

Wybrane aspekty wykorzystania biomasy drzewnej do celów energetycznych

Aspects of using wood biomass for energy production

Piotr Gołos*, Adam Kaliszewski

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05–090 Raszyn

*Tel. +48 22 7150674, fax: +48 22 7153837, e-mail: P.Golos@ibles.waw.pl

Abstract. This article presents the most important aspects relevant to forest-derived biomass utilization for the purposes of energy production by professional energy providers. The issues discussed here are divided into four groups: environmental, social, economic and technological aspects of biomass utilization in energy production. The environmental part focuses on the effects of intensive use of leftovers from timber harvest on forest ecosystems as well as the problem of ash utilization. Economic and social problems include the costs of energy production from timber, consequences of intensified fuel wood demand for the state of the timber and paper industry as well as the impact on the labor market. The technology section of the article covers questions related to the harvest and transport of forest-derived biomass.

We conclude that, before regarding it as an energy source, wood should be mainly used for the production of timber due to the necessity and difficulty of considering all of the above-mentioned diverse aspects of energy production. Wood should be used for the production of energy only after its usage as timber products and their recycling.

Keywords: fuel wood, energy policy, climate policy, timber industry

1. Wstęp

Do połowy XIX w. drewno było podstawowym źródłem energii oraz materiałem konstrukcyjnym. Jego znaczenie gospodarcze zmieniła rewolucja przemysłowa, stwarzając zapotrzebowanie na kopalne nośniki energii. Rozwój przemysłu sprawił, że pojawiły się również nowe, substytucyjne wobec drewna, materiały konstrukcyjne. Sytuacja się zmieniła, kiedy zaczęto dostrzegać negatywne dla środowiska naturalnego konsekwencje industrializacji. Począwszy od lat 70 XX w. ochrona środowiska stała się przedmiotem szczególnej troski, co znalazło wyraz np. w raportach Klubu Rzymskiego (1972) oraz w licznych dokumentach i porozumieniach międzynarodowych, np. w konwencji o różnorodności biologicznej oraz w ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (1992) i protokole z Kioto (1997).

Wymienione inicjatywy międzynarodowe stały się początkiem poszukiwania nowej drogi rozwoju, która pozwoliłaby godzić rozwój ekonomiczny z poszanowaniem i ochroną środowiska naturalnego oraz zaspokojeniem potrzeb człowieka. Pogodzenie różnych potrzeb możliwe jest w ramach idei zrównoważonego rozwoju, choć jednocześnie pojawiają

się głosy kwestionujące możliwość jej realizacji przy utrzymaniu obecnego tempa rozwoju gospodarczego, któremu towarzyszy ciągły wzrost potrzeb człowieka, w tym również zapotrzebowania na energię.

Zmiany klimatu, które trudno podważyć, choć brak jest wiarygodnej oceny kierunku i skali tych zmian, skłaniają do podjęcia działań w celu zastąpienia kopalnych źródeł energii pierwotnej energią z niskoemisyjnych źródeł odnawialnych¹. Takie działania są prowadzone również w Polsce, czego efektem jest trwający od 2005 r. wzrost ilości biomasy wykorzystywanej zarówno do produkcji energii elektrycznej, jak i ciepła. Wśród najważniejszych czynników, które sprawiły, że mimo wielu ograniczeń organizacyjnych, ekonomicznych i technologicznych związanych z użytkowaniem biomasy sektor energetyczny zainteresował się wykorzystaniem tego paliwa (Budzyński i Bielski 2004), należy wymienić możliwość

¹ Zużycie energii przekłada się bezpośrednio na emisję gazów cieplarnianych. Na statystycznego mieszkańca rozwiniętego kraju roczne zużycie energii wynosi od 150 do 300 GJ, co odpowiada emisji 8–20 ton CO₂. W Polsce średnie zużycie roczne wynosi około 100 GJ/rok na osobę (Gostomezyk 2010).

szybkiego przystosowania technicznego i technologicznego instalacji węglowych do spalania i współspalania biomasy oraz polityczne wsparcie dla tego zastosowania, a także przekonanie o dużym potencjale energetycznym, szacowanym w Polsce na 895 PJ (petadžuli, tj. 10^{15} J; Jasiulewicz 2010).

W marcu 2007 r. Rada Europejska przyjęła jednomyślnie jako ogólne cele polityki energetycznej i klimatycznej Unii Europejskiej do 2020 r. tzw. cel 3×20 , tj.:

– osiągnięcie redukcji emisji gazów cieplarnianych o 20% (30% w przypadku osiągnięcia w tym zakresie porozumienia międzynarodowego),

– zwiększenie do 20% udziału energii ze źródeł odnawialnych (OZE) w całkowitym zużyciu energii w Unii Europejskiej, w tym zwiększenie udziału biopaliw w ogólnym zużyciu benzyny i oleju napędowego w transporcie na terytorium Unii Europejskiej co najmniej do 10%,

– zwiększenie o 20% efektywności energetycznej (Polityka energetyczna 2009).

Dyrektywą dotyczącą wspierania wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych jest dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych, zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. Dyrektywa 2009/28/WE ustanawia m.in. wspólne ramy dla promowania energii ze źródeł odnawialnych, określa obowiązkowe krajowe cele ogólne w odniesieniu do całkowitego udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto i w odniesieniu do udziału energii ze źródeł odnawialnych w transporcie, a także kryteria zrównoważonego rozwoju rynku biopaliw i biopłynów. Polska na podstawie tej dyrektywy jest zobowiązana do uzyskiwania w 2020 r. co najmniej 15% energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto (Dyrektywa 2009/28/WE).

Ocena wykorzystywania biomasy leśnej do celów energetycznych wskazuje na duże korzyści środowiskowe, szczególnie przez wpływ na korzystny bilans węglowy. Szczegółowa analiza uwzględniająca aspekty gospodarcze i społeczne oraz ponoszone koszty nie pozwala jednak na tak jednoznaczną pozytywną ocenę praktyk stosowanych przez zawodowych wytwórców energii opartej na biomase.

Celem publikacji jest przedstawienie, na podstawie przeglądu literatury (w tym dokumentów), najważniejszych warunków oraz efektów użytkowania biomasy leśnej na cele energetyczne przez zawodowych wytwórców energii, tj. zakłady przemysłowe, których podstawową działalnością jest wytwarzanie i dystrybucja energii elektrycznej. Literatura przedmiotu jest obszerna i w celu uporządkowania wielu omawianych wątków oraz aspektów związanych z prezentowanym problemem w publikacji przyjęto podział na cztery grupy problemów – aspekty przyrodnicze, społeczne, ekonomiczne oraz technologiczne. Zakres geograficzny obejmuje Polskę z nielicznymi odniesieniami – tam gdzie wydawało się to istotne – do innych krajów europejskich. Przegląd nie wyczerpuje tej złożonej i różnorodnej problematyki, a jego celem jest zasygnalizowanie najważniejszych problemów na podstawie analizy prezentowanych informacji (wyników badań i szacunków)

zamieszczanych w publikacjach leśnych i rolnych, technicznych oraz ekonomicznych w ostatnich latach.

2. Potencjał produkcji drewna z lasów do celów energetycznych

Systemy łądowe zawierają około 2190 Gt (gigaton, tj. 10^9 ton) węgla, z czego 1200 Gt to węgiel zawarty w ekosystemach leśnych, przy czym tylko 32% stanowi węgiel w roślinności leśnej. Pozostała część akumulowana jest w glebie, głównie w ekosystemach borealnych (Dixon et al. 1994).

W 2010 r. w krajach Unii Europejskiej pozyskano ok. 1 mld m^3 biomasy drzewnej, z czego 30% pochodziło ze źródeł pozaleśnych. Około 57% zagospodarowano jako drewno użytkowe (ścier drzewny, tarcica, płyty drewno-pochodne itp.), a 43% przeznaczono na cele energetyczne. Według Mantaua et al. (2010) w latach 2020 i 2030 udział produkcji biomasy drzewnej ulegnie zwiększeniu odpowiednio o 5,4 i 11,2% (wzrost nastąpi tylko w wyniku wzrostu produkcji biomasy nieleśnej). Zakłada się również zmniejszenie wykorzystania biomasy na cele użytkowe – z 57% w 2010 r. do 44% w 2030 r. Prognoza ta dotyczy całej Unii Europejskiej, natomiast w poszczególnych krajach stopień wykorzystania biomasy na cele energetyczne będzie zależał przede wszystkim od zamożności społeczeństwa (Gołaszewski et al. 2013).

W 2012 roku wyprodukowano w Polsce około 170 TWh (terawatogodzin, tj. – 10^9 kWh) energii elektrycznej. Wytworzenie tej ilości energii wyłącznie w wyniku spalania drewna wymagałoby zużycia 54 mln m^3 surowca (dla porównania: w 2012 r. pozyskano w naszym kraju 37,2 mln m^3 drewna, w tym 34,9 mln m^3 grubizny; GUS 2012). Przewiduje się, że w 2020 r. udział energii produkowanej ze źródeł wykorzystujących biomasę, w tym w procesie współspalania biomasy leśnej, wyniesie 35%, na co zużyte zostanie ponad 8 mln m^3 drewna (18,6% pozyskania) (Lis 2013).

Bartoszewicz-Burczy i Soliński (2013) oceniają, że potencjał rynkowy biomasy leśnej na cele energetyczne w 2020 r. będzie wynosił 12,7 mln ton (tj. ok. 16 mln m^3 drewna), z czego 6,4 mln ton pochodzić będzie bezpośrednio z lasu, a 6,3 mln ton z przemysłu drzewnego. Biomasa pochodząca z przemysłu drzewnego obejmuje – w przeliczeniu na 100 m^3 drewna pozyskanego z gospodarki leśnej – średnio 10 m^3 kory, 15 m^3 drobnicy gałęziowej, 20 m^3 odpadów kawałkowych (ścinki, obrzyny), 19 m^3 trocin i zrębków oraz 36 m^3 tarcicy, w tym 20–25 m^3 produktów finalnych z grubizny (Guzenda i Świgoń 1997). Produkcja drewna do celów energetycznych z lasów oraz gospodarki komunalnej i rolnictwa, oszacowana przez Ratajczak i Bidzińską (2012), ma wynieść w 2015 r. około 17,9 mln m^3 . Według Boreckiego i Dawidziuka (2011) miąższość drewna do celów energetycznych z lasu wraz z drewnem z przemysłu będzie kształtowała się w 2020 i 2030 r. odpowiednio na poziomie 9,0–9,5 mln m^3 oraz 10,2–10,7 mln m^3 . Według szacunkowych analiz Dawidziuka i Neroja (2012) w 2031 i 2042 r. miąższość dostępnego drewna (z lasu i przemysłu) wyniesie odpowiednio 10 i 11 mln m^3 . Zajączkowski

(2013) ocenia wielkość potencjału rynkowego w 2021 na 7,17 mln m³, a w 2031 r. na 8,04 mln m³. Z kolei Borecki i Stępień (2013) wskazują, że zgodnie z przewidywanym rozmiarem użytkowania grubizny brutto w latach 2061–2070 w Lasach Państwowych i w lasach prywatnych, wynoszącym średnio ok. 67 mln m³ rocznie, możliwe będzie dostarczanie na rynek blisko 16,8 mln m³ drewna na cele energetyczne rocznie.

Produkcja drewna, w porównaniu z produkcją jego substytutów wykorzystywanych w budownictwie i innych dziedzinach, nie wymaga dużych nakładów energii. Na wyprodukowanie jednej tony drewna budowlanego potrzebne jest zużycie ok. 580 kWh energii, podczas gdy w przypadku cegieł wynosi ono czterokrotnie więcej, cementu – pięciokrotnie, a plastiku – sześciokrotnie więcej. Wyprodukowanie 1 tony aluminium wymaga natomiast średnio 126 razy większego nakładu energii, niż w przypadku drewna (Frühwald 2008). Ponadto drewno trwale wiąże węgiel, a wartość dodana z jego przetworzenia przez przemysł drzewny jest większa niż w przypadku spalania. Produkty drzewne po zakończeniu żywotności łatwo poddają się recyklingowi, pozwalając na dodatkowe odzyskiwanie energii (Birler 1998).

Mimo stosunkowo niewielkiego udziału węgla w drewnie, jego spalaniem zainteresowane są zawodowe zakłady energetyczne. Wykorzystanie na dużą skalę drewna do celów produkcji energii wywołuje kontrowersje dotyczące zasadności i efektywności takich rozwiązań. Obecnie obserwowany jest ciągły wzrost mocy elektrowni przystosowanych do spalania tego rodzaju biomasy. Od czerwca 2010 r. do końca 2011 r. liczba elektrowni przystosowanych do spalania biomasy w Polsce zwiększyła się z 15 do 19, a ich moc wzrosła z 252,5 MW do 409,7 MW (w połowie 2010 r. w tych elektrowniach wytwarzano 11,1% energii, a w końcu 2011 – 13,3%). Tylko w ciągu pierwszego półrocza 2012 r. liczba elektrowni wykorzystujących biomasę zwiększyła się do 22, a udział wytwarzanej energii do 14,0% (Lis 2013).

3. Aspekty przyrodnicze wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne

Dopóki biomasa leśna była wykorzystywana jako źródło energii cieplnej w sposób rozproszony (na potrzeby gospodarstw domowych, głównie na obszarach wiejskich), nie budziło to kontrowersji, ponieważ stanowiło naturalny, akceptowany i historycznie ukształtowany sposób użytkowania drewna. Zmiana postrzegania zasadności wykorzystywania drewna do produkcji energii nastąpiła wraz ze wzrostem zainteresowania tym paliwem ze strony energetyki zawodowej. Pojawiły się liczne pytania dotyczące wpływu takiego sposobu użytkowania drewna na środowisko naturalne. Obecnie dyskusja skupia się w zasadzie na ocenie i porównaniu łącznych korzyści wynikających z absorpcji CO₂ przez lasy (w całej Unii Europejskiej wynosi ona 870 mln ton CO₂ rocznie, co odpowiada 10% całkowitej emisji gazów cieplarnianych pochodzących z przemysłu) i trwałego związania węgla w produktach drzewnych w stosunku do korzyści wynikających ze spalania biomasy jako niskoemisyjnego źródła energii (MCPFE 2011).

Znaczenie lasów w procesie łagodzenia zmian klimatu sprawiło, że zaczęto dostrzegać dwie nowe funkcje gospodarki leśnej, przejawiające się w:

- wychwytywaniu i magazynowaniu atmosferycznego CO₂ w drewnie i w glebie leśnej, co stanowi element zrównoważonej gospodarki leśnej, sprzyjającej utrzymaniu i zwiększaniu potencjału lasów w tym zakresie,

- substytucji węgla przez biomasę drzewną przeznaczoną do celów energetycznych, zastępującą nieodnawialne wysokoemisyjne źródła energii, jak również długotrwałe związanie węgla w produktach drzewnych, będących jednocześnie substytutem materiałów przemysłowych charakteryzujących się wysokim wskaźnikiem energochłonności produkcji (stal, beton, aluminium, tworzywa sztuczne) (Streck et al. 2010).

Wymienionym pozytywnym funkcjom lasu towarzyszą jednak problemy związane z zagospodarowaniem popiołów. A mianowicie, skład chemiczny popiołów ze spalania biomasy sprawia, że ich wykorzystanie (np. do produkcji cementu) jest bardzo ograniczone. Mogą one natomiast być wykorzystane, po odpowiednim przetworzeniu i ustabilizowaniu, jako źródło cennych pierwiastków, które powinny wrócić do ekosystemu leśnego (Kowalkowski i Olejarski 2013; Oesten 2012).

Innym zagadnieniem problematycznym jest intensywne pozyskanie pozostałości zrębowych, choć co do tego, czy zużycie ono środowisko leśne w pierwiastki biogenne, zdania wśród naukowców są podzielone. Rykowski (2012), analizując skład mineralny drewna uważa, że nic nie wskazuje na to, aby intensywne pozyskanie biomasy leśnej w istotny sposób uszczuplało zasoby odżywcze siedliska i ograniczało produkcję drewna. Drewno składa się, przy niewielkich różnicach między surowcem iglastym a liściastym, głównie z węgla (ok. 50,1%), tlenu (ok. 43,4%) i wodoru (ok. 6,0%), a źródłem tych pierwiastków jest atmosfera. Resztę (ok. 0,5%) stanowią części mineralne (azot, fosfor, potas, magnez, wapń), których głównym źródłem w ekosystemie leśnym jest ściółka, tzn. opad biomasy asymilującej. Pierwiastki te kształtują żyzność gleby i – razem z wodą – warunkują produkcję drewna. Determinują ją jednak w tym sensie, że budują aparat asymilacyjny, którego wielkość (biomasa czy rozwinięta powierzchnia asymilująca liści) decyduje o ilości pochłanianego CO₂, wody i energii słonecznej, a więc węgla, tlenu i wodoru, a zatem – o produkcji drewna. Z tego powodu działania hodowlane skupiają się m.in. na budowie i kształtowaniu koron drzew oraz konkurencji o przestrzeń i światło dla pojedynczego drzewa. Pobierane przez drzewa składniki odżywcze (na siedlisku borowym jest to rocznie średnio na 1 ha ok. 50 kg azotu, 5 kg fosforu, 14 kg potasu, 10 kg wapnia oraz 3 kg magnezu) są uzupełniane opadem ściółki. Dlatego umiarkowane użytkowanie i wywóz drewna poza ekosystem leśny nie powoduje jego degradacji i nie uszczupla możliwości produkcyjnych siedliska. Zmienia jednak w sposób zasadniczy warunki bytowania wielu organizmów, upraszczając strukturę troficzną ekosystemu i osłabiając związki międzygatunkowe, przez co czyni cały układ mniej stabilnym i bardziej wrażliwym na wewnętrzne i zewnętrzne zakłócenia. Dlatego produkcja drewna nie może być rozpatrywana w oderwaniu od trwałości ekosystemu leśnego (Rykowski 2012).

Odmienny pogląd prezentują Kowalkowski i Olejarski (2013), którzy zwracają uwagę, że w lasach z intensywnym użytkowaniem międzyrębnym, o krótkiej rotacji i z pełnym pozyskaniem resztek po zrębnych z korą i karpiną, ekosystem leśny jest od wieków nieodwracalnie zubażony o duże ilości elementów odżywczych. Z badań przeprowadzonych przez Gornowicza i Pilarka (2013) wynika, że na skutek pozyskiwania drewna w korze ubytek niektórych ważniejszych pierwiastków biogenych w środowisku leśnym wynosi: w przypadku azotu – 312,7 kg/ha, fosforu – 30,3 kg/ha, potasu – 53,7 kg/ha, wapnia – 328,5 kg/ha, a magnezu – 39,0 kg/ha. Autorzy ci szacują, że w ciągu całego cyklu produkcji leśnej przy pozyskiwaniu całych drzew wraz z karpą może zostać wycofane z obiegu 524 kg/ha azotu, 55 kg/ha fosforu, 121 kg/ha potasu, 438 kg/ha wapnia i 54 kg/ha magnezu. Ilości te w porównaniu z ubytkiem składników pokarmowych przy tradycyjnym pozyskaniu drewna byłyby większe średnio o 65,5% (od 33% w przypadku wapnia do 125% dla potasu).

Jak podkreślają Kowalkowski i Olejarski (2013), surowy popiół z „pierwotnego paliwa” leśnego pochodzenia jest niejednorodnym produktem spalania biomasy leśnej. Charakteryzuje się wysoką zdolnością agresywnego wchodzenia w reakcje chemiczne ze składnikami środowiska leśnego. Działa szkodliwie na florę i faunę glebową oraz na człowieka. Nie może być traktowany jako nawóz do bezpośredniego stosowania w lesie. Jego wykorzystanie jest jednak możliwe po odpowiednim przetworzeniu poprzez stabilizację na drodze granulacji, możliwie największą homogenizację, minimalizację drobnych frakcji, przekształcenie agresywnych tlenków w wodorotlenki i węglany. Powinien się wówczas cechować dostępnością elementów odżywczych, nie powodującej ryzyka szkodliwego szoku, długookresową (od 5 do 25 lat) zdolnością udostępniania elementów odżywczych, odpowiednią do danych warunków siedliska, i niską reaktywnością w środowisku glebowym.

Obecnie w Polsce popiół lotny pochodzący ze spalania biomasy jest transportowany do kopalń i starych wyrobisk, składowany na przystosowanych do celu składowiskach oraz, jeśli lokalne organy administracji wyrażą na to zgodę, wykorzystywany do rekultywacji składowisk komunalnych. W innych krajach, np. Szwecji czy Finlandii, popioły te, po uprzednim zgranulowaniu, wykorzystywane są jako nawozy w lasach (Sadowski 2013).

4. Aspekty ekonomiczne wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne

Niska wartość energetyczna oraz duże rozproszenie i związane z tym wysokie koszty transportu biomasy sprawiają, że jej spalanie przez zawodowe zakłady energetyczne jest w warunkach rynkowych nieopłacalna, nawet w procesie współspalania z surowcami kopalnymi (węgłem kamiennym oraz brunatnym). Stosowane w krajach Unii Europejskiej, w tym w Polsce, instrumenty finansowe promujące wykorzystanie biomasy – tzw. zielone certyfikaty – zasadniczo zmieniają tę sytuację (Bird&Bird 2011). System zielonych certyfikatów jest mechanizmem rynkowym, a jego istotą jest nałożony

na przedsiębiorstwa energetyczne, zajmujące się sprzedażą energii elektrycznej odbiorcom końcowym, obowiązek uzyskania określonej liczby świadectw pochodzenia energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnych źródłach energii bądź uiszczenia opłaty zastępczej (Ministerstwo Gospodarki 2013). Dzięki funkcjonującemu systemowi wsparcia wartość jednostkowych przychodów zawodowych wytwórców energii spalających biomasę kształtowała się w 2010 r. na poziomie 450–470 zł/MWh, przy czym cena energii stanowiła tylko ok. 200 zł/MWh, a reszta pochodziła ze sprzedaży świadectw pochodzenia (tj. zielonych certyfikatów) (Bird&Bird 2011). Doprowadziło to do zaburzenia względnej równowagi na rynku surowca drzewnego, którego skutki najbardziej dotknęły zakłady celulozowo-papiernicze i produkcji płyt, wykorzystujące surowiec drzewny będący obiektem zainteresowania także branży energetycznej. Sytuacja ta dotyczy wielu krajów europejskich. Przykładowo w Wielkiej Brytanii subsydia pozwalają energetyce płacić nawet ponad 92 euro za tonę drewna (Bernasiński 2011). W Austrii natomiast, w okresie od 2001 do 2005 r., w wyniku konkurencji pomiędzy producentami peletów a przemysłem celulozowo-papierniczym ceny trocin wzrosły blisko dwukrotnie. Wzrostowi uległy również ceny samych peletów (średnio ze 183 euro/t do 265 euro/t), głównie na skutek wysokiego popytu ze strony ciepłownictwa oraz towarzyszącego mu deficytu drewna okrągłego (Uslu et al. 2010).

Mimo zasadniczych trudności w wykorzystywaniu biomasy do produkcji energii, jej zużycie w Polsce będzie rosło. Wynika to z braku naturalnych warunków do dalszego dynamicznego rozwoju produkcji energii z innych źródeł odnawialnych, głównie energii wodnej oraz geotermalnej, a także wysokich kosztów środowiskowych energii wiatrowej oraz pochodzącej ze źródeł konwencjonalnych². Efektem wzrostu cen biomasy na skutek zwiększonego popytu jest wzrost cen energii dla użytkowników końcowych. W 2013 r. średnia cena sprzedaży energii elektrycznej wyniosła 182 zł/MWh (Informacja 2014).

Na poziom cen energii po 2013 r. będzie miał wpływ przydział darmowych uprawnień. W latach 2013–2020 Polska ma otrzymać łącznie około 404,6 mln ton EUA (europejskich certyfikatów emisyjnych) dla istniejących jednostek wytwórczych, podczas gdy w latach 2008–2012 było to ok. 1025 mln ton (205 mln ton/rok). Opierając się na danych dotyczących wielkości emisji CO₂ przez polski sektor elektroenergetyczny w przeszłości, a także na prognozach cen uprawnień do emisji na lata 2013–2020, szacuje się, że już w 2014 r. hurtowa cena energii konwencjonalnej może wzrosnąć o około 30–35 zł/MWh, a w kolejnych latach, z uwagi na niski roczny przydział darmowych jednostek uprawnień do emisji, cena energii będzie wzrastać jeszcze bardziej dynamicznie (Bird&Bird 2011).

² Koszty zewnętrzne produkcji energii elektrycznej w Polsce są najwyższe w Unii Europejskiej i sięgają 5,5–18 eurocentów na 1 kWh (dane z 2006 roku). Uwzględnienie tych kosztów w cenie energii elektrycznej spowodowałoby jej wzrost o 70–250%. Koszty najbardziej przejawiają się w wyższych wydatkach na ochronę zdrowia, zniszczeniu infrastruktury, wyższych kosztach uzdatniania wody oraz degradacji środowiska naturalnego (Graczyk 2010).

Obecne koszty wytworzenia 1 GJ energii chemicznej zawartej w biomase roślinnej są nawet 1,5–2,5 razy wyższe od kosztów 1 GJ energii wyprodukowanej z węgla. Wynika to nie tylko z cen samej biomasy, ale także z kosztów transportu, zależących od odległości źródła pozyskiwania paliwa. Przyjmuje się, że odległość od producenta czy dystrybutora biomasy do odbiorcy nie powinna być większa niż 30–35 km, a w skrajnych przypadkach niż 60 km (Lorenz i Grudziński 2009). Jest to niewielka odległość, jeśli weźmie się pod uwagę roczne zapotrzebowanie na biomasę dla kotła WP-70 o mocy 81 MW, współspalającego 20% biomasy, które wynosi około 16–20 tys. ton, podczas gdy ze średnio zalesionego obszaru o promieniu 30 km pozyskuje się rocznie ok. 8,5 tys. m³ drewna opałowego, czyli około 5–6 tys. ton drewna (Furtak 2004).

W okresie do 2030 r., w konsekwencji wdrożenia polityki klimatycznej UE w obecnym kształcie i związanego z tym szerszego wykorzystania biomasy i pozostałych odnawialnych źródeł energii, nastąpi wzrost nakładów inwestycyjnych na rozbudowę nowych mocy produkcyjnych o ok. 60 mld zł. Wzrosną również średnie koszty produkcji energii elektrycznej, co bezpośrednio wpłynie na wzrost wydatków gospodarstw domowych i przedsiębiorstw o 8–12 mld zł rocznie. W efekcie można spodziewać się, że łączny PKB w 2020 r. będzie niższy o 7,5% w porównaniu do hipotetycznej sytuacji bez wspierania odnawialnych źródeł energii. W 2030 r. obniżenie może sięgnąć nawet 15% (EnerSys 2008). Bukowski i Śniegocki (2011) szacują natomiast, że PKB będzie niższy o 1,1–1,7% w 2020 r. w porównaniu do scenariusza bez „celu 3×20”, przy czym produkcja w energochłonnych sektorach spadnie o 1,9–4,4%, a stopa bezrobocia wzrośnie o 0,4–0,5%.

„Raport 2030”, przygotowany przez EnerSys (2008), przewiduje, że do 2030 r. nakłady inwestycyjne związane ze wspieraniem odnawialnych źródeł energii mogą wzrosnąć o 58 mld zł, a cena energii elektrycznej o około 60%. Według innej prognozy (Jurdiak 2012) wzrost ceny hurtowej energii będzie jeszcze wyższy i nawet w scenariuszu bazowym, bez wpływu kosztów wykupów pozwoleń, do 2020 r. cena ta miałaby wzrosnąć o 100% (z ok. 200 zł/MWh do ok. 400 zł/MWh). Po uwzględnieniu kosztów wykupu pozwoleń cena energii może osiągnąć około 580 zł/MWh. Po doliczeniu kosztów przesyłu i dystrybucji, gospodarstwa domowe będą musiały płacić 600–800 zł/MWh, czyli od 50% do 100% więcej niż w 2008 r. Przy założeniu realnego wzrostu dochodów rozporządzalnych do roku 2020 nawet o 30% (tempo wzrostu 3,3% na rok), udział wydatków na nośniki energii może zwiększyć się z 10% w roku 2008 do 18,7%.

Powyższe szacunki dotyczą tylko zawodowych wytwórców energii elektrycznej, ponieważ porównanie kosztów energii z różnych źródeł wskazuje, że wykorzystanie drewna w indywidualnych systemach grzewczych jest nadal najtańszym sposobem wytwarzania energii cieplnej, szczególnie w przypadku stosowania drewna kawałkowego. Przy cenie drewna o wilgotności 20%, wynoszącej 230 zł/m³, cena energii elektrycznej wynosi 21,90 zł/GJ, natomiast cena energii ciepła, przy sprawności kotła na poziomie 80% – 27,30 zł/GJ. W przypadku

peletów i brykietów (wilgotność 10%), których koszt zakupu kształtuje się na poziomie 700 zł/m³, cena wynosi odpowiednio jak wyżej 41,20 zł/GJ i 51,50 zł/GJ. Są to ceny znacząco mniejsze niż ceny energii z innych źródeł. W przypadku oleju opałowego cena osiąga 90,29 zł/GJ, węgla – 29,64 zł/GJ, gazu płynnego – 114,07 zł/GJ, a energii elektrycznej 121,11 zł/GJ (Wach 2007).

Rozpatrując wady i zalety wykorzystania drewna przez duże zakłady energetyczne, należy mieć na uwadze fakt, że przy niezaspokojonym popycie na drewno do celów przemysłowych, przynajmniej część spalane surowca drzewnego mogłaby być bardziej efektywnie wykorzystana (większe sumaryczne korzyści ekonomiczne i społeczne) w przemyśle przerobu drewna. Czernko (2011) ocenia, że pozyskanie oraz przerobienie 10 tys. m³ drewna sosnowego tartaczynowego wielkowymiarowego, przy średniej cenie 202 zł/m³ (2010), prowadziło do uzyskania następujących efektów ekonomicznych:

- z 10 tys. m³ drewna (ekologicznego materiału odnawialnego) wyprodukowano 117 tys. m² podłogi oraz 1600 m³ różnych palet przemysłowych,

- całkowita wartość produktów uzyskanych z przerobu tego drewna wynosiła 6,6 mln zł (328% wartości surowca), a wartość dodana – 4,6 mln zł,

- całkowite zatrudnienie przy przerobie 10 tys. m³ drewna wynosiło średnio 49 osób,

- wartość pozostałości poprodukcyjnych wynosiła ok. 0,37 mln zł; stanowiły one surowiec dla przemysłu płyt drewnopochodnych lub źródło energii, odpowiadające pod względem wartości energetycznej 1800 tonom węgla kamiennego.

Europejska Federacja Producentów Płyt Drewnopochodnych (*European Panel Federation*, EPF) szacuje, że przetworzenie jednej tony suchego drewna w przemyśle papierniczym zajmuje przeciętnie 124 roboczogodziny, w produkcji wyrobów drewnopochodnych 54 roboczogodziny, natomiast w produkcji energii jedynie 2 roboczogodziny (EPF 2005). Wartość dodana przemysłowego przerobu drewna wynosi 4176 zł, a jego spalania – 472 zł (Czernko 2012). Według EPF wartość dodana produktów z drewna, nawet bez uwzględnienia wartości energetycznej po zakończeniu cyklu życia drewna, wynosi średnio 1044 euro za tonę suchego surowca, podczas gdy wartość surowca drzewnego użytego jedynie jako paliwo sięga 118 euro/t.

Jednym z negatywnych efektów społeczno-gospodarczych promowania wykorzystywania drewna na cele energetyczne jest zaburzenie równowagi rynkowej na drewno małej i średniowymiarowe oraz przenoszenie zakładów produkcji płyt drewnopochodnych z Europy do krajów „tańszych”. Od kilkunastu lat obserwowany jest odpływ mocy wytwórczych do krajów poza Unię Europejską (m.in. na Ukrainę i do Rosji, ale także do Chin). Utrwalenie tego trendu może mieć szkodliwy wpływ na zatrudnienie w przemyśle płyt drewnopochodnych w krajach UE, ale także osłabić przemysł meblarski, poddany silnej konkurencji ze strony tanich producentów pozaeuropejskich (EPF 2005). Problem ten może być szczególnie dotkliwy dla producentów mebli w Polsce i krajowego eksportu (EU-Consult 2011).

5. Aspekty społeczne wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne

Efektom wzrostu udziału biomasy w wytwarzaniu energii są zmiany na rynku pracy. Według raportu EurObserv'ER (konsorcjum monitorującego rozwój różnych sektorów energetyki odnawialnej w Unii Europejskiej) w 2009 r. spośród sektorów produkcji energii odnawialnej największą liczbę miejsc pracy generował sektor biomasy stałej (280 tys. w całej Unii Europejskiej). Jego obroty sięgały 26 mld euro, a beneficjentami były w szczególności małe i średnie przedsiębiorstwa, w tym sektor leśny i rolny (EurObserv'ER 2011). Z kolei Zielińska (2011) podaje szacunki, według których wzrost udziału energii ze źródeł odnawialnych do 20% może wygenerować ponad 600 tys. miejsc pracy, a w przypadku średniej poprawy efektywności energetycznej przez kraje UE o 20% dodatkowe 400 tys. Obecnie w sektorze „zielonych technologii i usług” w Unii zatrudnionych jest 3,5 mln osób.

Daly et al. (2011) wskazują, że zainwestowanie 1 mld euro może pozwolić na stworzenie 21,5 tys. miejsc pracy w zrównoważonym transporcie, 25,9 tys. przy energetycznej modernizacji budynków, 29,0 tys. związanych z ochroną przyrody (obszary Natura 2000) lub 52,7 tys. stanowisk w energetyce odnawialnej. W perspektywie budżetowej Unii Europejskiej na lata 2014–2020 realizacja „zielonego budżetu” w wysokości 14% całkowitych wydatków UE (roczne inwestycje na poziomie 14,7 mld euro, zgodnie z aktualnymi propozycjami Komisji Europejskiej) pozwoliłaby na stworzenie przez wymienione powyżej cztery sektory ponad pół miliona miejsc pracy. Obecne inwestycje w ramach wspólnej polityki rolnej oraz polityki spójności, pochłaniające około 78% aktualnego budżetu (140 mld euro rocznie), generują zaledwie niewiele ponad dwa razy więcej miejsc pracy. Wynika z tego, że zastąpienie inwestycji realizowanych w ramach tych dwóch polityk inwestycjami w „zielonych sektorach” zwiększyłoby efekt tworzenia miejsc pracy ponad trzykrotnie (320%).

Instytut na Rzecz Ekorozwoju (2009) ocenia, że zapewnienie efektywności odnawialnych źródeł energii wymaga zatrudnienia co najmniej 25 tys. pracowników, z czego połowę stanowić muszą osoby wykwalifikowane. Szacunek ten nie uwzględnia czynnika mnożnikowego – dodatkowych miejsc pracy w otoczeniu (obsłudze wewnętrznej i rolnictwie). Włączenie do sektora produkcji energii odnawialnej także sektora rolnego poprzez zagospodarowanie na cele energetyczne ok. 0,5 mln ha, pozwoliłoby na zatrudnienie kolejnych 44–70 tys. osób (przy średniej 10–14 osób/100 ha).

Moskalik et al. (2012) szacują, że w Polsce przy pozyskaniu i wyrobie średniowymiarowego drewna opałowego pracuje ok. 2750 osób, natomiast dalsze 1400 osób mogłoby pracować przy wyrobie drewna małowymiarowego. Dodatkowe miejsca pracy mogą powstawać w celu dalszej obróbki drewna, na przykład przy produkcji węgla drzewnego lub drewna kominkowego. Autorzy ci przytaczają również wyniki badań Danielsona i Hektora (1992) oraz Strindberga (1998), według których zagospodarowanie pozostałości zrębowych (obejmujące pozyskanie, rozdrobnienie, transport, spalanie i admini-

strację) w ilości 100 tys. m³ drewna wymaga zaangażowania 25 osób przez rok. Pozyskanie ręczno-maszynowe i maszynowe w trzebieżach generuje z kolei w ciągu roku odpowiednio 73 i 35 miejsc pracy na każde 100 tys. m³ drewna.

Efektywne gospodarowanie zasobami drzewnymi wymaga przypisania priorytetowego znaczenia produktom leśnym o wyższej wartości dodanej, tworzeniu nowych miejsc pracy i przyczynianiu się do lepszego bilansu dwutlenku węgla. Kryteria te spełnia model kaskadowy, w którym drewno jest wykorzystywane przede wszystkim do wytwarzania takich produktów, które po ponownym wykorzystaniu i recyklingu ostatecznie zużywane są do wytwarzania energii i unieszkodliwiane (COM(2013) 659; Oesten 2012).

6. Aspekty technologiczne wykorzystania biomasy leśnej na cele energetyczne

Zagadnienia technologiczne związane z wykorzystaniem biomasy leśnej do celów energetycznych obejmują m.in. ocenę efektywności energetycznej stosowanych technik oraz ocenę ilości CO₂ uwolnionego z paliw wykorzystywanych w procesach przygotowania biomasy. Od chwili pozyskania biomasy za najważniejsze natomiast należy uznać problemy logistyczne oraz procesy uszlachetniające, służące zwiększeniu jej wartości i gęstości energetycznej. Biomasa z lasu może być wykorzystana w różnych postaciach, począwszy od drewna kawałkowego, przez zrębki, jak również w postaci uszlachetnionych form (pelety lub brykiety). Wraz ze wzrostem stopnia przetworzenia surowca drzewnego wzrastają koszty jednostkowe zakupu, nakłady energetyczne na jednostkę biomasy, ale jednocześnie, ze względu na wyższą gęstość energetyczną, obniżeniu ulegają koszty transportu oraz magazynowania.

Uszlachetnienie biomasy leśnej wiąże się z uformowaniem jej w brykiety lub pelety. W pierwszym przypadku wartość energetyczna wynosi 19–21 GJ/t; wilgotność 6–8%, natomiast zawartość popiołu – 0,5–1% suchej masy. Zaletą peletów jest natomiast bardzo niska zawartość popiołów (0,3–1% suchej masy) oraz wysoka wartość energetyczna – 16,5–19,5 MJ/kg. Proces peletowania jednak jest wysokoenergochłonny, ponieważ do wytworzenia jednej tony produktu należy zużyć około 1,3 tony zrębków w stanie powietrzno-suchym. Zakładając, że tona drewna ma wartość opałową na poziomie 8,4 GJ/Mg (W=50%), a wydatki energetyczne z uwzględnieniem strat energii chemicznej zgromadzonej w biomasie wynoszą w przybliżeniu 3,2 GJ/Mg gotowego produktu, ponad 25% energii włożonej w wzbogacanie paliwa jest tracona bezpowrotnie (Drobnik 2007).

Różnorodność stosowanych procesów technologicznych sprawia, że trudno dokładnie oszacować nakłady energetyczne niezbędne dla przygotowania biomasy leśnej. W badaniach Kusiaka i Czechłowskiego (2009), przeprowadzonych na obszarze Puszczy Noteckiej, sumaryczna emisja CO₂ przy zastosowaniu technologii o niskim poziomie mechanizacji prac (pilarka i ciągnik rolniczy) wyniosła 1,11 kg CO₂/m³ pozyskanego i zerwanego drewna. Wydajność w przeliczeniu na 1 godzinę

pracy 4-osobowego zespołu wyniosła 4,8 m³, a godzinowa emisja CO₂ – 2,64 kg. Przy zmechanizowanym pozyskaniu i zrywce emisja CO₂ wyniosła 2,22 kg na 1 m³ pozyskanego drewna, natomiast emisja dwutlenku węgla związana ze zrywką sięgała 1,49 kg. Emisja sumaryczna CO₂ przy zastosowaniu technologii o wysokim poziomie mechanizacji prac (harvester i forwarder) wyniosła 3,71 kg CO₂/m³. Godzinowa emisja spalin przy pozyskaniu kształtowała się na poziomie 19,41 kg, natomiast w przypadku zrywki na poziomie 10,41 kg.

W badaniach Gałęzi (2013) całkowity nakład energetyczny konieczny do pozyskania i przetransportowania zrębków do elektrociepłowni wyniósł 109,72 MJ/m³(p), a emisja CO₂ powodowana pozyskaniem i przetransportowaniem zrębków do elektrociepłowni kształtowała się na poziomie 7,89 kg/m³(p). W przypadku balotów uformowanych z materiału gałęziowego całkowity nakład energetyczny konieczny do ich pozyskania i przetransportowania do elektrociepłowni, wraz z ich przerobem, wyniósł 313,56 MJ/m³(p), a emisja CO₂ powodowana tymi operacjami wyniosła 22,14 kg/m³(p). Uzyskane wyniki wskazują, że pozyskiwanie biomasy leśnej, czy to w formie balotów czy zrębków, jest uzasadnione pod względem bilansu energetycznego. Pozyskiwanie biomasy w formie zrębków jest trzykrotnie mniej energochłonne niż pozyskiwanie balotów. Ze spalania zrębków energetycznych w bloku elektrociepłowni uzyskuje się ponad 10 razy więcej energii, niż wymaga pozyskanie i transport biomasy w formie balotów, oraz ponad 30 razy więcej niż wymaga pozyskanie i transport biomasy w formie zrębków (Gałęzia 2013).

W lokalnych centrach energetycznych najbardziej ekonomicznie uzasadnione jest stosowanie biomasy nieprzetworzonej, transportowanej z niedużej, do 30 km, odległości, ze względu na koszty i efekty ekologiczne (Piszczalka et al. 2007). Biomasa nieprzetworzona w postaci zrębków ma niewielką wartość energetyczną, zależną od wilgotności (6–20 MJ/kg). Ponadto ma niski ciężar nasypowy (zrębki lub baloty), co wskazuje, że przewożenie jej na większe odległości nie jest uzasadnione ze względu na wysokie koszty transportu i jego negatywny wpływ na środowisko. Dlatego też należy krytycznie spojrzeć na proces współspalania biomasy z węglem w wielkich elektrociepłowniach, do których biomasa dostarczana jest z dużych odległości. Ma to charakter działań pozorowanych, których celem jest jedynie spełnienie norm emisji CO₂ (Jasiulewicz 2010).

Ocenia się (Baum et al. 2012), że w Polsce, w perspektywie do 2020 r. i dalszej, produkcja energii z biomasy wymagała będzie zebrania, przewiezienia, składowania i ponownego przetransportowania nawet do 50 mln ton biomasy rocznie. W celu uniknięcia wielokilometrowego transportowania dużych mas zasadne jest wspieranie rozwoju lokalnych rynków biomasy, równoważących podaż i popyt, oraz elektronicznych systemów logistycznych, minimalizujących koszty zbioru, transportu i składowania biomasy. Dodatkowym atutem zużytkowania biomasy w pobliżu miejsca produkcji jest wykorzystanie istniejącej infrastruktury grzewczej w małych miastach lub zastosowanie biomasy w stanie surowym lub suszonym naturalnie w energetyce lokalnej (Baum et al. 2012; Oesten 2012). Gminy, które propagowałyby

tego typu rozwiązania i inwestowały w odpowiednie urządzenia, mogłyby wykorzystać swój potencjał gruntów (obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania, odłogi, zdegradowane łąki, itp.) w celu produkcji biomasy i byłyby samowystarczalne energetycznie (Baum et al. 2012).

W praktyce do celów energetycznych można wykorzystać także różne jednoroczne i wieloletnie rośliny, jak również słomę. Biorąc pod uwagę warunki klimatyczne w Polsce obszar teoretycznie dostępny dla uprawy wierzby i topoli wynosi ok. 1,6 mln ha. Przyjmując, że średnie plony na gruntach słabych wynoszą ok. 10 ton suchej masy rocznie, z takiego arealu można by uzyskać ok. 16 mln ton s.m./rok. Przy wartości energetycznej suchej masy wynoszącej ok. 20 GJ/t możliwe byłoby uzyskanie energii ok. 320 mln GJ/rok, co odpowiada 36% energii powstającej ze spalania węgla kamiennego (888 mln GJ) oraz 62% energii z węgla brunatnego (514 mln GJ) (dane dla 2008 r.; Jasiulewicz 2009).

Dywersyfikacja kierunków produkcji rolnej, zwłaszcza roślinnej, przez uprawę surowców konsumpcyjnych i energetycznych, może przyczynić się do poprawy dochodów ludności rolniczej i aktywizacji gospodarczej obszarów wiejskich. Powinna wpłynąć również na poprawę stanu środowiska przyrodniczego i zrównoważony rozwój obszarów wiejskich. Wykorzystanie w lokalnych ciepłowniach najnowszych technologii skojarzonych systemów grzewczych do zagospodarowania biomasy odpadowej z rolnictwa, przemysłu, gospodarki komunalnej oraz leśnictwa, a także z produkcji rolnej, stanowi najbardziej efektywne rozwiązanie zarówno dla producentów energii cieplnej, jak i dostawców surowców energetycznych (Jasiulewicz 2010).

Stworzenie lokalnego systemu wykorzystania biomasy (energia elektryczna i ciepła) jest bardzo efektywne energetycznie (70–90% efektywności), a ponadto pozwala na aktywizację zawodową ludności na obszarach wiejskich (tworzenie nowych miejsc pracy), pełne wykorzystanie gruntów oraz obrót kapitału w układzie lokalnym. Uruchomienie takich działań może stać się kołem zamachowym lokalnej gospodarki.

7. Podsumowanie

Wykorzystanie drewna do produkcji energii w skali przemysłowej jest zjawiskiem nowym, stanowiącym pośrednią odpowiedź gospodarki na globalne zagrożenia środowiska. Ze względu na swoją skalę budzi ono wiele wątpliwości i zmusza do refleksji nad kierunkiem zmian w dzisiejszym zglobalizowanym świecie.

W warunkach zmian klimatu i jednoczesnego wzrostu zapotrzebowania na energię wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, w tym biomasy pochodzącej z lasów, staje się nieodzowne. Użytkowanie drewna jako surowca energetycznego w skali przemysłowej jest zjawiskiem niezwykle złożonym, mającym daleko idące konsekwencje przyrodnicze i społeczno-ekonomiczne. Korzystne skutki tego procesu dla łagodzenia zmian klimatu nie mogą przesłaniać zagrożeń związanych z ryzykiem nadmiernej eksploatacji drzewostanów czy zagospodarowaniem popiołów. Wykorzystanie biomasy dla po-

trzeb produkcji energii w znacznym stopniu wpływa i będzie wpływało pozytywnie na poprawę gospodarki rolnej i dlatego powinno stanowić istotny element polityki rolnej. Jednakże szerokie wykorzystywanie leśnej biomasy drzewnej na cele produkcji energii może mieć negatywne konsekwencje dla rozwoju obszarów wiejskich, ze względu na osłabienie kondycji gałęzi przemysłu drzewnego, w znacznej mierze przyczyniających się do rozwoju gospodarczego.

Wykorzystanie biomasy drzewnej do produkcji energii, z uwagi na swoją skalę, rzuca także nowe światło na znaczenie drewna, określając gospodarkę leśną jako sektor wspierający realizację polityki klimatycznej. Polityka zapobiegania zmianom klimatu wymaga jednak ważenia wszystkich korzyści i zagrożeń, tak aby jej realizacja nie kolidowała z rozwojem innych sposobów wykorzystania drewna i nie stanowiła zagrożenia dla przemysłu drzewnego i celulozowo-papierniczego.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Podziękowania i źródła finansowania

W publikacji przedstawiono wyniki badań zrealizowanych w ramach projektu pt. „Możliwości oraz uwarunkowania przyrodnicze, technologiczne i ekonomiczne zwiększania podaży drewna do celów energetycznych”, sfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki, umowa nr N N309 110940.

Literatura

- Bartoszewicz-Burczy H., Soliński J. 2013. Wykorzystanie biomasy leśnej w energetyce – stan i perspektywa do roku 2030 i dalej do 2080 roku. Narodowy Program Leśny, Panel Ekspertów „Klimat – Las i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse”, 18 czerwca 2013 r., Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Baum R., Wajszczuk K., Wawrzynowicz J. 2012. Modelowe rozwiązanie logistyczne dla lokalnego rynku biomasy. *Logistyka* 4: 846–854.
- Bernasiński R. 2011. Energetyka – czy warto marnować drewno na produkcję energii? *plytameblowa.pl* <http://www.plytameblowa.pl/rozmowy/energetyka-czy-warto-marnow%C4%87-drewno-na-produkcj%C4%99-energii-0> [12.03. 2012].
- Bird&Bird. 2011. Analiza skutków prawnych wprowadzenia zmian w mechanizmie wsparcia dla producentów energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, w kontekście zachowania praw nabytych inwestorów korzystających ze wsparcia na dotychczasowych zasadach. Opinia kancelarii Bird & Bird Maciej Gawroński sp.k., Warszawa, s. 88.
- Birler A. S. 1998. The opportunity of forest plantation investment and its expected impact to national economy in Turkey, w: Recycling, energy, and market interactions. Proceedings of UNECE TC Workshop, Istanbul, Turkey.
- Borecki T., Dawidziuk J. 2011. Ocena rozwoju, produktywności, struktury i przeznaczenia zasobów leśnych, w: Strategia rozwoju lasów i leśnictwa w Polsce do roku 2030. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa. III Sesja. Sękocin Stary, 15–17 marca 2011 r. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, s. 121–136.
- Borecki T., Stępień E., 2013. Prognoza rozwoju i użytkowania zasobów leśnych do 2070 roku w warunkach zmian klimatycznych. Narodowy Program Leśny, Panel Ekspertów „Klimat – Las i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse”, 18 czerwca 2013 r., Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Budzyński W., Bielski S., 2004. Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego, cz. II. Biomasa jako paliwo stałe. *Acta Scientiarum Polonorum - Agricultura* 3(2): 15–26.
- Bukowski M., Śniegocki A. 2011. Mix energetyczny 2050. Analiza scenariuszy dla Polski. Raport opracowany na zlecenie Ministerstwa Gospodarki przez Instytut Badań Strukturalnych i demosEUROPA – Centrum Strategii Europejskiej, Warszawa.
- Czemko B., 2011. Gospodarze i społeczne znaczenie drewna jako materiału. Konferencja „Pachnica dębowa (*Osmoderma eremita*), jako przykład gatunku parasolowego. Martwe drewno a bioróżnorodność biologiczna ekosystemów leśnych”. 27–28 kwietnia 2011 r., Puszczykowo.
- Czemko B., 2012. Rola biomasy leśnej w przemyśle drzewnym. Konferencja „Biomasa leśna. Produkcja – Dystrybucja – Konsumpcja”, Łągow, 5–6 czerwca 2012 r.
- Daly E., Pieterse M., Medhurst J. 2011. Evaluating the Potential for Green Jobs in the next Multi-annual Financial Framework. Final Report. London, GHK.
- Dawidziuk J., Neroj B. 2012. Stan aktualny oraz prognozy rozwoju użytkowania zasobów drzewnych w PGL Lasy Państwowe oraz w lasach prywatnych do 2040 r. Konferencja „Biomasa leśna. Produkcja – Dystrybucja – Konsumpcja”, Łągow, 5–6 czerwca 2012 r.
- Dixon R. K., Solomon A. M., Brown S., Houghton R. A., Trexler M. C., Wisniewski J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185–190.
- Drobnik P., 2007. Analiza wydatków energetycznych niezbędnych do wytworzenia biopaliw formowanych. II Krakowska Konferencja Młodych Uczonych, Kraków, s. 97–103.
- Dyrektiva Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywę 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. OJ L 140, 05.06.2009.
- EnergSys 2008. Raport 2030. Wpływ proponowanych regulacji unijnych w zakresie wprowadzenia europejskiej strategii rozwoju energetyki wolnej od emisji CO₂ na bezpieczeństwo energetyczne Polski, a w szczególności możliwości odbudowy mocy wytwórczych wykorzystujących paliwa kopalne oraz poziom cen energii elektrycznej. Badanie Systemowe. Warszawa, EnergSys.
- EPF 2005. Sustainable use of wood for products and energy: conflict or opportunity? (View of the European wood-based panel industry). European Panel Federation, Brussels. http://www.europanel.org/main_tc.html [25.11.2013].
- EU-Consult 2011. Analiza potencjału rozwoju sektora drewno-mieblarskiego w powiecie bytowskim. Gdańsk, EU-Consult.
- EurObserv'ER 2011. The state of renewable energies in Europe. *EurObserv'ER Report* 11: 1-248 http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/barobilan/barobilan11.pdf [25.04.2012].
- Frühwald A. 1998. Wood products at the end of their life: material recycling, energy generation, or landfill? Technical, economical, and ecological aspects, w: Recycling, energy, and market interactions. Proceedings of UNECE TC Workshop, Istanbul, Turkey.
- Furtak D. 2004. Czy pozyskiwanie energii z biomasy w dużych ilościach energetycznych ma szansę w Polsce? *Energetyka* 4(598): 235–240.

- Gałęzia T. 2013. Analiza efektywności wybranych metod pozyskiwania biomasy leśnej na cele energetyczne na przykładzie Puszczy Białowieskiej, w: Gołos P., Kaliszewski A. (red.), *Biomasa leśna na cele energetyczne*, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 127–137.
- Gołaszewski J., Szczukowski S., Stolarski M. 2013. Plantacje drzew i krzewów szybkorosnących jako alternatywa biomasy z lasu czy nie wykorzystane i nowe źródła odnawialne oraz szansa dla „zielonej energii” – stan obecny, możliwości, bariery i perspektywa rozwoju. Narodowy Program Leśny, Panel Ekspertów „Klimat – Las i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse”, 18 czerwca 2013 r., Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Gornowicz R., Pilarek Z. 2013. Wpływ pozyskania biomasy na wycofywanie pierwiastków biogenych ze środowiska leśnego, w: Gołos P., Kaliszewski A. (red.), *Biomasa leśna na cele energetyczne*, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 138–146.
- Gostomczyk W. 2010. Odnawialne źródła energii jako nowy element rozwoju społeczno-ekonomicznego regionu, w: Strzelecki Z. (red.), *Oblicza współczesnego kryzysu a polskie regiony*, Warszawa, Ministerstwo Rozwoju Regionalnego.
- Graczyk A. 2010. Ekologiczne aspekty rozwoju energetyki odnawialnej. Prezentacja wygłoszona podczas panelu ekspertów pt. „Badania ankietowe wśród ekspertów oraz analiza ankiet i ich weryfikacja” w ramach projektu pt. „Strategia rozwoju energetyki na Dolnym Śląsku metodami foresightowymi. Politechnika Wrocławska, 11 czerwca 2010 r. <http://energia.pwr.wroc.pl/index.php?jez=pol&s=panel> [12.11.2013].
- GUS 2012. *Leśnictwo 2012*. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny.
- Guzenda R., Świągół J. 1997. Techniczne i ekologiczne aspekty energetycznego wykorzystania drewna i odpadów drzewnych. *Gospodarka Paliwami i Energią* 45, 1, 10–12.
- Informacja Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki (nr 15/2014) w sprawie średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym za rok 2013. Warszawa, Urząd Regulacji Energetyki
- Instytut na Rzecz Ekorozwoju 2009. *Alternatywna polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Raport dla osób podejmujących decyzje*. Warszawa, Instytut na Rzecz Ekorozwoju.
- Jasiulewicz M. 2009. Znaczenie rolnictwa w rozwoju energetyki rozproszonej jako formy rozwoju zrównoważonego obszarów wiejskich, w: Komornicki T., Kulikowski R. (red.), *Miejsce obszarów wiejskich w zagospodarowaniu przestrzennym*. *Studia Obszarów Wiejskich* 18: 157–169.
- Jasiulewicz M. 2010. Potencjał biomasy w Polsce. Koszalin, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, s. 169.
- Jurdiak L. 2012. Czy grozi nam ubóstwo? Analiza potencjalnych skutków unijnej polityki walki z globalnym ociepleniem dla gospodarstw domowych w Polsce. *Polityka Energetyczna* 15, 3: 23–50.
- Köhl M., 2013. Zielona gospodarka – nurt przyszłego rozwoju? w: Planowanie w gospodarstwie leśnym XXI wieku. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa, V Sesja, Sękocin Stary, 19–21 marca 2013 r. s. 69–73.
- COM(2013) 659. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Nowa strategia leśna UE na rzecz lasów i sektora leśno-drzewnego. COM(2013) 659 final z dn. 20.09.2013 r.
- Kowalkowski A., Olejarski I. 2013. Możliwości wykorzystania popiołów z biomasy leśnej jako źródła elementów odżywczych, w: Gołos P., Kaliszewski A. (red.), *Biomasa leśna na cele energetyczne*, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 147–176.
- Kusiak W., Czechłowski M. 2009. Ocena wydajności obciążenia środowiska emisją dwutlenku węgla przy maszynowym pozyskaniu i zrywce drewna. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 543: 181–194
- Lis W. 2013. Akceptowalna przez przemysł drzewny zmiana struktury podaży oraz cen drewna – wpływ wzrostu udziału biomasy drzewnej na cele energetyczne, w: Gołos P., Kaliszewski A. (red.), *Biomasa leśna na cele energetyczne*, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 84–106.
- Lorenz U., Grudziński Z. 2009. Współpalanie węgla i biomasy w energetyce – ceny koszty na przykładzie węgla brunatnego. *Rocznik Ochrona Środowiska* 11: 1245–1256.
- Mantau U. (red.) 2010. *EUwood – Real potential for changes in growth and use of EU forests. Final report*. Hamburg, Germany, s. 160.
- MCPFE 2011. *State of Europe’s Forests 2011. Status and Trends in Sustainable Forest Management in Europe*. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe (Forest Europe), Oslo, Liaison Unit, s. 337.
- Moskalik T., Nowacka W., Sadowski J., Zastocki D. 2012. Rynek drewna energetycznego w Polsce jako element rozwoju regionalnego. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie* 14, 32/3: 222–230.
- Oesten G. 2012. Przesłanki, dynamika i efekty wykorzystania drewna na cele energetyczne w Niemczech, 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. 251–256.
- Piszczalka J., Korenko M., Rutkowski K. 2007. Ocena energetyczno-ekonomiczna ogrzewania dendromasą. *Inżynieria Rolnicza* 6(94): 189–196.
- Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. 2009. Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 10 listopada 2009 roku. Warszawa, Ministerstwo Gospodarki.
- Ratajczak E., Bidzińska G. 2013. Rynek biomasy drzewnej na cele energetyczne – aspekty ekonomiczne i społeczne, w: Gołos P., Kaliszewski A. (red.), *Biomasa leśna na cele energetyczne*, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 59–76.
- Rykowski K. 2012. Czynniki środowiska przyrodniczego determinujące produkcję drewna. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa. IV Sesja. Sękocin Stary, 20–22 marca 2012 r. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, s. 47–63.
- Sadowski K. 2013. Problematyka użytkowania biomasy leśnej na przykładzie rozwiązań w Elektrociepłowni Białystok S.A., w: Gołos P., Kaliszewski A. (red.), *Biomasa leśna na cele energetyczne*, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 225–245.
- Streck C., O’Sullivan R., Janson-Smith T., Tarasofsky R. (eds.) 2010. *Climate change and forests. Emerging policy and market opportunities*. London, Chatham House.
- Uslu A., Bole T., Londo M., Pelkmans M., Berndes G., Prieler S., Fischer G., Cabal H. C., 2010. Reconciling biofuels, sustainability and commodities demand. Pitfalls and policy options. *Energy Research Centre of the Netherlands, Petten*, s. 37.

- Wach E., 2007. Ekonomiczne aspekty wytwarzania ciepła i energii elektrycznej z biomasy. Bałtycka Agencja Poszanowania. Energii S.A., Poznań 2007, http://www.czystaenergia.pl/pdf/poleko2007_34.pdf [25.11.2013].
- Zajączkowski S. 2013. Prognozy pozyskania drewna w Polsce w perspektywie 20 lat oraz możliwości ich wykorzystania do szacowania zasobów drewna na cele energetyczne, W: Gołos P., Kaliszewski A. (red.), Biomasa leśna na cele energetyczne, Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, s. 21–31.
- Zielińska M. 2011. Rola energii odnawialnej w zrównoważonym rozwoju obszarów wiejskich – przegląd unijnych strategii. S.71.

Ekspertyza. http://ksow.pl/fileadmin/user_upload/ksow.pl/pliki/ANALIZY_ekspertyzy/Energia_odnawialna_i_jej_znaczenie_dla_rozwoju_obszar%C3%B3w_wiejskich.pdf [19.08.2013].

Wkład autorów

P.G. – koncepcja badawcza, autor wniosku badawczego, zebranie danych i analiza literatury, napisanie maszynopisu, A.K. – uzupełnienie przeglądu literatury, uzupełnienie i korekta maszynopisu.