw), organizacji gospodarczych (m.in. Polskiej Izba Biomasy) oraz instytucji rządowych (URE, Ministerstwa Gospodarki i in.) i samorządowych (różnych szczebli) dotyczących oceny odpadów drzewnych i ich odpowiedniej kwalifikacji.

Z racji posiadanej wiedzy i doświadczenia jest często zapraszany do udziału w seminariach, konferencjach naukowo-technicznych. Prowadzi szkolenia dotyczące stosowania norm europejskich w odniesieniu do oceny właściwości biopaliw stałych.

Jest członkiem Polskiego Towarzystwa Biomasy POLBIOM oraz Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Leśnictwa i Drzewnictwa. W latach 2002–2012 był przedstawicielem ZG SITLiD w Polskim Komitecie Naukowo-Technicznym FSN-T NOT ds. Gospodarki Energetycznej.

Od 2004 roku jest członkiem Komitetu Technicznego nr 144 Polskiego Komitetu Normalizacyjnego ds. Koksu i Przetworzonych Paliw Stałych, w którym zajmuje się pracami normalizacyjnymi w zakresie oceny paliw z biomasy i paliw z odpadów.

**RYSZARD GAJEWSKI**

Prezes Zarządu, Polska Izba Biomasy w Warszawie

Absolwent Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydziału Melioracji. Ekspert w dziedzinie odnawialnych źródeł energii. Prezes Zarządu Polskiej Izby Biomasy, skupiającej ponad 100 członków z sektora producentów biomasy, przetwórców biomasy na paliwo, wytwórców urządzeń do przetwarzania biomasy, podmiotów zajmujących się budową biogazowni rolniczych oraz podmiotów zaopatrujących w paliwa biomasowe energetykę oraz ciepłownię. Wiceprzewodniczący Polskiej Rady Koordynacyjnej OZE, skupiającej 21 podmiotów Izby Gospodarczej oraz Stowarzyszenia z sektora Odnawialnych Źródeł

Energii (energetyka wodna, wiatrowa, geotermalna, słoneczna i biomasy). Celem rady jest wypracowywanie wspólnego stanowiska OZE dla potrzeb resortów oraz różnych organizacji oraz reprezentowanie interesów branży. Doradca parlamentarnego zespołu ds. energetyki, członek Społecznej Rady ds. Narodowego Programu Redukcji Emisji CO₂ przy Wicepremierze i Ministrze Gospodarki. Praktyk z 9-letnim doświadczeniem upraw roślin energetycznych.

Autor wielu opracowań na temat potencjału biomasy na cele energetyczne, współautor opracowania budowy biogazowni rolniczych, które zostało zapisane w „Polityce energetycznej Polski do 2030 roku”.



JANUSZ GOŁASZEWSKI

Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Prof. dr hab. inż. Janusz Gołaszewski kieruje Centrum Badań Energii Odnawialnej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego (CBEO-UWM) w Olsztynie i jednocześnie pełni funkcję prezesa zarządu Bałtyckiego Klastra Ekoenergetycznego (BKEE) w Gdańsku. Misją obu tych struktur – CBEO i konsorcjum BKEE, jest

implementacja i promocja autonomicznych regionów energetycznych, które integrują procesy rozproszonej kogeneracji energii, tzn. równoczesnego wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej w małych i średnich instalacjach konwersji energii ze źródeł odnawialnych biomasy, wody, słońca, wiatru i geotermalnej. Ekologiczna modernizacja lokalnych ciepłowni przez partnerów BKEE w Polsce północno-wschodniej oraz program Green University uruchomiony w Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie są przykładami proekologicznych zmian w kierunku zrównoważonego lokalnego wytwarzania i konsumpcji energii – element gospodarki prosumenckiej.

Obecnie zainteresowania naukowe koncentrują się głównie nad efektywnością energetyczną oraz procesami biokonwersji biomasy na biopaliwa i energię. W zakresie tej tematyki koordynuje prace badawczo-rozwojowe w ramach różnych projektów, w tym interdyscyplinarne badania nad innowacyjnymi technologiami produkcji biopaliw – biogazu w małych biogazowniach, bioetanolu w biorafineriach oraz biooleju z glonów. Trzy projekty, które są aktualnie w trakcie realizacji w ramach programów UE 7 PR i ERA-NET, dotyczą efektywności energetycznej w rolnictwie oraz implementacji koncepcji biorafinerii lignocelulozowej w praktyce. Reprezentował Bałtycki Klastr Ekoenergetyczny w programie BSR-InnoNET prowadzonym przez ministerstwa gospodarki krajów rejonu Morza Bałtyckiego. W latach 2011–2012 przewodniczył zespołowi doradczemu Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi ds. rozwoju odnawialnych źródeł energii na obszarach wiejskich.

**JACEK HILSZCZAŃSKI**

Zakład Ochrony Lasu, Instytut Badawczy Leśnictwa w Sękocinie Starym

Absolwent Wydziału Leśnego Akademii Rolniczej w Krakowie. Profesor nadzwyczajny w Zakładzie Ochrony Lasu IBL. Doświadczenie zawodowe zdobywał w kraju oraz na stażach zagranicznych dotyczących metod ochrony lasu, biologii i ekologii owadów w Anglii, Kanadzie, Stanach Zjednoczonych oraz w trakcie stypendium post-doktorskiego w Katedrze Ekologii Zwierząt Wydziału Leśnego Szwedzkiego Uniwersytetu Rolniczego w Umeå. Autor publikacji dotyczących przede wszystkim ochrony lasu przed tzw. szkodnikami wtórnymi oraz ekologii owadów saproksylicznych.

**TOMASZ JAN KOWALCZEWSKI**

Departament Leśnictwa i Ochrony Przyrody, Ministerstwo Środowiska w Warszawie

Mgr inż. Tomasz Jan Kowalczewski – absolwent SGGW oraz Akademii Ekonomicznej w Poznaniu. Pracownik Ministerstwa Środowiska. Specjalizuje się w zakresie globalnych negocjacji klimatycznych i emisji gazów cieplarnianych w wyniku użytkowania gruntu i lasów (LULUCF). Członek delegacji rządowych na 15, 16, 17, 18 konferencje Stron Konwencji Klimatycznej (UNFCCC). Członek zespołu negocyjnego Ministra Środowiska na COP 19 w Warszawie oraz na czas polskiej prezydencji w ramach UNFCCC. W trakcie prezydencji Polski w Radzie Unii Europejskiej w 2011 r. i w trakcie COP 17 w Durbanie przewodniczył grupie eksperckiej ds. LULUCF, działającej w ramach Grupy Roboczej Rady ds. Międzynarodowych Aspektów Ochrony Środowiska (WPIEI). W 2012 r. był ekspertem krajowym przy negocjacjach prowadzonych w ramach Rady Unii Europejskiej w sprawie decyzji Komisji Europejskiej dotyczącej sektora LULUCF. Jest członkiem delegacji rządowych w procesie negocjacji przyszłego porozumienia w sprawie lasów Europy prowadzonych w ramach procesu Forest Europe (wcześniej MCPFE). Jest autorem artykułów o tematyce odnoszącej się do zmian klimatu, emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych z tytułu zmian użytkowania gruntu i lasów.

**ZBIGNIEW KUNDZEWICZ**

Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Poznaniu

Urodził się 4 grudnia 1950 w Augustowie. Studia ukończył w 1974 r. na Wydziale Elektroniki Politechniki Warszawskiej. Użył stopnie dr. i dr. hab. nauk fizycznych (geofizyka – hydrologia), odpowiednio w 1979 i 1985, a tytuł profesora nauk o Ziemi w 1993 r. Od roku 2010 członek korespondent PAN.

Najważniejsze osiągnięcia naukowe: Uczestnictwo (lub kierownictwo) w wielu projektach badawczych (własne, promotorskie i zamawiane w MNiSW, zintegrowane w programach ramowych UE i sieci UE), w dziedzinie kształtowania

środowiska, zjawisk ekstremalnych, hydrologii, klimatologii (w tym – skutków zmian klimatu), i zrównoważonego rozwoju.

Upowszechnienie wyników badań: Opublikował prawie 400 prac naukowych, w tym w renomowanych czasopismach z listy filadelfijskiej (ISI), włącznie z *Science* i *Nature*, oraz 13 monografii (w tym 9 w języku angielskim, a 8 za granicą). Wielokrotnie autor (w tym 4-krotnie – koordynator i autor prowadzący) w międzyrządowym panelu ds. zmian klimatu (IPCC).

Działalność dydaktyczna: Prowadził wiele wykładów. Był promotorem 2 pomyślnie zakończonych przewodów doktorskich. Był recenzentem i egzaminatorem w kilkunastu przewodach doktorskich i habilitacyjnych w 7 krajach (Polska, Niemcy, Norwegia, Dania, Australia, Holandia, Szwecja), a także recenzentem 9 wniosków o tytuł profesora w Polsce.

Aktywność na forum międzynarodowym: Za granicą spędził w celach naukowych kilkanaście lat, w ponad 60 krajach. Był stypendystą Fundacji im. Aleksandra von Humboldta (1978–1980) na Uniwersytecie w Karlsruhe, Niemcy. Był pracownikiem naukowym (P4) w Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO) w Genewie (1993–1996). Od 2001 jest związany z Poczdamskim Instytutem Badań nad Skutkami Klimatu (PIK). Wielokrotnie wygłaszał prestiżowe referaty na konferencjach zagranicznych dużej rangi, organizowanych przez międzynarodowe lub zagraniczne organizacje naukowe. Przedstawił polski referat na wspólnym posiedzeniu rosyjskiej i polskiej Akademii Nauk podczas Dni Nauki Polskiej w Rosji (październik 2008).

Aktywność konferencyjna w kraju: Brał czynny udział (referaty) w wielu konferencjach międzynarodowych organizowanych w kraju, a także w konferencjach krajowych. Sam organizował lub współorganizował 7 konferencji międzynarodowych w Polsce.

Przebieg pracy zawodowej i ważniejsze funkcje (działalność naukowo-organizacyjna): W latach 1974–1989 pracował w Instytucie Geofizyki PAN w Warszawie. Od 1990 r. pracuje w Instytucie (poprzednio – Zakładzie Badań) Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Poznaniu, obecnie jako kierownik Pracowni Klimatu i Zasobów Wodnych i wicedyrektor ds. naukowych. Członek elitarnej grupy doradzającej Komisji Europejskiej (2007–2011) w sprawie Siódmego Programu Ramowego (temat – środowisko, łącznie z klimatem). Członek 5 komitetów PAN: Gospodarki Wodnej, Zmian Globalnych, ds. IUGG; ds. Międzynarodowych Programów Hydrologicznych oraz Badań nad Zagrożeniami związanymi z Wodą (przewodniczący). Członek Rady Naukowej IŚRiL PAN; w przeszłości członek Rady Naukowej Instytutu Geofizyki PAN. Od 2008 r. przewodniczący Rady Naukowej Międzynarodowego Centrum Ekohydrologii PAN i UNESCO. Redaktor naczelny periodyku „Hydrological Sciences Journal” (Anglia) oraz członek rad redakcyjnych 4 czasopism naukowych. Reprezentant Polski w International Association of Hydrological Sciences.

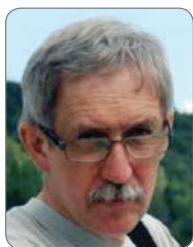
Odnaczenia, nagrody, wyróżnienia (ważniejsze): nagroda Wielkiej Pieczęci Miasta Poznania (2008); dyplom za udział w pracach IPCC, wyróżnionej Pokojową Nagrodę Nobla (2007); Krzyż Kawalerski Orderu Odrodzenia Polski (2004); Złoty Krzyż Zasługi (1991); międzynarodowa nagroda IAHS im. L.J. Tisona (1987); nagroda sekretarza generalnego PAN (1986); nagroda im. Juliana Lambora VII Wydziału PAN (1983), odznaczenie „Zasłużony dla Rolnictwa” (2011).

**MAŁGORZATA LISZEWSKA**

Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego, Uniwersytet Warszawski

Dr inż. Małgorzata Liszevska – absolwentka Politechniki Warszawskiej, Wydziału Inżynierii Środowiska. Pracowała w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej (Zakładzie Prognoz Meteorologicznych Długoterminowych, Ośrodku Meteorologii), w Instytucie Geofizyki PAN (Zakładzie Zasobów Wodnych). Obecnie jest odpowiedzialna za zespół analizy danych środowiskowych i klimatycznych w ICM UW. Prowadzi wykład i warsztaty „Zarys modelowania klimatu” na Międzywydziałowych Studiach Ochrony Środowiska UW. Bierze udział w wielu naukowych projektach międzynarodowych (UE i USA).

Tematyka prowadzonych prac obejmuje: opracowanie spektralnego modelu atmosfery, uproszczone modele długoterminowych prognoz pogody, statystyczną interpretację numerycznych prognoz pogody, oszacowanie wpływu symulowanych globalnych zmian klimatu na temperaturę i opad w Polsce, rozwijanie podejścia semiempirycznego do problemu przechodzenia ze skali globalnej do mezoskali (*statistical downscaling*), projekcje zmian klimatu dla Polski dla potrzeb badań impaktowych, scenariusze zmian klimatu dla Polski i środkowej Europy na podstawie symulacji IPCC dla założeń IS92 i SRES, analizę wyników symulacji modeli regionalnych klimatu (PRUDENCE i inne), adaptację i rozwój regionalnego modelu klimatu RegCM dla potrzeb diagnozy oraz badań scenariuszowych dla Polski i środkowej Europy (*dynamical downscaling*) oraz badania wrażliwości klimatu na zmiany użytkowania gruntu, oszacowania zmian i zmienności klimatu dla Polski i Europy przy wykorzystaniu symulacji globalnych i regionalnych projektu ENSEMBLES, opracowanie wiązki scenariuszy klimatycznych dla Polski dla okresu 1971–2100, prowadzenie serwisu klimatycznego dla Polski (<http://klimat.icm.edu.pl>).

**ANDRZEJ NOSKOWIAK**

Zakład Badania i Zastosowań Drewna, Instytut Technologii Drewna w Poznaniu

Mgr inż. Andrzej Noskowiak, urodzony w Poznaniu 10 września 1955 r., absolwent Akademii Rolniczej w Poznaniu, Wydziału Technologii Drewna. Pracownik Instytutu Technologii Drewna od roku 1975 do dnia dzisiejszego. Od roku 2002 kierownik Zakładu Badania i Zastosowań Drewna.

Członek Rady Naukowej ITD (czwarta kadencja), Komitetu Technicznego nr 215 ds. Projektowania i Wykonawstwa Konstrukcji z Drewna i z Materiałów Drewnopochodnych oraz Komitetu Technicznego nr 181 ds. surowca drzewnego w Polskim Komitecie Normalizacyjnym. Ekspert Polskiego Centrum Akredytacji.

Główne obszary działalności naukowej i zawodowej to: modyfikacje technologii produkcji tworzyw drzewnych, substytucja azbestu włóknami drzewnymi, badania i ocena właściwości i jakości płyt drewnopochodnych i drewna w tym drewna egzotycznego, aplikacje tworzyw drzewnych i drewna w budownictwie, recykling materiałowy drewna

i tworzyw sztucznych, wymagania fitosanitarne dla drewna i opakowań drewnianych, jakość techniczna drewna z upraw plantacyjnych, modyfikacja właściwości drewna, właściwości i zasady klasyfikacji drewna konstrukcyjnego.

Najważniejsze osiągnięcia poznawcze i aplikacyjne to: opracowanie i wdrożenie energooszczędnej technologii produkcji płyt pilśniowych twardych metodą mokrą, opracowanie zasad produkcji opakowań z drewna zgodnie ze standardem FAO/IPPC/ISPM 15 (zasady wdrożono w blisko sześćset firmach), opracowanie przyporządkowania klas wytrzymałościowych dla polskiego drewna konstrukcyjnego, zamieszczonego w Załączniku krajowym normy PN-EN 1995-1-1:2010.



JUSTYNA NOWAKOWSKA

Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych, Instytut Badawczy Leśnictwa w Sękocinie Starym

Dr hab. Justyna Nowakowska, prof. IBL – absolwentka Uniwersytetu im. Ludwika Pasteura w Strasburgu (Francja), gdzie po ukończeniu studiów wykonywała badania transformacji DNA tytoniu. Doktorat, obroniony w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie (1999), dotyczył ekspresji genów u roślin GMO. Podczas stażu post-doktoranckiego w Państwowym Instytucie Nauk Rolniczych w Orleanie pod Paryżem prowadziła badania genomu polskiej i francuskiej sosny zwyczajnej metodami molekularnymi.

Od 2000 r. pracuje w Instytucie Badawczym Leśnictwa w Zakładzie Genetyki i Fizjologii Drzew Leśnych (obecnie Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych), gdzie w 2001 r. zorganizowała nowoczesne laboratorium analiz DNA. Pracuje nad projektami badawczymi z zakresu zmienności genetycznej sosny zwyczajnej i świerka pospolitego na podstawie analiz DNA, nad weryfikacją przebiegu granic zasięgów leśnego materiału podstawowego za pomocą markerów DNA jądrowego i organelowego oraz identyfikacją patogenów grzybowych u buka zwyczajnego na podstawie sekwencji DNA.



KAZIMIERZ RYKOWSKI

Zakład Ekologii Lasu, Instytut Badawczy Leśnictwa w Sękocinie Starym

Profesor w Instytucie Badawczym Leśnictwa. Specjalizował się w fitopatologii leśnej i biologicznych metodach ochrony lasu przed chorobami grzybowymi i jest autorem patentu z tego zakresu. W latach 1986–1990 był kierownikiem Zakładu Fitopatologii Leśnej, w latach 1991–1998 zastępcą dyrektora Instytutu do spraw naukowych, a w latach 1992–2008 kierownikiem Zakładu Ekologii Lasu i Łowiectwa. Zajmuje się ochroną lasu, ekologią i problematyką trwałości i równowagi w zagospodarowaniu ekosystemów leśnych, w tym kryteriami i wskaźnikami zrównoważonego rozwoju i trwałego zagospodarowania, problematyką wpływu zmian klimatycznych na lasy oraz zachowaniem różnorodności biologicznej i ochroną przyrody w lasach. Jest aktywny w zakresie polityki leśnej oraz globalnej i regionalnej współpracy międzynarodowej. W latach 1990–2003 był krajowym koordynatorem procesu pan-europej-

skiego, członkiem Głównego Komitetu Koordynacyjnego Ministerialnych Konferencji na temat Ochrony Lasów w Europie (MCPFE) oraz kierował Zespołem Sterującym V Konferencji MCPFE – „warszawskiej” (2007). Był przewodniczącym Europejskiej Komisji Leśnictwa FAO (1992–1994). W latach 1993–1997 był wiceprzewodniczącym Rady Naukowej Europejskiego Instytutu Leśnego EFI w Joensuu (Finlandia). Jest członkiem Światowej Komisji Leśnictwa i Trwałego Rozwoju ONZ (WCFS), członkiem Szwedzkiej Królewskiej Akademii Rolnictwa i Leśnictwa oraz ekspertem w sekretariacie Konwencji o Różnorodności Biologicznej (AHTEG CBD). Jest członkiem trzech komitetów naukowych Polskiej Akademii Nauk, członkiem Komitetu Narodowego do Spraw Współpracy z Międzynarodowym Programem „Zmiany Globalne Geosfery i Biosfery” (IGBP Global Change), organizatorem wielu konferencji z zakresu nauk leśnych i leśnictwa, autorem, koordynatorem i realizatorem licznych programów badawczych, autorem ponad 200 publikacji naukowych, artykułów, rozpraw i książek oraz licznych referatów i prezentacji na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych i sympozjach.

Jest autorem trzech wystaw indywidualnych malarstwa i rzeźby oraz tablic pamiątkowych i upamiętnień w przestrzeni publicznej, a od 2006 roku członkiem Związku Artystów Plastyków Polska Sztuka Użytkowa.



ANDRZEJ SAMBORSKI

International Paper Kwidzyn w Kwidzynie

Absolwent Politechniki Gdańskiej na kierunkach budowa maszyn i urządzeń energetycznych oraz marketing i zarządzanie. Doświadczenie zawodowe w obszarach służb utrzymania ruchu, produkcji, zakupach i logistyce. Od 16 lat zatrudniony w International Paper Kwidzyn. Obecnie odpowiedzialny za zakupy drewna i biomasy oraz plantacje drzew szybko rosnących.



ZBIGNIEW SIEROTA

Zakład Ochrony Lasu, Instytut Badawczy Leśnictwa w Sękocinie Starym

Absolwent Wydziału Leśnego SGGW, doktorat w 1980 r., habilitacja w 1996 r., tytuł profesora od 2000 r. Od 1971 r. pracownik naukowy Instytutu Badawczego Leśnictwa. Zajmuje się fitopatologią leśną – zagadnieniami predyspozycji chorobowej drzew, chorobami korzeni drzew leśnych, biologicznymi metodami ochrony lasu przed chorobami infekcyjnymi, monitoringiem fitopatologicznym. Jest autorem i współautorem ponad 170 recenzowanych publikacji naukowych i 50 popularno-naukowych (w tym ponad 50 dotyczących problematyki huby korzeni i metod biologicznych ochrony lasu), 4 książek, 30 publikowanych raportów i materiałów konferencyjnych, 50 referatów naukowych oraz licznych wytycznych dla praktyki leśnej. Promotor 4 zakończonych rozpraw doktorskich i 2 przewodów. Koordynator programów badawczych, m.in. Proforest Centre of Excellence 5 PR UE, autor i współautor ponad 120 dokumentacji naukowych, ekspertyz, sprawozdań z badań. Współlaureat 3 nagród Ministra Leśnictwa i Ministra

Środowiska, nagrody I stopnia Mistrz Techniki '80, 2 nagród naukowych V Wydziału PAN oraz nagrody Lasów Państwowych im. A. Loreta (2003). Przewodniczący Komitetu Nauk Leśnych PAN.

JAN SOLIŃSKI

Pracownia Ekonomiki Energetyki, Instytut Energetyki w Warszawie

Dr Jan Soliński jest absolwentem Szkoły Głównej Planowania i Statystyki. W latach 1957–1971 kierownik działu ekonomicznego, a następnie główny ekonomista w Zakładach Energetycznych Okręgu Centralnego w Warszawie; 1972–1974 ekspert rozwoju energetyki w Ministerstwie Planowania i do 1978 r. w Ministerstwo Republiki Libijskiej w Trypolisie; 1978–1981 studia doktoranckie w Szkole Głównej Handlowej i doktorat z infrastruktury energetycznej Libii; 1981–2005 zastępca kierownika Zakładu Energetyki Kompleksowej w Instytucie Energetyki, a równocześnie w latach 1983–2008 sekretarz Polskiego Komitetu Światowej Rady Energetycznej (World Energy Council); od 2005 r. emeryt, współpraca z Instytutem Energetyki w pracach prognostycznych rozwoju polskiego sektora energii.



EDWARD STĘPIEŃ

Wydział Leśny, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Problematyka badawcza: urzędzeniowe uwarunkowania zrównoważonej gospodarki leśnej; metody oceny ilościowego i jakościowego stanu zasobów leśnych; relacje pomiędzy efektami procesu produkcji a stabilnością drzewostanów; wizja nowoczesnego planu urządzenia lasu.

Działalność dydaktyczna: na kierunku studiów „leśnictwo” – urządzenie lasu (studia I stopnia), urządzenie ekosystemów leśnych (studia II stopnia), uwarunkowania i instrumenty planowania urządzeniowego (studia II stopnia – fakultet), aktualne problemy leśnictwa (studia doktoranckie); oraz na kierunku studiów „gospodarka przestrzenna” – leśnictwo w gospodarce przestrzennej (studia I stopnia), inwentaryzacja lasu jako źródło informacji w zarządzaniu (studia II stopnia – fakultet), podstawy waloryzacji funkcji lasu (studia II stopnia – fakultet).

Inna działalność: ekspertyzy naukowe nt. doskonalenia organizacji ładu czasowego (zmiany długości okresu produkcji, problem drzewostanów przeszłorębnych); ekspertyzy naukowe dotyczące doskonalenia metod inwentaryzacji lasu.



MARIUSZ STOLARSKI

Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Absolwent (1998 r.) Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie, Wydział Rolnictwa i Kształtowania Środowiska, specjalność rolnictwo. Stopień doktora uzyskał 15.11.2001 r., doktora habilitowanego – 14.01.2010 r., a tytuł profesora nauk rolniczych – 7.01.2014 r. Od 1 grudnia 2001 roku zatrudniony w Katedrze Ho-

dowli Roślin i Nasiennictwa Wydziału Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, obecnie na stanowisku profesora nadzwyczajnego. Również członek Rady Naukowej Centrum Badań Energii Odnawialnej UWM w Olsztynie.

Realizuje badania związane z hodowlą, produktywnością i wykorzystaniem roślin alternatywnych do celów przemysłowych i energetycznych. Wymiernym efektem tych badań są m.in. polskie odmiany wierzby energetycznej, technologie ich uprawy i pozyskiwania oraz przetwarzania do paliw stałych i gazowych. Bardzo istotnym elementem prowadzonych badań jest ocena efektywności ekonomicznej i energetycznej uprawy, produkcji oraz przetwórstwa biomasy kilkunastu gatunków wieloletnich roślin alternatywnych. Najnowsza tematyka badawcza została poszerzona o kompleksową środowiskową ocenę cyklu życia. W ramach krajowego projektu strategicznego oraz 7 Programu Ramowego UE (EuroBioRef) prowadzi badania dotyczące wykorzystania biomasy lignocelulozowej do produkcji biopaliw transportowych II generacji, alternatywnych dla paliw ropopochodnych. Ponadto jest wykonawcą w projektach UE dotyczących efektywności energetycznej w rolnictwie (AGREE, 7PR) oraz efektywności małych biogazowni rolniczych (ERANET).

Opublikował ponad 60 oryginalnych prac twórczych, jest współautorem patentu oraz 9 odmian wierzby na cele energetyczne. Realizował łącznie 15 projektów badawczych, w tym 4 międzynarodowe. Był kierownikiem 4 projektów, w tym 3 międzynarodowych. Uczestniczył w licznych wyjazdach o charakterze naukowym, szkoleniowym lub studyjnym do kilku państw UE. Ponadto na zaproszenie Departamentu Stanu USA odbył staż w ramach International Visitor Leadership Program (IVLP) związany z bezpieczeństwem energetycznym, zmianami klimatu, bioenergią oraz polityką energetyczną w różnych Stanach Ameryki Północnej.



WŁADYSŁAW STRYKOWSKI

Instytut Technologii Drewna w Poznaniu

Prof. dr Władysław Strykowski, wieloletni dyrektor Instytutu Technologii Drewna w Poznaniu i koordynator polskiej Platformy Technologicznej Sektora Leśno-Drzewnego.

Odbył staże naukowe w kilku ośrodkach zagranicznych, m.in. w Ameryce i Europie Zachodniej (University of Minnesota, Hamburg, Freiburg, Genewa), z którymi w dalszym ciągu współpracuje.

Głównymi problemami zainteresowań badawczych W. Strykowskiego są kwestie dotyczące polityki surowcowej, współpracy leśnictwa i przemysłów opartych na drewnie, rozwój sektora leśno-drzewnego w Polsce i państwach UE. Współpracuje także z krajowymi i zagranicznymi organizacjami samorządu branżowego sektora drzewnego.

Jest autorem wielu projektów badawczych, publikacji krajowych i zagranicznych. Jedną z tez, którą upowszechnia, jest potrzeba „dowartościowania” w Polsce drewna jako surowca strategicznego, nie tylko poprzez wzrost cen, ale głównie poprzez szerokie stosowania drewna w gospodarce.

**STEFAN SZCZUKOWSKI**

Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Prof. dr hab. inż. Stefan Szczukowski jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie (byłej ART) od 1972 roku; zatrudniony jest w Katedrze Hodowli Roślin i Nasiennictwa na Wydziale Kształtowania Środowiska i Rolnictwa.

Przedmiotem jego badań są między innymi zagadnienia związane z produktywnością i możliwościami wykorzystania roślin alternatywnych do celów przemysłowych i bioenergetycznych. Wyniki tych badań opublikował w 115 oryginalnych artykułach naukowych. Wymiernym efektem tych badań jest dziewięć odmian wierzby energetycznej (Diariusz COBORU; 2003, 2009, 2013) oraz technologie ich uprawy i pozyskiwania oraz technologie przetwarzania biomasy do paliw stałych i gazowych.

**JERZY SZWAGRZYK**

Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

Prof. dr hab. inż. Jerzy Szwagrzyk, profesor zwyczajny w Zakładzie Botaniki i Ochrony Przyrody w Instytucie Bioróżnorodności Leśnej na Wydziale Leśnym Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, kierownik Zakładu.

Urodzony 28 czerwca 1957 r. w Krakowie. Absolwent Akademii Rolniczej w Krakowie, Wydziału Leśnego, w roku 1981. Stopień doktora nauk leśnych uzyskał na tym samym Wydziale w 1990 roku. Stopień doktora habilitowanego nauk biologicznych w zakresie biologii otrzymał na Wydziale Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Jagiellońskiego w roku 1998. Tytuł profesora nauk leśnych uzyskał w roku 2003 na wniosek Rady Naukowej Wydziału Leśnego AR w Krakowie.

Główne zainteresowania naukowe to: ekologia drzew, konkurencja między drzewami w drzewostanach, dynamika zbiorowisk leśnych, mechanizmy utrzymania różnorodności gatunkowej lasach, przebieg procesów odnowieniowych w lasach naturalnych, wtórna sukcesja roślinności.

Od roku 1996 członek Komitetu Ekologii, a od roku 2008 – Komitetu Nauk Leśnych oraz Komitetu Ochrony Przyrody PAN. Członek redakcji „Wiadomości Ekologiczne” (1993–2012) oraz „Polish Journal of Ecology” (od 2003). Od roku 2003 członek Rady Babogórskiego Parku Narodowego, a od roku 2012 – Rady Tatrzańskiego P.N. W latach 2003–2012 członek Rady Naukowej Centrum Badań Ekologicznych PAN oraz Rady Naukowej Instytutu Badawczego Leśnictwa. W grudniu 2012 roku wybrany do Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów Naukowych.

Autor lub współautor 130 publikacji, w tym 19 prac z listy JCR. Promotor 51 prac magisterskich i 9 prac doktorskich. Recenzent w 16 przewodach doktorskich oraz w 13 przewodach habilitacyjnych. Kierownik 10 zrealizowanych projektów badawczych finansowanych przez Komitet Badań Naukowych oraz Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

**TOMASZ WALCZYKIEWICZ**

Zakład Gospodarki Wodnej i Systemów Wodnogospodarczych, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Krakowie

Dr inż. Tomasz Walczykiewicz – kierownik Zakładu Gospodarki Wodnej i Systemów Wodnogospodarczych w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowym Instytucie Badawczym (IMGW PIB)

Urodził się w 1960 roku w Krakowie. W 1984 roku ukończył studia na Politechnice Krakowskiej, uzyskując dyplom magistra inżyniera budownictwa wodnego. W 1991 roku, po sześcioletnim okresie zatrudnienia w biurze projektów, podjął pracę w administracji jako dyrektor Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Krakowie. W latach 2000–2002 był prezydentem Międzynarodowego Związku Organizacji Zlewniowych. W 2002 roku pełnił obowiązki dyrektora Departamentu Zasobów Wodnych w Ministerstwie Środowiska. W 2003 roku uzyskał stopień doktora nauk technicznych w zakresie inżynierii środowiska w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Od 2003 roku zatrudniony w krakowskim Oddziale IMGW PIB na stanowisku adiunkta i kierownika zakładu.

Jego działalność jest ukierunkowana na rozwój i zastosowanie narzędzi i metod w planowaniu i zarządzaniu gospodarką wodną, w tym tworzenia podstaw metodycznych dla wdrażania w Polsce ramowej dyrektywy wodnej 2000/60/WE i dyrektywy 2007/60/WE w sprawie oceny zagrożenia powodziowego i zarządzania nim oraz wdrażania zasad zintegrowanego zarządzania zasobami wodnymi.

Autor i współautor ponad 90 publikacji z zakresu gospodarki oraz blisko 80 raportów – opracowań z realizacji prac naukowo-badawczych i wdrożeńowych.

**JÓZEF WÓJCIK**

Samodzielna Pracownia Chemii Środowiska Leśnego, Instytut Badawczy Leśnictwa w Sękocinie Starym

Dr inż. Józef Wójcik – absolwent Wydziału Rolniczego SGGW. W latach 1979–2002 pracował w Instytucie Chemii i Chemii Rolnej SGGW, a następnie w Instytucie Badawczym Leśnictwa, gdzie kolejno pełnił funkcje kierownika Pracowni Analiz Fizykochemicznych, Samodzielnej Pracowni Gleboznawstwa i Nawożenia oraz Zakładu Siedliskoznawstwa. Obecnie jest kierownikiem Samodzielnej Pracowni Chemii Środowiska Leśnego.

Specjalizuje się w gleboznawstwie, a zwłaszcza w chemii gleb oraz w żywieniu roślin.

Koordynator czterech projektów międzynarodowych, autor jednego patentu oraz pięćdziesięciu publikacji naukowych. W latach 2000–2001 był członkiem Rady Konsultacyjnej przy Pełnomocniku Rządu ds. Konwencji Klimatycznej ONZ. Aktualnie jest członkiem Komitetu Technicznego ds. ogólnych i fizyki gleby Polskiego Komitetu Normalizacyjnego oraz panelu ekspertów gleb leśnych ICP-Forests.

Jego hobby to historia, militaria i turystyka.

**MARCIN RAFAŁ ŻACZEK**

Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami

Mgr inż. Marcin Rafał Żaczek – absolwent SGGW. Pracownik Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami w Instytucie Ochrony Środowiska – Państwowym Instytucie Badawczym. Specjalista ds. szacowania emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych w sektorze „użytkowanie gruntów, zmiany użytkowania gruntów i leśnictwo”.

Współautor krajowych inwentaryzacji gazów cieplarnianych do konwencji klimatycznej UNFCCC oraz protokołu z Kioto.

Członek delegacji rządowych na 16., 17. oraz 18. konferencje Stron Konwencji Klimatycznej (UNFCCC). W trakcie prezydencji Polski w Radzie Unii Europejskiej w 2011 r. i w trakcie COP 17 w Durbanie przewodniczył grupie eksperckiej ds. raportowania (EG REP), działającej w ramach Grupy Roboczej Rady ds. Międzynarodowych Aspektów Ochrony Środowiska (WPIEI CC). W 2012 r. był ekspertem krajowym przy negocjacjach prowadzonych w ramach Rady Unii Europejskiej w sprawie decyzji Komisji Europejskiej dotyczącej sektora LULUCF. Uczestnik spotkań ekspertów IPCC, zajmujących się rozwojem metodyki szacowania emisji i pochłaniania w ramach zobowiązań do protokołu z Kioto.