

Zachowanie i ochrona gleb

Wyniki ponad 30-letniego monitoringu lasów europejskich jednoznacznie wskazują na potrzebę uaktualnienia sposobu oceny miejsca i roli gleby w funkcjonowaniu siedlisk w geosystemie leśnym, w zmieniających się warunkach klimatycznych oraz społeczno-gospodarczych kontynentu europejskiego, który można sprecyzować jako *paradygmat zachowania i ochrony leśnych gleb w ich naturalnych zespołach*. Podstawą koncepcją adytywnego zagospodarowania lasu na ekologicznych zasadach są geoekosystemy leśne. Składają się one z wzajemnie powiązanych i jednocześnie niezależnie funkcjonujących ekologicznych jednostek powierzchni ziemi, w krajobrazach zróżnicowane na różnych poziomach ich organizacji w *arealach zlewni rzecznych*.

Ekosystemy lądowe składają się z reguły z *subsystemu przestrzeni glebowej* (soil space) oraz *przestrzeni zielonej* (vert. space). O ile zielona przestrzeń obejmuje nadziemne części ziemskiego geoekosystemu - rośliny, zwierzęta i powietrze między nimi, o tyle przestrzeń glebowa łączy poziomy glebowe z ich całkowitą zawartością. (Sheals 1969, Richards 1974, Jenny 1983).

Wśród komponentów geoekosystemów lądowych mozaiki zespołów glebowych należą do najmłodszych, najbardziej skomplikowanych w ich budowie, składzie i funkcjonowaniu oraz najbardziej podatnych na degradację naturalną i antropogeniczną, szczególnie w przypadku próchnicy glebowej. Wiadomo np, że współczesne ekosystemy leśne wschodnich Landów Niemiec na powierzchni około 11 mln ha wskutek działalności eksploatacyjnej człowieka w okresie ostatnich 6000 lat, utraciły nieodwracalnie 1,5 miliarda ton C_{org}, głównie w glebach zdegradowanych siedlisk bogatszych (Kopp, Schwanecke 1994). Wiadomo również, że prognozowane ocieplenie klimatu spowoduje przyspieszenie rozkładu materii organicznej zmagazynowanej w glebach wszystkich siedlisk leśnych, a jednocześnie wzrośnie wiązanie CO₂ w drzewostanach, przy odpowiednich zasobach wód opadowych i elementów odżywczych w okresie wegetacyjnym w glebach.

Według proponowanego paradygmatu gleby leśne są *materialnym ciałem naturalnym* z własną wewnętrzną organizacją i historią genezy, są zatem *genetycznym zasobem* geoekosystemu leśnego. W siedlisku leśnym są *wielofunkcyjnym biotycznym środowiskiem* z

ich mineralnymi i organicznymi cząstkami oraz porami zawierającymi wodę i gazy, z zasiedlającymi je zespołami roślinnymi oraz drobnymi zwierzętami i mikroorganizmami. Prócz znanych *funkcji użytkowych* spełniają *podstawowe ekologiczne funkcje naturalne* – przestrzeni życia, regulacyjną, ochronną, produktywności oraz archiwum historii rozwoju przyrody i kultur ludzkich. Stale aktualizowana znajomość tych funkcji powinna być jedną z najważniejszych *podstaw adytywnego systemu zarządzania* znajdującego się w ciągłej naturalnej ewolucji geosystemu leśnego zakłócanego katastrofalnie przez człowieka.

W strategiach rozwoju zasobów drzewnych zazwyczaj wymienia się ogólnie sformułowane zasoby leśne w sensie lasu, a więc drzewostanu, który jest użytkiem leśnym. Wiadomo jednak, że prócz szaty roślinnej do zasobów leśnych należą *nieodnawialne powierzchnie ziemi* i związane zasoby mineralne posiadające swoje naturalne granice (np. zlewnie, krajobrazy, formy geomorfologiczne) i gleby, a także odnawialne powietrze, świat zwierzęcy i zmienny klimat. Wśród nich, jak już zaznaczono wcześniej, szczególne znaczenie mają areale glebowe, mylnie zaliczane do abiotycznych i lekceważone w modelach prognozowych zasoby wód glebowych jako składniki materialne siedlisk. Siedliska np. proponuje się oceniać na podstawie klas bonitacji drzewostanu bardzo zróżnicowanych w zależności od działania czynników naturalnych i antropogenicznych, a także od „rodzaju gruntu” – wymyślonego niesprecyzowanego hasła w naszej nauce i praktyce leśnej.

Między innymi niepowtarzalnie znaczącym unikalnym zasobem kwaśnych gleb leśnych są mikroorganizmy glebowe. Szczególnie są to zespoły współżyjących z korzeniami leśnych roślin endo- i egzomikoryzowych grzybów, zaopatrujących je w wyselekcjonowane i uwolnione z ziarn mineralnych elementy odżywcze, doprowadzane w strzępkach do korzeni w wodno-enzymatycznych roztworach niskomolekularnych kwasów organicznych (Jongmans i wsp. 1997, van Breemen i wsp. 2000, Degórski, Kowalkowski, Kozłowska 2012). Bez odpowiednich zasobów mikroorganizmów glebowych zespoły roślinne lasu wykazują słaby rozwój, są podatne na różne biotyczne i abiotyczne szkodotwórcze czynniki. Wiadomo, że wegetacja jest dostosowana do czynników siedliskowych, takich jak wilgotność gleby, zasoby udostępnianych elementów odżywczych, napowietrzenie gleby, odczyn gleby i warunki świetlne. W konsekwencji, konkurencyjność rodzajów drzew zależy od zmian w układach funkcjonalnych czynników siedliska, szczególnie wywoływanych przez pozyskiwanie drewna oraz sposoby zagospodarowania zrębów i upraw leśnych. Naturalna regeneracja gleby jest procesem trwającym dekady lub stulecia (Wilpert i Schäffer 2006, Kremer 2008). Dlatego ochrona gleb leśnych staje się znaczącym elementem zrównoważonego zarządzania. Jednym

ze środków jest np. odtworzenie i używanie starych (dotychczasowych) szlaków zrywkowych.

Spontanicznie wdrażane zasadnicze zmiany w systemie organizacji i technologii terenowego zagospodarowania lasu w ostatnim 25-leciu, bez odpowiedniego naukowego sprawdzenia ich wpływu na ożywione środowisko glebowe, skutkują poważnymi zagrożeniami zachowania gleb leśnych w ich genetycznie uwarunkowanych naturalnych funkcjonalnych aktywnościach. Często zdarzają się nieodwracalne różnorodne całkowite lub częściowe zniszczenia profili glebowych z wszystkimi związanymi roślinami, powodujące długotrwałe nie zrównoważenie środowisk siedlisk oraz zagrożenia rozwoju przyszłych pokoleń lasu. Jednym z przykładów, o istotnym znaczeniu ekologicznym jest zbitcie gleby spowodowane zniszczeniem naturalnej struktury i porowatości przez wielokrotne nieskoordynowane przejazdy po jej powierzchni ciężkich urządzeń technicznych z szerokimi kołami, podczas zrębu i jego uprzątania, powodującego ograniczenie aeracji gleby na jej całej głębokości. Jednym z następstw jest tzw. *anoksja* o bardzo różnych znaczeniach w ekologii warunków glebowych.

Według K. Wettecke i T. Gaertiga (2011) w górnej części gleby leśnej o dobrej strukturze typowe stężenia CO₂ wahają się od 0,3 do 0,6%. Stężenia powyżej 1% w glebie zbitej wskazują na niewystarczającą aerację. Takie stężenia CO₂ wiodą do redukcji respiracji i zaniku funkcjonowania życia w przestrzeni ukorzenionej gleby. Wiadomo, że stężenia CO₂ w powietrzu glebowym od 10 do 100 krotnie wyższe niż w powietrzu atmosferycznym są spowodowane respiracją mikroorganizmów i przede wszystkim korzeni oraz zredukowaną dyfuzją tego gazu z gleby do wolnej atmosfery. Wiadomo też, że z rosnącą aeracją gleby, np. po jej rozpyleniu mechanicznym, maleje stężenie biogenicznego CO₂ w glebie. W dobrze natlenionej glebie konsumpcja tlenu waha się w ciągu dnia od 10 do 20 l·m² w sezonie wegetacyjnym. W normalnym lesie sama respiracja korzeni może konsumować 25 do 50% CO₂ związanego w okresie wegetacji. Tlen potrzebny do respiracji musi być pobrany z wolnej atmosfery, CO₂ musi być wydzielony. O ile aerację gleby pierwotnie kontroluje dyfuzja, o tyle jej wielkość i szybkość zależy od przestrzeni zajmowanej przez pory glebowe wypełnione powietrzem i od ich ciągłości. Niska objętość pór lub ich dyskontynuacja powoduje ograniczenie wymiany gazu i *anoksję* – *beztlenowość*. W takich hipooksycznych warunkach wyspecjalizowane mikroorganizmy przyspieszają rozkład materii organicznej w glebie, następuje uwalnianie jonów Fe i Mn z redukcją ich wartościowości, z działaniem niekorzystnym na drobne korzenie i zespoły grzybów mikoryzowych. Z rosnącą deformacją gleby (zbitcie, rozpylenie) maleje zagęszczenie drobnych aktywnych korzeni, wzrasta

niedożywienie i osłabienie biologiczne drzew, również w ich stadium młodocianym. W przypadkach wysokiego lub ekstremalnego zagęszczania gleby obumiera od 81 do 93% drobnych korzeni.

Znamiennym dalszym przykładem są wyniki badań zawartości C i N oraz aktywności enzymatycznej w glebach różnych typów, na uprzątniętej powierzchni wiatrołomu w czerwcu 2007 roku w nadleśnictwie Przedbórz, wykonanych przed i po zdarzeniu przez E. Błońską (2011). W ciągu 3 lat gwałtownie, od 2,4 do 12,5 krotnie, zmalała zawartość Corg i od 3,6 do 9,6 krotnie zawartość N z jednoczesnym poszerzeniem C:N. Aktywność ureazy zmalała z 0,26-0,46 do 0,01-0,16 mmoli $\text{N}\cdot\text{NH}_4\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, a aktywność dehydrogenazy z 22,18-36,10 do 4,97-11,28 mmoli $\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$. Nastąpił zatem gwałtowny rozkład próchnicy glebowej i następnie zmalała prawie do zera aktywność biologiczna w glebach.

Z przejawiającym się już wzrostem częstotliwości gorących lat połączonych z ekstremalnymi suszami powstaje pytanie jakie są skutkowe załamania przyrostów głównych rodzajów drzew lasotwórczych Europy środkowej, czy dla poszczególnych gatunków można sprecyzować siedliskowe wzorce załamania przyrostu pozwalające określić wskaźniki pogodowe ich przydatności do kształtowania przyszłych drzewostanów oraz jakie są różnice między poszczególnymi rodzajami drzew w związku z ich długookresową limitacją przez klimatyczne czynniki, przede wszystkim temperatury lata, sumy opadów letnich i związanych susz oraz gospodarkę wodną gleb? Na podstawie 143 chronologii pierścieni rocznych w 48 siedliskach południowo-zachodnich Niemiec Christian Zang i wsp. (2011) badali reakcję świerka (*Picea abies*), sosny (*Pinus sylvestris*), jodły (*Abies alba*), daglezi (*Pseudotsuga menziesii*), buka (*Fagus sylvatica*) i dęba (*Quercus robur*) na statystycznie krótko- i długookresowe załamania przyrostów w związku z latami suchymi, związku między klimatem i przyrostami, związku między ograniczeniem transpiracji i przyrostami. Określono także klimatyczne lata wskaźnikowe limitujące przyrosty drzew w zależności od krain przyrodniczo- i warunków siedliskowych z modelowaniem gospodarki wodnej gleb. Stwierdzono, że świerk jest rodzajem wysoko podatnym na susze w związku z płytkim systemem korzeniowym, także na wysokie temperatury w miesiącu czerwcu z negatywnym wpływem wysokich temperatur lata poprzedniego na przyrost w roku następnym. Sosna reaguje także krytycznie na klimaty cieplejsze i suchsze, jednak jej negatywna reakcja przyrostowa jest słabsza niż u świerka. Jodła natomiast słabiej reaguje od świerka i sosny, szybciej wraca do równowagi wzrostowej, co ma związek ze specyficzną budową jej systemu korzeniowego zapewniającego odpowiednie wykorzystanie zasobów wód glebowych wiosennych i letnich. Daglezia reaguje podobnie jak świerk, jednak łatwiej się odnawia,

korzystniej reaguje na wydłużony okres wegetacyjny. *Buk* ma reakcję korzystniejszą od sosny, jednak gorszą od dębu na letnie susze. W obszarach z niskimi sumami opadów wykazuje osłabienie ulistnienia i wzrostu. Z wszystkich rozpatrywanych rodzajów drzew najkorzystniej reaguje *dąb*, załamania przyrostów w latach ekstremalnych stosunkowo szybko wyrównuje przyrostami w latach normalnych, jednak osłabiony łatwo ulega szkodnikom biotycznym. Dąb szypułkowy jest bardziej resystentny na susze od dęba bezszypułkowego. U wszystkich badanych rodzajów drzew stwierdzono specyficzne reakcje geno- i fenotypowe na stres wywołany suszą. W warunkach bardziej kontynentalnego klimatu na terenach Polski reakcje poszczególnych rodzajów drzew lasotwórczych na gorące i suche lata mogą być bardziej zróżnicowane i ostrzejsze.

W warunkach niedopracowanego monitoringu lasu, bardzo zróżnicowanej jakościowo i ilościowo dokumentacji glebowo-siedliskowej w urządzaniu lasu oraz braku jakiejkolwiek polityki badań naukowych, gospodarka leśna nie dysponuje odpowiednią wiedzą o naturalnych i aktualnych potencjałach ekologicznych i gospodarczych gleb i siedlisk leśnych. Następstwem są istotne wyzwania dla gleboznawstwa i siedliskoznawstwa leśnego w zakresie wypracowania zasad i wskaźników adytywnego, ekologicznie i funkcjonalnie uzasadnionego wykorzystania i ochrony naturalnych i aktualnych potencjałów produkcyjnych w zespołach gleb leśnych w ich arealach, w warunkach zmieniającego się otaczającego środowiska geograficznego i otoczenia społeczno-gospodarczego, dla realizacji trwałej i zrównoważonej ochronnej gospodarki leśnej.

Jedną z podstawowych alternatyw jest estymacja *ekologicznego wskaźnika glebowo-siedliskowego* opartego na trudno- i łatwozmiennych charakterystykach siedliska. Wskaźnik ten powinien mieć zdolność prognozowania adytywnego systemu zagospodarowania arealów leśnych, najlepiej wymiennych w jednostkach powierzchni zlewni, z zachowaniem nadrzędnej zasady ochronnego, a jednocześnie stymulującego osiągnięcia założonych celów gospodarczych nie zaburzających równowagi ekologiczno-glebowej w krajobrazie oraz spowalniającego i łagodzącego efekty globalnego ocieplenia.

W składzie zadań warunkujących odpowiednie wyniki odpowiadające wymogom nowego paradygmatu zachowania i ochrony arealów zespołów glebowych znajdują się:

- aktualizacja i nowe sprecyzowanie podstawowych pojęć stosowanych w gospodarce i naukach leśnych (np. las, ekosystem leśny, gleba leśna, siedlisko leśne, geotyp, gospodarka ekosystemu leśnego...),

- ocena istniejących danych o glebach i siedliskach leśnych w powiązaniu z geograficznymi kategoriami geoekosystemu leśnego, glebokrajobrazu, zlewni i ich przydatności do prac prognostycznych,
- wykorzystanie istniejących długookresowych terenowych doświadczeń optymalizacji zaopatrzenia drzewostanów sosnowych w siedliskach borowych w elementy odżywcze (założonych przez IBL w latach 1972-1974) dla określenia ekologicznych wskaźników glebowo-siedliskowych zaopatrzenia drzewostanów sosnowych w elementy odżywcze, szczególnie N i P decydujących o zdolności wytwarzania asymilatów i o stanie ich biologicznej odporności na zagrażające czynniki zewnętrzne,
- aktualizacja klasyfikacji gleb leśnych z indykacją gleb leśnych w ich arealnych zespołach z charakterystycznymi glebami wskaźnikowymi (wiodącymi) w siedliskach, zlewniach i glebokrajobrazach,
- aktualizacja glebowo-siedliskowych zasad hodowli lasu i urządzania lasu z najbardziej efektywnymi i bezpiecznymi strategiami ochronnego zagospodarowania gleb i siedlisk leśnych w warunkach ewoluującego klimatu,
- opracowanie założeń innowacyjnej strategii adytywnego zagospodarowania gleb i siedlisk leśnych z uwzględnieniem regionów i krain geograficzno-klimatycznych współczesnych i przyszłych,
- opracowanie wskaźników potencjalnych i aktualnych oraz prognozowanych zasobów Corg oraz elementów odżywczych w arealach zespołów glebowych w zależności od stanów odżywienia drzewostanów, w powiązaniu z zasobami biomasy (nad- i podziemnej),
- sprecyzowanie modelowych prognostycznych indykatorów jakości siedlisk w powiązaniu z prognozowanymi zmianami klimatu oraz wytwarzania biomasy w przyszłych drzewostanach,
- stworzenie i wdrożenie (szkolenia) modelu adytywnego, hierarchicznego, zrównoważonego systemu zarządzania środowiskiem geoekosystemów leśnych zintegrowanego z ogólnym systemem zarządzania.

Wykorzystana literatura

Błońska E., 2011: Soil enzyme activity as an indicator of changes in forest soil. Polish Journal of Soil Science. Vol. XLIV/1: 75-80.

Breemen N. van, Lundström U.S., Jongmans A. G., 2000: Do plants drive podzolization via rock-eating mycorrhizal fungi? Geoderma 94: 163-171.

Degórski M., Kowalkowski A., Kozłowska A., 2012: Gleby bielicoziemne–geograficzne trendy oraz dyskontynuacje procesów rozwoju. PAN, IGPZ, Wyd. Akademickie, Warszawa: 381 ss.

Jongmans A.G., van Breemen N., Lundström U.S., van Hees P.A.W., Finlay R.D., Srinivasan M., Unestarn T., Giesler R., Melkerud P.A., Olsson M., 1997: Rock-eating fungi. Nature 389: 682-683.

Jenny H., 1983: The soil resource, Origin and Behavior. Springer Verl., New York, Heidelberg, Berlin: 377 ss.

Kopp D., Schwanecke W., 1994: Standortlich – naturräumliche Grundlagen Ökologiegerechter Forstwirtschaft. Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, Berlin: 248 ss.

Kremer J., 2008: Regenerationsvermögen behahtungsbedingt strukturveränderter Böden. LWF aktuell 27: 13-75.

Richards B. N., 1974: Introduction to the soil Ecosystem. Longmann Group Lim., Harlow, Essex.

Sharma R. M., Brunner A., EidT., 2012: Site index prediction from site and climate variables for Norway Spruce and Scots Pine in Norway. Scand. Journ. of For. Res. 27: 619-636.

Sheals J. G. (Eds.) 1969: The soil ecosystem. Systematics Assoc. No 8. London

Wilpert K. von, Schäffer J., 2006: Ecological effects of soil compaction and initial recovery dynamics: a preliminary study. Eur. Journ. of For. Res. 125: 129-138.

Zang Ch., Rothe A., Weis W., Pretzsch H., 2011: Zur Baumarteneignung bei Klimawandel: Ableitung der Trockenstress–Anfälligkeit wichtiger Waldbaumarten aus Jahrringbreiten. Allg. Forst. U. J.-Ztg. 182. Jg. 56: 98-112.