

Henryk Tracz

MOŻLIWOŚCI STOSOWANIA INŻYNIERII EKOLOGICZNEJ W RESTYTUCJI EKOSYSTEMÓW LEŚNYCH NA GRUNTACH POROLNYCH

Wstęp

Kształtowanie ekosystemów leśnych na gruntach porolnych to wciąż jeden z ważniejszych problemów współczesnego leśnictwa. Doświadczenia praktyki leśnej jak i wieloletnie badania Katedry Ochrony Lasu i Ekologii SGGW prowadzone przez zespół prof. Szujeckiego od lat 70-tych ubiegłego wieku wykazały, że odtwarzanie ekosystemu leśnego na gruntach porolnych drogą pasywnej restytucji napotyka na duże trudności i nie jest osiąganе. Zalesienia gruntów porolnych wiążą się z przekształcaniem zdegradowanych agrocenoz pozbawionych praktycznie życia organicznego w odmienne w swoim charakterze troficznym fitocenozy leśne (Sierota 2011).

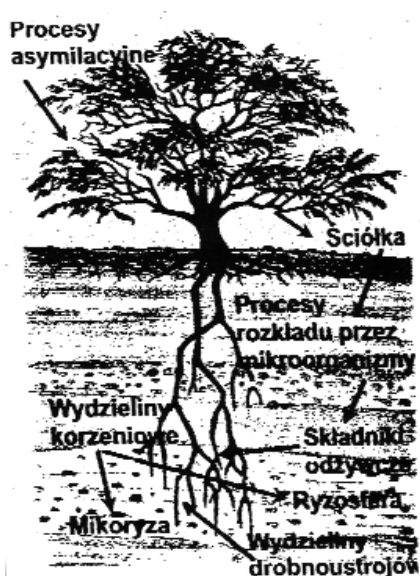
W latach 1973–1977 na terenie Nadleśnictwa Niedźwiady (RDLP Szczecinek) prowadzono: badania nad potrzebą i możliwościami zoomelioracji zalesionych gleb porolnych. Wyznaczono w tym celu szereg powierzchni doświadczalnych w drzewostanach rosnących na gruntach leśnych i porolnych, od upraw do starodrzewu (Szujecki i in. 1977, 1983). Zebrane materiały faunistyczne posłużyły do określenia tempa formowania się zgrupowań stawonogów w tych drzewostanach oraz określenia kierunków ich zmian w poszczególnych stadiach rozwojowych drzewostanów. Materiały te były podstawą do wieloletnich analiz przemian w drzewostanach rosnących na gruntach porolnych. Wydaje się, że przyczyna niemożności osiągnięcia równowagi ekologicznej i pożądanej produktywności w zalesieniach, tkwi w niedostatecznej regulacji procesów, jakie zachodzić powinny międzyżywioną i nieożywioną częścią tworzącego się ekosystemu leśnego, czego pochodną jest gospodarka substancją organiczną gleb i obieg pierwiastków w warunkach Puszczy Człuchowskiej.

Złożoność problemu restytucji lasu na gruntach porolnych oraz ich długotrwałość wymaga zastosowania zabiegów z zakresu inżynierii ekologicznej.

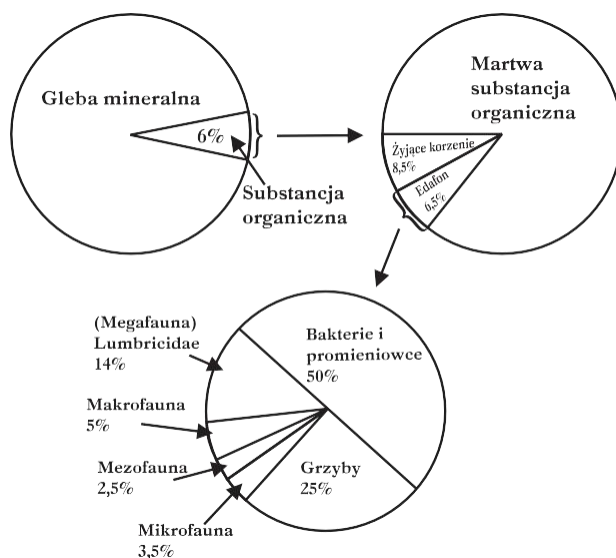
Środowisko glebowe oraz fauna ściółkowo-glebowa

Podręcznikowe definicje określają glebę jako utwór heterogeniczny trójfazowy, składający się z faz: stałej, ciekłej i gazowej wzajemnie się przenikających i podlegających ciągłym przemianom ewolucyjnym w czasie i przestrzeni. Niektórzy współcześni uważają, że czwartą fazą gleb jest jej żywa frakcja biologiczna – żywa materia organiczna, niezbędny element jej funkcjonowania (Klasyfikacja Gleb leśnych Polski 2001). Ta ilość nisz ekologicznych w glebie sprawia, że jest to najbogatsze i najbardziej różnorodne środowisko w całej biosferze, w którym żyje, rozwija się i znajduje schronienie bardzo ważny składnik ekosystemu lądowego tj. edafon. Pod tym pojęciem rozumie się świat żywych organizmów, roślinnych, zwierzęcych oraz mikroorganizmów (głównie bakterii i grzybów) zasiedlających glebę i współuczestniczących w kształtowaniu jej żyzności. Trzeba przyznać, że jakkolwiek rola różnych taksonów i grup fauny glebowej była w przeszłości w literaturze podnoszona, to znany zoolog niemiecki, profesor Dunger w swoim podręczniku „Tiere im Boden” (1983) używa jako motta we wstępie stwierdzenia Kevan’a o faunie glebowej, iż zadziwiające jest jak wiele ważnych badań glebowych odbywa się przy niezauważeniu lub małej wiedzy o egzystencji fauny w tym środowisku. Inny zoolog gleby, profesor Hagvar na XII Międzynarodowym Kolokwium Zoologii Gleby w Dublinie w 1996 roku mówił o wielkiej różnorodności organizmów glebowych, największej na Ziemi i zarazem najsłabiej poznanej. Uważa on, że na 1 m² gleby może występować nawet 1000 gatunków zwierząt, a gdy uwzględnimy wszystkie mikroorganizmy, będą to miliony. Przykładem białych plam z jednej strony, oraz jak złożone są zjawiska zachodzące w ekosystemach leśnych, mogą być procesy zachodzące w glebach leśnych. To może decydować często o produktywności lasu a nawet o jego istnieniu. Wielu badaczy środowiska glebowego wyraża przekonanie, że wobec niemożliwości pełnego oddziaływania na mineralną część gleby, podnoszenie jej produktywności i żyzności może być dokonane drogą zwiększenia aktywności biologicznej gleb, czyli żyjącej w niej żywej frakcji tj. organizmów glebowych – edafonu. O ile w glebach rolniczych zasadniczą rolę w rozkładzie i udostępnianiu substancji pokarmowych roślinom spełniają mikroorganizmy, zwłaszcza bakterie i promieniowce, o tyle w glebach leśnych obok grzybów, promieniowców i bakterii, zwierzęta glebowe saprofagiczne – drobne bezkręgowce, które są zwykle bardzo liczne i aktywne (Ryc. 1). Bez lasu nie ma gleby leśnej. Jak wielkie to różnorodne bogactwo gatunków i taksonów niech świadczą badania przeprowadzone w warunkach żyźniejszych frakcji borów sosnowych świeżych środkowej Szwecji w 1985 roku przez Perssona. Do laboratorium

przeniesiono blok gleby równy powierzchni stopy męskiej, pobrany do głębokości 30 cm, który poddano bardzo dokładnej ekstrakcji i analizie występujących form organizmów (Ryc. 2).

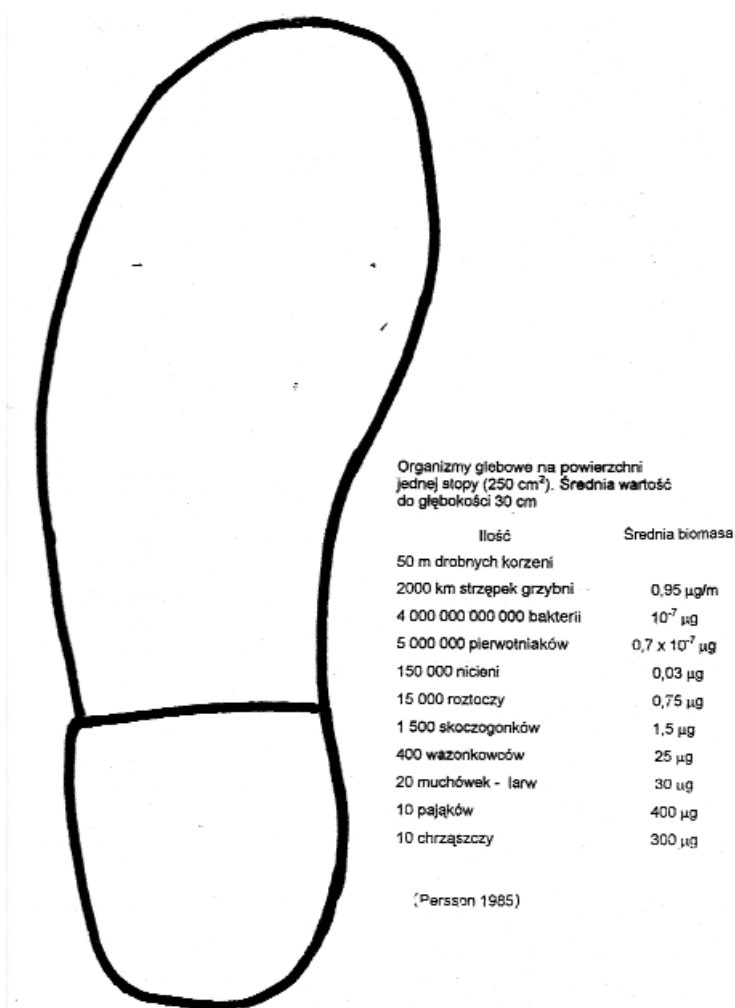


Ryc. 1. Przykład gleby jako elementu kompleksu środowiska przyrodniczego (Badura 2004).



Ryc. 2. Udział wagowy organizmów glebowych w warstwie powierzchniowej gleby lasu z próchnicą typu Mull (Dunger 1983).

Czynniki zewnętrzne środowiska, mające wpływ na organizmy glebowe to przede wszystkim roślinność, klimat, gleba a także działalność człowieka. Roślinność nie tylko dostarcza ściółki będącej pokarmem wielu organizmów glebowych, lecz ogranicza wahania temperatury i wilgotności oraz wpływa na glebę przez systemy korzeniowe. W składzie gleby ponad 90% to części mineralne, a tylko 3–10% części organiczne. Stała faza gleby składa się z części szkieletowych: kamieni, żwiru, piasku, pyłu lub łu, oraz z części organicznych, których ponad 80% stanowi martwa substancja organiczna, powyżej 8% żywe korzenie i ponad 6% edafon (Dunger 1983) (Ryc. 3).



Ryc. 3. Organizmy glebowe na powierzchni jednej stopy (250 cm²) – średnia wartość do głębokości 30 cm (Persson 1985).

Zabiegi inżynierii ekologicznej

Odtworzenie i tworzenie nowych ekosystemów jest w sensie koncepcyjnym zadaniem inżynierii ekologicznej, którą można realizować przy pomocy zabiegów uprawowych oraz introdukcji brakujących elementów biocenoz. Działania takie należą do aktywnej restytucji. Według Szujeckiego (1989, 1990) inżynieria ekologiczna w warunkach gospodarczej działalności człowieka zajmuje się:

- dostosowaniem układów biocenotycznych do zmieniających się warunków środowiska,
- kształtowaniem czynników abiotycznych w układach biocenotycznych,
- ochroną ekosystemów i krajobrazów zagospodarowanych,
- tworzeniem nowych ekosystemów.

Do etapów poprzedzających działanie inżynieryjne należy wykrywanie metodami bioindykacyjnymi (monitoring biologiczny środowiska) zmian zachodzących w środowisku pod wpływem stresów i czynników regulujących jako podstawa waloryzacji. Główne możliwości działań w ramach inżynierii ekologicznej kryją się w budowie poziomów troficznych biocenozy, wykorzystywaniu istniejących lub konstruowanych interakcji jak konkurencja i propagacja, regulacja przepływu energii i obrotu materią, w kształtowaniu mikroklimatu w ekosystemach leśnych i melioracje gleb. Leśna inżynieria ekologiczna może wykorzystać w swoich działaniach praktycznych wiele osiągnięć uzyskanych w sferze hodowli lasu, ochrony lasu, nie jest jednak ona ani jedną ani drugą dyscypliną.

W dostosowaniu układów biocenotycznych do zmieniających się warunków środowiska, których realizacja ma na celu zachowanie względnej stabilności biocenozy w warunkach lasu gospodarczego należy wykorzystać oddziaływanie na komponenty biocenoz leśnych poprzez:

- kształtowanie struktury troficznej (a – zmiana stanu niższych ogniw w łańcuchach pokarmowych lub całego niższego poziomu troficznego; można zaprojektować tu odpowiedni skład gatunkowy drzewostanu, jego strukturę przestrzenną pod kątem roślinożernych owadów i patogenów, b – zmiana stanu wyższych ogniw w łańcuchach pokarmowych; obiektem działania są tu konsumenci wyższych rzędów – drapieżce, pasożyty oraz mikroorganizmy chorobotwórcze, które w postępowaniu taktycznym poddane są zabiegom protekcyjnym, a adresatem są owady fitofagiczne, c – budowa zastępczych ogniw w łańcuchach pokarmowych; bezpośrednim obiektem działań są tu nieprodukcyjne gatunki drzew, krzewów i runa leśnego, pośrednim zaś pasożyty, a adresatem owady roślinożerne produkcyjnych gatunków drzew),

- kształtowanie struktury paratrophicznej (wprowadzanie i popieranie roślin nektarodajnych oraz roślin żywicielskich dla spadziujących mszyc, miodunek i czerwców np. borówki czernicy jako rośliny żywicielskiej czerwca *Phyllostroma myrtilli* Kalt.; ma to duże znaczenie dla homeostazy biocenoz borów sosnowych),
- kształtowanie struktury konkurencyjnej (wykorzystanie tej interakcji dla ograniczenia infekcji przez korzeniowca wieloletniego, czy wykorzystanie jej dla ograniczenia liczebności owadów roślinożernych lub niekiedy owadów z innych grup troficznych),
- uwarunkowanie i przyspieszenie procesów sukcesji w kierunku pełniejszego obiegu biogenów np. biologiczne doskonalenie siedlisk w borach świeżych przez pokierowanie sukcesją w kierunku borów mieszanych (zabiegi fitomelioracji i zoomelioracji); zmiana roli podszytów z melioratywnej na biocenotyczną, a więc zabiegi stabilizujące biocenozę),
- kształtowanie istotnych dla nich czynników siedliskowych, może dotyczyć także czynników glebowych (melioracje, nawożenie) oraz klimatycznych (kształtowanie fitoklimatu przez skład gatunkowy, formy zmieszania i strukturę drzewostanu – dolne warstwy, podszyty),
- przepływ energii i krążenie materii (problematyka ta ma w leśnictwie spore tradycje, między innymi wykorzystanie pożaru leśnego jako czynnika lasotwórczego w warunkach, gdy obieg ten został zahamowany).

Przykładem pasywnej restytucji jest powstawanie ekosystemu leśnego na gruntach porolnych poprzez zalesianie. Natomiast aktywna restytucja ma miejsce w wyniku podobnego działania popartego zabiegami nawożenia, fitomelioracji i zoomelioracji, po uprzednim rozpoznaniu różnic między strukturą a funkcjonowaniem ekosystemu leśnego, a ekosystemem leśnym na gruncie porolnym powstałego drogą restytucji pasywnej. Są tu różnice w porównaniu z glebami leśnymi w spadku aktywności biologicznej gleb porolnych pod średniowiekowymi i starszymi drzewostanami, w miarę przechodzenia od ściółki do poziomu akumulacji, podczas gdy odwrotna sytuacja istnieje w uprawach i młodnikach. W faunie gleb porolnych brak jest ważnych komponentów stabilizujących rozkład i obieg materii. W związku z degradacyjną gospodarką materiałową powoduje to spadek produktywności gleb porolnych od drugiej klasy wieku drzewostanów. Zabiegi restytucyjne miały na celu eliminację tych niedostatków ekosystemów leśnych na glebach porolnych poprzez:

- zahamowaniu mineralizacji szczątków organicznych po zalesieniu, a nawet ich wzbogacenie,
- uzupełnienie składu fauny glebowej poprzez dodanie i protekcję gatunków saprofagicznych,

- uaktywnienie biologiczne głębszych warstw gleby,
- uregulowanie fizycznych i chemicznych cech gleb oraz obiegu materii.

Fito- i zoomelioracje zalesionych gleb porolnych na przykładzie badań w Puszczy Człuchowskiej

Jednym z przykładów praktycznego stosowania inżynierii ekologicznej w leśnictwie przy rehabilitacji i odtwarzaniu zdegradowanych gleb są zabiegi fito- i zoomelioracyjne. Motywem przewodnim tych zabiegów jest kompleks działań zmierzających do polepszenia aktywności biologicznej gleb. Badania Katedry Ochrony Lasu i Ekologii SGGW w Nadleśnictwie Niedźwiady (RDLP Szczecinek) od 1973 roku, są przykładem długoterminowych badań na założonych powierzchniach i wskazują na pewne metodyczne przesłanki, które sprowadzają się do: najpierw rozpoznania stanu ekosystemu, wprowadzenia brakujących elementów, logicznej sekwencji czynności ekologiczno-inżynieryjnych w całym okresie procesów rekultywacyjnych oraz oceny stanu ekosystemu po zabiegach. Rekonstrukcja fauny glebowej w ramach zoomelioracji może odbywać się dwoma sposobami. Jednym z nich jest sposób polepszenia warunków życia i stymulacja miejscowych, rodzimych populacji zwierząt glebowych, drugim zaś introdukcja nowych i pożądanych gatunków (Gilarov 1963, Górny 1975). Teoretycznie prostsza byłaby introdukcja, jednakże proporcja grup makrofauny uaktywniających biologiczną frakcję gleb porolnych interesująca z metodycznego punktu widzenia, napotyka w praktyce na różne trudności powodowane tym, że nie zawsze procesy sukcesyjne przebiegają zgodnie z założeniami, a ponadto bywają zakłócone przeobrażeniami środowiskowymi. W introdukcji obserwuje się coraz więcej przykładów wykorzystania różnych przedstawicieli fauny glebowej w zoomelioracji. Jacot (1936) podejmował próby w Południowej Karolinie, USA, nad wzbogaceniem miejscowego edafonu żyjącego w słabo rozkładającej się ściółce odpowiednimi gatunkami mechowców, uzyskując wydadne przyspieszenie rozkładu. Zrażewski (1956) dla polepszenia warunków zalesień w Karpatach introdukował bezkręgowce z terenów leśnych. Kurczewa (1967) wprowadzała eksperymentalnie bezkręgowce glebowe (dżdżownice, wazonkowce, krocionogi i stonogi) dla zintensyfikowania rozkładu ściółki dębowej uzyskując zdecydowany postęp w rozkładzie. Górny (1975) stosował zraszanie gleby w borze świerkowo-sosnowym w celu stymulacji zagęszczenia mechowców, skoczogonków i wazonkowców otrzymując pozytywne efekty. Klasyczny przykład rekultywacji biologicznej hałd i zwałowisk kopalni węgla brunatnego w byłej NRD prezentuje Dunger (1968). Autor łączy tutaj zabiegi nawożeniowe, introdukcję bezkręgowców

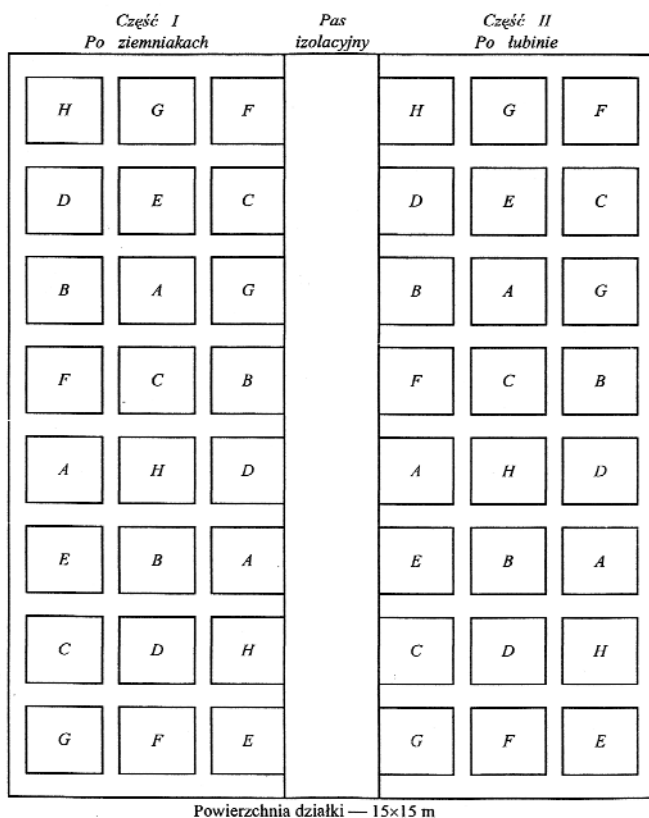
oraz zalesianie uzyskując postęp rozwoju biocenoz na rumoszu trzeciorzędowym. Neuman (1971) badając sukcesję biegaczy na podobnie rekultywowanych i zalesianych hałdach stwierdzał stadia przejściowe formowania się zespołów, od zespołów pionierskich, aż do fauny typowo leśnej. Dużą rolę odgrywała odległość hałd od lasu oraz warunki mikroklimatyczne i wilgotność gleby, które wpływały również na sukcesję roślinności. Szereg badań i prób praktycznych, dotyczących stymulacji i introdukcji fauny glebowej, głównie dżdżownic, przeprowadzono w Holandii na polderach, łąkach i w sadach owocowych (Van Rhee 1969). Bogaty przegląd możliwości zoomelioracji gleb leśnych w aspekcie ograniczenia szkodliwych fitofagów a protekcji saprofagów dostarcza Lavrov (1968). Autor podkreślił tu rolę nawożenia i zabiegów hodowlanych w ukierunkowaniu rozwoju fauny glebowej. Ważne jest tu stwierdzenie, że każdy drzewostan i każda sytuacja ekologiczna wymaga indywidualnego rozpoznania nim zostaną zaprojektowane konkretne zabiegi zoomelioracyjne wraz z uwzględnieniem właściwych form nawożenia.

Zainteresowanie nauki i praktyki rehabilitacją zdegradowanych układów ekologicznych i zoomelioracją takich układów stale wzrasta, a wynika to m. in. z trudności w odtwarzaniu środowisk zdegradowanych. Ogólnym podsumowaniem tych teorii i rozwiązań praktycznych była koncepcja zabiegów zoomelioracyjnych przedstawiona przez Heydemanna na VIII Międzynarodowym Sympozjum Zoologii Gleby w 1982 roku w Belgii (Heydemann 1983). W zabiegach zoomelioracyjnych szczególną rolę przypisano saprofagom, grupie odgrywającej dużą rolę w uaktywnianiu biologicznej frakcji gleb porolnych. Chcąc włączyć te organizmy do powstających układów cenotycznych musimy pamiętać o zabezpieczeniu im odpowiedniej bazy pokarmowej, stąd zastosowano nawożenie organiczne (rozdrobniona kora, trociny), a także przeprowadzono zabiegi fitomelioracyjne. Czynności te miały za zadanie ułatwić introdukcję krocionoga *Proteroiulus fuscus*, bardzo liczne na odnowionych zrębach gruntów leśnych do zalesień gruntów porolnych lub polepszenie warunków miejscowym saprofagom (Tracz 1978, 1984). Ważnym zadaniem działań restytucyjnych fauny glebowej jest ograniczenie ruchliwości powierzchniowych drapieżców oraz ich presji na saprofagi glebowe. Wśród proponowanych czynności były wówczas:

- łubinowanie gleb porolnych łubinem słodkim przed zalesieniem i nawożenie rozdrobnioną korą sosnową lub korą z dodatkiem 30% trocin, bądź trocinami,
- introdukcja saprofaga krocionoga *Proteroiulus fuscus*, konsumenta m. in. kory, występującego masowo na uprawach pożrębowych (Tracz 1978, 1993),

- wprowadzenie borówki czernicy do 30–40 letnich drzewostanów w celu propagacji ilościowej przygodnych saprofagów, zwłaszcza larw sprzążków (Elateridae) i zwiększenie przez to strefy penetracji makrofauny glebowej w profilu glebowym, a także ograniczenie powierzchniowych drapieżców, regulacji zakwaszenia gleby i procesów mikrobiologicznych; borówka czernica może spełniać także bardzo ważną funkcję przy tworzeniu wtórnych łańcuchów pokarmowych,
- kolonizacja mrówki śmawej (*Formica polyctena*) w drzewostanach różnych klas wieku, a celowość sztucznej kolonizacji oparto na 3 przesłankach:

Układ bloków losowych do zabiegu zoomelioracyjnego



A - gleba (kontrola)
 B - kora + fauna (Introd. *P. fuscus*)
 C - trociny + kora
 D - trociny + kora + fauna (*P. fuscus*)

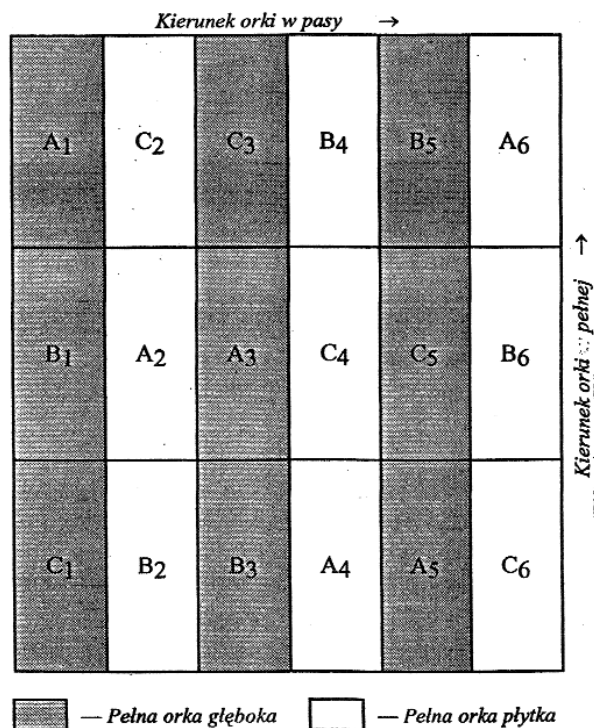
E - gleba + fauna (*P. fuscus*)
 F - trociny
 G - kora
 H - trociny + fauna (*P. fuscus*)

Ryc. 4. Układ bloków losowych do zabiegu zoomelioracyjnego Z_I (1974 r.).

- nielicznym występowaniu tego gatunku mrówki na gruntach porolnych,
- potrzebie wzmocnienia nacisku ograniczającego ruchliwość i liczebność drapieżców ściółkowo-powierzchniowych w drzewostanach na gruntach porolnych,
- spodziewanej roli glebotwórczej mrówek.

W eksperymentach badawczych stosowano wiele wariantów i rozwiązań a ich efekty sprawdzano po upływie najpierw 6–10 lat, a później po ponad 35 latach. Pow. zoomelioracyjna Z_I i Z_{II} (Ryc. 4 i 5). Podjęta idea zabiegów zoomelioracyjnych, które miały na celu uaktywnienie biologicznej frakcji gleb porolnych, wydały się na tyle interesujące, że w tym względzie brak było dostatecznych osiągnięć teoretycznych i praktycznych. Zabieg zoomelioracyjny jako pionierski w 1974 roku przyniósł rezultaty trudne do jedno-

Układ działek na powierzchni zoomelioracyjnej Z_{II} .



Oddz. 79. A₁₋₆ - łąbin, B₁₋₆ - kontrola, C₁₋₆ - kora + trociny

Powierzchnia 1 działki 40 × 20 m

Ryc. 5. Układ wariantów do zabiegu zoomelioracyjnego Z_{II} (1976 r.).

znacznej interpretacji z 2 powodów – zbyt krótkiego okresu doświadczenia oraz z ogólnych, niekontrolowanych przeobrażeń środowiskowych zalesień np.: starszych drzewostanów pod wpływem gradacji brudnicy mniszki, zakłócających przebieg sukcesji, której wzór został rozpoznany w serii powierzchni badawczych całego cyklu produkcyjnego drzewostanu, a całego ekosystemu pod wpływem powolnych zmian klimatycznych i napływu różnych zanieczyszczeń powietrza, szczególnie jonów amonowych (związków azotu).

W ciągu 6–10 lat od zabiegu zoomieloracyjnego całkowity rozkład wprowadzonej kory nie mógł nastąpić, ani też nie udało się wpłynąć znacząco na zmianę warunków glebowych. Jednym z czynników mających przełożony wpływ na formowanie się zespołów leśnych fauny glebowej był, niespotykany poprzednio wielki wzrost liczebności mrówek drapieżnych –zaroślowych reprezentujących wczesną fazę sukcesji jak i mrówek niedrapieżnych o szerokiej skali tolerancji ekologicznej, ale preferujących środowiska suche i nasłonecznione. W efekcie wśród fauny glebowej ubyłoby szereg taksonów larw muchówek zwłaszcza saprofagicznych, a ich brak nie został zrekompensowany przez inne organizmy. Mimo tych mankamentów ogólny przebieg zoomieloracji oraz wynik można ocenić umiarkowanie pozytywnie. Złożyło się na to: udana introdukcja i aklimatyzacja krocionoga *Proteroiulus fuscus*, podniesienie aktywności biologicznej zalesionych gleb porolnych, co wyraziło się większym zagęszczeniem i stanem biomasy makrofauny glebowej na działkach nawożonych korą lub korą z trocinami oraz większą aktywnością lignocelulolityczną mikroorganizmów. Wzrost znaczenia gatunków saprofagicznych na działkach z korą lub z korą z trocinami, wzrost biomasy całej fauny glebowej, poprawa fizycznych właściwości gleb, gospodarki materiałowej drzew i obiegu pierwiastków, pojemności wodnej, porowatości ogólnej, pulchności gleb, szczególnie korą z trocinami, ale nigdy z samymi trocinami. Zawartość C organicznego w poziomie 0–5 cm nieco wzrosła, a w poziomie 15–25 cm nie uległa zmianie. Zawartość N na działkach z korą oraz korą i trocinami wyraźnie była większa niż na kontroli i na początku badań, co rzutowało na zwężenie stosunku C:N w glebie. Zwiększyły się nieznacznie pojemność sorpcyjna gleb oraz zawartość próchnicy. Nastąpiło zwiększenie ciężaru igieł zielonych i opadłych. Mała strata ciężaru igieł i niski % wycofywania pierwiastków, przy dużej ich zawartości w glebie. Kora i trociny wprowadzone do gleby spowodowały: nieznaczny wzrost zakwaszenia oraz wzrost ruchomego aluminium w wierzchniej warstwie gleby. Zmniejszyła się ilość śladowych kationów wymiennych Ca, Mg, K i N. W wyniku tych zmian w glebie, wzrost sosny na wysokość, a w mniej widoczny sposób przyrost jej grubości był większy na działkach z korą, oraz z korą i trocinami niż na kontroli i na działkach z trocinami.

Przystępując przed 40 laty do założenia eksperymentu wieloletniego przyjęliśmy w oparciu o istniejący stan wiedzy i rozpoznanie środowiska gleb porolnych następującą hipotezę roboczą. Mimo, iż poziom azotu dostępnego dla drzew jest w glebach porolnych wysoki, a w stosunku do potrzeb młodych sosen zbyt wysoki, to gdy osiągną one 20–25 lat, a zasoby azotu ulegną zmniejszeniu lub pozostaną w formie nieprzyswajalnej, to drzewa wejdą w stan osłabienia i będą podatne na choroby. Należałoby więc nadwyżkę azotu jaka istnieje w glebie porolnej wycofać, by następnie oddać ją ponownie po 20–25 latach zalesienia do obiegu. Wydawało się, że takim materiałem zatrzymującym azot mogą być odpady przemysłu drzewnego: kora i trociny widziane jako substytut dla organizmów glebowych i mikroorganizmów wiążących związki tego pierwiastka. Wraz z mineralizacją kory i trocin azot powróciłby do obiegu. Ponadto można się było spodziewać wzrostu aktywności biologicznej na wszystkich poziomach troficznych, poprawę stosunku C:N, obniżenie pewnej zasadowości, małą kwasowość gleb porolnych. Praktycznym argumentem za takim zaplanowaniem eksperymentu była obfitość odpadów (kory i trocin), które w tamtym okresie nie były wykorzystane ani jako materiał opałowy, ani jako substrat glebowy w ogrodnictwie i stanowiły obciążenie placów tartacznych, składnic przyrzębowych czy kolejowych. Był to materiał łatwo dostępny i odstępowany za cenę wywozu. Dodatkowym aspektem przedstawionych zabiegów fito- i zoomelioracyjnych jest towarzyszące im wzbogacenie i uaktywnienie mikroorganizmów, w tym także gatunków antagonistycznych wobec sprawców huby korzeni oraz tworzenie warunków do występowania wielu cennych komponentów entomofauny leśnej związanej z borówką czernicą.

Ocena skuteczności wybranych zabiegów rekultywacyjnych po ponad 30 latach od ich zastosowania w borach sosnowych

Badania KOLiE prowadzono w latach 2011–2014 na zlecenie DGLP w Warszawie na powierzchniach zoomelioracyjnych z 1974 r. – Z_I i 1976 r. – Z_{II} gruntów porolnych i na pow. kontrolnej gruntów leśnych. Celem badań była ocena skutków ekologicznych zasilenia gleb porolnych w brakujące elementy – materię organiczną i faunę po upływie ponad 30 lat od ich rozpoczęcia w latach 70-tych ubiegłego wieku (Tracz i in. 2014). Badania zostały przeprowadzone przez interdyscyplinarny zespół specjalistów: entomologów, fitopatologów, gleboznawców, fitosocjologów, hodowców lasu i ekologów. Metodyka zbioru i opracowania materiałów obejmowała w pierwszym rzędzie odtworzenie powierzchni badawczych a następnie:

- prace glebowe (właściwości fizyczne, chemiczne, biologiczne, aktywność respiracyjna i enzymatyczna, sprawność lignocelulolityczna),

- analizę stanu mikoryz,
- analizę stanu zdrowotnego,
- charakterystykę podstawowych cech wzrostowych drzew i drzewostanów,
- badania florystyczne,
- badania faunistyczne, na które złożyło się badanie zgrupowań skoczogonków (Collembola), kusakowatych (Staphylinidae) i sprzączek (Elateridae) a także badania na zagęszczeniu i dynamiką krocionoga *Proteroiulus fuscus*.

Badania te w pełni potwierdziły występujące różnice strukturalno-funkcjonalne pomiędzy ekosystemami leśnymi na gruntach leśnych i porolnych. To między innymi jedna z przyczyn, że zabiegi rekultywacji leśnej gruntów porolnych sprzed 36 lat, nie przywróciły od razu stanu sprzed kilkuset lat, kiedy uprawy rolne wyparły zbiorowiska leśne. Opinie co do czasu potrzebnego na pełną restytucję ekosystemu leśnego są często rozbieżne, z uwagi na warunki geograficzne miejsc, gdzie proces ten miał miejsce, długość użytkowania rolniczego i inne okoliczności. Od 75 lat dla struktury gatunkowej zgrupowań niektórych epigeicznych chrząszczy (Szujewski i in. 1983), 140 lat dla kompozycji florystycznej (Faliński 1986), więcej niż 230 lat (Matuszkiewicz i in. 2013), aż do kilkuset lat (Dupouey i in. 2002). W powyższym kontekście każdy efekt rekultywacji leśnej należy oceniać jako sukces koncepcyjno-metodyczny.

Spośród zastosowanych zabiegów o charakterze pseudonawożeniowym (dostarczenie przed posadzeniem sadzonek sosny trocin, kory, mieszaniny kory i trocin, łubinu trwałego). Największe i długotrwałe, korzystne na ogół zmiany właściwości gleb i funkcji organizmów nastąpiły pod wpływem dostarczenia do gleby mieszaniny kory i trocin przy jednoczesnym wprowadzeniu krocionoga *Proteroiulus fuscus*. W tych warunkach wystąpiło:

- znaczne wzbogacenie gleb w związki próchniczne, związki węgla i lepsze zaopatrzenie w azot,
- zwiększenie pojemności sorpcyjnej, zawartości kationów zasadowych i stopnia wysycenia kationami Ca, K, Mg,
- podwyższenie kwasowości hydrolitycznej,
- podwyższenie aktywności enzymów glebowych,
- zwiększenie respiracji (metabolizmu oddechowego).

Najwyższa aktywność lignoceluloityczna w porównaniu do drzewostanu rosnącego na gruncie leśnym po ponad 30 latach była na zalesionym gruncie porolnym w wariancie z łubinem. Aktywność ta była wyższa również w wariancie korowym, co wskazywałoby, że po tym okresie nastąpił zauważalny proces rozkładu kory, który sprzyja mikroorganizmom poprzez stworzenie

lepszej bazy pokarmowej wpływającej na ich wzmożony rozwój i aktywność, zwłaszcza w głębszej (15–30 cm) warstwie gleby.

Wariant trocinowo-korowy i w mniejszym stopniu wariant korowy zabiegu rekultywacji leśnej, okazał się także stymulujący bardziej niż inne warianty wobec restytucji fitocenozy borowej, saprofagicznych gatunków sprężykowatych Elateridae, drapieżców z rodziny kusakowatych Staphylinidae i w zupełnie nieznacznym stopniu wobec Collembola – skoczogonków spełniających jako mikrofagi istotną rolę w procesach glebotwórczych. Wprowadzenie odpadów tartacznych, łubinu oraz płytki, a zwłaszcza głęboka orka gleby wpływały na wzbogacenie gleby w elementy fauny leśnej, ale też sprzyjały wnikaniu gatunków synantropijnych obniżając wskaźnik naturalności zgrupowań owadów (np. kusakowatych). Zabiegi rekultywacyjne miały istotny wpływ, korzystnie pobudzający wielkość pierśnicy drzew, ale nie miały wpływu na techniczną lub rozwojową wartość całych drzew: największe średnie pierśnice wystąpiły w kombinacji czynników doświadczenia obejmującej zastosowanie kory i trocin, wykonania orki głębokiej oraz zabiegu zoomelioracyjnego w postaci introdukcji krocionoga *Proteroiulus fuscus* jak i stworzenia warunków do większej aktywności fauny glebowej samorzutnie opanowującej rekultywowany obszar. Wskazuje to na synergiczne działanie wszystkich tych czynników wspólnie poprawiających warunki środowiska zalesionych gatunków porolnych.

Występowanie huby korzeni miało charakter ogniskowy i nie było uzależnione od zabiegu rekultywacyjnego, ale obecności brzozy ograniczającej rozprzestrzenianie się tej choroby. Obecność huby w drzewostanie, w którym pniaki inokulowano żylicą olbrzymią i gdzie występuje 24 innych gatunków grzybów rozkładających drewno, określa przypuszczalną przyszłość badanego drzewostanu. Spośród 18 taksonów grzybów mykoryzowych stwierdzonych na pow. ZII najczęściej (12) stwierdzono w wariancie z korą, trocinami i introdukowanym krocionogiem. Obecność *Telophora terrestris* i *Cenococcum geophilum* wskazała na silne zaburzenia ekosystemu porolnego, niemniej 100% korzeni sosny, mimo ich ograniczonego rozwoju było zmykoryzowanych. Nie zauważono wpływu zabiegów rekultywacyjnych na długość korzeni krótkich i zbiorowiska grzybów mykoryzowych.

Wyniki wieloletnich, interdyscyplinarnych badań uzyskanych w ramach niniejszego projektu należy ocenić pozytywnie, gdyż wniosły one wiele nieznanych dotąd faktów, a przede wszystkim umożliwiają wytyczenie sposobu restytucji lasu bez względu na przyczynę sprawczą. Historię prowadzonych badań, elementy zabiegów i ich efekty obrazują w części fotografie zamieszczone na ryc. 6–18.



Ryc. 6. Widok powierzchni zoomelioracyjnej Z_1 na gruncie porolnym w Nadleśnictwie Niedźwiady z 1974 r. (Fot. Henryk Tracz).



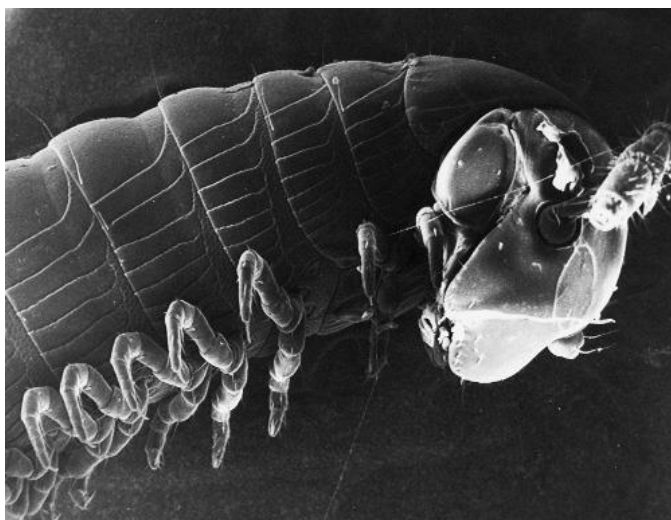
Ryc. 7. Miejsce na międzyrzędzie uprawy powierzchni zoomelioracyjnej Z_1 z zaintrydukowanym *Proteroiulus fuscus* (przykryte mchem, 1974 r.) (Fot. Henryk Tracz).



Ryc. 8. Dolek z fragmentami próchna i kory sosnowej, miejsce introdukcji *Proteroiulus fuscus* na powierzchni zoomelioracyjnej Z_I (1974 r.) (Fot. Henryk Tracz).



Ryc. 9. *Proteroiulus fuscus* – dorosły osobnik przygotowany do introdukcji (Fot. Henryk Tracz).



Ryc. 10. *Proteroiulus fuscus* – widok spod mikroskopu skaningowego (Fot. Józef Kocoń).



Ryc. 11. Widok ponad 30 letniego drzewostanu sosnowego na powierzchni zoomielioracyjnej Z₁ (stan 2012 r.) (Fot. Henryk Tracz).



Ryc. 12. Widok drzewostanu sosnowego z lukami po hubie korzeniowej na powierzchni zoomelioracyjnej Z_{II} (stan 2013 r.) (Fot. Jacek Piętko).



Ryc. 13. Roślinność runa na wariantcie A (łubin) powierzchni zoomelioracyjnej Z_{II} (stan 2012 r.) (Fot. Henryk Tracz).



Ryc. 14. Wariant nawożenia C (kora i trociny) powierzchni zoomelioracyjnej Z_{II} (stan 2012 r.) – fragment odkrywki z pozostałościami kory (Fot. Henryk Tracz).



Ryc. 15. Próbką drewna do badań nad rozkładem lignocelulolitycznym na powierzchni zoomelioracyjnej Z_{II} (stan 2012 r.) (Fot. Henryk Tracz).



Ryc. 16. Owocniki huby korzeniowej w szyi korzeniowej sosny na powierzchni zoomelioracyjnej Z_{II} (stan 2013 r.) (Fot. Jacek Piętka).



Ryc. 17. Owocniki huby korzeniowej na pniaku sosny na powierzchni zoomelioracyjnej Z_{II} (stan 2013 r.) (Fot. Jacek Piętka).



Ryc. 18. Grzybnia żylicy olbrzymiej na pniaku sosny na powierzchni zoomelioracyjnej Z_{II} (stan 2013 r.) (Fot. Jacek Piętka).

Wnioski praktyczne

Wybór postępowania gospodarczego, jaki proponuje się, powinien zależeć od założonego celu i przewidywanych dalszych zabiegów restytucyjnych.

1. Restytucja ekosystemu leśnego na gruntach porolnych wymaga działań opartych na zasadach inżynierii ekologicznej.
2. Podstawową metodą postępowania winno być:
 - usunięcie stresora, w tym wypadku zaprzestanie działalności rolniczej, usunięcie warstwy płuźnej o ile istnieje,
 - dodanie brakujących elementów, tj.
 - martwej substancji organicznej,
 - właściwych roślin drzewiastych,
 - właściwych roślin runa,
 - brakujących ważnych elementów fauny,
 - ważnych i skutecznych antagonistów korzeniowca wieloletniego,
 - wprowadzenie brakujących elementów sekwencyjnie w czasie całego cyklu rozwojowego drzewostanu.
3. Jak wykazały badania mieszanina trocin z rozdrobnioną korą jest najbardziej skuteczną formą martwej materii organicznej w kształtowaniu leśnego środowiska glebowego ze skutkiem pozytywnym dla miąższości drzew, aktywności biologicznej gleb. Wstępne łubinowanie gleb porolnych mimo pewnych efektów pozytywnych, nie jest wskazane z uwagi na nadmiar azotu jaki występuje w glebach porolnych. Ponieważ obecnie pozyskanie na cele rekultywacji odpadów tartacznych jest ekonomicznie

nieracjonalne można wskazać na pozostałości zrębowe i ściółkę leśną z drzewostanów, gdzie jest jej nadmiar (typu mor) jako materiał wzmagający na glebach porolnych nie tylko potencjalny zasób próchnicy, ale i zasoby leśnych organizmów glebowych.

4. Sosna zwyczajna, jako wrażliwa na infekcję korzeniowca wieloletniego nie jest najlepszym, choć najczęściej używanym materiałem zalesieniowym. Wprowadzając gatunki liściaste, a zwłaszcza brzozę i olszę szarą, a najlepiej tworząc zalesienia z kilku gatunków drzew, w tym z sosną lub świerkiem można spodziewać się lepszych rezultatów restytucji ekosystemu leśnego, także pod względem właściwości gleb jak i struktury i funkcji zespołów organizmów glebowych. W sprzyjających ku temu warunkach racjonalnym byłoby wykorzystanie naturalnych procesów (sukcesji) zalesieniowych.
5. Konsekwencją wniesienia martwej materii organicznej jest zasadność wprowadzenia leśnych, saprofagicznych bezkręgowców glebowych. Takim gatunkiem brakującym w glebach porolnych jest krocionóg *Proteroiulus fuscus*, jedyny gatunek stawonoga zdolny do wykorzystania kory do swych potrzeb rozwojowych i tym samym przyspieszającym jej rozkład. Wymieniony gatunek jest łatwy do pozyskania z rozkładających się pniaków w borach sosnowych, a następnie łatwy do introdukcji na gleby porolne przeznaczone do zalesień lub zalesiane, gdzie łatwo się aklimatyzuje. Analogiczne próby introdukcji powinny objąć leśne gatunki dżdżownic oraz saprofagicznych, słabo latających muchówek.
6. Najistotniejszą przeszkodą w kształtowaniu się biocenozy leśnej zalesień jest słabo kwaśny odczyn gleb porolnych. Podjęte próby (w ramach działalności Terenowej Stacji Katedry Ochrony Lasu i Ekologii SGGW w Starej Brdziej Pilskiej, Nadleśnictwo Niedźwiady, RDLP Szczecinek) z wprowadzeniem na grunty porolne do drzewostanu 30 letniego borówki czernicy jako gatunku zakwaszającego glebę zakończyła się połowicznym sukcesem. Borówka przyjęła się ale nie rozprzestrzeniła z braku odpowiednich warunków środowiskowych, w tym nadmiaru zwierzyny płowej zgryzającej pędy borówki. Dalsze próby w tym kierunku są konieczne, gdyż borówka czernica jest żywicielem owadów będącymi żywicielami pośrednimi parazytoidów ważnych foliofagów sosny. Ponadto borówka występując łanowo zakwasza glebę, stymuluje liczebność i aktywność fauny glebowej. Brak informacji nie pozwala na ocenę możliwości przełamania zasadowości gleb porolnych metodami chemicznymi, niemniej doświadczenia Katedry z wpływem siarki i kwaśnych deszczy na faunę gleb leśnych wskazały na możliwość takiego postępowania.

7. Kolejnym elementem, którego brak w zalesieniach, to duże mrówki kopcowe spełniające ważną rolę regulującą nie tylko w stosunku do foliofagów ale i w stosunku do powierzchniowych drapieżców odżywiających się saprofagicznymi larwami owadów i innymi pożytecznymi bezkręgowcami. Z przebadanych gatunków, które były kolonizowane na gruntach porolnych w ramach wymienionych badań Katedry najkorzystniejsze wyniki uzyskano kolonizując mrówkę śmawą.
8. W miarę rozwoju drzewostanów powstałych z zalesień należy wzmacniać strukturę biocenozy uzupełniając jej skład i obejmując opieką cenne elementy flory i fauny, szczególnie te, które mają znaczenie w procesach glebotwórczych i procesach regulacyjnych. Wymaga to stałej bioindykacji stanu zalesień i waloryzowania przebiegu restytucji leśnej.
9. Krajowy Program Wzrostu Lesistości Kraju powinien zalecać szczególny umiar w uprawie gleb i doborze gatunków na dawnych użytkach zielonych w dolinach rzecznych oraz dopuścić możliwość pozostawienia większych kompleksów nieużytków, zwłaszcza w zróżnicowanej mozaice siedlisk w ich prymitywnej postaci jako terenów chronionych, jak to ma miejsce w szeregu krajów europejskich.
10. Powinna zostać dokonana pełna inwentaryzacja drzewostanów powstałych dotychczas z zalesień aby:
 - ustalić wielkość i szczegółowe rozmieszczenie tych obiektów,
 - zaprogramować procesy pełnej restytucji leśnej tych ekosystemów,
 - uzyskać nowe dane do planowania przestrzennego, w tym do projektowanych korzyści ekologicznych.

Literatura

1. Badura L. 2004. Ekologia nauką przyszłości. *Aura*, 9: 4–6.
2. Dunger W. 1968. Die Entwicklung der Bodenfauna auf rekultivierten Kippen und Halden des Braunkohlentagebaues. *Abh. Ber. Naturkunde Mus. Görlitz*, 43(2): 1–256.
3. Dunger W. 1983. *Tiere im. Boden*. A. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt, 280 ss.
4. Dupouey I.L., Dambrine E., Laffite I.D., Moares C. 2002. Irreversible impact of past land use on forest soil and biodiversity. *Ecology*, 83: 2978–2984.
5. Faliski J.B. 1996. Vegetation dynamics in temperate lowland primeval forests. *Geobotany*, 8: 1–537.
6. Gilarov M.S. 1963. Zadači i perspektivy napravlennoj perestrojki počvennoj fauny. *Zool. Žurn.*, 42(4): 481–499.
7. Górny M. 1975. *Zoekologia gleb leśnych*. PWRiL, Warszawa, 311 str.

8. Heydemann B. 1983. Restoration capacities of soil communities. In: Lebrun P., Andre H.M., De Medts A., Gregoire-Wibo C., Wauthy G. (Eds). New trends in Soil Biology. Dieu-Brichart, Ottignies-Louvain-la Neuve.
9. Jacot A.P. 1936. Soil structure and soil biology. Ecology, 37: 359–379.
10. Klasyfikacja gleb leśnych Polski. 2000. CILP, Warszawa, 124 str.
11. Kurćewa G.F. 1967. Vlijanie povyšennoj čislennosti bespozvonočnyh i uvlaženija na skorost rozloženia dubowej podstilki. Pedobiologia, 7(2/3): 228–238.
12. Lavrov M.T. 1968. Fauna liesnych poczw i puti jego regulirovanija. Lesn. Prom, Moskwa, 130 str.
13. Matuszkiewicz J.M., Kowalska A., Solon., Degórski M., Kozłowska A., Roo-Zielińska E., Zawiska J., Wolski J. 2013. Long-term evolution models of post-agricultural forests. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa, 318 pp.
14. Neuman U. 1971. Die Sukzession der Bodenfauna (Carabidae, Coleoptera, Diplopoda and Isopoda) in den forstlich rekultivierten Gebieten des Rheinischen Braukohlenreviers. Pedobiologia, 11: 193–226.
15. Rhee Van J.A. 1969. Development of earthworm populations in Polder soils. Pedobiologia, 9 (2): 128–132.
16. Sierota Z. (Red.) 2011. Zmiany w środowisku drzewostanów sosnowych na gruntach porolnych w warunkach przebudowy częściowej oraz obecności grzyba *Phlebiopsis gigantea*. Prace Inst. Bad. Leśn. Rozpr. i Monogr., 17: 1–279.
17. Szujecki A., Szyszko J., Mazur S., Perliński S. 1977. Badania nad potrzebą i możliwościami zoomelioracji zalesionych gruntów porolnych. Sprawozdanie końcowe. Maszynopis, KOLiE SGGW-AR, 210 str.
18. Szujecki A., Szyszko J., Mazur S., Perliński S. 1983. Process of forest soil makrofauna formation after afforestation of farmland. Warsaw Agric. Univ. Press, Warsaw, 196 pp.
19. Szujecki A. 1989. Wstępna koncepcja leśnej inżynierii ekologicznej. Sylwan, 133(7): 1–19.
20. Szujecki A. 1990. Ekologiczne aspekty odtwarzania ekosystemów leśnych na gruntach porolnych. Sylwan, 134(3–12): 23–40.
21. Tracz H. 1978. Studia nad ekologią (*Nopoiulus fuscus*, Diplopoda, Blaniulidae) w aspekcie problemów rehabilitacji gleb zalesianych. Doctor's thesis, typescript, KOLiE SGGW, Warszawa, 133 str.
22. Tracz H. 1984. Studies on the ecology of *Proteroiulus fuscus* (AMSTEIN 1857) (Diplopoda, Blaniulidae). Acta Zool. Cracov., 21: 519–571.
23. Tracz H. 1993. Problemy udziału Diplopoda w dekompozycji materii organicznej borów świeżych. Wyd. SGGW. Rozpr. naukowe i Monografie, 87 str.
24. Tracz H., Aleksandrowicz-Trzcińska M., Augustyniak-Kram A., Brzeziecki B., Drozdowski S., Kram K., Mazur S., Piętka J., Sławska M., Sławski M., Szujecki A.,

- Tarabula T. 2014. Ekosystem leśny na gruntach porolnych – ocena skuteczności wybranych zabiegów rekultywacyjnych po 30 latach od ich zastosowania w borach sosnowych Polski półn-zach. Sprawozdanie końcowe. Manuskrypt, KOLiE SGGW, Warszawa, 229 str.
25. Zrażewski A.J. 1957. Dożdewye czerwii kak faktor płodorodya lesnykh poczw. Izd. AN USSR, Kijew, 271 str.

Prof. dr hab. Henryk Tracz
Katedra Ochrony Lasu i Ekologii SGGW
tracz@wl.sggw.pl

Referat z sesji naukowej nt.: "Gospodarka w lasach na gruntach porolnych" z okazji 118 Zjazdu Delegatów Polskiego Towarzystwa Leśnego w Supraślu, 14-16.06.2018 r.