

**Katedra Ochrony Lasu i Ekologii
SGGW w Warszawie**

**EKOSYSTEM LEŚNY NA GRUNTACH POROLNYCH –
OCENA SKUTECZNOŚCI WYBRANYCH ZABIEGÓW
REKULTYWACYJNYCH PO 30 LATACH OD ICH
ZASTOSOWANIA W BORACH SOSNOWYCH
POLSKI PN-ZACH.**

(Sprawozdanie końcowe)

Autorzy:

*Henryk Tracz – kierownik tematu
Marta Aleksandrowicz-Trzcińska
Anna Augustyniak-Kram
Bogdan Brzezicki
Stanisław Drozdowski
Karol Kram
Sławomir Mazur
Jacek Piętka
Małgorzata Sławska
Marek Sławski
Andrzej Szujecki
Taida Tarabula*

Warszawa, marzec 2014

Spis treści*

1.		Wstęp
str.		
2.	Historia	badan
3		
3.	Skuteczności zabiegów rekultywacyjnych po 36 latach od ich wprowadzenia	17
3.1.	Zmiany środowiska glebowego	17
3.1.1.	Właściwości chemiczne i oddychanie gleb	17
3.1.2.	Analizy zawartości węgla i azotu w glebie, aktywność enzymatyczna oraz biomasa mikroorganizmów	31
3.2.	Obecność mikoryz w różnych wariantach doświadczenia	44
3.3.	Aktywność lignocelulolityczna	61
3.4.	Badania florystyczne	68
3.5.	Badania faunistyczne	81
3.5.1.	Collembola	81
3.5.2.	Diplopoda i Chilopoda	93
3.5.3.		Staphylinidae
110		
3.5.4.		Elateridae
119		
3.6.	Analiza hodowlano-dendrometryczna drzewostanów w różnych wariantach nawożenia	
137		
3.6.1.	Ocena hodowlana wpływu zabiegów rekultywacyjnych na wzrost i cechy jakościowe sosny na powierzchniach Z1 i Z2 w porównaniu z kontrolą na gruncie leśnym K	165
3.7.	Stan zdrowotny drzewostanów w różnych wariantach nawożenia	179
3.7.1.		Grzyby
179		
3.7.2.	Szkodniki pierwotne i wtórne	
198		
4.	Ocena skuteczności zabiegów rekultywacji leśnej po 36 latach od ich zastosowania	
201		
4.1.	Właściwości chemiczne gleb i igieł sosny	
201		

4.2. Stan mikoryz oraz aktywności oddechowej i enzymatycznej gleb	206
4.3. Aktywność lignocelulolityczna	213
4.4 Runo i jego reakcje na zabiegi leśnej rekultywacji	215
4.5. Fauna i jej reakcje na zabiegi leśnej rekultywacji	216
4.6. Ocena hodowlana drzewostanu sosnowego po leśnej rekultywacji gruntu porolnego z uwzględnieniem roli korzeniowca wieloletniego i szkodników owadzych w kształtowaniu jego struktury	222
5. Podsumowanie	225

* - Numeracja rysunków i tabel osobna dla każdego rozdziału

1. Wstęp

W efekcie wieloletnich zalesień gruntów porolnych nieefektywnych ekonomicznie, nieużytków i gleb marginalnych w okresie powojennym oraz realizacji Krajowego Programu Wzrostu Lesistości Kraju (Smykała 1990, Fonder 2002, Krajowy Program.... 2003) lesistość Polski wzrosła z 20,8% w 1946 r. do 29,3% w 2012 r. (GUS 2013). Docelowo wg. KPZL wzrost lesistości kraju do 30% wyniesie w 2020 r. i 33% w roku 2050.

W roku 2012 wykonano zalesienia sztuczne na pow. 4853,7 ha gruntów wszystkich kategorii własności. W tym samym 2012 r. około 167 ha uznano za zalesienia powstałe w wyniku sukcesji naturalnej. (GUS 2013).

Kształtowanie ekosystemów leśnych na gruntach porolnych to wciąż jedno z ważniejszych problemów współczesnego leśnictwa. Doświadczenia praktyki leśnej jak i wieloletnie badania Katedry Ochrony Lasu i Ekologii SGGW wykazały, że odtwarzanie ekosystemu leśnego na gruntach porolnych drogą pasywnej restytucji napotyka na duże trudności i nie jest osiągalne (Szujewski 1990). Złożoność problemów restytucji lasu na gruntach porolnych oraz ich długotrwałość wymaga zastosowania zabiegów z zakresu inżynierii ekologicznej. Jednym z przykładów praktycznego jej stosowania w leśnictwie przy rehabilitacji i odtwarzaniu zdegradowanych gleb są zoo- i fitomelioracje zalesionych gleb porolnych. Motywem przewodnim tych zabiegów jest kompleks działań zmierzających do polepszenia aktywności biologicznej gleb.

Prezentowane badania są przykładem rozwiązywania zadań z zakresu inżynierii ekologicznej, której metodyka sprowadza się do czterech ważnych przesłanek: rozpoznanie stanu ekosystemu, wprowadzenie brakujących elementów, logicznej sekwencji czynności

ekologiczno – inżynieryjnych w całym okresie procesów rekultywacyjnych oraz oceny stanu ekosystemu po zabiegach rekultywacyjnych.

2. Historia badań

Proces zalesień odłogowanych gruntów porolnych jaki w latach 60-tych ub. wieku osiągnął w Polsce apogeum, spowodował co najmniej 17% udział takich drzewostanów w powierzchni leśnej naszego kraju. Ponieważ z użytkowania rolniczego wydzielono najślabsze grunty, to do zalesień prawie wyłącznie wykorzystano sosnę zwyczajną. Wrażliwość sosny na choroby korzeni i pędów doprowadziło na dużych powierzchniach zalesień do katastrofalnych szkód. Okazało się, że cechą charakterystyczną gleb "porolnych" jest występowanie do głębokości 30 cm tzw. "warstwy płuźnej" jako pozostałości po użytkowaniu rolniczym. Głównie do poziomu tej warstwy ograniczone są podstawowe formy aktywności biologicznej gleby i obieg materii, tam również koncentrują się substancje odżywcze drzew, podczas gdy w glebach leśnych sięgają one głębiej. Ilość glebowej substancji organicznej jest w zalesieniach mała, szczególnie w okresie upraw i młodników. W późniejszym okresie rozwoju drzewostanów, w głębszych warstwach gleby (od 5 do 25 cm) substancji organicznej jest mniej, a w warstwie powierzchniowej (do 5 cm) więcej niż w glebach leśnych. W glebach porolnych (w porównaniu z glebami leśnymi) występuje dość dużo związków pokarmowych drzew, szczególnie związków azotu, jednak przez ponad 20 lat od zalesienia azot zostaje systematycznie rozchodowany i wymywany, zwłaszcza z górnej warstwy gleby (Rys. 0). Gleby porolne są ponadto mniej kwaśne niż gleby leśne. Wszystko to ma znaczenie dla jakości zachodzących w tych glebach procesów mikrobiologicznych.

Specyficzność procesów rozkładu materii organicznej w glebie leśnej polega na uwalnianiu ligniny z kompleksu drzewnego przez faunę i na czynnym udziale mikroorganizmów rozkładających ligninę do jakich należą grzyby. Sprzyja temu obecność w

glebie leśnej licznych żywych i martwych korzeni drzew, podczas gdy w powstających zalesieniach wobec braku korzeni drzew a więc i martwego drewna, przeważają bakterie rozkładające celulozę. Powstające podczas rozkładu ligniny produkty o charakterze monofenoli lub ksylofenoli ulegają dalszym przemianom i tworzą związki pierwotne w syntezie kwasów huminowych, decydujących o takich właściwościach gleb leśnych, jak pojemność sorpcyjna, zdolność wymiany jonowej czy struktura połączeń organomineralnych. Wśród korzeniowych wydzielin sosny przechodzących do gleby znajduje się ponad 30 różnych związków organicznych i substancji fizjologicznych czynnych, takich jak cukry, aminokwasy organiczne, witaminy i związki fenolowe, co wpływa decydująco na aktywność biologiczną gleby. Tymczasem w glebie porolnej brak jest tych licznych, wymienionych powyżej substancji organicznych wydzielanych przez korzenie drzew. Mimo, że skład większości zespołów fauny glebowej charakterystycznych dla gleb leśnych kształtuje się na glebach porolnych już po 20-25 latach od ich zalesienia, to struktura ilościowa i przestrzenna tych zespołów jest inna. Szczególnie zauważalne jest przywiązanie fauny zalesień do wierzchniej warstwy gleby i jej powierzchni, gdy w glebach leśnych liczebność i biomasa zwierząt bezkręgowych, zwłaszcza saprofagicznych, jest większa w głębszych warstwach gleby. Mimo, że w 60-letnich i starszych zalesieniach skład i struktura fauny jest podobna do gleb leśnych, to różni się od niej wieloma cechami funkcjonalnymi:

biomasa fauny jest mniejsza o 25%, co spowodowane jest małą liczebnością okolicznościowych saprofagów i odpowiada niedoborowi materii organicznej w głównych warstwach gleb porolnych;

przeciętna wielkość ciała osobników fauny glebowej jest mniejsza, co wskazuje na opóźnienie rozwoju ekosystemu zalesień w procesie sukcesji;

osobniki tych samych gatunków charakteryzują się znaczną zmiennością cech morfologicznych, co wskazuje na nieustabilizowanie fenotypowe gatunków i brak równowagi w ekosystemie.

Wykorzystanie struktury zgrupowań fauny glebowej jako bioindykatora przekształceń ekosystemu leśnego na gruntach porolnych (Szujecki A., i inni, 1983) dobrze korespondowało z wynikami badań innych elementów tego środowiska i prowadziło do wniosku, że na słabość biologiczną zalesień w pierwszej kolejności wpływa struktura i chemiczne właściwości gleb porolnych jak i niekorzystne stosunki wodno-powietrzne, co prowadzi do deformacji systemów korzeniowych. Na to nakłada się niepełny i nieustabilizowany obieg pierwiastków i konsekwencje małej kwasowości gleb. Po 20-30 latach następuje okres krytyczny dla drzewostanu:

zmniejsza się przyrost drzew, nawet o 30%;
rozwijają się choroby korzeni, pędów i igieł;
część drzew zamiera.

Wieloletnie użytkowanie rolnicze pierwotnie leśnych gleb stworzyło duży dystans między stanem obecnym i stanem ekosystemu przed jego degradacją (dystans rehabilitacyjny) przy małej zdolności naturalnej ekosystemu do odtworzenia cech ekosystemu leśnego (małym potencjale rehabilitacyjnym). Aczkolwiek nie wszystkie drzewostany powstałe z zalesień wykazują opisane, niekorzystne właściwości, to jednak podjęcie działań restytucyjnych opartych na zasadach inżynierii ekologicznej wydawało się w połowie lat 70-tych ubiegłego wieku za w pełni zasadne. Dla podjęcia takiego eksperymentu istotne było także to, że sposób w jaki ekosystemy reagują na presję człowieka charakteryzują się określonymi prawidłowościami, bez względu na rodzaj nacisku (rodzaj stresora). Zatem rezultaty eksperymentu mogły mieć szerszą interpretację i odnosić się do innych sytuacji w odtwarzaniu lub rehabilitacji ekosystemów leśnych.

Z kolei proces restytucji ekosystemu leśnego wymaga, poza usunięciem presji (tu zaprzestania działalności rolniczej), pokierowania jego rozwojem tak, by ustąpiły symptomy stresowe. Oznacza to, że także restytucja układu ekologicznego winna cechować się pewnymi prawidłowościami, bez względu na charakter odtwarzanego ekosystemu, natomiast stosownie do poziomu jego odkształcenia. Uniwersalną metodą restytucji jest wniesienie do odtwarzanego ekosystemu brakujących w nim elementów.

Przystępując przed 40 laty do założenia wieloletniego eksperymentu, przyjęliśmy w oparciu o istniejący stan wiedzy i rozpoznanie środowiska gleb porolnych następującą hipotezę roboczą. Mimo, że poziom azotu dostępnego dla roślinności drzewiastej 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. Należy więc nadwyżkę azotu jaka istnieje w glebie porolnej wycofać, by następnie oddać ją ponownie po owych 20-25 latach po zalesieniu do obiegu. Wydawało się, że takim materiałem retencjonującym azot mogą być odpady tartaczne, kora i trociny widziane jako substytut dla organizmów 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 węgla do azotu, obniżenie pewnej kwasowości (małej kwasowości) gleb porolnych.

Dodatkowym praktycznym argumentem przemawiającym za taką konstrukcją ekosystemu była obfitość odpadów tartacznych, które w tamtych czasach nie były wykorzystywane ani jako materiał energetyczny ani jako substrat glebowy w ogrodnictwie i stanowiły obciążenie placów tartacznych. Był to więc materiał łatwo dostępny i odpędzany za cenę wywozu.

Metoda eksperymentu restytucyjnego (zoomelioracyjnego)

Przygotowanie powierzchni doświadczalnych

W oddziale 158 nadleśnictwa Niedźwiady (leśnictwo Łabędzie Bagno) wybrano użytkowane rolniczo poletko o wymiarach 150 x 150 m położone w otoczeniu młodników (z trzech stron), a od strony zachodniej przylegające do enklawy o charakterze nieużytku. Powierzchnię tę oznaczono symbolem Z-I. Dla każdej z dwóch różnych części powierzchni (jedna po uprawie ziemniaków, druga po łubinie słodkim) izolowanych pasem 30 metrowej szerokości, ustalono układ 8 bloków losowych oznaczonych od A do H w trzech powtórzeniach o wymiarach działek 15 x 15 m. Działki były między sobą izolowane pasami szerokości 5 m. Część pierwsza działek (od strony nieużytku) numerowana była od 1 do 24, część druga - od 25 do 48 (rys.1, fot. 1).

Bloki reprezentowały następujące warunki doświadczenia:

A - kontrola

B - kora + *Proteroiulus fuscus*

C - kora + trociny

D - kora + trociny + *Proteroiulus fuscus*

E - *Proteroiulus fuscus* (introdukcja)

F - trociny

G - kora

H - trociny + *Proteroiulus fuscus*.

W końcu kwietnia 1974 roku na jedną działkę wariantów B, G wyłożono równomiernie 6 m³ rozdrobnionej kory, na działki wariantów C, D - 4 m³ kory i 2 m³ trocin (po zmieszaniu), na działki F, H - 4 m³ trocin. Na tak przygotowanej powierzchni pługiem dwuodkładnicowym wyorano bruzdy o odstępach 1,5 m. Następnie powierzchnię zalesiono jednorocznymi sadzonkami sosny zwyczajnej w odstępach 0,5 m tzn., że na działce wysadzono 300 drzewek. Pasy izolacyjne obsadzono brzozą.

W 1974 roku, 18 września wprowadzono na powierzchnię 3600 osobników *Proteroiulus fuscus* Am St. umieszczając po 50 okazów w miejscach inokulacji, zasilono leśną materią organiczną, a głównie korą i mchem.

Na powierzchni Z-I przeprowadzono analizy gleboznawcze (w latach 1974 i 1982), analizy wzrostu sosny (w latach 1974 i 1981), badania aktywności lignocelulitycznej (1983 i 1984), badania makrofauny glebowej (1974-1976, 1982), prowadzono ciągle obserwacje nad przebiegiem introdukcji *Proteroiulus fuscus*.

Powierzchnię Z-II założono na jesieni 1976 roku, w oddziale 79m (aktualnie 104Ag i 80c) nadleśnictwa Niedźwiady (leśnictwo Kamionka) na nieużytku rolniczym w celu sprawdzenia na większej przestrzeni wyników uzyskanych w warunkach wniesionej kory z trocinami (wariant C z pow. Z-I), który jak wykazały wstępne wyniki okazał się pod względem efektu zoomelioracyjnego najkorzystniejszy. Pow. Z-II objęła obszar 1,44 ha (120 x 120 m) i została podzielona na 6 części o wymiarach 120 x 20 m (rys. 2). Na częściach parzystych (licząc od dłuższego boku powierzchni) zastosowano orkę płytką do głębokości 20 cm, na częściach nieparzystych - orkę głęboką do 40 cm głębokości.

Na wiosnę 1977 roku każdy pas podzielono poprzecznie na 3 działki (każda o pow. 800 m²) i traktowano odmiennie. Oznaczone literą C pokryto korą sosnową i trocinami w ilości 48 m³ kory i 24 m³ trocin i zaorano pługiem dwuodkładnicowym w pasy co 1,5 m w kierunku prostopadłym do kierunku orki pełnej i posadzono jednoroczną sosnę co 1 m. Podobnie zaorano i zalesiono działki A i B z tym, że po zalesieniu działek A rozsiano tam w międzyrzędy łubin trwały. Wariant B traktowano jako kontrolny.

W ten sposób powstał układ bloków losowych z wariantami:

A₁ - A₃ - A₅ A₂ - A₄ - A₆

B₁ - B₃ - B₅ B₂ - B₄ - B₆

C₁ - C₃ - C₅ C₂ - C₄ - C₆

(rys. 2, fot. 2, 3.)

Wiosną 1981 roku, na działkach z wyjątkiem A₃, A₄, B₃, B₄, C₃, C₄ introdukowano *Proteroiulus fuscus* (750 osobników na każdą działkę).

Na pow. Z-II w roku 1982 zbadano stan makrofauny glebowej, w roku 1982 i 1983 epigeiczne biegaczowate i mrówki. Przez cały okres badań (1981-1983) kontrolowano stan populacji *Proteroiulus fuscus*.

Wyniki badań prowadzonych w latach 1974-1985

Metodyka badań środowiska i fauny na pow. Z-I i Z-II jak i wyniki znajdują się w opracowaniach:

Szujecki A., Szyszko J., Mazur S., Perliński S., 1977. Sprawozdanie końcowe merytoryczne za lata 1973-1977 z zadania badawczego "Badania nad potrzebą i możliwościami zoomelioracji zalesionych gruntów porolnych" z problemu węzłowego 09.2.1. tematu 09.2.1.01 i podtematu 09.2.1.01.02.08 "Badania przyrodniczych podstaw i ocena potrzeb nawożenia młodników i drzewostanów ". Część II SGGW AR w Warszawie, Instytut Ochrony Lasu i Drewna, 105 str. + 10 fot.

Sprawozdanie końcowe merytoryczne za lata 1981-1985 z zadania badawczego "Badania nad zoomelioracją gleb porolnych" - problem węzłowy 09.81.10.03.02.11. SGGW-Akademia Rolnicza w Warszawie, Katedra Ochrony Lasu i Ekologii, Warszawa 1986, 289 str. Kierownik Katedry i Główny Wykonawca prof. Andrzej Szujecki.

Współwykonawcy:

mgr inż. Katarzyna Łęgowska

mgr inż. Dariusz Łęgowski

doc. dr hab. Sławomir Mazur

mgr inż. Andrzej Szpojda

dr hab. Jan Szyszko

mgr inż. Mirosława Ślipińska

dr inż. Henryk Tracz

Wyniki

Parametry właściwości fizycznych gleb, wilgotność aktualna, pojemność powietrzna, porowatość ogólna wykazały wyższe wartości na wariantach zasilonych odpadami tartaczynymi zarówno w stosunku do wariantu kontrolnego (A, E) jak i profilu glebowego.

Najwyższe wartości analizowanych parametrów wykazały warianty z korą (B, G) oraz korą i trocinami (C i D), gdzie w wyniku zabiegów gleba uległa znacznemu spulchnieniu.

Wprowadzone odpady tartaczne (kora, trociny) wpłynęły na obniżenie ciężaru objętościowego badanych gleb osiągając najniższy poziom w wariantcie z korą (B i G) i korą z trocinami (C i D).

Wniesienie kory, trocin, kory z trocinami po 7 latach nieznacznie wpłynęło na różnicowanie się fizykochemicznych i chemicznych właściwości gleb.

Zauważono jednak pewne istotne tendencje, zwłaszcza na wariantach z korą i korą z trocinami.

Poziom pH uległ w wierzchniej warstwie gleby nieznacznemu obniżeniu na wariantach z korą oraz korą i trocinami

Kwasowość wymienna i hydrolityczna wykazały podobną tendencję, a zawartość glinu ruchomego była tu najwyższa.

Wyniki oznaczeń kationów wymiennych w badanych glebach wskazały na śladowe ilości jonów Ca, Mg, K, Na. Poziom tych jonów był niższy na wariantach z korą w porównaniu z kontrolą, jak i na wariantach z trocinami.

Pojemność sorpcyjna oraz stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego wykazały na działkach z trocinami niższe wartości w stosunku do kontroli, a wyższe na wariantach z korą, która pod względem pojemności sorpcyjnej wyróżniła się lepszymi właściwościami od kontroli.

Zawartość węgla i azotu przedstawia się najlepiej w wariantach kontrolnym i wzbogaconym korą, w związku z czym stosunek C:N jest największy w wariantach z korą (korzystny udział azotu mała zawartość węgla)

Wprowadzenie odpadów tartacznych nieznacznie obniżyło średnią zawartość próchnicy w stosunku do kontroli.

Porównanie niektórych właściwości fizykochemicznych gleb na profilach glebowych z 1975 i 1982 roku przyniosło pod wpływem wprowadzonych odpadów tartacznych następujące wyniki:

Zawartość frakcji mechanicznej (1-0,1 mm) w poziomach 0-5 cm i 15-25 cm okazała się w tym okresie mniejsza, zaś porowatość uległa zwiększeniu

Kwasowość w KCl uległa po 7 latach obniżeniu, średnio do ponad 0,5 jednostki w głębszych poziomach, zatem gleby stały się bardziej kwaśne

Zawartość węgla na poziomie 0,5 cm nieznacznie po wprowadzeniu odpadów tartacznych nieznacznie wzrosła, natomiast w poziomie 15-25 cm była nieco niższa. Zawartość azotu w obu badanych poziomach wyraźnie wzrosła

Stosunek C:N uległ zmniejszeniu z 14,6 do 12,85 w poziomie 0-5 cm i z 14,9 do 13,66 w poziomie 15-25 cm.

Zawartość próchnicy w wierzchniej warstwie gleby uległa również poprawie

Zaistniały warunki korzystniejsze dla prawidłowego przebiegu procesów glebotwórczych.

Analiza wzrostu sosny objęła pomiar pierśnic "d_{1,3}" i wysokości "h" rosnących sosen:

Warianty z wprowadzoną korą oraz korą i trocinami wykazały największe przyrosty sosny na wysokość i grubość.

Warianty z wprowadzonymi trocinami oraz wariant kontrolny miały najniższe wartości wysokości drzew i pierśnicy

Część powierzchni Z-I z uprawą sosnową po łubinowaniu odznaczała się najwyższymi wymiarami wysokości i grubości w stosunku do części powierzchni założonej po uprawie ziemniaków, zwłaszcza w obniżeniach terenu

Przeżywalność sosny okazała się największa na wariantach z korą oraz kontrolnym

Słaba przeżywalność sosny na wariantach z kora i trocinami (C, D) korespondowała z ogólnie lepszymi cechami taksacyjnymi pomierzonych sosen, które ograniczyły liczebność drzewek mając wpływ na procesy wydzielania się

Długość i masa igieł sosny należą do wykorzystywanych cech taksacyjnych drzewostanów sosnowych dobrze korelując z innymi cechami. Ponadto szybkość biologicznego obiegu pierwiastków w ekosystemie leśnym zależy od wskaźnika absolutnego przyrostu i opadu biomasy na jednostkę powierzchni.

Długość igieł oraz ich ciężar zarówno w stanie świeżym jak i po opadnięciu były największe w wariantach z korą i trocinami

Najmniejszy ciężar igieł opadłych i konsekwentnie największe ubytki w ciężarze wykazały warianty, których gleby były najmniej zasobne w składniki pokarmowe drzew, a więc w pierwszej kolejności warianty z korą (B i G) na części powierzchni Z-I po ziemniakach

Badania porównawcze wykazały, że największe ubytki ciężaru igieł występowały też w młodnikach na gruntach leśnych oraz w drzewostanach starszych na gruntach porolnych, a świadczy to o tym, że sosna na glebach zasobnych dużo składników odbiera i kumuluje, mało oddaje.

Sosna należy do roślin silnie wycofujących pierwiastki z aparatu asymilacyjnego, w związku z czym gleba pod drzewostanami sosnowymi cechuje się słabo rozwiniętym kompleksem sorpcyjnym jest znacznie zmineralizowana. Okres wycofywania pierwiastków z igieł jest różny: przed opadnięciem igieł wycofywany jest azot (N) magnez (Mg) oraz potas (K) i mangan (Mn). Pewne pierwiastki są wycofywane z igieł lub nie są wycofywane, co zależy od warunków środowiska - są to wapń (Ca), i sód (Na). Wreszcie cynk (Zn), żelazo (Fe) i miedź (Cu) pozostają w igłach w większości środowisk. Spadek żyzności gleby powoduje wzrost w igłach zielonych zawartości N przy wyrównanej jego zawartości w igłach opadających i rosnącym wycofywaniu. Analiza chemiczna igieł na powierzchni Z-I i w różnych warunkach środowiska borów sosnowych przyniosła ważne dla oceny zabiegów restytucyjnych wyniki.

Największym wycofywaniem pierwiastków charakteryzują się drzewostany na gruntach leśnych i porolnych oraz warianty pow. Z-I z korą i trocinami (C i D) oraz korą (B i G), w

słabszym stopniu warianty z trocinami, jednakże zależności te dla różnych pierwiastków kształtowały się różnie.

W największym stopniu zwracane są do gleby z opadem suchej masy igieł pierwiastki: N, Ca, Mg i K w wariantach z korą i trocinami, gdy pozostałe pierwiastki były zwracane na poziomie średnim, co wydaje się wskazywać na pozytywne oddziaływanie tej biomasy na żyzność zalesionych gleb porolnych

Wariant z korą pod względem zawartości w glebie Na, Zn, Mn i N zajął drugie miejsce po wariantach korowo-trocinowych, ale udział pierwiastków w igłach opadłych był większy niż w wariantach kory z trocinami.

Warianty z trocinami F i H i kontrolne charakteryzowały się małym udziałem biogenów (pierwiastków) w opadającej suchej masie igieł i na ogół wyrównanym udziałem tych pierwiastków w glebie poza Ca i K, których ilość była większa niż w wariantach z korą.

Warianty korowo-trocinowy oraz korowy a także młodnik porolny charakteryzowały się dużą zasobnością azotu w glebie, wycofując mniejsze ilości tego pierwiastka, i odprowadzając w opadzie suchej masy igieł największe wśród biogenów ilości azotu.

Najkorzystniejszym, z pośród różnych zabiegów rekultywacyjnych w świetle takich procesów jak najmniejsza utrata ciężaru igieł, największa ilość pierwiastków wracających do gleby, największy opad suchej masy igieł okazał się wariant korowo-trocinowy, a pod względem udziału biogenów w suchej masie igieł - wariant korowy

Ponieważ głównym wskaźnikiem możliwości produkcyjnych siedliska jest wielkość opadu igliwia i udziału w nim biogenów powracających do gleby, najlepszymi zidentyfikowanymi w badaniach środowiskami były drzewostany starsze, a pośród wariantów zoomelioracyjnych wariant C i D oraz B i G. Najsłabsze rezultaty pod względem badanych czynników wykazały warianty z trocinami (F i H).

Badanie stanu aktywności celulolitycznej na pow. Z-I - 1973, 1976 i na pow. Z-II - 1976, wykazało zróżnicowane wielkości tego procesu w zależności od rodzaju zabiegu rekultywacyjnego i sposobu uprawy gleby.

Procesy lignocelulolityczne, zarówno w warstwie powierzchniowej jak i głębiej, najszybciej i najintensywniej zachodzą w wariantach z trocinami a także z korą i trocinami, gdyż substrat ten jest dobrą pożywką mikroorganizmów zachowując podwyższoną wilgotność gleby, do której został wprowadzony.

Kora, jako ubogi w składniki pokarmowe substrat rekultywacyjny i jako trudno rozkładalny, wykazała mniejszy niż trociny wpływ na aktywność mikrobiologiczną gleb porolnych, natomiast może trwale polepszać stosunki wilgotnościowe powierzchniowych warstw gleby

Brzoza w porównaniu z sosną silniej wpływa na uaktywnienie się mikroorganizmów glebowych. Łubin nie wykazał stymulacyjnego efektu na ożywienie działalności mikroorganizmów lignocelulolitycznych.

Poznanie sukcesji zespołów owadów na zalesionych gruntach porolnych oraz próby wpływu na ten proces zabiegów inżynierii ekologicznej stanowiło główny podmiot prac badawczych prowadzonych przez kilkadziesiąt lat przez Katedrę Ochrony Lasu i Ekologii w Puszczy Czułchowskiej, lasach Nadleśnictwa Niedźwiady (rys. 3). Fauna glebowa i epigeiczna odgrywa bowiem ogromną rolę w funkcjonowaniu ekosystemów leśnych a szczególnie w procesach glebotwórczych i stąd wymaga szczególnej uwagi.

Procesy formowania się zgrupowań makrofauny glebowej mają inny przebieg w glebach leśnych, inny w glebach porolnych, różniąc się strukturą dominacyjną, innym składem gatunkowym, wielkością biomasy, rozkładem przestrzennym i innymi charakterystykami. O ile pod drzewostanami sosnowymi zagospodarowanymi zrębami zupełnymi na glebach leśnych regeneracja zgrupowań makrofauny glebowej następuje po 25-30 latach od odnowienia zrębu, to w zalesieniach na glebach porolnych następuje to z opóźnieniem w stosunku do gleb leśnych o około 30-50 lat

Spośród trzech głównych postępowań mających na celu uaktywnienie fauny glebowej i wkroczenie gatunków leśnych jakie były podejmowane, skoncentrowano się na zabiegach restytucyjnych przy użyciu odpadów tartacznych i łubinowania gleb porolnych, pomijając przeprowadzoną równolegle introdukcję mrówki ćmawej i borówki czernicy (elementów brakujących w środowisku zalesień)

Wprowadzenie kory i trocin stworzyło możliwość zahamowania procesów mineralizacji a jednocześnie powinno było ułatwić rozwój saprofagów, sprzyjając procesom humifikacji. Okazało się jednak, że różne troficzne grupy fauny zareagowały na ten zabieg niejednakowo w początkowym okresie eksperymentu.

Wprowadzenie kory, a szczególnie trocin sosnowych ograniczyło po dwóch latach ogólne występowanie makrofauny. Ograniczenie było wprost proporcjonalne do ilości wniesionych trocin. Na wariantach z korą i trocinami nastąpiło ograniczenie zagęszczenie całej makrofauny do około 60% stanu z powierzchni kontrolnej.

Szczególne spadki liczebności wykazały fitofagi, których zagęszczenie w związku z eliminacją (ograniczeniem) chwastów było 5-krotnie mniejsze niż na pow. kontrolnej i na działkach z udziałem kory. Ograniczeniu podlegały zarówno fitofagi powierzchniowe jak i żyjące w glebie. Różne saprofagi zareagowały odmiennie. Na powierzchniach z korą największa była biomasa dżdżownic oraz introdukowanego krocionoga *Proteroiulus fuscus*

szczególnie w wariacie z korą wykazując 4-krotny wzrost liczebności w ciągu 2 lat, ale mniejsza biomasę larw muchówek. Z drugiej strony odnotowano w tych warunkach wzrost liczebności drapieżnych kusakowatych i Chilopoda

Wprowadzenie krocionoga *Proteroiulus fuscus*, jedyne saprofaga biorącego udział w rozkładzie kory i procesach humifikacji, było istotnym, udanym elementem zoomelioracji w pierwszym jej okresie.

Okres 8 lat jaki dzielił drugą obserwację faunistyczną od pierwszej był bardzo krótki, jednakże nastąpiły w nim zasadnicze zmiany w strukturze makrofauny glebowej zmieniając w stosunku do wyników początkowych ocenę zabiegów.

Warianty z korą (B i G) wykazały zagęszczenie trzech wyróżnionych grup troficznych większe niż młodnik na gruntach leśnych lub porolnych, a warianty z trocinami i kontrolne zdecydowanie mniejsze. Wariant korowo-trocinowy (C i D) zajął tu miejsce pośrednie, tj. zbliżone do zagęszczenia w młodnikach na gruntach leśnych. Rozkład zagęszczenia makrofauny na poszczególnych wariantach rekultywacji leśnej był określony głównie występowaniem zoofagów i saprofagów, podczas gdy zagęszczenie fitofagów było największe na działkach kontrolnych.

Na ogólny stan makrofauny glebowej w roku 1982 na działkach wariantów z wniesionymi odpadami tartaczynymi bardzo duży wpływ miało wysokie zagęszczenie mrówek z rodzaju *Tetramorium* i *Lasius*, osiągające nawet na działkach kontrolnych około 2,5 tys. osobników/m² wobec stanu wyjściowego w latach 1974-76 2,5-84/m² w młodnikach na gruntach porolnych i 88/m² na gruntach leśnych

Zagęszczenie fitofagów, głównie larw ryjkowców i sprzążek, na działkach z korą wzrosło w porównaniu z latami 1975-76 z około 30/m² do 60-120 /m², a na działkach korowo-trocinowych z 30/m² do 80-120/m².

Zgrupowanie saprofagów, w tym *Proteroiulus fuscus* wzrosło na wariantach korowych z 15/m² do ponad 140/m² a na korowo-trocinowych z 10-20/m² do 30-50/m², dzięki czemu zgrupowania saprofagów tego wariantu upodobniły się do analogicznych ugrupowań w młodnikach na gruntach leśnych. Zgrupowanie zoofagów w roku 1982 charakteryzowało się zdecydowanie wyższym zagęszczeniem w wariantach korowych niż w roku 1976: odpowiednio 50-60/m² i 100-200/m², co powinno wiązać się ze wzrostem ich bazy pokarmowej, do której należą m.in. larwy chrząszczy z rodzaju *Malthodes*, charakterystyczne dla gleb porolnych. Na działkach wariantów z korą i trocinami zagęszczenie zoofagów wzrosło odpowiednio z 30-50/m² do 50-80/m².

Trociny wprowadzone na działki F i H wykazały ograniczające oddziaływanie na saprofagi, O ile w początkowym okresie było ich 0,3-3,7/m² to w roku 1982 tylko 2-14/m² w tym introdukowany *Proteroiulus fuscus*. Również zagęszczenie zoofagów i fitofagów było mniejsze niż w wariantach z korą i korą z trocinami.

W okresie 1974-1976-1982 na działkach kontrolnych A i E wzrosło wydatnie zagęszczenie fitofagów (głównie larw Agriotes, Selatosomus oraz ryjkowców) ale nie osiągnęło poziomu znanego z młodników 8-letnich, zarówno na gruntach leśnych jak i porolnych. Również na 3-krotnie mniejszym poziomie wobec młodników na gruntach porolnych i wielokrotnie mniejszym niż na gruntach leśnych występowały saprofagi, które też nie zwiększyły swojego zagęszczenia w stosunku do roku 1974-76. W tym też okresie zoofagi nieco zmniejszyły swą liczebność.

W stosunku do wariantu kontrolnego zagęszczenie makrofauny glebowej w pierwszym okresie badań było mniejsze na wariacie z korą, jeszcze mniejsze na wariacie C i D i najmniejsze na F i H. W drugim okresie największe było w wariacie korowym i nieco tylko mniejsze w wariacie korowo-trocinowym, najmniejsze zaś w wariacie trocinowym.

Podsumowanie i wnioski z badań w latach 1975-1982

Podjęta idea zabiegów zoomelioracyjnych, które miałyby na celu uaktywnienie biologicznej frakcji gleb porolnych, wydały się na tyle interesujące, że w tym względzie brak było dostatecznych osiągnięć teoretycznych i praktycznych. Podczas gdy niszczona i przekształcana biosfera wymagać będzie coraz częściej zabiegów rehabilitacyjnych lub restytucji utraconych wartości. Zabieg zoomelioracyjny podjęty jako pionierski w 1974 roku przyniósł rezultaty trudno do jednoznacznej interpretacji z dwóch powodów - zbyt krótkiego okresu doświadczenia oraz z ogólnych, niekontrolowanych przeobrażeń środowiska zalesień np. starszych drzewostanów pod wpływem gradacji brudnicy mniszki, zakłócających przebieg sukcesji, której wzór zidentyfikowaliśmy w latach 1973-74, a całego ekosystemu pod wpływem powolnych zmian klimatycznych i napływu różnych zanieczyszczeń powietrza, szczególnie związków azotu.

W ciągu 6-10 lat od zabiegu zoomelioracyjnego całkowity rozkład wniesionej kory nie mógł nastąpić, ani też nie udało się wpłynąć znacząco na zmianę warunków glebotwórczych. Jednym z czynników mającym przemożny 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

z fauny glebowej ubyło szereg taksonów larw muchówek, zwłaszcza saprofagicznych, a ich brak nie został skompensowany przez inne owady.

Mimo tych ujemnych następstw zoomelioracji, ogólny jej przebieg i wynik można ocenić umiarkowanie pozytywnie. Złożyły się na to:

udana introdukcja i aklimatyzacja krocionoga *Proteroiulus fuscus* Am. Stein

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 korą z trocinami

wzrost ciężaru biomasy całej fauny glebowej

poprawa fizycznych właściwości gleb, gospodarki materiałowej drzew i obiegu pierwiastków, pojemności wodnej, porowatości ogólnej, pulchności gleby, szczególnie w poziomie powierzchniowym 0-5 cm na działkach z korą, a szczególnie z korą i trocinami, ale nigdy z samymi trocinami

Własności fizyko-chemiczne i chemiczne gleb nie uległy istotnym zmianom, aczkolwiek dały się zauważyć pewne tendencje w tym zakresie:

zawartość węgla organicznego w poziomie 0-5 cm nieco wzrosła, a w poziomie 15-25 cm nie uległa zmianie,

zawartość azotu na działkach z korą oraz z korą i trocinami wyraźnie była większa niż na kontroli i na początku badań, co rzutowało na zwiększenie stosunku C:N w glebie,

zwiększyła się nieznacznie pojemność sorpcyjna gleb oraz zawartość próchnicy,

nastąpiło zwiększenie ciężaru igieł zielonych i opadłych,

mała strata ciężaru igieł i niski procent wycofywania pierwiastków przy dużej ich zawartości w glebie.

Kora i trociny wprowadzone do gleby spowodowały też pewne inne następstwa:

nastąpił nieznaczny wzrost zakwaszenia oraz ruchomego aluminium w wierzchniej warstwie gleby,

zmniejszyła się ilość śladowa kationów wymiennych: Ca, Mg, K, N.

W wyniku korzystnych 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 jak i na działkach z trocinami.

3.1 Skuteczności zabiegów rekultywacyjnych po 36 latach od ich wprowadzenia

3.1. Zmiany środowiska glebowego

3.1.1. Właściwości chemiczne i oddychanie gleb

Celem pracy było określenie długofalowego wpływu różnych zabiegów fito- i zoomelioracyjnych na właściwości gleb porolnych. Eksperyment był próbą stworzenia w drzewostanach sosnowych na gruntach porolnych warunków zbliżonych do gruntów typowo leśnych. Dokonano tego poprzez aplikację do gleb materii organicznej w postaci kory i trocin, wysiew łubinu oraz introdukcję krocionoga *Proteroiulus fuscus*. Sprawą najwyższej wagi wydaje się być spowodowanie, by jakość gleb porolnych, mierzona różnymi wskaźnikami, była zbliżona do gleb leśnych, co powinno zapewnić lepsze warunki wzrostu i rozwoju rosnących tam drzewostanów sosnowych.

Dokładnym badaniom poddano powierzchnię na gruntach porolnych (ZII), na której znajduje się 18 poletek badawczych o powierzchni 800 m² każda. Warianty te obejmują 12 kombinacji różnych czynników:

- rodzaj orki (płytko i głęboko) (1976 r)
- nawożenie (kora i trociny, łubinowanie) (1976r.)

- introdukcja krocionoga (1981 r)

oraz powierzchnię kontrolną (Rys. 1). Eksperyment rozpoczął się pod koniec lat 70.

Dodatkowo do badań wytypowano powierzchnię na glebach leśnych, która zlokalizowana była na takim samym siedlisku oraz w drzewostanie sosnowym w tym samym wieku (powierzchnia „Las”).



Rys. 1. Schemat powierzchni eksperymentalnej ZII z opisem wariantów doświadczenia.

W październiku 2011 r. zebrano próby glebowe z powierzchni ZII oraz z powierzchni odniesienia „Las”. Za pomocą pobieraka o wysokości 10 cm i średnicy 5 cm pobierano po 3 lub po 6 prób na jednym poletku. Próby pobierano z wierzchnich warstw gleby po uprzednim odgarnięciu runa. Zróżnicowanie liczebności prób wynikało stąd, że część poletków miała swoje powtórzenia, część zaś nie. Z działek, które nie posiadały powtórzeń pobierano większą liczbę prób (2x3), natomiast z działek mających powtórzenia – liczbę dwukrotnie mniejszą (3). Pojedynczą próbę otrzymywano poprzez łączenie 3 rdzeni glebowych pobieranych w niedużej odległości od siebie. Z rdzeni tych tworzą jedną próbę mieszaną. Sumarycznie ze wszystkich powierzchni zebrano 234 rdzeni, które połączono w 78 prób mieszanych. Próby przewieziono do laboratorium Katedry Środowiska Glebowego na Wydziale Biologii i Rolnictwa SGGW w Warszawie, gdzie zostały poddane analizom chemicznym

Przeanalizowano następujące właściwości gleb:

- Kwasowość hydrolityczna (Hh) metodą Kappena
- Kwasowość wymienna (Hw), czyli Al i H wymienny – metodą Sokołowa
- pH w H₂O i w KCl – elektrometrycznie za pomocą elektrody zespolonej
- Stosunek Al:Mg – proporcje molowe Al i Mg wymiennego
- Zawartość próchnicy = $C \times 1,724$
- Zawartość C organicznego – metodą katalitycznego spalania na sucho w tlenie z użyciem analizatora TOC
- Zawartość N całkowitego – metodą Kiejdahla
- Stosunek C:N
- Zawartość kationów wymiennych: Ca, Mg – metodą ASA w wyciągach 1M octanu amonu
- Zawartość kationów wymiennych K i Na – metodą fotopłomieniową w wyciągach 1M octanu amonu
- Suma kationów zasadowych (S) = $\Sigma(K, Na, Ca, Mg)$
- Pojemność sorpcyjna gleby (T) = $Hh + S$
- Stopień wysycenia gleby kationami zasadowymi (V) = $\Sigma(K, Na, Ca, Mg) / T \times 100\%$

Metodyka analiz została przyjęta za Brogowskim i Czerwińskim (1986) oraz Ostrowską i in. (1991).

Tempo oddychania gleby mierzono w dwóch kolejnych sezonach wegetacyjnych (2012 i 2013) trzykrotnie w ciągu sezonu (lipiec, sierpień i wrzesień) dokonując od 3 do 5 pomiarów na jednym poletku badawczym. Do pomiarów użyto analizatora EGM-4 firmy PP Systems (metoda IRGA).

Otrzymane wyniki zostały przeanalizowane statystycznie w programie STATISTICA 10.0. Przeprowadzono analizę wariancji dwuczynnikowej, a następnie, po odrzuceniu czynnika „orka”, który nie wpływał istotnie na żaden z badanych parametrów, wykonano analizę jednoczynnikową, w której czynnikiem grupującym był wariant doświadczenia. W ten sposób poddano dalszej analizie 6 wariantów na glebach porolnych (Kontrola, Kora-trociny-fauna, Kora-trociny, Fauna, Łubin-fauna, Łubin) oraz jeden wariant na glebie leśnej (Las).

Uzyskane średnie porównywano pomiędzy Lasem a każdą z powierzchni porolnych oraz pomiędzy Kontrolą porolną a pozostałymi wariantami doświadczenia fito- i zoomelioracyjnego (Rys. 2).

W przypadku oddychania gleby przeprowadzono analizę wariancji wieloczynnikowej, gdzie czynnikami była orka gleby, wariant doświadczenia, rok pomiarowy oraz miesiąc zbioru danych. Po odrzuceniu czynników działających nieistotnie, analizowano wpływ czynników pozostałych. Również i w tym przypadku porównywano warianty doświadczenia z powierzchnią typowo leśną, jak i z powierzchnią kontrolną na gruntach porolnych.

Porównanie gleby leśnej (Las) i kontrolnej gleby porolnej (Kontrola) wskazuje jednoznacznie, że pH w lesie jest niższe ok. 2-3 krotnie. Gleba leśna zawierała prawie dwukrotnie mniej azotu i miała szerszy stosunek C/N (20 vs. 13). Ponad dwukrotnie mniejsza była tu suma kationów wymiennych, głównie wapnia, oraz stopień wysycenia gleby kationami zasadowymi. Niższa była też pojemność sorpcyjna tych gleb (Tabela 1). Dość nieoczekiwanym efektem był brak różnic pomiędzy obiema powierzchniami pod względem zawartości próchnicy, gleba porolna miała nawet nieco wyższą zawartość związków C (różnice nieistotne statystycznie, $p > 0,05$).

Właściwości chemiczne gleb porolnych

Porównanie wszystkich wariantów doświadczenia, po odrzuceniu orki, jako czynnika działającego nieistotnie na warunki glebowe, przedstawiono na Ryc. 2. Warianty doświadczenia porównywano do powierzchni kontrolnej założonej na gruntach porolnych (małe litery) oraz do powierzchni kontrolnej na gruntach leśnych (duże litery). Oprócz sodu, wszystkie pozostałe analizowane właściwości chemiczne gleb wykazały co najmniej jedną istotną różnicę pomiędzy wariantami doświadczenia a powierzchniami kontrolnymi.

Tabela 1. Porównanie właściwości gleby typowo leśnej i porolnej poddanej zabiegom fito- i zoo-melioracyjnym

Parametr	Las	Kontrola porolna	p
pH w H ₂ O	3,63	4,10	<0,001
pH w KCl	3,55	3,90	<0,001
Hw cmol(+) kg ⁻¹	3,03	2,66	ns
H cmol(+) kg ⁻¹	0,11	0,08	ns
Hh cmol(+) kg ⁻¹	5,97	6,01	ns
Al cmol(+) kg ⁻¹	2,92	2,58	ns
Al/Mg	26,27	23,23	ns
próchnica (%)	2,44	2,82	ns
Corg (%)	1,41	1,63	ns
Nt (%)	0,07	0,13	<0,001
C/N	19,73	12,63	<0,001
Mg cmol(+) kg ⁻¹	0,16	0,21	ns
Ca cmol(+) kg ⁻¹	1,17	3,39	<0,001
K cmol(+) kg ⁻¹	0,37	0,46	<0,02
Na cmol(+) kg ⁻¹	0,11	0,12	ns
S cmol(+) kg ⁻¹	1,80	4,18	<0,001
T cmol(+) kg ⁻¹	7,77	10,19	<0,001
V (%)	23,40	40,50	<0,001

pH

W przypadku odczynu roztworów glebowych dał się zauważyć istotny rozdźwięk pomiędzy powierzchnią leśną a wariantami porolnymi. W glebie leśnej zawartość jonów wodorowych była kilkakrotnie większa niż na wszystkich powierzchniach porolnych. Istotną różnicą, choć o znacznie mniejszym zakresie był spadek zawartości jonów H⁺ (czyli wzrost pH) na powierzchni, gdzie wsiewano łąbin i gdzie wprowadzono krocionoga (Łubin + Fauna). Interesujące, że każdy z zabiegów z osobna, tj. samo łąbinowanie (Łubin) lub samo wprowadzenie fauny (Fauna) nie przyniosło takiego skutku. Pozwala to sądzić, że mieliśmy tu do czynienia z reakcją synergiczną.

Kwasowość Hw i Hh, zawartość Al

Obraz oddziaływań wykonanych zabiegów na kwasowość wymienną i hydrolityczną oraz zawartość glinu miał zbliżony charakter. Zarówno Hw jak i Hh, a także Al^{3+} osiągnęły najwyższe wartości w wariantach z korą i trocinami (Kora+Trociny oraz Kora+Trociny+Fauna). Wartości te były przeważnie istotnie wyższe niż na porolnej powierzchni kontrolnej. Najniższe wartości kwasowości i Al^{3+} zaobserwowano na powierzchniach łubinowanych. Były one istotnie niższe niż kontroli porolnej.

Próchnica i Corg

Przeprowadzone zabiegi łubinowania i introdukcji fauny (Łubin+Fauna) spowodowały istotny spadek zawartości C i związków próchnicznych. Co ciekawe, sam zabieg łubinowania wywołał reakcję odwrotną, tj. wzrost C i próchnicy w stosunku do powierzchni kontrolnej na glebie porolnej, natomiast introdukcja krocionoga nie miała wpływu na te parametry. Można oczekiwać, że tam, gdzie wprowadzono zarówno łubin, jak i krocionoga, aktywność organizmów glebowych wzrosła na tyle, że spowodowała intensywną eksploatację zasobów węgla organicznego,. Jest to jednak stwierdzenie dość ryzykowne, zważywszy że wszelkie formy nawożenia azotowego (a do takich można zaliczyć także łubinowanie gleby) powodują zwykle zwiększenie tempa wiązania C w biomase, a zatem także przyrost martwej materii organicznej. Oczywiście możliwe jest także przypuszczenie, że zwiększona zawartość azotu stymulowała szybszy obieg materii, a zatem i jej produkcję, i rozkład. Powinno to być jednak potwierdzone wyższymi wskaźnikami aktywności gleby, np. biomasy mikroorganizmów, tempa wymiany CO_2 , większej aktywności enzymatycznej, czy w końcu większej aktywności lignoceluloitycznej. Spośród nich, zjawisko takie zdaje się potwierdzać jedynie tempo rozkładu próbek drewna, które w badanym okresie osiągnęło wartość średnią rzędu 24,4% na powierzchniach z łubinem, podczas gdy tylko 18,6% na kontroli porolnej. Największe zawartości związków próchnicznych zanotowano na powierzchniach nawożonych korą i trocinami (Kora+Trociny, Kora+Trociny+Fauna). Były one istotnie wyższe niż na obu powierzchniach kontrolnych: leśnej i porolnej. Jest to skutek oczekiwany ze względu na wniesienie dużych ilości rozdrobnionej materii organicznej do gleby na początku eksperymentu. Materia ta cechuje się relatywnie powolnym tempem rozkładu i jej ślady do dziś pozostają widoczne w profilu glebowym, choć od jej wprowadzenia minęło ponad 30 lat (fot. 4).

Azot Nt

Zawartość azotu była około dwukrotnie większa we wszystkich wariantach doświadczenia w porównaniu z glebą typowo leśną. Różnice w zawartości N pomiędzy poletkami porolnymi były stosunkowo niewielkie, jednak i tu zaobserwowano istotny wpływ niektórych wariantów doświadczenia. Zgodnie z oczekiwaniem największą zawartość N w odniesieniu do kontroli porolnej zarejestrowano na powierzchni z łubinem (Łubin). Zdecydowanie mniej oczekiwany był istotny wzrost zawartości N pod wpływem nawożenia korą i trocinami wraz z introdukcją krocionoga (Kora+Trociny+Fauna).

C:N

Stosunek C:N w ekosystemach jest powszechnie uznawany za dobrą miarę tempa obiegu materii. Im jest szerszy, tym tempo obiegu (produkcji i rozkładu materii) jest niższe. Większe wartości C:N są typowe dla ubogich ekosystemów borowych, znacznie węższe zaś dla gleb użytkowanych rolniczo. Wśród badanych poletek najszerszym stosunkiem C:N charakteryzowała się powierzchnia typowo leśna. Najbliżej niej znalazła się powierzchnia nawożona korą i trocinami (Kora+Trociny), jednak i tu różnica była istotna, na korzyść powierzchni leśnej. Najwęższym stosunkiem C:N, a tym samym największym podobieństwem do gleb rolnych cechowała się powierzchnia łubinowana z dodatkiem fauny (Łubin+Fauna).

Kationy zasadowe i pojemność sorpcyjna

Oprócz sodu, który w ogóle nie zareagował na zabiegi melioracyjne, inne kationy zasadowe Ca, K i Mg wykazały bardzo zbliżoną reakcję. O ile w drzewostanie kontrolnym na powierzchni leśnej (Las) zawartość tych pierwiastków była stale istotnie najniższa, to wartości najwyższe uzyskano pod wpływem nawożenia korą i trocinami wraz z introdukcją krocionoga (Kora+Trociny+Fauna), a nieco niższe, ale także wysokie - w przypadku samego tylko dostarczenia do gleby kory i trocin (Kora+Trociny). Pozostałe warianty nie miały znaczącego wpływu na zawartości kationów zasadowych w glebie. Identyczny rezultat, tj. najniższą wartość na kontroli leśnej, a najwyższe wartości w wariantcie Kora+Trociny+Fauna otrzymano zarówno dla sumy kationów zasadowych S, dla pojemności sorpcyjnej T oraz dla stopnia wysycenia zasadami V. Uzyskane wyniki świadczą o tym, że wniesienie dużej ilości materii organicznej w postaci kory i trocin poskutkowało zwiększeniem możliwości sorpcji jonów zasadowych w glebie (większe T), ale także wniesieniem dodatkowych ilości tych pierwiastków w materii (większe S). Interesującą obserwacją jest fakt, że wprowadzenie

krocionoga wraz z materią organiczną wykazało reakcję synergicznego zwiększenia opisanego efektu.

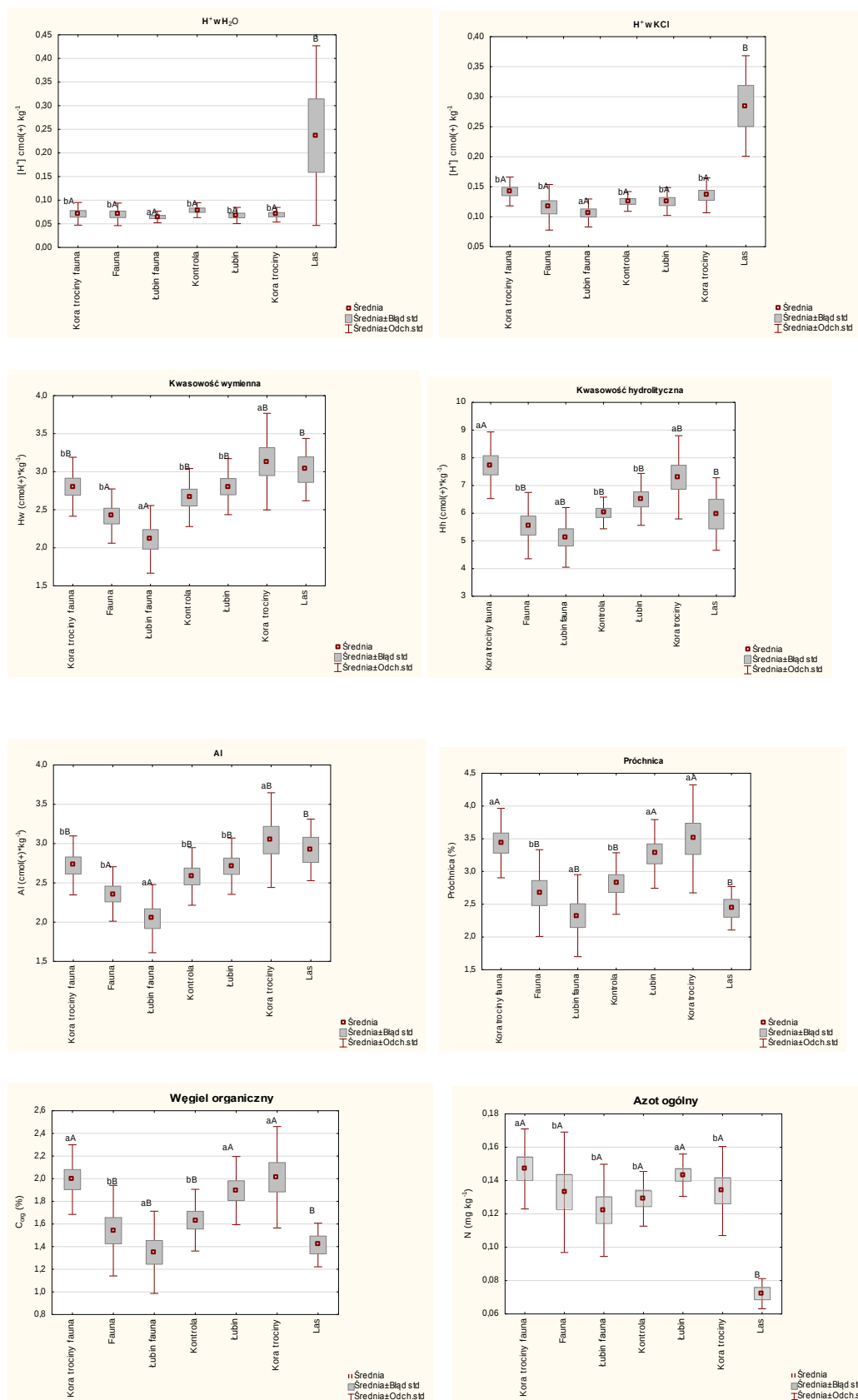
Wpływ zastosowanych zabiegów na gleby porolne

Analiza danych pozwoliła stwierdzić, że introdukcja krocionoga *Proteroiulus fuscus* (Fauna) nie spowodowała żadnych istotnych zmian we właściwościach gleby w stosunku do kontroli na glebie porolnej.

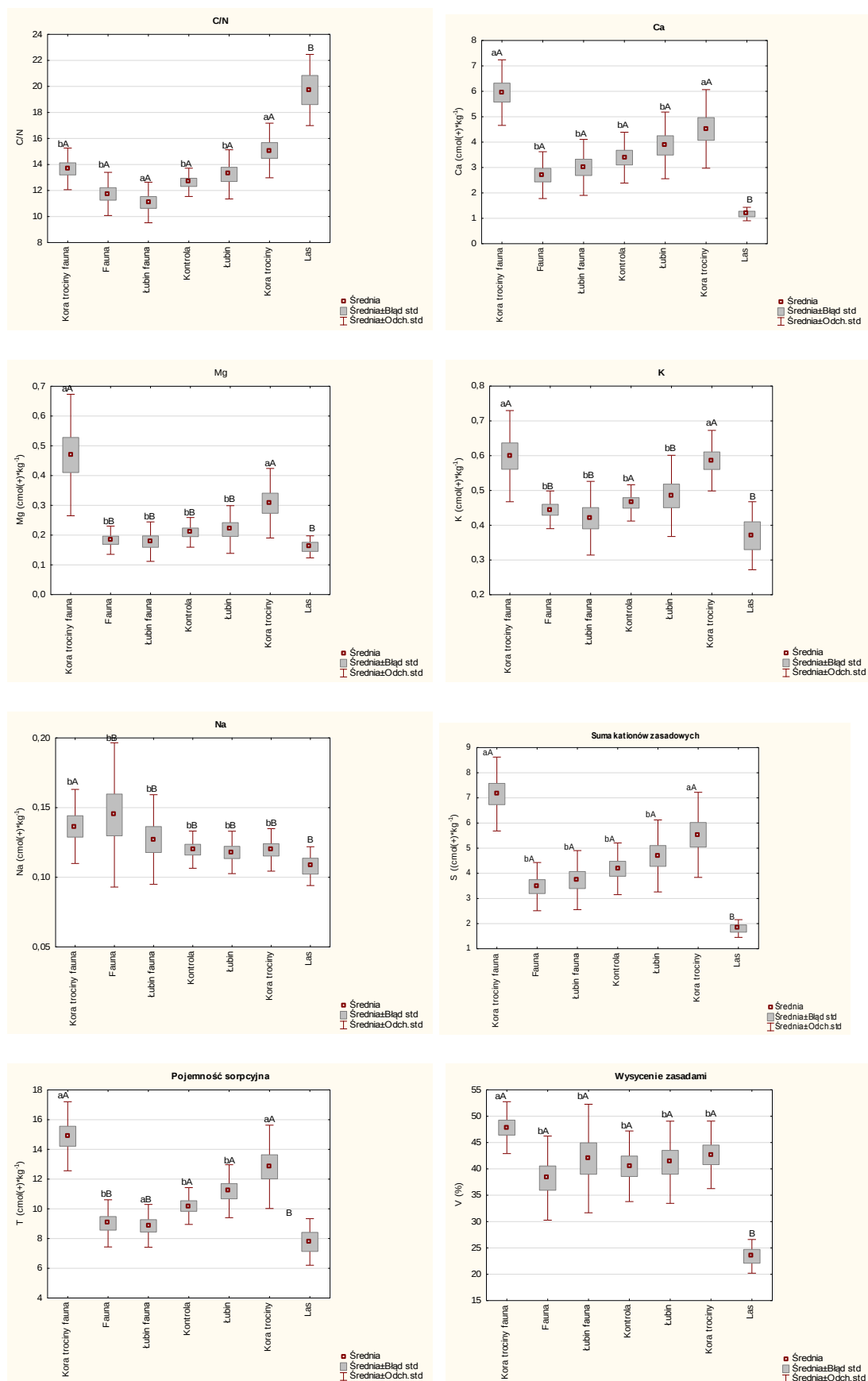
Skutkiem łubinowania był niewielki, ale istotny wzrost zawartości związków próchnicznych i azotu. Z kolei w wariancie, gdzie łubinowaniu towarzyszyła introdukcja krocionogów (Łubin+Fauna) zaobserwowano więcej istotnych zmian. Przede wszystkim, w wyniku wzrostu pH i spadku zawartości glinu, zmniejszyła się kwasowość wymienna i hydrolityczna. Połączony zabieg łubinowania i introdukcji krocionoga nie miał wpływu na kationy zasadowe, jednak pojemność sorpcyjna gleby była istotnie niższa niż w warunkach kontrolnych, a zbliżona do powierzchni leśnej. Jest to zapewne skutkiem ścisłej zależności pomiędzy pojemnością sorpcyjną a zawartością węgla organicznego i związków próchnicznych (Rys.3). Zawartość próchnicy jak i pojemność sorpcyjna były tu na bardzo niskim poziomie, identycznym jak w glebach leśnych, stąd pojemność sorpcyjna była też niska. Gleba łubinowana z introdukcją krocionoga była istotnie mniej kwaśna niż gleba kontrolna, zarówno porolna, jak i leśna.

Innego rodzaju oddziaływania wykazano dla nawożenia gleby korą i trocinami (Kora+Trociny oraz Kora+Trociny+Fauna). Zgodnie z oczekiwaniem, dostarczenie dużych ilości takiej postaci materii organicznej poskutkowało wzrostem zawartości węgla organicznego i substancji próchnicznych, a zatem także pojemności sorpcyjnej. W odniesieniu do gleby leśnej wartości tych parametrów były aż o 30% wyższe. Towarzyszył temu przede wszystkim wyraźny wzrost zawartości kationów zasadowych K, Mg i Ca, a także wysycenia kationami. Suma kationów zasadowych była tu nawet dwukrotnie większa niż na porolnej powierzchni kontrolnej i aż 2,5-4 razy większa niż na powierzchni leśnej. Ciekawe, że jednocześnie w wariancie tym nastąpił wzrost kwasowości hydrolitycznej, a ponadto kwasowości wymiennej i zawartości Al (tylko dla wariantu Kora+Trociny). Z kolei tam, gdzie dostarczono korę, trociny oraz krocionoga (Kora+Trociny+Fauna), uzyskano dość

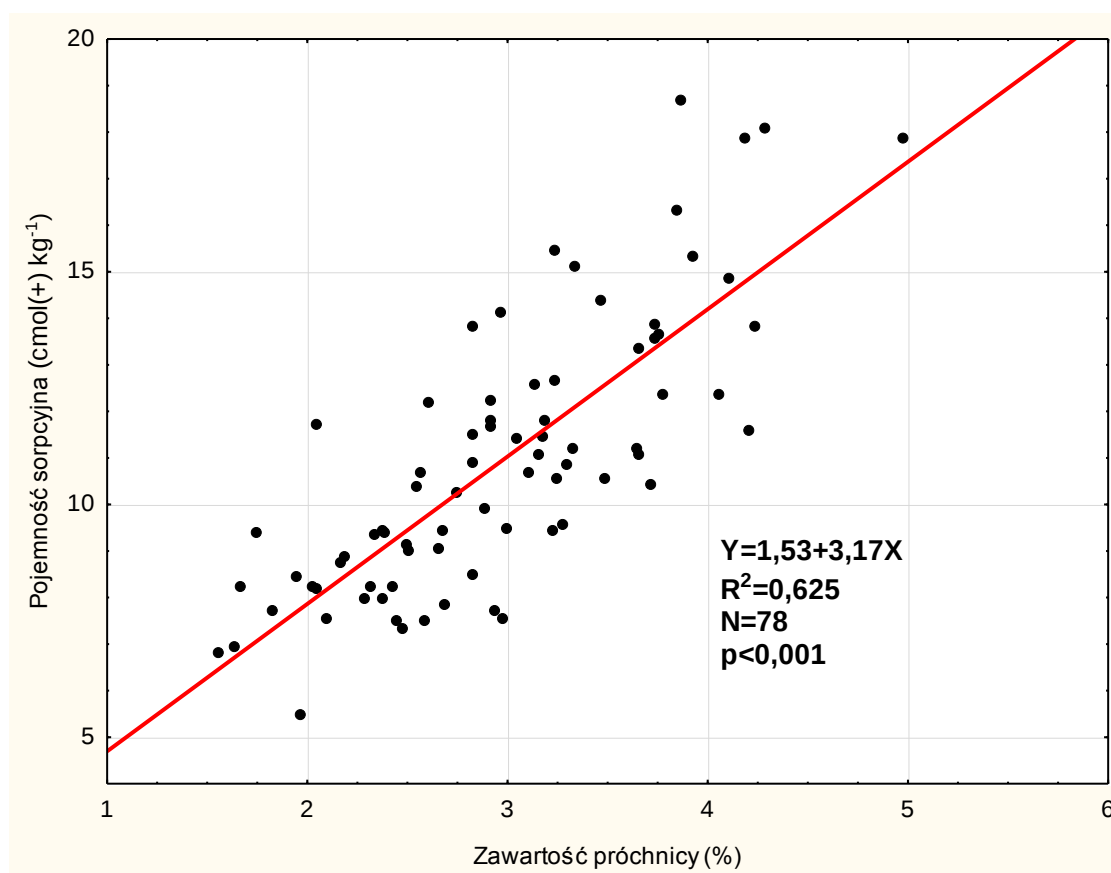
niewielki, jednak istotny wzrost zawartości azotu w glebie. Analogicznego wzrostu nie odnotowano w wariancie z samą tylko korą i trocinami (Kora+Trociny).



Rys. 2. Wpływ zabiegów zoo- i fitomelioracyjnych na właściwości gleb porolnych (c.d. na następnej stronie)



Rys. 2. c.d. Wpływ zabiegów zoo- i fitomelioracyjnych na właściwości gleb polnych



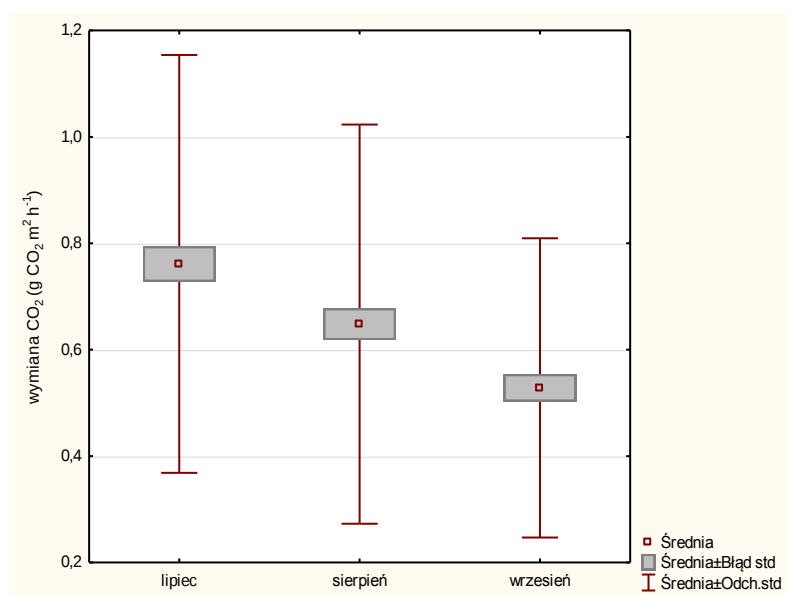
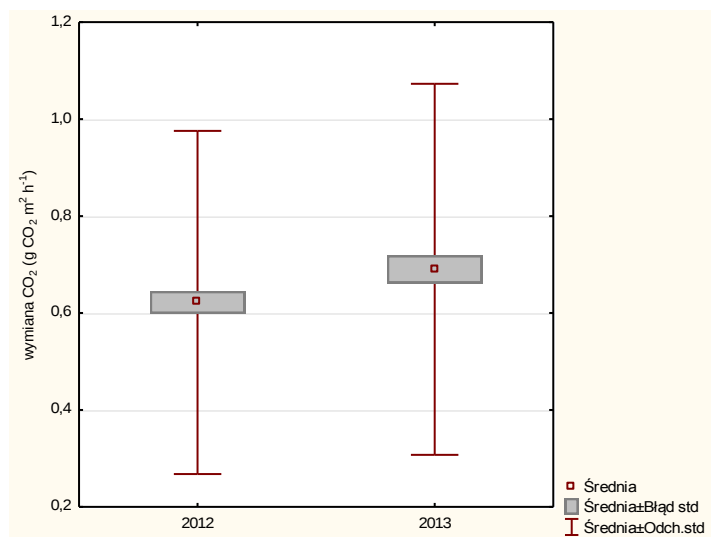
Rys. 3. Wpływ zawartości próchnicy na pojemność sorpcyjną badanych gleb

Oddychanie gleby

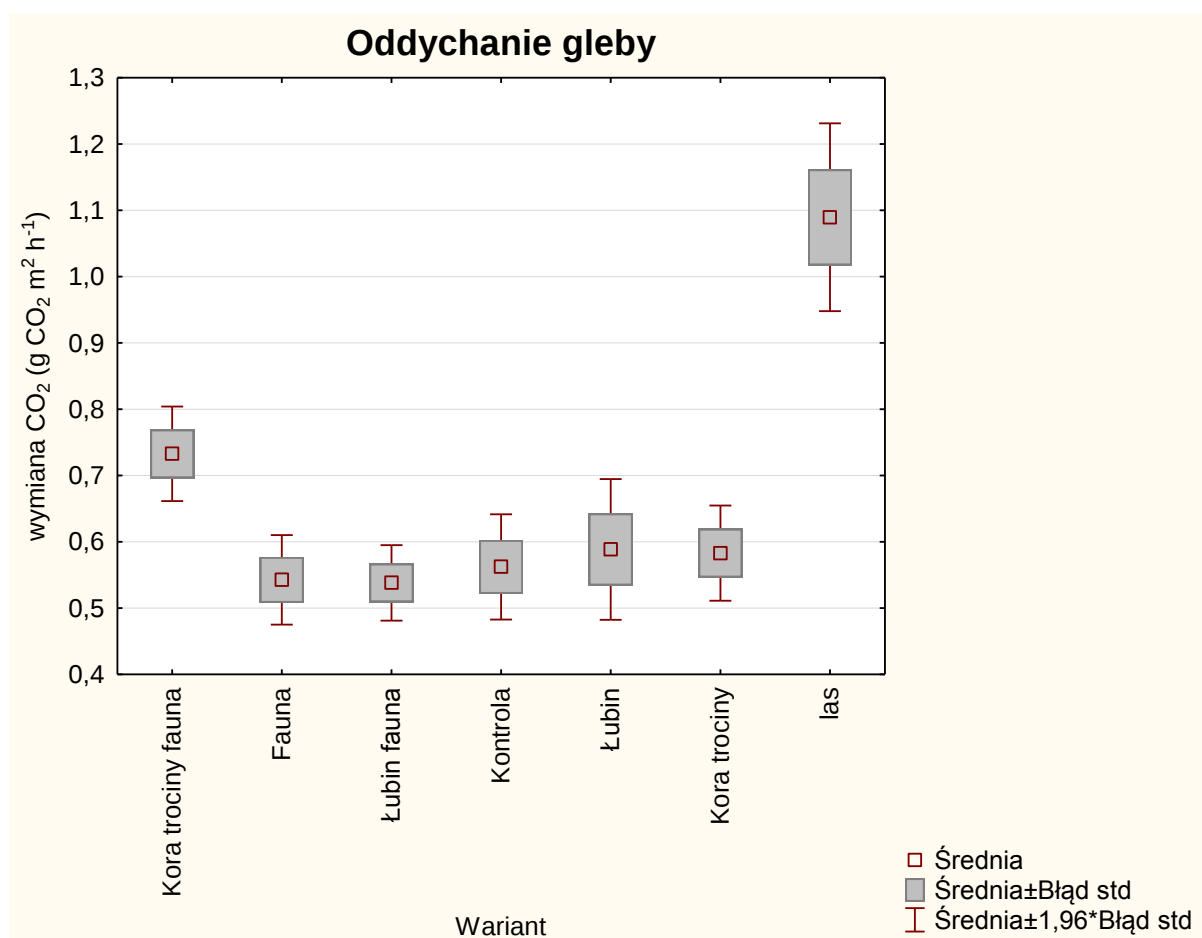
Analiza wariancji wykazała, że zastosowane rodzaje orki (orka płytka, orka głęboka) nie miały istotnego wpływu na tempo oddychania gleb, natomiast wysoce istotny wpływ odnotowano w przypadku sezonu, roku badań, a także zastosowanego wariantu rekultywacyjnego (Tab. 2).

Tabela 2. Jednowymiarowe testy istotności oddziaływania badanych czynników na tempo oddychania gleb.

Efekt	SS	Stopnie swobody	MS	F	P
Rok	0,63788	1	0,637881	6,49461	0,011182
Sezon	3,54725	2	1,773626	18,05826	0,000000
Orka	0,05320	1	0,053204	0,54170	0,462150
Wariant	2,18387	5	0,436774	4,44704	0,000588
Błąd	40,46536	412	0,098217		



Ryc. 4. Wpływ roku badań i sezonu na tempo respiracji gleby



Ryc. 5. Wpływ wariantu doświadczenia na tempo respiracji gleby

Najważniejszym wnioskiem jest oczywiście wpływ zabiegów rekultywacyjnych. Okazało się, że zewnętrzna powierzchnia kontrolna zlokalizowana w drzewostanie sosnowym na gruntach leśnych cechowała się istotnie wyższym tempem oddychania gleby aniżeli powierzchnie założone na gruntach porolnych. Średnia wartość respiracji gleby wynosiła tu $1,1 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ i była blisko dwukrotnie wyższa od wartości uzyskanych dla gleb porolnych (Ryc. 5). Z kolei różne warianty rekultywacji na gruntach porolnych cechowały się zbliżonym poziomem respiracji gleb z jednym tylko wyjątkiem. Był nim wariant zaopatrzony w korę, trociny i faunę, gdzie notowano systematycznie nieco wyższe wartości respiracji niż w pozostałych przypadkach. Różnice te okazały się istotne statystycznie (Ryc. 5). Taki obraz wskazuje na to, że ten właśnie wariant był stosunkowo najbardziej podobny do powierzchni na glebie leśnej, przynajmniej pod względem tempa oddychania gleby, czyli inaczej mówiąc aktywności organizmów glebowych.

Literatura:

- Brogowski Z., Czerwiński Z. 1986 - Materiały do ćwiczeń z gleboznawstwa, Ćwiczenia laboratoryjne cz. 2. Skrypty SGGW AR w Warszawie
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. 1991 - Metody analiz i oceny właściwości gleb i roślin. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa

3.1.2. Analizy zawartości węgla i azotu w glebie, aktywność enzymatyczna oraz biomasa mikroorganizmów

Material i metody

Próby z terenu badań pobrano trzykrotnie: 26 IV, 7 VII i 27 X 2012 r. Próby pobierano przy pomocy armatki glebowej z głębokości 10 cm. Za każdym razem pobierano po 5 próbek glebowych z każdego stanowiska tj. z 18 stanowisk na glebach porolnych zwanych powierzchnią eksperymentalną (PE) oraz z 3 stanowisk na glebach leśnych zwanych zewnętrzną powierzchnią kontrolną (ZPK). Łącznie w każdym terminie pobrano po 105 próbek glebowych.

Bezpośrednio po przywiezieniu próbek do laboratorium wykonano następujące analizy:

- koncentracja całkowitego rozpuszczonego węgla (TDC),
- koncentracja całkowitego rozpuszczonego azotu (TDN),
- aktywność dehydrogenaz (Dha),
- aktywność kwaśnej fosfatazy (APh),
- oddychanie gleby indukowane glukozą SIR (Substrate Induced Respiration) w celu określenia biomasy drobnoustrojów,
- dodatkowo określono wilgotność gleby oraz maksymalną pojemność wodną jako dane pomocnicze przy wyliczeniach wyżej wymienionych parametrów.

Zawartość całkowitego rozpuszczonego węgla (total dissolved carbon – TDC) i całkowitego rozpuszczonego azotu (total dissolved nitrogen – TDN) wykonywano w ekstraktach wodnych. Próbkę gleby ważono, zalewano 300 ml wody destylowanej, wytrząsano przez 1 h i filtrowano przez filtr nylonowy. Przed samymi analizami próby filtrowano dodatkowo przez filtr teflonowy o wielkości porów 0.45 μm . Zawartość całkowitego rozpuszczonego węgla i całkowitego rozpuszczonego azotu określono przy użyciu analizatora Formacs^{HT} TOC/TN Analyser (SKALAR Analytical, Holandia) i wyrażono w mg na kg suchej masy gleby.

Aktywność dehydrogenaz oznaczano w próbkach gleb o naturalnej wilgotności według metody Casida i in. (1964). Jako substrat zastosowano chlorek 2,3,5 trifenyloetrazoliowy (TTC), który ulega przekształceniu do trifenyloformazanu (TPF). Próbkę gleby z substratem

inkubowano w temp. 30°C przez 20 godzin. Absorbancję TPF (w ug/ml) mierzono spektrofotometrycznie wobec etanolu przy długości fali 485 nm. Dla każdej próbki gleby oznaczenie zostało wykonane w trzech powtórzeniach. Aktywność dehydrogenazy badanych próbek gleby wyrażona została w ug TPF/g suchej masy gleby.

Aktywność kwaśnej fosfatazy oznaczano według metody Tabatabai i Bremner (1969). Jako substrat zastosowano roztwór p-nitrofenylofosforanu sodu (PNP) w buforze o pH=6,5. Próby inkubowano w temp. 37°C przez 1 h. Absorbancję uwolnionego p-nitrofenolu (w ug/ml) mierzono spektrofotometrycznie przy długości fali 400 nm. Aktywność kwaśnej fosfatazy badanych próbek gleby wyrażona została w ug p-nitrofenolu/g suchej masy gleby/h.

Biomasę drobnoustrojów (micC) oznaczono metodą pomiaru respiracji indukowanej substratem (Substrate Induced Respiration) (Anderson, Domsch 1978). Jako substratu użyto glukozę (30 mg/g gleby) w ilości wywołującej maksymalną respirację mikroorganizmów. Próby inkubowano w temp. 22°C. Ilość uwalnianego CO₂ mierzono aparatem IRGA (Infra-Red Gas Analyzer) co godzinę przez okres 5 h. Biomasa drobnoustrojów wyrażono ilością mg węgla (C) pochodzenia mikroorganizmalnego na g suchej masy gleby.

Analiza statystyczna wyników

Wyliczono średnie arytmetyczne oraz ich odchylenia standardowe. Testowano wpływ zastosowanej orki (orka płytka, orka głęboka), zastosowanego zabiegu (kontrola, fauna, kora i trociny, kora, trociny i fauna, łubin, łubin i fauna) oraz sezonu badań (wiosna, lato, jesień).

Dla każdego analizowanego czynnika wykonano analizę wariancji (ANOVA), gdzie zmiennymi niezależnymi były rodzaj orki, zastosowany zabieg oraz sezon. Istotność różnic dla poszczególnych zmiennych analizowano testem Tukeya przy $p < 0,05$.

Różnice w badanych parametrach pomiędzy powierzchnią eksperymentalną a zewnętrzną powierzchnią kontrolną w poszczególnych sezonach testowano stosując nieparametryczny test Manna-Whitneya (U_{test}). Obliczono również współczynnik korelacji dla następujących parametrów: aktywność dehydrogenaz, kwaśnej fosfatazy, biomasy mikroorganizmów zawartości całkowitego rozpuszczonego węgla i azotu.

Wyniki

Po upływie ponad 30-tu lat od zalesienia rodzaj zastosowanej orki (płytko lub głęboko) gruntów porolnych (powierzchni eksperymentalnej) przed zalesieniem nie miał wpływu na badane parametry chemiczne gleby. Na zewnętrznej powierzchni kontrolnej parametry takie

jak aktywność kwaśnej fosfatazy oraz biomasa mikroorganizmów były na podobnym poziomie jak na powierzchni eksperymentalnej. Stwierdzono natomiast, że koncentracja całkowitego rozpuszczonego węgla i całkowitego rozpuszczonego azotu była ponad dwukrotnie wyższa w glebie zewnętrznej powierzchni kontrolnej w porównaniu z glebą powierzchni eksperymentalnej. Z kolei aktywność dehydrogenaz była najmniejsza w glebie zewnętrznej powierzchni kontrolnej (Tab. 1).

Tabela 1. Parametry chemiczne gleb w zależności od zastosowanej orki przed zalesieniem na powierzchni eksperymentalnej (PE) oraz porównanie z zewnętrzną powierzchnią kontrolną (ZPK) (w tabeli podano wartości średnie $\pm$ odchylenie standardowe; wartości w kolumnie z wariantów PE oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p < 0,05$)

Warianty PE	TDC	TDN	Dha	Aph	micC
orka płytka	71,40 $\pm$ 32,97 a	2,73 $\pm$ 1,98 a	10,85 $\pm$ 5,90 a	2932,0 $\pm$ 1060,3 a	0,63 $\pm$ 0,09 a
orka głęboka	67,92 $\pm$ 34,80 a	2,70 $\pm$ 0,22 a	7,52 $\pm$ 4,05 a	2337,1 $\pm$ 1348,2 a	0,62 $\pm$ 0,09 a
ZPK	175,02 $\pm$ 125,49	5,46 $\pm$ 7,08	5,47 $\pm$ 2,56	2670,8 $\pm$ 1257,4	0,63 $\pm$ 0,083

Z pięciu wariantów nawożenia najlepszy efekt osiągnięto po zastosowaniu wariantu kora-trociny-fauna. Dla tego wariantu nawożenia stwierdzono istotnie wyższą koncentrację całkowitego rozpuszczonego węgla i całkowitego rozpuszczonego azotu oraz podwyższoną aktywność kwaśnej fosfatazy w porównaniu z wariantem kontrolnym, gdzie nie wzbogacono gleby przed zalesieniem dodatkową ilością materii organicznej, ani nie wprowadzono dodatkowej fauny w postaci krocionoga. Zastosowane warianty nawożenia nie miały natomiast wpływu na aktywność dehydrogenaz i biomasę mikroorganizmów (Tab. 2). Mimo zastosowanego nawożenia na powierzchni eksperymentalnej, w glebie zewnętrznej powierzchni kontrolnej koncentracja całkowitego rozpuszczonego węgla była półtora razy większa niż w najkorzystniejszym wariantcie kora-trociny-fauna i aż trzy i pół razy większa niż w wariantcie łubin oraz łubin-fauna. W wariantcie nawożenia kora-trociny-fauna koncentracja całkowitego rozpuszczonego azotu była na takim samym poziomie jak w glebie zewnętrznej powierzchni kontrolnej, natomiast w pozostałych wariantach nawożenia całkowitego rozpuszczonego azotu było od dwóch do sześciu razy mniej niż w glebie zewnętrznej powierzchni kontrolnej. Aktywność kwaśnej fosfatazy w glebie zewnętrznej powierzchni kontrolnej była tylko nieznacznie niższa niż w glebie z wariantu kora-trociny-fauna i na podobnym poziomie jak w pozostałych wariantach nawożenia (Tab. 2).

Tabela 2. Parametry chemiczne gleb w zależności od zastosowanego nawożenia przed zalesieniem na powierzchni eksperymentalnej (PE) oraz porównanie z zewnętrzną powierzchnią kontrolną (ZPK) (w tabeli podano wartości średnie $\pm$ odchylenie standardowe; wartości w kolumnie z wariantów PE oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p < 0,05$)

Warianty PE	TDC	TDN	Dha	APh	micC
Kontrola	64,47 $\pm$ 27,69 a	1,44 $\pm$ 1,92 a	6,13 $\pm$ 3,30 a	1800,8 $\pm$ 587,3 a	0,59 $\pm$ 0,05 a
Fauna	61,47 $\pm$ 30,30 a	2,67 $\pm$ 2,04 a	7,52 $\pm$ 5,46 a	1906,4 $\pm$ 529,5 a	0,62 $\pm$ 0,09 a
Kora-trociny	77,67 $\pm$ 19,98 a	2,82 $\pm$ 1,71 a	12,10 $\pm$ 7,18 a	3007,5 $\pm$ 1606,3 a	0,72 $\pm$ 0,15 a
Kora- trociny-fauna	116,37 $\pm$ 32,37 b	5,52 $\pm$ 1,92 b	12,72 $\pm$ 4,93 a	3891,4 $\pm$ 1294,2 b	0,62 $\pm$ 0,08 a
Łubin	52,83 $\pm$ 20,76 a	2,82 $\pm$ 0,39 a	9,52 $\pm$ 4,23 a	2964,8 $\pm$ 1082,5 a	0,61 $\pm$ 0,06 a
Łubin-fauna	45,15 $\pm$ 20,16 a	1,08 $\pm$ 1,11 a	7,14 $\pm$ 3,83 a	2236,6 $\pm$ 856,2 a	0,59 $\pm$ 0,04 a
ZPK	175,02 $\pm$ 125,49	5,46 $\pm$ 7,08	5,474 $\pm$ 2,558	2670,7 $\pm$ 1257,4	0,629 $\pm$ 0,083

Na powierzchni eksperymentalnej sezon, w którym pobierano próby miał istotny wpływ tylko na koncentrację całkowitego rozpuszczonego węgla w glebie oraz biomasę mikroorganizmów mierzoną zawartością węgla pochodzenia mikroorganizmalnego (micC). Istotnie więcej całkowitego rozpuszczonego węgla stwierdzono wiosną niż latem i jesienią. Latem i jesienią koncentracja całkowitego rozpuszczonego węgla była na podobnym poziomie (Tab. 3). Najwyższą biomasę mikroorganizmów stwierdzono latem a najniższą jesienią. Jesienią biomasa mikroorganizmów była istotnie niższa od tej stwierdzonej wiosną i latem (Tab. 3).

Tabela 3. Parametry chemiczne gleb w zależności od sezonu pobierania prób na powierzchni eksperymentalnej (PE) (w tabeli podano wartości średnie $\pm$ odchylenie standardowe; wartości w kolumnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie przy $p < 0,05$)

Sezon	TDC	TDN	Dha	APh	micC
wiosna	94,92 $\pm$ 28,56 a	2,34 $\pm$ 2,49 a	9,86 $\pm$ 4,36 a	2476,2 $\pm$ 1147,1 a	0,64 $\pm$ 0,03 a
lato	55,65 $\pm$ 23,28 b	3,69 $\pm$ 1,38 a	11,36 $\pm$ 6,1 2 a	2506,6 $\pm$ 1460,5 a	0,69 $\pm$ 0,01 a
jesień	58,44 $\pm$ 34,02 b	2,13 $\pm$ 2,04 a	6,33 $\pm$ 4,15 a	2920,9 $\pm$ 1232,8 a	0,55 $\pm$ 0,03 b

Koncentracja całkowitego rozpuszczonego węgla w próbkach gleby z zewnętrznej powierzchni kontrolnej w porównaniu z próbkami gleby z powierzchni eksperymentalnej wiosną, latem i jesienią była zawsze wyższa, jednak w odróżnieniu od próbek z powierzchni eksperymentalnej najwyższą koncentrację węgla stwierdzono latem a nie wiosną i była ona

istotnie wyższa ($p=0,03$) od tej stwierdzonej w glebie z powierzchni eksperymentalnej (Fig. 1).

Najwyższą koncentrację całkowitego rozpuszczonego azotu w próbkach gleby z zewnętrznej powierzchni kontrolnej, podobnie jak i w próbkach z powierzchni eksperymentalnej stwierdzono latem i była ona istotnie wyższa ($p=0,03$) od tej stwierdzonej w glebie powierzchni eksperymentalnej (Fig. 2).

Aktywność dehydrogenaz w próbkach gleby z zewnętrznej powierzchni kontrolnej w trzech badanych sezonach była niższa w porównaniu z powierzchnią eksperymentalną, z tymże były to różnice nieistotne statystycznie (Fig. 3). Nie stwierdzono również istotnych różnic w aktywności kwaśnej fosfatazy oraz w biomacie mikroorganizmów w próbkach gleby pomiędzy powierzchnią eksperymentalną i zewnętrzną powierzchnią kontrolną w żadnym z badanych sezonów (Fig. 4 i 5).

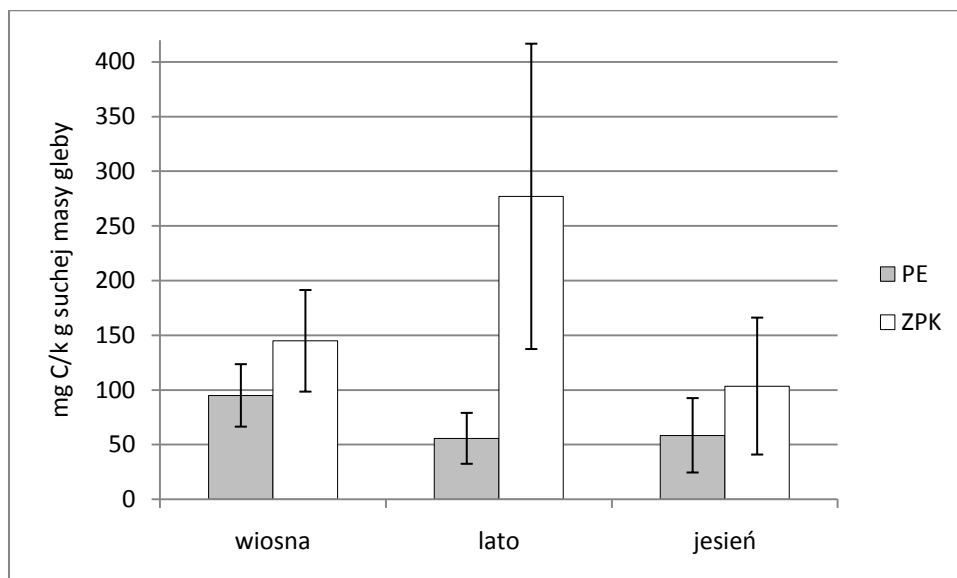


Fig. 1 Porównanie koncentracji całkowitego węgla w próbkach gleby z powierzchni eksperymentalnej (PE) i zewnętrznej powierzchni kontrolnej (ZPK) w trzech sezonach badawczych.

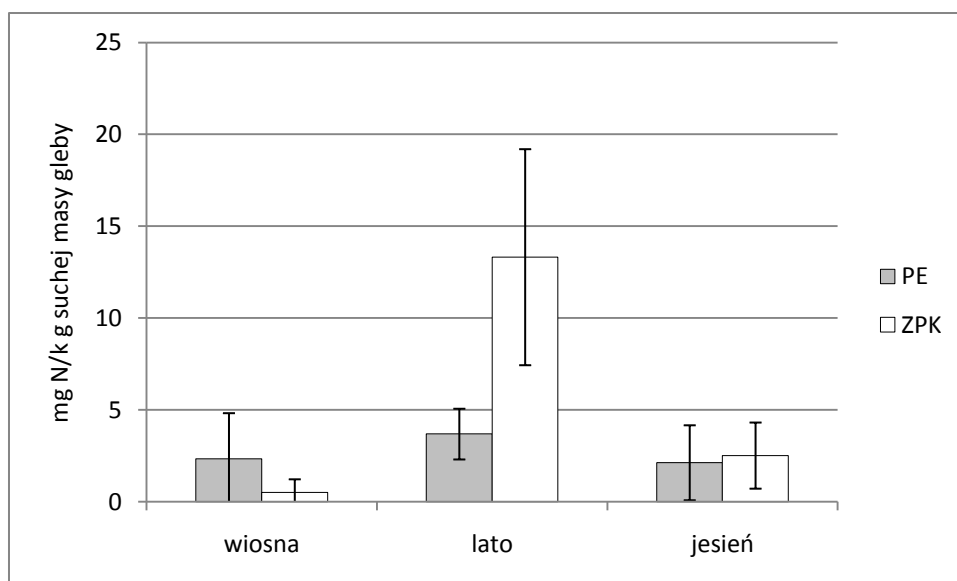


Fig. 2 Porównanie koncentracji całkowitego rozpuszczonego azotu w próbkach gleby z powierzchni eksperymentalnej (PE) i zewnętrznej powierzchni kontrolnej (ZPK) w trzech sezonach badawczych.

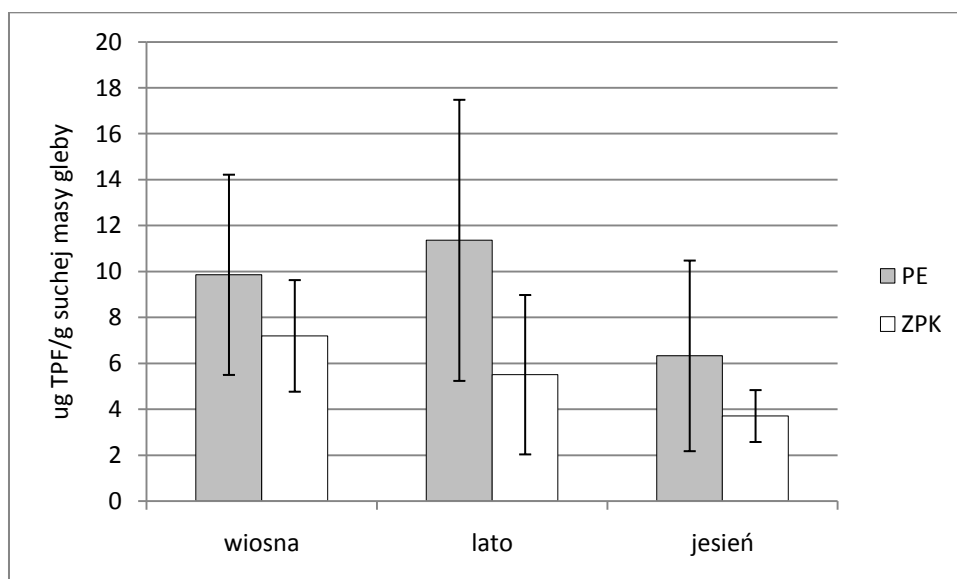


Fig. 3 Porównanie aktywności dehydrogenaz w próbkach gleby z powierzchni eksperymentalnej (PE) i zewnętrznej powierzchni kontrolnej (ZPK) w trzech sezonach badawczych.

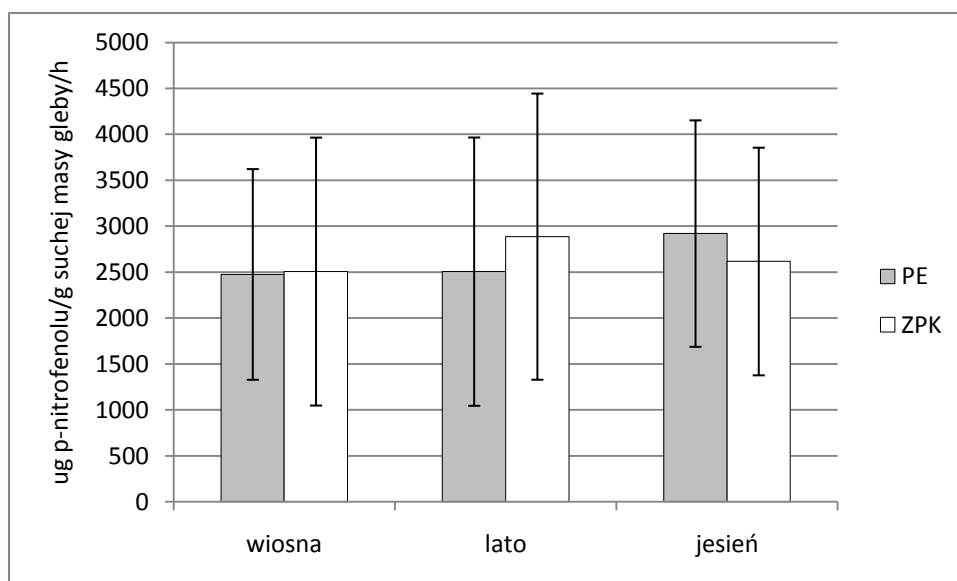


Fig. 4 Porównanie aktywności kwaśnej fosfatazy w próbkach gleby z powierzchni eksperymentalnej (PE) i zewnętrznej powierzchni kontrolnej (ZPK) w trzech sezonach badawczych.

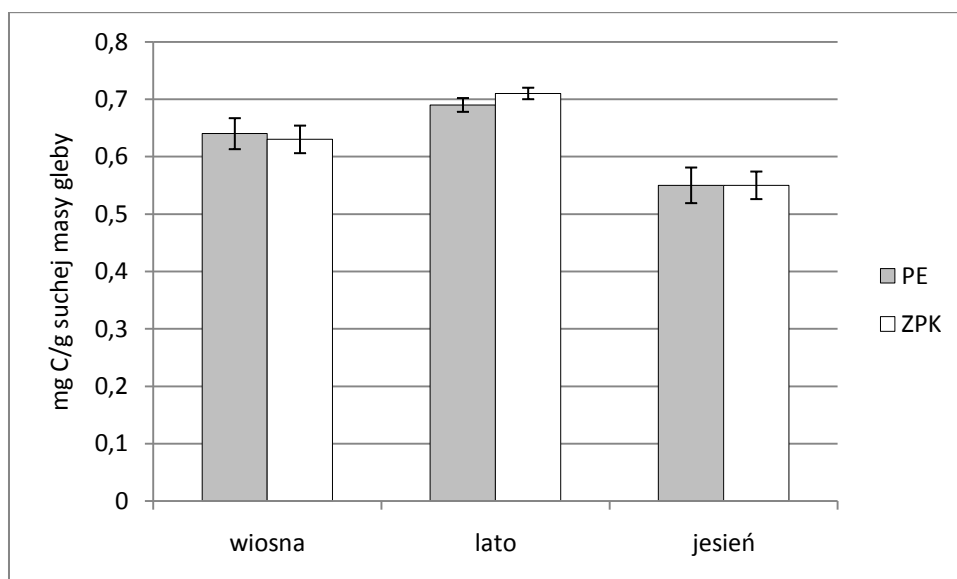


Fig. 5 Porównanie biomasy mikroorganizmów w próbkach gleby z powierzchni eksperymentalnej (PE) i zewnętrznej powierzchni kontrolnej (ZPK) w trzech sezonach badawczych.

W glebie powierzchni eksperymentalnej nie stwierdzono istotnej korelacji pomiędzy aktywnością dehydrogenaz, kwaśnej fosfatazy i biomasy mikroorganizmów a koncentracją całkowitego rozpuszczonego węgla i azotu oraz pomiędzy biomasą mikroorganizmów a aktywnością dehydrogenaz i kwaśnej fosfataz (Tab. 4), natomiast w glebie zewnętrznej powierzchni kontrolnej wykazano istotną dodatnią korelację pomiędzy aktywnością kwaśnej

fosfatazy a koncentracją całkowitego rozpuszczonego węgla oraz biomasą mikroorganizmów a koncentracją całkowitego rozpuszczonego węgla i azotu (Tab. 4, Fig. 6 i 7).

Tabela 4. Korelacja pomiędzy aktywnością enzymatyczną i biomasą mikroorganizmów a koncentracją całkowitego rozpuszczonego węgla i azotu w glebie powierzchni eksperymentalnej i zewnętrznej powierzchni kontrolnej

powierzchnia	parametry	TDC	TDN	micC
PE	Dha	0,264 ^{n.i.}	0,313 ^{n.i.}	0,335 ^{n.i.}
	APh	0,250 ^{n.i.}	0,261 ^{n.i.}	0,037 ^{n.i.}
	micC	0,172 ^{n.i.}	0,251 ^{n.i.}	-----
ZPK	Dha	0,196 ^{n.i.}	0,033 ^{n.i.}	0,251 ^{n.i.}
	APh	0,746*	0,529 ^{n.i.}	0,309 ^{n.i.}
	micC	0,825***	0,791**	-----

n.i. - współczynnik korelacji nieistotny statystycznie dla poziomu istotności 0,05

* - współczynnik korelacji istotny statystycznie przy poziomie istotności 0,05

** - współczynnik korelacji istotny statystycznie przy poziomie istotności 0,025

*** - współczynnik korelacji istotny statystycznie przy poziomie istotności 0,01

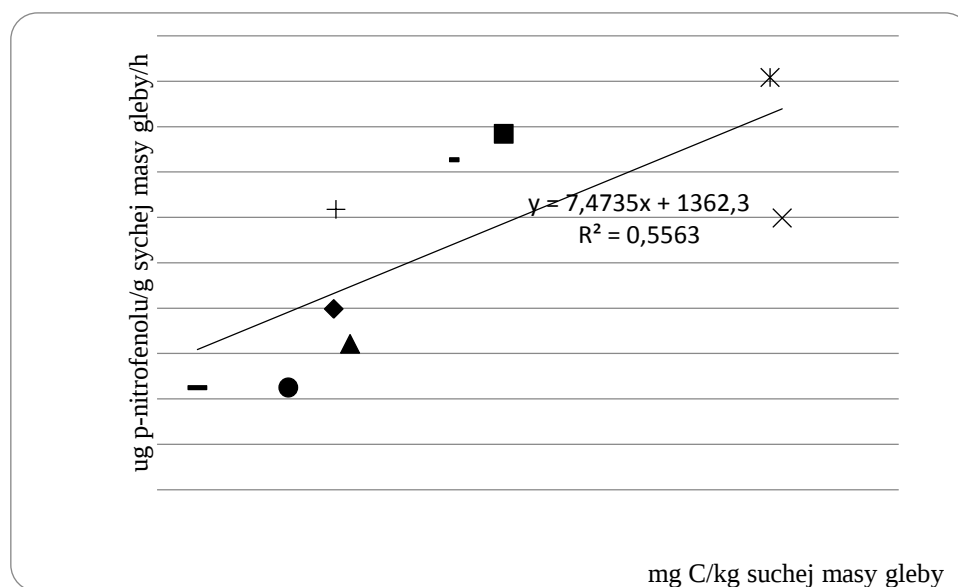


Fig. 6 Korelacja pomiędzy koncentracją rozpuszczonego całkowitego węgla a aktywnością kwaśnej fosfatazy w glebie zewnętrznej powierzchni kontrolnej.

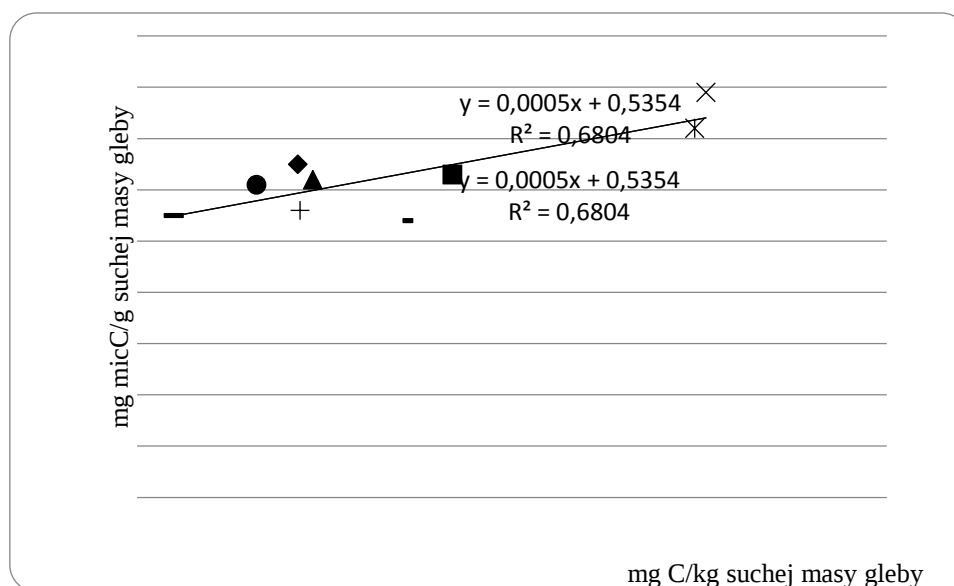


Fig. 7 Korelacja pomiędzy koncentracją rozpuszczonego całkowitego węgla a biomasa mikroorganizmów w glebie zewnętrznej powierzchni kontrolnej.

Aktywność biologiczna gleby to zespół fizyko-chemicznych, biochemicznych i biologicznych jej właściwości, które zapewniają utrzymanie kluczowych ekologicznie funkcji jak rozkład i mineralizacja materii organicznej, obieg biogeochemiczny pierwiastków, tworzenie humusu i substancji niezbędnych dla roślin. Jako wskaźniki bezpośredniej aktywności, a tym samym żyzności gleby stosuje się najczęściej pomiar aktywności enzymatycznej, biomasy i aktywności drobnoustrojów, zawartość węgla i azotu (Nannipieri i in. 1990, Kieliszewska-Rokicka 2001, Olszowska i in. 2005). W ekosystemach leśnych gleba jest tym elementem siedliska, który decyduje o jego produktywności, wpływa na tempo wzrostu i rozwoju drzew, a także na budowę i właściwości drewna (Jelonek i in. 2010, Tomczak i Jelonek 2013).

Gleba rolna różni się zasadniczo od gleby leśnej (Richards 1974, Tuszyński 1990). Zmiana użytkowania gleby z rolniczego na typowo leśne wpływa na jej właściwości fizyko-chemiczne i biologiczne (Gorzalak 1996; Kahle i in. 2005; Olszewska i Smal 2008, Smal i Olszewska 2008), jednakże w opinii niektórych, nawet po upływie ponad 30 lat od zalesienia gleba pod zalesieniem jest nadal pod pewnymi względami bardziej podobna do gleby ornej niż leśnej, a drzewostany na takich gruntach narażone są na działanie niekorzystnych czynników chorobotwórczych i szkodników (Rykowski 1990, Smal i Olszewska 2008, Sierota 2013). Zwoliński (1998) uważa, że właściwości fizyko-chemiczne gleby zmieniają się dopiero po 30 latach w glebach użytkowanych w sposób typowo leśny. Następuje wówczas przechodzenie organicznych związków węgla do warstwy mineralnej gleby i tworzenie się poziomu próchnicznego, natomiast mniejsza zawartość węgla i azotu organicznego w

zalesionych glebach porolnych wynika z dużego ich pobierania z gleby podczas intensywnego wzrostu drzew w pierwszych latach po zalesieniu.

W przedstawionych badaniach stwierdzono ponad 2,5-krotnie wyższą zawartość całkowitego rozpuszczonego węgla i ponad 3,5-krotnie wyższą zawartość całkowitego rozpuszczonego azotu w glebie zewnętrznej powierzchni kontrolnej (glebie leśnej) w porównaniu z zalesioną glebą orną (w wariancie kontrolnym) (Tab. 2). Podobne wyniki otrzymali w swoich badaniach Bielińska i Hury (2009), gdzie naturalne gleby leśne, pod około 150 letnimi drzewostanami sosnowymi, zawierały około 2-krotnie więcej węgla organicznego i około 1,5-krotnie więcej całkowitego azotu niż gleby porolne po 15-17 latach od zalesienia sosną. Smal i in. (2004) stwierdzili natomiast, że zalesienie gleb porolnych wpłynęło na wzrost stężenia węgla organicznego, zwłaszcza w poziomie próchnicznym, w porównaniu z sąsiadującymi glebami pola uprawnego i jego zawartość generalnie rosła wraz z wiekiem drzewostanów (38-, 54- i 70-letnim). Potwierdzają to również badania przeprowadzone przez Vesterdal i in. (2002) oraz Smal i Olszewską (2008). Ponadto w drzewostanach na glebach porolnych rozkład i mineralizacja nagromadzonej ściółki leśnej jest zbyt powolna w wyniku m.in. nadmiernego zakwaszenia gleby, czy też z powodu niewłaściwie ukształtowanej jeszcze mikroflory i mikrofauny glebowej, co zaburza krążenie materii w ekosystemie i zakłóca procesy akumulacji podstawowych biogenów w warstwie próchnicznej (Michalski i in. 2006). Liczne badania wskazują na istnienie ścisłej zależności między aktywnością enzymów glebowych a zawartością węgla organicznego i ogólnego azotu (Andersson i in. 2004, Domżał i Bielińska 2007, Bielińska i Hury 2009). Jednocześnie zawartość węgla organicznego decyduje również o rozwoju i aktywności mikroflory glebowej będącej głównym źródłem wielu enzymów glebowych (Kieliszewska-Rokicka 2001). W przedstawionych badaniach w glebie zewnętrznej powierzchni kontrolnej pomimo zwiększonej zawartości całkowitego rozpuszczonego węgla i azotu biomasa mikroorganizmów była na porównywalnym poziomie jak w zalesionej glebie porolnej (w wariancie kontrolnym). Nie odnotowano również zwiększonej aktywności dehydrogenaz, natomiast aktywność kwaśnej fosfatazy była około 1,5 razy większa w porównaniu do zalesionej gleby porolnej. W przeprowadzonych przez nas badaniach w glebie powierzchni eksperymentalnej nie stwierdzono istotnej korelacji pomiędzy aktywnością dehydrogenaz, kwaśnej fosfatazy i biomasy mikroorganizmów a koncentracją całkowitego rozpuszczonego węgla i azotu oraz pomiędzy biomasą mikroorganizmów a aktywnością dehydrogenaz i kwaśnej fosfatazy. Natomiast w glebie leśnej zewnętrznej powierzchni kontrolnej wykazano istotną dodatnią korelację pomiędzy

aktywnością kwaśnej fosfatazy a koncentracją całkowitego rozpuszczonego węgla oraz biomasą mikroorganizmów a koncentracją całkowitego rozpuszczonego węgla i azotu.

W przedstawionych badaniach istotne zwiększenie zawartości węgla i azotu na powierzchni eksperymentalnej osiągnięto po zastosowaniu wariantu nawożenia kora-trociny-fauna. Dla tego wariantu nawożenia stwierdzono również podwyższoną aktywność kwaśnej fosfatazy w porównaniu z wariantem kontrolnym, gdzie nie wzbogacono gleby przed zalesieniem dodatkową ilością materii organicznej, ani nie wprowadzono dodatkowej fauny glebowej. **Otrzymane przez nas wyniki potwierdzają wcześniejsze badania, które wskazywały na to, że kora oraz trociny, a także introdukcja fauny glebowej poprawiają właściwości gleby, zwiększają zawartość węgla i azotu w glebie, zwiększają aktywność mikroorganizmów (Kwaśna i Sierota 1999, Kwaśna i in. 2000).** Ponadto, jak wskazują badania innych autorów zmiana użytkowania gleby z rolniczej na leśną oraz wzbogacenie gleby poprzez wprowadzenie trocin prowadzi do przebudowy składu i struktury mikroorganizmów w kierunku rozwoju i dominacji grzybów nad bakteriami oraz zmian liczebności i różnorodności fauny glebowej, głównie akarofauny (Kwaśna i in. 2000, Hedlund 2002, van der Wall i in. 2006, Klimek i Rolbiecki 2011).

Piśmiennictwo

- Anderson J.P.E., Domsch K.H. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 10: 215-221.
- Andersson M., Kjoller A, Struwe S. 2004. Microbial enzyme activities in leaf litter, humus and mineral soil layers in European forests. *Soil Biology and Biochemistry* 36: 1527-1537.
- Bielińska E., J., Hury G. 2009. Zastosowanie testów enzymatycznych do oceny jakości gleb porolnych zalesionych sosną zwyczajną/The Use of Enzymatic Tests in the Assessment of Post-Agricultural Soils Afforested with Common Pine. W: *Tereny zdegradowane i rekultywowane – możliwości ich zagospodarowania* (S. Stankowski i K. Pacewicz red.), P.P.H. Zapol Dmochowski, Sobczyk Sp. j., Szczecin: 7-15.
- Casida L.E., Klein D.A., Santoro T. 1964. Soil dehydrogenase activity. *Soil Science* 98: 371-376.

- Domżał H., Bielińska E.J. 2007. Ocena przeobrażeń środowiska glebowego i stabilności ekosystemów leśnych w obszarze oddziaływania Zakładów Azotowych „Puławy” S.A. *Acta Agrophysica* 145(2): 79–90.
- Gorzela A. 1996. Ekologiczne uwarunkowania kształtowania lasów na gruntach porolnych. *Sylvan* 140(5): 29–41.
- Hedlund K. 2002. Soil microbial community structure in relation to vegetation management on former agricultural land. *Soil Biology and Biochemistry* 34:1299–1307.
- Jelonek T., Pazdrowski W., Arasimowicz-Jelonek M. Tomczak A. 2010. Właściwości drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) pochodzącej z gruntów porolnych. *Sylvan*, 154(5): 299–311.
- Kahle P., Baum C., Boelcke B. 2005. Effect of afforestation on soil properties and mycorrhizal formation. *Pedosphere* 15(6): 754–760.
- Kieliszewska-Rokicka B. 2001. Enzymy glebowe i ich znaczenie w badaniach aktywności mikrobiologicznej gleby. W: *Drobnoustroje środowiska glebowego, aspekty fizjologiczne, biochemiczne, genetyczne.* (H. Dahm i A. Pokojka-Burdziej red.), Marszałek, Toruń: 37-47.
- Klimek A., Rolbiecki S. 2011. Wzrost sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) i występowanie roztoczy (Acari) glebowych na rekultywowanym terenie popoligonowym w nadleśnictwie Żołędowo. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Leśnych* 1: 249-262.
- Kwaśna H., Sierota Z. 1999. Structure of fungal communities in barren post agricultural soil 1-and 2-years after pine sawdust application. *Phytopathologica Polonica* 17:13-21.
- Kwaśna H., Sierota Z., Bateman G.L. 2000. Fungal communities in fallow soil before and after amending with pine sawdust. *Applied Soil Ecology* 14:177-182.
- Michalski A., Sałek P., Płatek K. 2006. Zależność grubości ściółki od wieku drzewostanów sosnowych rosnących na glebach porolnych i leśnych. *Sylvan* 8: 20-25.
- Nannipieri P., Grego S., Ceccanti B. 1990. Ecological significance of the biological activity in soil. In: *Soil Biochemistry*, 6 (J.M. Bollag and G. Stotzky eds). Dekker, New York: 293-355.
- Olszewska M., Smal H. 2008. The effect of afforestation with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of sandy post-arable soils on their selected properties. I. Physical and sorptive properties. *Plant Soil* 305: 157–169.
- Olszowska G., Zwoliński J., Matuszczyk I., Syrek D., Zwolińska B., Pawlak U., Kwapis Z., Dudzińska M. 2005. Wykorzystanie badań aktywności biologicznej do wyznaczenia

- wskaźnika żyzności gleb w drzewostanach sosnowych na siedliskach boru świeżego i boru mieszanego świeżego. *Leśne Prace Badawcze* 3: 17-37.
- Richards B.N. 1974. *Introduction to the soil ecosystem*, Longman Group Ltd., London, UK.
- Rykowski K. 1990. Problemy ochrony lasu na gruntach porolnych/Problems of forest protection on afforested agricultural grounds. *Sylvan* 134(03/12):75-88.
- Sierota Z. 2013. Heterobasidion root rot in forests on former agricultural lands in Poland: Scale of threat and prevention. *Scientific Research and Essays* 8(47): 2298-2305.
- Smal H., Ligęza S., Olszewska M. 2004. Wpływ zalesienia piaszczystych gleb porolnych na jakość materii organicznej i skład chemiczny roztworu glebowego. *Roczniki Gleboznawcze* 55(4): 139-148.
- Smal H., Olszewska M. 2008. The effect of afforestation with Scots pine (*Pinus silvestris* L.) of sandy post-arable soils on their selected properties. II. Reaction, carbon, nitrogen and phosphorus. *Plant Soil* 305: 171–187.
- Tabatabai M. A., Bremner J.M. 1969. Use of p-nitrophenol phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry* 1: 301–307.
- Tomczak A., Jelonek T. 2013. Promieniowa zmienność właściwości drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej na gruntach porolnych. *Leśne Prace Badawcze (Forest Research Papers)* 74 (2): 171–177.
- Tuszyński M. 1990. Właściwości gleb porolnych a gospodarka leśna. *Sylvan* 134(03/13): 41-50.
- Van der Wal A., van Veen J.A., Smant W., Boschker H.T.S., Bloem J., Kardol P., van der Putten W.H., de Boer W. 2006. Fungal biomass development in a chronosequence of land abandonment. *Soil Biology and Biochemistry* 38:51–60.
- Vesterdal L., Ritter E., Gundersen P. 2002. Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land. *Forest Ecological Management* 169: 137–147.
- Zwoliński J. 1998. Obieg węgla w borach sosnowych. *Prace IBL (A)* 862, 141–155.

3.2. Obecność mikoryz w różnych wariantach doświadczenia

Wstęp

Hodowla drzewostanów na gruntach porolnych stwarza wiele trudności. Wymaga większego nakładu pracy i kosztów, a przede wszystkim umiejętności i wiedzy hodowcy. W Polsce badania dotyczące problemów zalesiania gruntów porolnych prowadzone są od ponad 60 lat. Wyniki doświadczeń uzyskane w trakcie zalesień w okresie powojennym, obejmują przede wszystkim zagadnienia hodowlane (przygotowanie gleby, skład gatunkowy, więźba sadzenia, formy zmieszania) i fitopatologiczne (ograniczanie zagrożenia ze strony huby korzeniowej) (Strzelecki, Sobczak 1972). Stosunkowo nieliczne badania dotyczą innych aspektów związanych z hodowlaną drzewostanów na gruntach porolnych jak np. mykotrofizm drzew (Aleksandrowicz-Trzcńska 2005, 2006, Hilszczańska 2002, 2005). O ile jednak zbiorowiska grzybów mykoryzowych upraw zakładanych na gruntach porolnych zostały już stosunkowo dobrze poznane (Dominik 1961 a, b, c, Pachlewski 1983, Kwiatkowski 1996, Fischer 1999, Werner i in. 2000, Hilszczańska 2002, 2005, Aleksandrowicz-Trzcńska 2005, 2006), dotychczas nie prowadzono badań w drzewostanach starszych klas wieku.

Celem badań była analiza ilościowa i jakościowa mykoryz sosny zwyczajnej w drzewostanie rosnącym na gruncie porolnym oraz określenie wpływu zasilenia gleb porolnych materią organiczną i fauną na stan mykoryz, 34 lat po wykonaniu zabiegu.

Metodyka badań

Charakterystyka obiektu badań

Obiektem badań była powierzchnia doświadczalna Katedry Ochrony Lasu i Ekologii założona w 1976 roku w Nadleśnictwie Niedźwiady (RDLP Szczecinek). Doświadczenie składało się z 12 wariantów wyróżnionych na podstawie sposobu przygotowania gleby (orka płytka i orka głęboka) oraz zastosowanych zabiegów rekultywacyjnych obejmujących introdukcję krocionoga (*Proteroiulus fuscus*) (fauna), wysianie łubinu (łubin) i wprowadzenie kory i trocin (kora i trociny) oraz dwóch kombinacji zabiegów (łubin i fauna; kora, trociny i

fauna). Porównaniem był wariant kontrolny – bez zabiegów. Dodatkowo 13 wariant doświadczenia stanowiła zewnętrzna powierzchnia kontrolna – 30-letni drzewostan sosnowy rosnący na gruncie leśnym (Bśw).

Pobieranie prób glebowych

W początku października 2011 pobrano próby korzeni wraz z glebą do oceny poziomu kolonizacji mykoryzowej. W tym celu użyto próbnika o średnicy 3,6 cm, który wbijano w glebę na głębokość 7-8 cm, w odległości 60-80 cm od pnia drzewa, w bruździe. Z każdego wariantu doświadczenia pobrano 9 prób (3 powtórzenia x 3 próby). Łącznie pobrano 108 prób korzeni z powierzchni doświadczałnej i 9 prób z zewnętrznej powierzchni kontrolnej założonej w drzewostanie rosnącym na gruncie leśnym. Jeżeli dany wariant, na powierzchni doświadczałnej, był reprezentowany przez dwa poletka, na pierwszym pobierano trzy próby ze środka poletka, na drugim po trzy próby pobierano, w dwóch miejscach, w odległości 10-15 m od krótszych boków działki. Jeżeli wariant był reprezentowany przez jedno poletko po trzy próby pobierano w odległości 10, 20, 30 m od jednego z krótszych boków działki.

Analizy prób glebowych

Po przewiezieniu do laboratorium próby przechowywano zamrożone w temperaturze -18°C, sukcesywnie pobierając do analiz. Korzenie płukano na sitach pod bieżącą wodą a następnie analizowano pod mikroskopem stereoskopowym przy powiększeniu od 6,3 do 40 razy. W każdej próbie liczono wszystkie korzenie krótkie z podziałem na autotroficzne, mykoryzowe i martwe. Wierzchołki mykoryzowe identyfikowano na podstawie braku włóśników, obecności mufki grzybniowej, zabarwienia, występowania strzępek i sznurów grzybniowych odgałęziających się od jej powierzchni, pogrubienia (hipertrofii) drobnych korzeni oraz przekształcenia ich w charakterystyczne formy mykoryzowe. Na podstawie wyglądu zakwalifikowano mykoryzy do morfotypów, a w ich obrębie wyróżniono: mykoryzy pojedyncze, dychotomiczne i wielokrotnie dychotomicznie rozgałęzione oraz koralowate. Z wierzchołków mykoryzowych należących do poszczególnych morfotypów wykonano przekroje poprzeczne, które analizowano pod mikroskopem przy powiększeniu 400 razy, celem wyróżnienia ekto- i ektendomykoryz.

Określono świeżą masę i długość korzeni sosny w pojedynczej próbie. Długość korzeni określono metodą przecięć (Böhm 1985). Metoda ta polega na losowym ułożeniu korzeni na siatce kwadratów o dowolnej długości boku (w prezentowanych badaniach bok

kwadratów wynosił 0,5 cm) i określeniu liczby linii, które przecinają korzenie. Długość korzeni obliczono według wzoru:

$$L = 11/14 \times n \times a$$

gdzie:

L – długość korzeni w cm,

n – liczba przecięć siatki kwadratów,

a – długość boku kwadratu (a = 0,5 cm).

Na podstawie długości korzeni i liczby wierzchołków korzeni (autotroficznych, mykoryzowych i martwych) obliczono wskaźnik rozgałęzienia (WR).

Identyfikacja gatunkowa grzybów mykoryzowych

Procedura 1

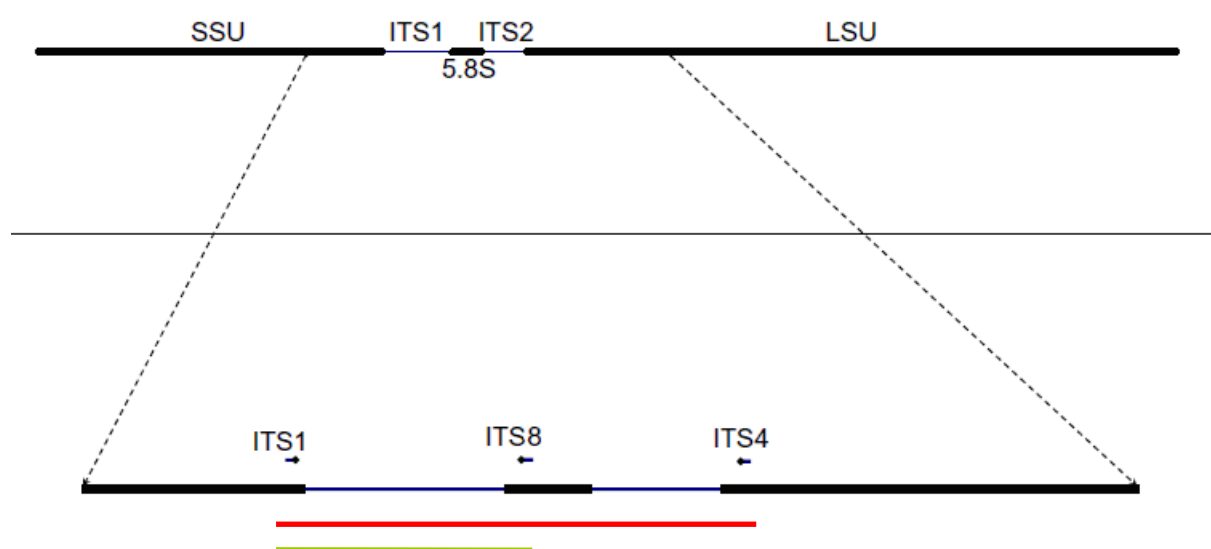
Wykonane analizy molekularne obejmowały amplifikację wybranych regionów zmiennych (ang. ITS - *Internal Transcribed Spacer*) rDNA za pomocą starterów ITS1 (wiodący) oraz ITS4 (wsteczny), a następnie sekwencjonowanie otrzymanego w reakcji PCR produktu. Analizę przeprowadzono przy użyciu zestawów: Phire®Plant Direct PCR Kit oraz CEQ™8000 (Beckman Coulter®, Fullerton, USA), zgodnie z zaleceniami producenta.

Reakcję łańcuchową polimerazy (PCR) przeprowadzono w objętości 20µl w mieszaninie o składzie: 1 x Phire®Plant PCR Buffer; 0,4µl Hot Start II DNA polimeraza; 0,5 µM startera wiodącego; 0,5 µM startera wstecznego i 0,5µl matrycy. Wykorzystana metoda pomija etap ekstrakcji DNA, wykorzystując jako matrycę fragmenty strzępek grzybni, zawieszone w załączonym do zestawu buforze „Dilution Buffer”. Reakcję amplifikacji przeprowadzono w termocyklerze PTC-200™ Programmable Thermal Controller (MJ Research, Inc.) według następującego protokołu: wstępna denaturacja 5 min w 98°C a następnie 40 cykli amplifikacji (denaturacja - 5 s w 98°C; przyłączanie starterów 5 s w 58°C; wydłużanie produktu 40 s w 72°C) oraz końcowe wydłużanie produktu 1 min w 72°C. Ocenę jakościową i ilościową produktu PCR określono elektroforetycznie w 1,5% żelu agarozowym wybarwionym bromkiem etydy ny oraz przy użyciu spektrofotometru (NanoDrop® ND-1000).

Produkt PCR (w postaci pojedynczego prążka) oczyszczono przy pomocy zestawu Clean-up (A&A Biotechnology, Gdynia), zgodnie z załączoną do zestawu procedurą. Przygotowany w powyższy sposób materiał wykorzystano jako matryca w reakcji sekwencjonowania. Reakcję sekwencjonowania przeprowadzono przy użyciu automatycznego sekwenatora CEQ™8000, wersja 9.0.25 (Beckman Coulter®, Fullerton, USA). Otrzymane sekwencje badanego regionu

poddano analizom bioinformatycznym w programie BioEdit 7.1.3 a następnie porównano z zapisem identyfikowanych sekwencji w internetowej bazie danych GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>). Jako wynik przedstawiono szczep, który posiadał największy procent podobieństwa z badaną sekwencją. W ten sposób udało się oznaczyć do gatunku lub rodzaju 7 z 51 prób.

Ponieważ amplikony uzyskano w reakcji, która pomija etap ekstrakcji DNA genomowego, jedyną możliwością ponownej analizy molekularnej wierzchołków mikoryzowych było przeprowadzenie zagnieżdżonej reakcji PCR (ang. *nested PCR*) z wykorzystaniem istniejących amplikonów jako matrycy DNA (ryc. 1).



Ryc. 1. Schemat fragmentu rybosomalnego DNA u *Eucaryota* z zaznaczonymi miejscami wiązania starterów w reakcji PCR. Kolorem czerwonym zaznaczono otrzymane amplikony w procedurze 1; kolorem zielonym zaznaczono amplikony otrzymane w zagnieżdżonym PCR (procedura 2)

Etapy procedury 2

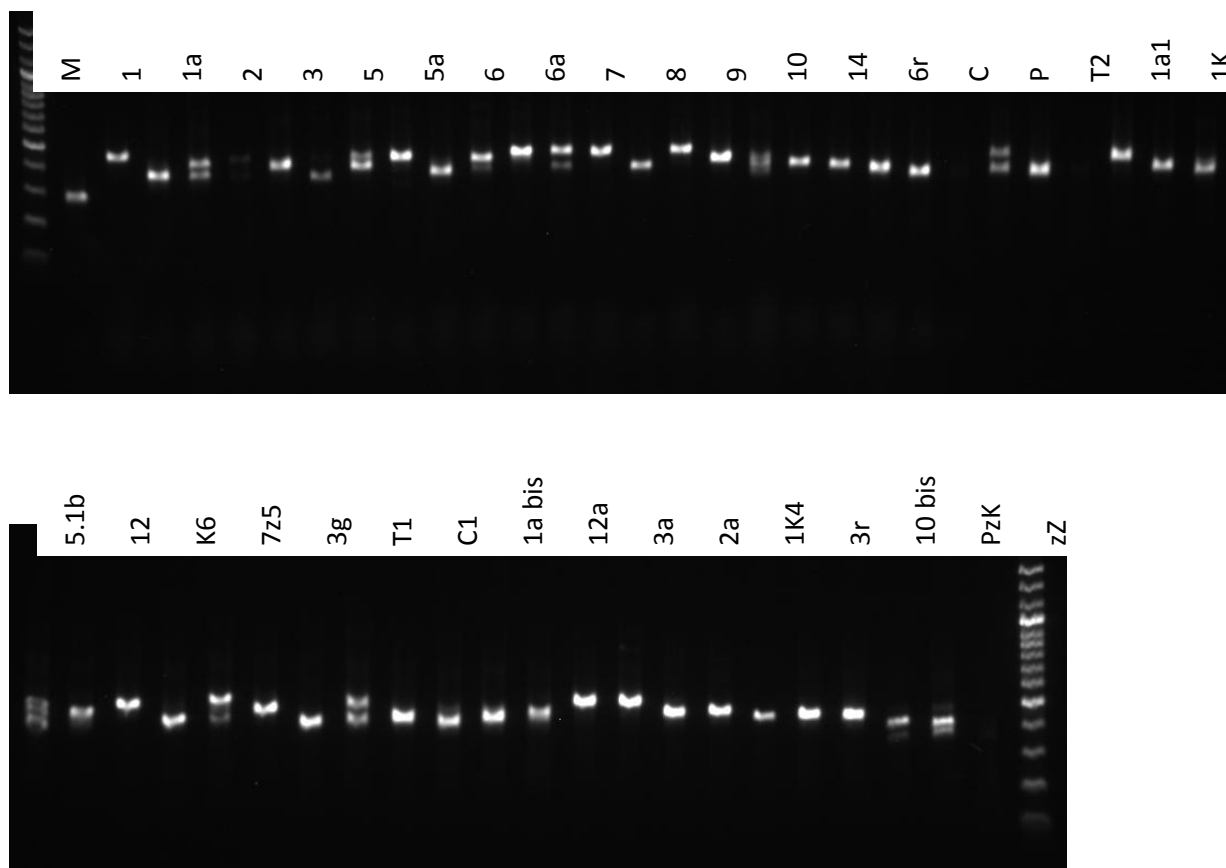
1) Zagnieżdżony PCR

Składniki mieszaniny reakcyjnej: 1x stężony bufor Q; 1 x stężony bufor QIAGEN; 1 mM $MgCl_2$; 0,2 mM mieszanina dNTP; 200 nM starter ITS1 (wiodący); 200 nM starter ITS8 (wsteczny); 0,5 U polimerazy Dream Taq; 1 μ l matrycy DNA.

Profil termiczny reakcji: wstępna denaturacja 5 min w 94°C; 30 cykli amplifikacji (denaturacja 25 sek w 94°C, przyłączanie starterów 25 sek w 64°C; wydłużanie produktów 35 sek w 72°C); końcowe wydłużanie produktów 10 min w 72°C.

2) Elektroforegram

W celu zobrazowania produktów PCR, z każdej probówki reakcyjnej pobrano 3µl mieszaniny, którą wybarwiono odczynnikiem GelRed® a następnie poddano rozdzielaniu w 1% żelu agarozowym. Elektroforegram wizualizowano w świetle lampy UV. Do dalszych analiz wybrano te próbki, dla których uzyskano pojedynczy i wyraźny produkt PCR (ryc. 2).



Ryc. 2. Elektroforegram amplikonów badanych wierzchołków mikoryzowych otrzymanych w reakcji PCR z użyciem starterów ITS1 i ITS8

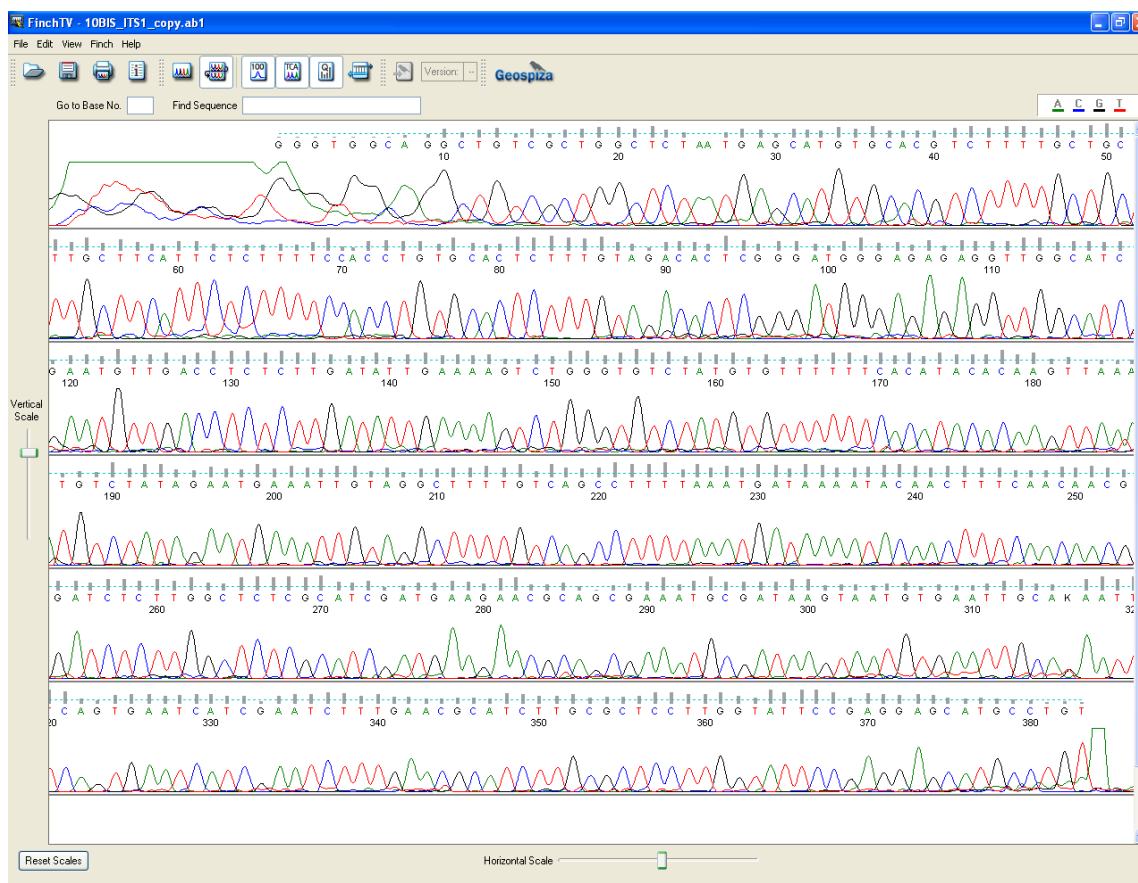
3) Oczyszczanie produktów PCR

Otrzymane amplikony oczyszczono z pozostałości składników mieszaniny reakcyjnej za pomocą zestawu odczynników CleanUp (aabiot), zgodnie z zaleceniami producenta, otrzymując 30µl czystego produktu PCR. Do sekwencjonowania w serwisie Genomed wysłano 38 prób. Pozostałe próby zostały odrzucone ze względu na brak produktu PCR lub obecność wielu produktów PCR (świadczy to o obecności dwóch grzybów w próbce).

4) Analiza bioinformatyczna

Uzyskane w wyniku sekwencjonowania chromatogramy opracowano (przycięto nieczytelne końce, sprawdzono poprawność odczytu nukleotydów), odczytano sekwencję DNA a

następnie porównano ją z bazą danych GenBank należącą do National Center for Biotechnology Information. Należy zaznaczyć, iż nie wszystkie ze zgłoszonych do Genomedu próbek udało się z sukcesem zsekwencjonować. Prawdopodobnie w próbkach tych znajdowała się mieszanina produktów PCR o bardzo zbliżonej długości, co na elektroforegramie dawało złudzenie pojedynczego prążka.



Ryc. 3. Przykładowy chromatogram próbki 10 bis

W IBL są możliwości przeprowadzenia klonowania produktów PCR do wektorów bakteryjnych, co jest w tej sytuacji jedyną metodą pozwalającą na rozdzielenie i identyfikację zmieszanych amplikonów. W identyfikacji mykoryz na podstawie sekwencji DNA brano pod uwagę parametry *Query coverage* (podobieństwo długości analizowanych sekwencji), *Identity* (podobieństwo sekwencji uwzględniające liczbę identycznych i różniących się nukleotydów oraz liczbę przerw w niedopasowanych sekwencjach) oraz wynikający z powyższych współczynnik *Total score*. Trudności w identyfikacji gatunkowej stwarzały: a) krótka sekwencja (jedynie region ITS1) oraz b) brak w bazie GenBank dobrze i wiarygodnie opisanych sekwencji wzorcowych (zazwyczaj były to uncultured ectomycorrhizal fungus). Jednakże na podstawie posiadanych sekwencji zidentyfikowano do gatunku lub rodzaju 28 prób.

Analizy statystyczne

Na podstawie metody anatomo-morfotypowania i wyników uzyskanych z analiz molekularnych określono bogactwo gatunkowe jako liczbę taksonów grzybów mykoryzowych. Pojęcie taksonu jest rozumiane jako zidentyfikowany do różnego poziomu systematycznego morfotyp mikoryzowy. Zastosowanie takiego określenia wynika z faktu, że nie wszystkie analizowane mykoryzy zostały zidentyfikowane do poziomu gatunku. Obliczono średnie bogactwo gatunkowe jako liczbę taksonów w próbie, frekwencję jako udział (w %) prób, w których stwierdzono takson oraz względną obfitość każdego taksonu jako udział (%) wierzchołków mykoryzowych utworzonych przez dany takson do ogólnego udziału wierzchołków mykoryzowych.

Przed przystąpieniem do analiz statystycznych sprawdzono zgodność rozkładu poszczególnych parametrów z rozkładem normalnym stosując test W Shapiro Wilka oraz porównano jednorodność wariancji testem Levene'a. Dla cech: świeża masa korzeni w próbie, długość korzeni w próbie oraz wskaźniki rozgałęzienia, dla których rozkład nie różnił się istotnie od rozkładu normalnego a wariancje porównywanych ze sobą wariantów badawczych były jednorodne, do testowania wartości średnich cech wykorzystano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA) oraz stosowano test HSD. Dla cech charakteryzujących poziom zmikoryzowania korzeni (udział wierzchołków mykoryzowych, martwych i autotroficznych) zachodziła konieczność stosowania testów nieparametrycznych. Ponieważ wartości podane były w procentach zastosowano transformację Blissa, a następnie test Kruskala-Wallisa. Do wszystkich analiz wykorzystano program Statgraphics Plus 4.1.

Wyniki badań i ich omówienie

W całym doświadczeniu, w drzewostanach rosnących na gruncie leśnym i porolnym, korzenie kolonizowane były przez 27 taksonów grzybów mykoryzowych. W wariantach z orką płytką stwierdzono 19 taksonów, z orką głęboką 17 taksonów, a na gruncie leśnym – 11 taksonów (tab. 1). W pojedynczej próbie stwierdzano od 1,8 do 3 taksonów (tab. 2). Sześć taksonów: *Cortinarius* 2, *Cortinarius* 3, *Piloderma* sp., *Piloderma sphaerosporum*, *Basidiomycota* i nieoznaczony 3 wystąpiło wyłącznie na korzeniach w drzewostanie rosnącym na gruncie leśnym (tab. 1). Wyniki te wskazują, że zbiorowiska grzybów mykoryzowych w drzewostanach założonych na glebie przygotowanej orką płytką lub

głęboką na gruncie porolnym są zbliżone i różnią się od zbiorowiska w drzewostanie na gruncie leśnym.

Bogactwo gatunkowe grzybów mykoryzowych, w poszczególnych wariantach z dostarczeniem do gleby materii organicznej i fauny glebowej zawierało się w przedziale od 7 taksonów w wariantcie z korą i trocinami do 12 w wariantcie z korą, trocinami i fauną (tab. 1). W obu tych wariantach dobre warunki do tworzenia i rozwoju symbiozy miał *Thelephora terrestris*. Jego udział i frekwencja na działkach z korą i trocinami były bliskie 50%. Wprowadzenia krocionoga znacznie obniżyło zarówno udział jak i frekwencję tego gatunku i umożliwiło kolonizację korzeni przez inne taksony.

Wiele czynników istotnie wpływa na strukturę zbiorowisk grzybów mykoryzowych. Należą do nich przede wszystkim cechy fizyczne i chemiczne gleby jak: poziom wilgotności i temperatury, odczyn, skład chemiczny (Buée i in. 2005, Kranabetter 2009). Czynnikiem takim są również oddziaływania konkurencyjne między organizmami zasiedlającymi wspólną niszę ekologiczną z grzybami mykoryzowymi. Wymienić tu należy grzyby saprotroficzne i bezkręgowce glebowe (Summerbell 1987). Dlatego bardziej precyzyjne wyjaśnienie różnic w zbiorowiskach grzybów mikoryzowych w poszczególnych wariantach doświadczenia jest możliwe po analizie wskazanych wyżej czynników.

Tabela 1. Bogactwo gatunkowe (liczba taksonów) w drzewostanach na gruncie porolnym w wariantach z orką płytką i głęboką oraz na gruncie leśnym

Wariant	Orka głęboka	Orka płytka	Razem dla wariantu
Kontrola	8	5	9
Fauna	5	10	11
Łubin	6	5	10
Kora, trociny	6	3	7
Łubin + fauna	7	8	11
Kora, trociny + fauna	11	6	12
Razem	17	19	21
Kontrola na gruncie leśnym	11 (w tym 6 wyłącznie na gruncie leśnym)		

Tabela 2. Średnie bogactwo gatunkowe (liczba taksonów w próbie) w drzewostanach na gruncie porolnym w wariantach z orką płytką i głęboką oraz na gruncie leśnym

Wariant	Orka głęboka	Orka płytka	Średnia dla wariantu
Kontrola	2,8	3,3	3,1
Fauna	1,8	1,8	1,8
Łubin	2,7	2,3	2,5
Kora, trociny	2,2	1,3	1,8
Łubin + fauna	2,3	2,0	2,2

Kora, trociny + fauna	3,0	2,2	2,6
Średnia	2,5	2,2	2,3
Kontrola na gruncie leśnym	2,7		

Tabela 3. Taksony stwierdzone w drzewostanach na gruncie porolnym w wariantach z orką płytką i głęboką oraz na gruncie leśnym

Takson	Orka płytka		Orka głęboka		Grunt leśny	
	Wo	F	Wo	F	Wo	F
Cenococcum geophilum	17,9	61,1	22,8	77,1	0,2	50,0
Thelephora terrestris	19,8	27,8	6,1	8,6		
Amanita rubescens	12,4	25,0	12,8	17,1		
Amanita muscaria			0,8	2,9	1,3	16,7
Cortinarius 1	8,8	25,0	3,5	14,3	1,6	33,3
Cortinarius 2					15,4	16,7
Cortinarius 3					2,9	16,7
Uncultured Atheliaceae 1	11,3	22,2	7,1	11,4	3,1	33,3
Uncultured Atheliaceae 2	1,5	2,8	5,9	8,6		
Uncultured Atheliaceae 3	2,1	5,6	4,6	14,4		
Pseudotomentella 1	5,0	5,6	10,4	20,0	12,5	16,7
Pseudotomentella 2	2,9	2,8				
Uncultured Agaricomycetes	0,04	2,8	10,9	20,0		
Tricholoma flavovirens	2,1	2,8	1,3	8,6		
Cantharellaceae	1,9	5,6	1,3	8,6		
Hygrophorus aureus			6,3	8,6		
Russula sp.	0,4	2,8				
Russula laricina	5,5	5,6				
Piloderma sp					2,8	16,7
Piloderma sphaerosporum					11,0	16,7
Boletus edulis	0,7	2,8	0,9	2,9		
Cortinarius/Dermocybe 1	0,1	2,8	0,3	2,9		
Cortinarius/Dermocybe 2	1,8	2,8				
Uncultured Basidiomycota					16,7	16,7
Nieoznaczony 1	2,9	2,8	4,8	8,6		

Nieoznaczony 2	2,9	2,8	0,1	2,9		
Nieoznaczony 3					32,5	33,3

Wo – względna obfitość, F - frekwencja

Stwierdzone w obu drzewostanach gatunki czy taksony grzybów są typowymi symbiontami sosny, powszechnie kolonizującymi korzenie w drzewostanach średnich i starszych klas wieku.

Gatunkiem dominującym był *Cenococcum geophilum*. Jego udział w całym doświadczeniu wynosił 18,8%, a frekwencja 66,7%. Stwierdzany był, jako jedyny takson, we wszystkich wariantach doświadczenia. O ile jednak jego udział w drzewostanach na gruntach porolnych był zawsze wysoki, to na gruncie leśnym zanotowano jedynie wysoką frekwencję tego gatunku 50%, natomiast udział był najniższy ze wszystkich taksonów – 0,2% (tab. 3, 4 i 5). *C. geophilum* jest kosmopolitycznym symbiontem, kolonizującym korzenie wielu gatunków drzew, rosnących w różnych warunkach siedliskowych (LoBuglio 1999). Tworzy mikoryzy we wszystkich stadiach rozwojowych drzewostanu, jest stałym elementem zbiorowisk grzybów ektomykoryzowych, ale ze względu na niską konkurencyjność rzadko dominującym (Visser 1995). Jego udział wzrasta w ekosystemach zaburzonych przez przemysłowe zanieczyszczenia powietrza (Kowalski 1987, Petera i in. 2008), suszę (LoBuglio 1999) lub rosnących w ekstremalnych warunkach środowiska: powyżej 2700 m (Trappe 1988), w zimnym klimacie (Vogt i in. 1981), skrajnie ubogich (Motsuda i in. 2009, Aučna i in. 2011). Wysoki udział *C. geophilum* nakazuje zaliczyć drzewostan rosnący na gruncie porolnym (bez względu na wariant doświadczenia) do ekosystemów zaburzonych.

Dość wysokim, ale też zróżnicowanym udziałem i frekwencją charakteryzował się *T. terrestris*. Średnio dla całego doświadczenia udział tego gatunku wynosił 11,9%, a frekwencja 16,7%. Mikoryzy tworzone przez *T. terrestris* stwierdzane były wyłącznie w glebie gruntu porolnego. Dominowały one w wariantach z korą i trocinami (tab. 3, 4 i 5). *T. terrestris* jest gatunkiem pionierskim, ubikwistycznym, często dominującym w szkółkach leśnych, odnowieniach i młodych drzewostanach, szczególnie przy braku innych gatunków mykoryzowych. Niska konkurencyjność tego symbionta powoduje, że nawet jeżeli występuje w starszych drzewostanach to jego udział jest niewielki (Colpaert 1999). Jansen (1991) uważa, że obecność *T. terrestris* w starszych drzewostanach można wytłumaczyć jedynie brakiem innych, kompatybilnych gatunków grzybów mikoryzowych.

Dodanie do gleby porolnej trocin powoduje istotne zmiany w zbiorowiskach grzybów glebowych. W glebie porolnej dominują gatunki z rodzajów: *Penicillium*, *Pseudogymnoascus*,

Peaciliomyces, *Apiospora*. Szczególnie licznie reprezentowane są grzyby z rodzaju *Penicillium*, które łatwo rozkładają celulozę w środowisku obojętnym. Obfitość bazy pokarmowej w postaci trocin skutkuje dominacją grzybów z rodzaju *Trichoderma*, utrzymującą się przez kilka kolejnych lat (Sierota, Kwaśna 1998, 1999, Kwaśna i in. 2000). Obecność grzybów z rodzaju *Trichoderma* w glebie silnie wpływa na kształtowanie zbiorowisk mikroorganizmów glebowych, zarówno saprotroficznych jak i patogenicznych dzięki antybiozie, konkurencji i pasożytnictwu (Okorski 2007). Symbioza grzybów z rodzaju *Trichoderma* obecna na korzeniach indukuje odporność roślin na choroby i niekorzystne działanie czynników abiotycznych takich jak susza czy zasolenie oraz stymuluje ich wzrost (Harman 2011). Niekorzystnym aspektem obecności w glebie grzybów z rodzaju *Trichoderma* może być inhibicja tworzenia mykoryz (Summerbell 1986), aczkolwiek niektóre badania nie potwierdzają tej tezy (Werner i in. 2002).

Wysoki udział *T. terrestris* i niska różnorodność biologiczna grzybów mykoryzowych w wariancie z korą i trocinami nie musi być równoznaczna ze słabszym wzrostem sosny. Hilszczańska i in. (2008) wykazała, że grzybnia *T. terrestris* charakteryzowała się kilkakrotnie wyższym poziomem poligalakturonazy, dwukrotnie wyższym poziomem chitynazy i kwaśnej fosfatazy w porównaniu do innego symbionta mykoryzowego *Hebeloma crustuliniforme*. W korzeniach siewek inokulowanych *T. terrestris* wykazano wyższą aktywność β -glukozydazy niż w sosnach nieinokulowanych lub szczepionych *H. crustuliniforme*. Wyższa aktywność enzymatyczna skutkuje lepszym wykorzystaniem składników pokarmowych przez mikoryzy tworzone przez *T. terrestris*. Kwaśna fosfataza jest odpowiedzialna za uwalnianie nieorganicznego fosforu (Tibbett i in. 1998), chitynaza umożliwia pozyskiwanie węgla i azotu (Hodge i in. 1995), a β -glikozydaza odgrywa rolę w pozyskaniu organicznych form fosforu oraz azotu z białek i chityny (Courty i in. 2005). Ponadto β -glukozydaza może być czynnikiem usprawniającym mechanizmy obronne rośliny gospodarza (Colpaert, Laere 1996).

Tabela 4. Taksony stwierdzone w drzewostanach na gruncie porolnym w wariantach: kontrolnym, z fauną i łubinem

Takson	Kontrola		Fauna		Łubin	
	Wo	F	Wo	F	Wo	F
Cenococcum geophilum	17,5	100.0	13,2	50,0	19,4	75.0
Thelephora terrestris	5,2	8,3	2,4	8,3	9,6	8,3
Amanita rubescens	8,7	25.0	25,3	33,3	2,9	16,7
Amanita muscaria						
Cortinarius 1	11,8	58,3	6,2	8,3	17,2	25.0
Cortinarius 2						
Cortinarius 3						
Uncultured Atheliaceae 1	16,4	50.0	6,9	16,7	5,6	8,3
Uncultured Atheliaceae 2	3,7	8,3	11,0	16,7		
Uncultured Atheliaceae 3			2,3	8,3	14,3	33,3
Pseudotomentella 1	8,2	8,3	14,2	16,7	5,8	8,3
Pseudotomentella 2						
Uncultured Agaricomycetes	19,6	25,0			2,0	16,7
Tricholoma flavovirens	9,0	16,7				
Cantharellaceae					4,4	25,0
Hygrophorus aureus						
Russula sp.						
Russula laricina					18,7	16,7
Piloderma sp						
Piloderma sphaerosporum						
Boletus edulis			1,9	8,3		
Cortinarius/Dermocybe 1						
Cortinarius/Dermocybe 2						
Uncultured Basidiomycota						
Nieoznaczony 1			8,1	8,3		
Nieoznaczony 2			8,3	8,3		
Nieoznaczony 3						

Wo – względna obfitość, F - frekwencja

Tabela 5. Taksony stwierdzone w drzewostanach na gruncie porolnym w wariantach: kora, trociny, łubin i fauna oraz kora, trociny i fauna

Takson	Kora, trociny		Łubin + fauna		Kora, trociny + fauna	
	Wo	F	Wo	F	Wo	F
Cenococcum geophilum	18,2	54,5	34,2	66,7	19,3	66,7
Thelephora terrestris	43,6	45,5	0,3	8,3	21,0	33,3
Amanita rubescens			11,1	25,0	23,4	25,0
Amanita muscaria			2,3	8,3		
Cortinarius 1			1,7	16,7		
Cortinarius 2						
Cortinarius 3						
Uncultured Atheliaceae 1	9,1	9,1	16,7	16,7		
Uncultured Atheliaceae 2					6,3	8,3
Uncultured Atheliaceae 3	4,5	9,1			1,2	8,3
Pseudotomentella 1			14,0	25,9	2,5	16,7
Pseudotomentella 2			8,3	8,3		
Uncultured Agaricomycetes	2,5	9,1			7,7	16,7
Tricholoma flavovirens	0,5	9,1	0,1	8,3		
Cantharellaceae			5,4	16,7		
Hygrophorus aureus	21,5	27,3				
Russula sp.					1,1	8,3
Russula laricina						
Piloderma sp						
Piloderma sphaerosporum						
Boletus edulis					4,5	8,3
Cortinarius/Dermocybe 1			0,9	8,3	0,4	8,3
Cortinarius/Dermocybe 2			5,0	8,3		
Uncultured Basidiomycota						
Nieoznaczony 1					13,5	25,0
Nieoznaczony 2					0,4	8,3
Nieoznaczony 3						

Wo – względna obfitość, F – frekwencja

Poziom zmykoryzowania korzeni, we wszystkich wariantach doświadczenia, był bliski 100% (tab. 6). Udział mykoryz martwych w próbach był nieco bardziej zróżnicowany. Najmniej wierzchołków martwych obserwowano w wariantcie z łubinem i fauną – 12,7%, a najwięcej w wariantach kontrolnych: na gruncie porolnym – 29,1% i na gruncie leśnym – 33,9. Różnice te okazały się nieistotne statystycznie (3 warianty $p = 0,3375$, 6 wariantów $p = 0,7589$),

podobnie jak w przypadku wierzchołków mykoryzowych (3 warianty $p = 0,3935$, 6 wariantów $p = 0,7646$).

Tabela 6. Udział (%) wierzchołków korzeni: autotroficznych, mykoryzowych i martwych

Wariant	Wierzchołki mykoryzowe żywe		Wierzchołki mykoryzowe martwe		Wierzchołki autotroficzne	
	x	V%	x	V%	x	V%
Orka głęboka	78,3 a	37,2	21,5 a	135,7	0,23 a	334,2
Orka płytka	79,3 a	40,8	20,3 a	160,1	0,35 a	528,6
Grunt leśny	66,1 a	56,1	33,9 a	109,4	0,00 a	0,0
Kontrola	70,9 a	46,0	29,1 a	112,2	0,00 a	0,0
Fauna	77,1 a	44,4	22,9 a	149,1	0,00 a	0,0
Łubin	75,3 a	48,9	24,5 a	150,5	0,25 a	346,4
Kora, trociny	81,6 a	36,7	18,0 a	167,1	0,38 a	240,2
Łubin + fauna	87,2 a	29,3	12,7 a	201,9	0,19 a	346,4
Kora, trociny + fauna	81,1 a	33,1	18,0 a	151,7	0,96 a	338,5

x – średnia, V% - współczynnik zmienności, ta sama litera przy średnich oznacza brak różnic istotnych statystycznie w teście Kruskala-Wallisa

Cechami, które wyraźnie różnicują drzewostany na gruntach leśnych i porolnych jest świeża masa i długość korzeni w próbie (tab.7). Oba parametry były istotnie statystycznie większe dla prób pobranych w drzewostanie rosnącym na gruncie leśnym w porównaniu z porolnym (masa $p = 0,0000$, długość $p = 0,0000$). Nie stwierdzono, natomiast, różnic istotnych statystycznie między wariantami wyróżnionymi w drzewostanie rosnącym na gruncie porolnym. Wskaźnik rozgałęzienia zawierał się w przedziale 7,0 – 8,8 wierzchołków przypadających na 1 cm długości korzenia. Poszczególne warianty doświadczenia nie różniły się wielkością tego parametru (3 warianty $p = 0,7374$, 6 wariantów $p = 0,8498$)

Tabela 7. Świeża masa i długość korzeni w próbie oraz wskaźnik rozgałęzienia korzeni (WR)

Wariant	Świeża masa (g)		Długość korzeni (cm)		WR (liczba wierzchołków/cm)	
	x	V%	x	V%	x	V%
Orka głęboka	0,189 a	66,4	58,4 a	60,1	8,0 a	45,1
Orka płytka	0,140 a	111,0	38,6 a	77,2	7,7 a	39,9
Grunt leśny	0,722 b	30,8	143,1 b	39,7	7,0 a	19,5
Kontrola	0,244 a	57,4	66,4 a	61,8	8,1 a	18,7

Fauna	0,216 a	76,5	59,4 a	59,3	8,0 a	31,6
Łubin	0,115 a	77,4	43,7 a	79,4	7,3 a	39,4
Kora, trociny	0,106 a	78,1	38,2 a	73,1	7,8 a	52,0
Łubin + fauna	0,150 a	90,0	44,8 a	74,3	7,0 a	22,7
Kora, trociny + fauna	0,146 a	123,6	36,9 a	63,7	8,8 a	65,7

x – średnia, V% - współczynnik zmienności, ta sama litera przy średnich oznacza brak różnic istotnych statystycznie w teście HSD

Podsumowanie i wnioski

Wiele cech wskazuje na istotne różnice między drzewostanami rosnącymi na gruncie porolnym i leśnym. Należy tu świeża masa i długość korzeni w próbie, wskazująca na lepszy rozwój korzeni krótkich w glebie leśnej. Kolejną cechą jest struktura zbiorowisk grzybów mykoryzowych. Obecność *T. terrestris* i wysoki udział *C. geophilum* wskazuje, że drzewostan na gruncie porolnym jest ekosystemem zaburzonym.

Poziom zmikoryzowania korzeni sosny w drzewostanach na gruncie porolnym i leśnym był bliski 100%, a stwierdzone gatunki są typowymi symbiontami sosny, powszechnie kolonizującymi korzenie w drzewostanach średnich klas wieku.

W przeprowadzonych badaniach nie wykazano wpływu sposobu przygotowania gleby na gruncie porolnym orką płytką lub głęboką na rozwój korzeni krótkich i zbiorowiska grzybów mykoryzowych.

Nie wykazano również korzystnego wpływu zabiegów rekultywacyjnych na rozwój korzeni krótkich i zbiorowiska grzybów mykoryzowych. Dodanie kory i trocin spowodowało dominację *T. terrestris* i zubożyło bogactwo gatunkowe symbiontów mykoryzowych.

Literatura

- Aleksandrowicz-Trzcńska M. 2005. Stan mikoryz sosny zwyczajnej w uprawie założonej na gruncie porolnym. Sylwan 2:42-49.
- Aleksandrowicz-Trzcńska M. 2006. Mycorrhizae in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantation on post-agricultural land. Ann. Warsaw Agricult. Univ. – SGGW, For. And Wood Technol. 60:39-50.

- Aučna A., Rudawska M., Leski T., Ryliskis D., Pietras M., Riepšas E. 2011. Ectomycorrhizal fungal communities on seedlings and conspecific trees of *Pinus mugo* grown on the coastal dunes of the Curonian Spit in Lithuania. *Mycorrhiza* 21: 237-245.
- Buée M., Vairelles D., Garbaye J. 2005. Year-round monitoring of diversity and potential metabolic activity of the ectomycorrhizal community in a beech (*Fagus sylvatica*) forest subjected to two thinning regimes. *Mycorrhiza* 15:235-245.
- Colpaert J.V. 1999. *Thelephora*. W: Ectomycorrhizal fungi. J.W.G. Cairney i S.M. Chambers (red). Springer Berlin:325-345.
- Colpaert J.V., van Laere A. 1996. A comparison of the extracellular enzyme activities of two ectomycorrhizal and a leaf-saprotrophic basidiomycete colonizing beech leaf litter. *New Phytol.* 133: 133-141.
- Courty P.E., Pritsch K., Scholter M., Hartmann A., Garbaye J. 2005. Activity profiling of ectomycorrhiza communities in two forest soils using multiple enzymatic test. *New Phytol.* 167: 309-319.
- Dominik T. 1961a. Próby naturalnego wyizolowania grzybów mikoryzowych z gleb rolnych i nieużytków w okolicy Szczecina. *Prace IBL* 227: 3-37.
- Dominik T. 1961b. Studium o mikoryzie. *Fol. For. Pol. Ser. A.* 5: 3-160.
- Dominik T. 1961c. Badania nad przeszczepianiem mikrobiocenoz gleb leśnych na tereny rolne. *Prace IBL* 210: 103-162.
- Fischer H. 1999. Mykorrhizen schon in der Kulturphase?. *Forst u. Holz* 54: 742-745.
- Harman G.E. 2011. Multifunctional fungal plant symbionts: New tools to enhance plant growth and productivity. *New Phytol.* 189:647-649.
- Hilszczańska D. 2002. Mycorrhizal fungi in Scot pine cultures after seedlings outplanting on post-agricultural lands. *Fol. For. Pol. Ser. A- For.* 44: 97-102.
- Hilszczańska D. 2005. Struktura ektomikoryz u sadzonek sosny zwyczajnej inokulowanych wybranymi grzybami mikoryzowymi, wysadzonych na gruncie porolnym i marginalnym. *Leśne Prace Badawcze* 1: 43-52.
- Hilszczańska D., Ciesielska A., Sierota Z. 2008. Enzymatic activity of *Thelephora terrestris* and *Habeloma crustuliniforme* in cultures and mycorrhizal association with Scots pine seedlings. *Polish J. of Environ. Stud.* 17(6):881-886.
- Hodge A., Alexander I.J., Gooday G.W. 1995. Chitinolic enzymes of pathogenic and ectomycorrhizal fungi. *Mycological Research* 99:935-941.

- Jansen A.E. 1991. The mycorrhizal status of Douglas fir In the Netherlands: its relation with stand age, regional factors, atmospheric pollutants and tree vitality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 35:191-208.
- Kowalski S. 1987. Mycotrophy of trees in converted stands remaining under strong pressure of industrial pollution. *Angew. Botanik* 61: 65-83.
- Kwaśna H., Sierota Z., Bateman G.L. 2000. Fungal communities in fallow soil before and after amending with pine sawdust. *Applied Soil Ecology* 14: 177-182.
- Kwiatkowski G. 1996. Mikotrofizm sadzonek świerka pospolitego *Picea bies* (L.) Karst. w uprawie na gruncie porolnym i leśnym. *Zeszyty Naukowe AR w Krakowie* 25: 39-51.
- Kranabetter J.M., Durall D.M., MacKenzie W.H. 2009. Diversity and species distribution of ectomycorrhizal fungi along productivity gradients of a southern boreal forest. *Mycorrhiza* 19:99-111.
- LoBuglio K.F. 1999. *Cenococcum*. W: Ectomycorrhizal fungi. J.W.G. Cairney i S.M. Chambers (red). Springer Berlin: 287-309.
- Motsuda Y., Noguchi Y., Ito S. 2009. Ectomycorrhizal fungal community of naturally regenerated *Pinus thunbergi* seedlings in a coastal pine forest. *J. For. Res.* 14:335-341.
- Strzelecki W., Sobczak R. 1972. Zalesianie nieużytków i gruntów trudnych do odnowienia. PWRiL Warszawa.
- Okorski A. 2007. Biologiczna ochrona roślin przed chorobami – mechanizmy i perspektywy rozwoju. *Postępy Nauk Rolniczych* 5:21-36.
- Petera M., Ayer F., Cudlín P., Egli S. 2008. Belowground ectomycorrhizal communities in three Norway spruce stands with different degrees of decline in the Czech Republic. *Mycorrhiza* 18: 157-169.
- Sierota Z., Kwaśna H. 1998. Effect of pine sawdust on the structure of fungi communities in the soils of post agricultural land. *Acta Mycol.* 33:77-90.
- Sierota Z., Kwaśna H. 1999. ocean mikologiczna zmian zachodzących w glebie gruntu porolnego po dodaniu trocin iglastych. *Sylvan* 4: 57-66.
- Summerbell R. 1987. The inhibitory effect of *Trichoderma* species and other soil microfungi on formation of mycorrhiza by *Laccaria bicolor* in vitro. *New Phytol.* 105: 437-448.
- Tibbett M., Chambers S.M., Cairney J.W.G. 1998. Methods for determinatig extracellular and surface-bound phosphate activities in ectomycorrhizal fungi. W: Varma A. (ed.), *Mycorrhiza manual*, Springer, New York, pp. 217-226.
- Trappe J.M. 1988. Lessons from alpine fungi. *Mycologia* 80: 1-10.

- Visser S. 1995. Ectomycorrhizal fungal succession in jack pine stands following wildfire. *New Phytol.* 129: 389-401.
- Vogt K.A., Edmonds R.L., Grier C.C. 1981. Dynamics of ectomycorrhizae in *Abies amabilis* stands: the role of *Cenococcum graniforme*. *Holarct. Ecol.* 4: 167-173.
- Werner A., Nadworny M., Idzikowska K. 2002. Interaction between *Laccaria laccata* and *Trichoderma virens* in co-culture and in rhizosphere of *Pinus sylvestris* grown in vitro. *Mycorrhiza* 12:139-145.

3.3. Aktywność lignocelulolityczna

Prace przygotowawcze

W roku 2010 przygotowano 150 sztuk próbek drewna sosny bielastej o wymiarach 40x2x2 cm wg określonych parametrów jakościowych, które zostały poddane sezonowaniu oraz dokładnej selekcji celem wyeliminowania próbek niezgodnych z normami technicznymi. Wyselekcjonowane próbki po ponumerowaniu suszono w suszarce po 12 godzin w następujących temperaturach: 50°C, 70°C, 90°C i 105°C a następnie ważono na wadze analitycznej z dokładnością do 0,001 g notując w raptularzu numer próbki i jej ciężar. Prace te zakończono na początku maja 2011 roku.

Prace terenowe

Wyłożenie próbek do gleby przeprowadzono w dniu 23 maja 2011 roku na powierzchni zoomelioracyjnej z 1973 roku (ZI) i powierzchni zoomelioracyjnej z 1976 roku (ZII) (Fot. 5). oraz w gospodarczym drzewostanie sosnowym o podobnym wieku do powierzchni zoomelioracyjnych (pow. „16” kontrola).

Powierzchnia zoomelioracyjna z 1973 roku (ZI)

Na każdej z 24 działek (rys. 1.) zakopano po trzy próbki umieszczając je w środku każdej powierzchni o łącznej liczbie 72 (24x3) próbki do głębokości 30 cm, 10 cm próbki wystawały ponad powierzchnię ziemi. Próbki zakopywano przy pomocy kostura używanego

do sadzenia sosny w taki sposób aby gleba dokładnie dociskała próbki na całej długości oraz aby nie zniekształciła profilu glebowego w trakcie wkładania i dociskania próbki.

Powierzchnia zoomelioracyjna z 1976 roku (ZII)

Na powierzchni ZII (rys. 2.) na 18 działkach podobnie jak na poprzedniej powierzchni wkopano na każdej działce po 3 próbki wg takiego samego schematu o łącznej liczbie 54 (18x3) próbki.

Gospodarczy drzewostan sosnowy o podobnym wieku pow. „16” kontrola

Na powierzchni tej na trzech działkach włożono do gleby podobnie jak na powierzchniach zoomelioracyjnych 9 (3x3) próbek drewna.

Łącznie na obu badanych powierzchniach zoomelioracyjnych i w gospodarczym drzewostanie sosnowym pow. „16” wkopano 135 próbek.

Na obu powierzchniach zoomelioracyjnych i w gospodarczym drzewostanie sosnowym pow. 16 próbki zostały wyjęte pod koniec sezonu wegetacyjnego w dniu 21.10.2012 roku. Przy wyjmowaniu próbek wstępnie oczyszczono je z gleby i grzybni.

Prace laboratoryjne

Przywiezione do laboratorium próbki ponownie starannie oczyszczono za pomocą szczotki a następnie rozłożono próbki na stołach celem ich ponownego suszenia w temperaturze pokojowej przez okres 2 tygodni.

Dla stwierdzenia różnic w ubytku ciężaru spowodowanym działaniem mikroorganizmów próbki ponownie suszono, tak jak przed włożeniem ich do gleby po 12 godzin w następujących temperaturach 50°C, 70 °C, 90°C i 105°C a następnie ważono zapisując wyniki w raptularzu.

Natomiast w celu stwierdzenia różnic w ubytku ciężaru spowodowanym działaniem mikroorganizmów na różnych poziomach genetycznych gleby (głębokości) na szybkość rozkładu drewna, próbki dzielono na sekcje:

- sekcja A (0-10 cm – długość 10 cm) część próbki nadziemna nie zakopana w ziemi,
- sekcja B (10-25 cm – długość 15 cm) część próbki podziemna,
- sekcja C (25-40 cm – długość 15 cm) część próbki podziemna najgłębiej zakopana.

Przy pomocy specjalnej piłki o cienkim brzeszczocie przeprowadzono cięcia (w jednym tylko kierunku) na poszczególne sekcje. Tak wyodrębnione sekcje ponownie suszono a następnie analogicznie jak całe próbki ważono zapisując wyniki.

Wagę poszczególnych sekcji przed doświadczeniem wyliczono ze stosunku długości całej próbki (100 %) do procentu długości poszczególnych sekcji: A (10 cm) tj. 25% wagi całej próbki przed doświadczeniem, B (15 cm) tj. 37,5 % oraz C (15 cm) tj. 37% całej próbki przed doświadczeniem. Końcowy efekt obliczeń przedstawiają tabele 3 i 4 dla powierzchni zoomelioracyjnej ZI, tabela 6 dla powierzchni zoomelioracyjnej ZII oraz tabela 8 dla gospodarczego drzewostanu sosnowego (pow. „16”).

Wyniki

Powierzchnia zoomelioracyjna z 1973 roku (ZI)

Na powierzchni ZI działki o tym samym sposobie nawożenia nie mają zbliżonych do siebie ubytków ciężarów próbek a liczba ich jest duża (tab. 1).

Z tego względu połączono działki o wzajemnych podobieństwach zabiegów nawożenia, czyli o spodziewanych podobnych ich rolach w następujące grupy działek (tab. 2, rys. 3).

W tym układzie podziału działek (tab. 2, rys. 3) największe ubytki ciężaru zanotowano w grupie korowej (B + G) a następnie trocinowo-korowej (C + D). Najmniejsze natomiast w grupie trocinowej (F + H). Grupa kontrolna (A + E) zajęła miejsce pośrednie.

W porównaniu do powierzchni kontrolnej „16” w gospodarczym drzewostanie sosnowym (tab. 2 i 7, rys. 3) stwierdza się największe ubytki ciężaru próbek w grupie korowej (B + G) nieco mniejsze w grupie trocinowo – korowej (C + D) a następnie kontrolnej (A + E) i znacząco mniejsze w grupie trocinowej (F + H).

W układzie sekcyjnym (tab. 4, rys. 4) we wszystkich grupach działek najmniejsze ubytki ciężaru zanotowano w sekcjach A (1-10 cm) pośrednie w sekcjach C (25 - 40 cm) a największe w sekcjach B (10 - 25 cm). W sekcji A (1 – 10 cm) zanotowano największe ubytki ciężaru w grupie kontrolnej (A + E) i korowej (B + G). W sekcji B (10 - 25 cm) największe ubytki ciężaru zanotowano w grupie kontrolnej (A + E), trocinowo-korowej (C + D) a

najmniejsze w grupie trocinowej (F + H). Natomiast w sekcji C (25 - 40 cm) największe ubytki ciężaru zanotowano w grupie korowej (B + G) a najmniejsze także w grupie trocinowej (F + H).

W układzie sekcyjnym (tab. 4 i 8, rys. 4) w sekcji A (0-10 cm) zbliżone choć nieco większe ubytki ciężaru próbek niż na pow. „16” zanotowano w grupie kontrolnej (A + E) i korowej (B + G) a mniejsze w grupie trocinowej (F + H) i trocinowo-korowej (C + D). W sekcji B (10 - 25 cm) ubytki ciężaru na wszystkich grupach działek pow. ZI są mniejsze niż w gospodarczym drzewostanie sosnowym pow. „16”. Natomiast w sekcji C (25 - 40 cm) większe ubytki ciężaru od pow. 16 są w grupie korowej (B + G) i trocinowo-korowej (C + D) a najmniejsze w kontrolnej (A + E) i trocinowej (F + H).

Powierzchnia zoomelioracyjna z 1976 roku (ZII)

Najmniejsze ubytki ciężaru całych próbek (tab. 5, rys. 5) odnotowano na działkach C₁₋₆ (kora + trociny), największe natomiast na działkach A₁₋₆ (po łubinie). Działki kontrolne (B₁₋₆) zajęły miejsce pośrednie.

Na działkach pow. „16” (tab. 5 i 7, rys. 5) są zdecydowanie mniejsze ubytki ciężaru próbek niż na działkach po łubinie (A₁₋₆) i nieco mniejsze niż na kontroli (B₁₋₆), natomiast zdecydowanie większe niż w wariancie z korą i trocinami (C₁₋₆).

W układzie sekcyjnym (tab. 6, rys. 6) najmniejsze ubytki zanotowano w wariancie kora + trociny (C₁₋₆) i to zarówno w warstwie powierzchniowo-ściółkowej – sekcja A (0 - 10 cm), jak i w głębszych warstwach gleby. Czym sekcje głębiej znajdują się w glebie tym ich ubytki w porównaniu do pozostałych wariantów po łubinie (A₁₋₆) i kontroli (B₁₋₆) są mniejsze. Największe w układzie sekcyjnym ubytki ciężaru próbek zanotowano w wariancie po łubinie (A₁₋₆) i to we wszystkich sekcjach. Z tym, że największe w sekcji C (25 – 40 cm) niż B (10 – 25 cm). Większy ubytek w sekcji C (25 – 40 cm) niż w sekcji B (10 – 25 cm) zanotowano również na wariancie kontrolnym (B₁₋₆) lecz o mniejszym ubytku ciężaru. Natomiast na działkach z korą i trocinami (C₁₋₆) większe ubytki ciężaru są w sekcji B (10 – 25 cm) i w sekcji C (25 – 40 cm) lecz o znacznie mniejszych ubytkach ciężaru niż na działkach z łubinem (A₁₋₆) i kontrolą (B₁₋₆).

W układzie sekcyjnym na działkach pow. „16” (tab. 6 i 8, rys. 6) ubytki ciężaru w sekcji A (0 – 10 cm) są mniejsze niż na tej sekcji po łubinie (A₁₋₆) a większe niż na kontroli (B₁₋₆) i działkach kora + trociny (C₁₋₆). Podobną sytuację stwierdza się w sekcji B (10 – 25 cm). Natomiast w sekcji C (25 - 40 cm) ubytki ciężaru na pow. „16” są zdecydowanie

mniejsze niż na wariancie po łubinie (A_{1-6}) oraz też mniejsze niż na wariancie kontrolnym (B_{1-6}) a większe tylko od ubytku ciężaru na wariancie kora + trociny (C_{1-6}).

Kontrola na pow. „16”, ZI i ZII

Na wariancie kontrolnym (B_{1-6}) pow. ZII, na którym przygotowano glebę stosując pełną orkę zauważono większe ubytki ciężaru całych próbek niż na pow. kontrolnej ZI i „16”, gdzie glebę przygotowano w sposób tradycyjny, z tym, że w porównaniu do kontroli pow. „16” różnica ubytku jest minimalna, a do kontroli pow. ZI znacząca (tab. 7, 2 i 5, rys. 3 i 5).

W układzie sekcyjnym na wariantach kontrolnych w sekcji A (0-10 cm) zdecydowanie największe ubytki ciężaru stwierdzono na pow. ZI a następnie na kontroli pow. „16” na których glebę przygotowano w sposób tradycyjny. W sekcji B (10-25 cm) także większe ubytki ciężaru odnotowano na kontroli pow. „16” i ZI o przygotowaniu gleby w sposób tradycyjny, z tym, że większe stwierdzono na pow. „16”. W sekcji C (25-40 cm) zauważa się sytuację odwrotną, zdecydowanie większe ubytki ciężaru odnotowuje się na kontroli pow. ZII, gdzie przygotowując glebę zastosowano pełną orkę, a najmniejsze na kontroli pow. ZI (tab. 8, 4 i 6, rys. 4 i 6).

Kora + trociny pow. ZI i ZII

Na działkach nawożonych korą i trocinami, gdzie przy przygotowaniu gleby zastosowano pełną orkę stwierdzono zdecydowanie mniejsze ubytki ciężaru całych próbek niż na działkach, na których przygotowano glebę w sposób tradycyjny pow. ZI (tab. 2 i 5, rys. 3 i 5).

W układzie sekcyjnym tylko w sekcji A (0-10 cm) nieco większe ubytki ciężaru stwierdzono na pow. ZII z pełną orką. Natomiast w sekcji B (10-25 cm) i C (25-40 cm), gdzie przygotowanie gleby odbyło się w sposób tradycyjny większe ubytki ciężaru są na pow. ZI, przy czym w sekcji B (10-25 cm) większe (tab. 4 i 6, rys. 4 i 6).

Dyskusja

Na grupie działek nawożonych korą w aktualnie przeprowadzonych badaniach tj. po 38-39 latach od zabiegu zoomelioracyjnego na pow. ZI stwierdzono największe ubytki ciężaru całych próbek drewna niż na innych wariantach nawożenia i kontroli. W układzie

sekcyjnym we wszystkich sekcjach ubytki ciężaru próbek są duże, a zdecydowanie największe w sekcji C (25-40 cm). Należy przypuszczać, że kora jako substrat nawożenia ze względu na budowę chemiczną jest stosunkowo słabo rozkładalna i po 9-10 latach, kiedy były prowadzone pierwsze badania jeszcze się nie „rozłożyła” i dlatego nie stworzyła dobrych warunków do rozwoju mikroorganizmów przez co była mniejsza ich aktywność lignocelulolityczna. Natomiast po 38-39 latach od zabiegu zoomelioracyjnego nastąpił zauważalny proces rozkładu kory, który przyczynił się do stworzenia lepszej bazy pokarmowej dla mikroorganizmów wpływającej na ich wzmożony rozwój i aktywność.

W aktualnie prowadzonych badaniach na grupie działek nawożonych trocinami na pow. ZI zanotowano zarówno najmniejszy ubytek ciężaru całych próbek, jak i wszystkich sekcji A (0-10 cm), B (10-25 cm) i C (25-40 cm) w porównaniu do innych wariantów nawożenia i kontroli. Gdy w poprzednich badaniach ubytek ciężaru próbek w grupie działek z trocinami był największy.

Można postawić hipotezę, że po 9-10 latach od zabiegu zoomelioracyjnego trociny okazały się idealną pożywką lignocelulolityczną dla mikroorganizmów, przyczyniając się do ich prawidłowego rozwoju i aktywności, zarówno w warstwie powierzchniowo-ściółkowej, jak i w głębszych warstwach gleby. Natomiast po 38-39 letnim okresie od zabiegu zoomelioracyjnego należy przypuszczać, że baza pokarmowa, jaką były trociny dla mikroorganizmów zdecydowanie zmniejszyła się. Dlatego w grupie trocinowej ubytki ciężaru próbek we wszystkich sekcjach są najmniejsze w porównaniu do pozostałych grup działek na pow. ZI, oprócz sekcji A (0-10 cm) trocinowo-korowej, która nie ma istotnego znaczenia, ponieważ znajduje się nad powierzchnią gleby.

Wnioski

1. Na powierzchniach nawożonych korą (ZI) po 39 latach ubytek ciężaru całych próbek był największy w porównaniu z innymi wariantami nawożenia i kontroli. W układzie sekcyjnym we wszystkich sekcjach ubytek ciężaru był duży, największy zaś w sekcji najgłębiej umieszczonej w glebie. Natomiast po 10 latach od zabiegu zoomelioracyjnego ubytki ciężaru na pow. ZI były najmniejsze w porównaniu do innych wariantów nawożenia, oprócz kontroli.
2. Na powierzchniach nawożonych trocinami (ZI) po 39 latach ubytek ciężaru całych próbek, jak i poszczególnych sekcji jest najmniejszy w porównaniu do innych

wariantów nawożenia i kontroli. Natomiast po 10 latach od zabiegu zoomelioracyjnego ubytki ciężaru były największe w porównaniu do innych wariantów nawożenia i kontroli.

3. Po 39 latach na powierzchniach nawożonych trocinami i korą, na których zastosowano orkę pełną (pow. ZII) uzyskano mniejsze ubytki ciężaru próbek niż na powierzchniach o tradycyjnym sposobie przygotowania gleby (ZI), z tym, że większe ubytki ciężaru stwierdzono w płytszej warstwie gleby w sekcji 10-25 cm.
4. W obecnie prowadzonych badaniach na wariantcie nawożonym łubinem stwierdzono największe ubytki ciężaru całych próbek, jak i w poszczególnych sekcjach w stosunku do innych wariantów nawożenia i kontroli na pow. ZII. W poprzednim okresie badań w ww. wariantcie nawożenia ubytki ciężaru tak całych próbek, jak i w poszczególnych sekcjach były najmniejsze w stosunku do innych wariantów nawożenia i kontroli.
5. Na wariantach kontrolnych największe ubytki ciężaru całych próbek odnotowano na pow. ZII, niewiele mniejsze na pow. „16”. Znacząco mniejsze ubytki wystąpiły na pow. ZI. Większe ubytki ciężaru stwierdzono w sekcji 10-25 cm przy przygotowaniu gleby w sposób tradycyjny (pow. „16” i ZI) z tym, że na pow. „16” były największe. Natomiast na pow. ZII, na której zastosowano pełną orkę największe ubytki zarejestrowano w sekcji 25-40 cm, a więc na większych głębokościach.
6. Największą aktywność lignocelulolityczną mikroorganizmów a więc najwyższe ubytki ciężaru próbek drewna, tak całych, jak i we wszystkich sekcjach stwierdzono na wariantcie po łubinowaniu na powierzchni zoomelioracyjnej Z II przy sposobie przygotowania gleby z zastosowaniem pełnej orki.
Natomiast na powierzchni zoomelioracyjnej Z I największe ubytki ciężaru całych próbek drewna oraz w układzie sekcyjnym w sekcji 25-40 cm zarejestrowano na wariantcie korowym. W pozostałych sekcjach ubytki te były również duże. Na tej powierzchni glebę przygotowano w sposób tradycyjny.

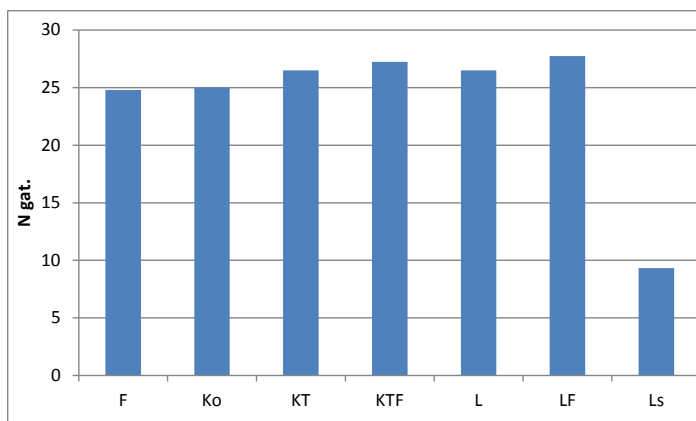
3.4. Badania florystyczne

Metodyka

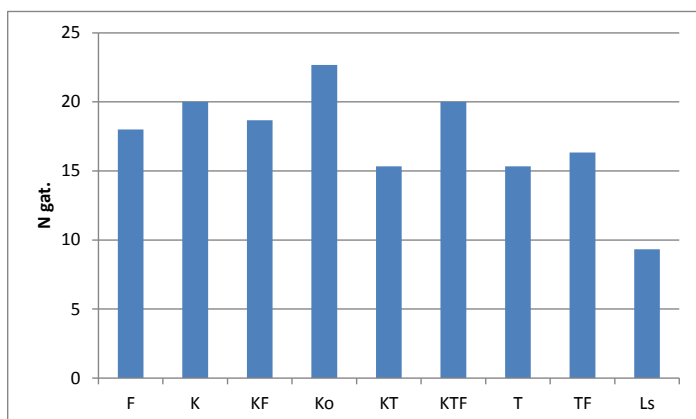
Badaniami objęto 2 powierzchnie, na których przeprowadzono zabiegi rekultywacyjne (Z – I, Z – II) i jedną powierzchnię kontrolną założoną na gruncie leśnym (Ls). Na powierzchni zoomelioracyjnej I doświadczenie składało się z dwóch części, jednej po łubinie i drugiej po ziemniakach. Na każdej powierzchni wyznaczone były działki z różnymi wariantami doświadczenia. Na wszystkich działkach wykonano zdjęcia fitosocjologiczne. Rośliny były opisywane na całej powierzchni działki, notowano obecność i stopień pokrycia przez poszczególne gatunki. Pokrycie zaokrąglano do najbliższych 10% (10, 20, 30, itd.). Dla gatunków o stopniu pokrycia poniżej 5% przyjmowano wartość 0,1. Uzyskany materiał zestawiono w tabeli florystycznej. Analizy przeprowadzono oddzielnie dla każdej z powierzchni, Z – I po ziemniakach, Z – I po łubinie, Z – II porównując uzyskane wartości do powierzchni kontrolnej. Przeanalizowano następujące charakterystyki: bogactwo gatunkowe, udział gatunków z różnych klas fitosocjologicznych, pokrycie warstwy drzew, runa, i mszystej, pokrycie przez borówkę czernicę. Przeprowadzono analizę głównych składowych (PCA) celem uporządkowania wszystkich wariantów doświadczenia oraz kanoniczną analizę korespondencji (CCA) w celu określenia wpływu warunków glebowych na skład gatunkowy roślin w poszczególnych wariantach doświadczenia. Istotność różnic między średnimi określono za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji.

Wyniki

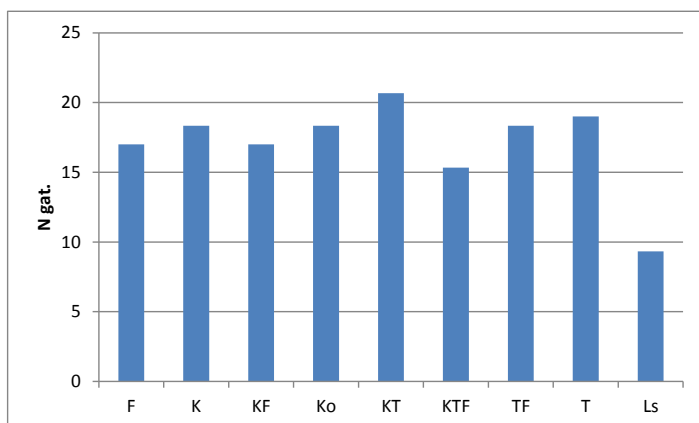
Na wszystkich analizowanych powierzchniach odnotowano występowanie 88 taksonów roślin sumując dane oddzielnie dla każdej warstwy fitocenozy. Powierzchnie porolne, niezależnie od wariantu doświadczenia, a charakteryzowały się większym bogactwem gatunkowym niż powierzchnia kontrolna założona na gruncie leśnym (ryc. 1). Na wszystkich powierzchniach (Z - I po ziemniakach, Z - I po łubinie i Z - II) różnice te były istotne statystycznie (ryc. 1).



Z - II $F = 14,03$ $p < 0,0000$



Z - I po łubinie, $F = 7,69$ $p = 0,0002$



Z - I po ziemniakach, $F = 3,26$ $p = 0,0177$

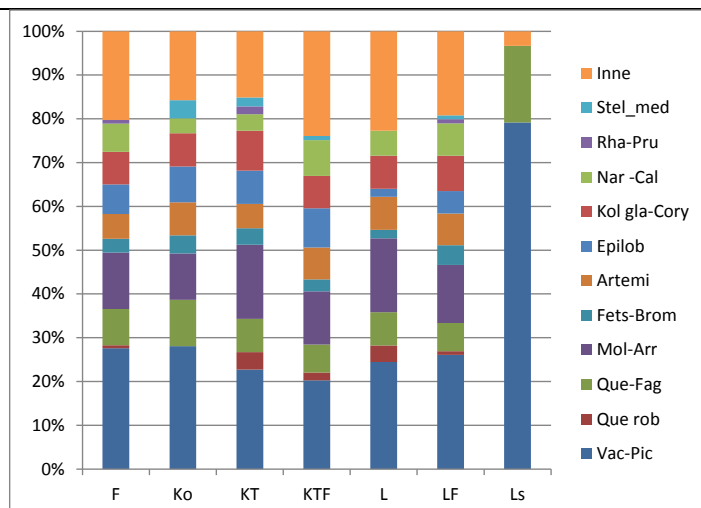
Ryc. 1. Średnia liczba gatunków na poszczególnych powierzchniach w kolejnych etapach doświadczenia. F – fauna, Ko – kontrola, KT – kora + trociny, KTF – kora + trociny + fauna, L – łubin, LF – łubin + fauna, Ls – kontrola na gruncie leśnym, K – kora, KF – kora + fauna, T – trociny, TF – trociny + fauna.

Większe różnice między wariantami doświadczeń na poszczególnych działkach widoczne były na powierzchni zoomelioracyjnej I. Na wariantach powierzchni zoomelioracyjnej II

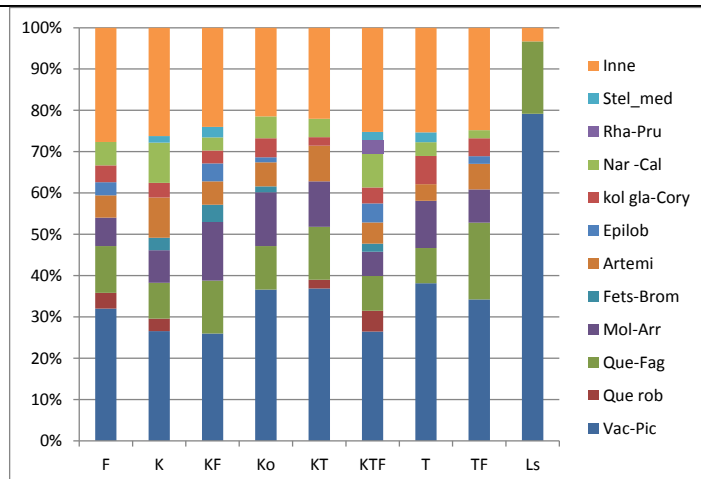
średnia liczba gatunków była bardziej wyrównana a różnice między wariantami zabiegów melioracyjnych mniejsze.

Istotne różnice dotyczyły również składu gatunkowego roślin runa na powierzchniach porolnych i leśnych (ryc. 2). Na kontrolnej powierzchni założonej na gruncie leśnym występowały gatunki związane z borami (Klasa *Vaccinio-Picetea*) oraz gatunki związane z lasami (Klasa *Quercus – Fagetea*) były to głównie siewki buka i dęba. Na powierzchniach porolnych występowały licznie gatunki związane z mineralnymi łąkami (klasa *Mollinio – Arrhenatheretea*), porębowych (klasa *Ephibietea*) ciepłolubnych muraw o charakterze stepowym (klasa *Festuco – Brometea*), wrzosowisk (klasa *Nardo-Callunetea*), chwastów upraw rolniczych (klasa *Artemisietea vulgaris*). Gatunki borowe na tych powierzchniach nie przekraczały 37% udziału, podczas gdy na powierzchni leśnej sięgały poziomu 80%. Różnice między udziałem gatunków borowych na powierzchniach porolnych i powierzchni kontrolnej na gruncie leśnym były istotne statystycznie (Z - I po łubinie $F = 25,14$ $p < 0,0000$, Z - I po ziemniakach $F = 15,02$ $p < 0,0000$, Z - II $F = 35,94$ $p < 0,0000$). Nieco wyższy udział gatunków borowych można zauważyć na powierzchni zoomelioracyjnej I, ale nie jest to istotne statystycznie.

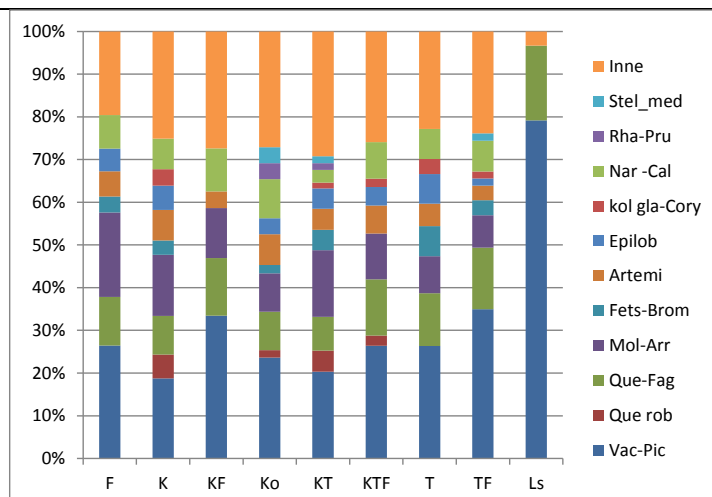
Spośród gatunków stwierdzonych na działce kontrolnej na gruncie leśnym, dwa taksony nie pojawiły się na żadnej z powierzchni na gruntach porolnych. Były to wrzos (*Calluna vulgaris*) i porosty z rodzaju chrobotek (*Cladonia sp.*). Można też wyróżnić gatunki, które cechowały się wysoką frekwencją na powierzchni leśnej a niską na powierzchniach porolnych. Do tych gatunków należały: borówka brusznica (*Vaccinium vitis-idaea*) frekwencja na leśnych 100% na porolnych 3%, borówka czernica (*Vaccinium myrtillus*) frekwencja na leśnych 100%, na porolnych 66%, widłoząb kędzierzawy (*Dicranum polysetum*) frekwencja na leśnych 67% na porolnych 15%, rokieta Szrebera (*Pleurozium schreberi*) frekwencja na leśnych 100% na porolnych 87%. Istotne różnice można stwierdzić w pokryciu borówki czernicy, wszystkie powierzchnie melioracyjne, we wszystkich wariantach doświadczenia różniły się od powierzchni kontrolnej założonej na gruncie leśnym (ryc. 3).



Z - II

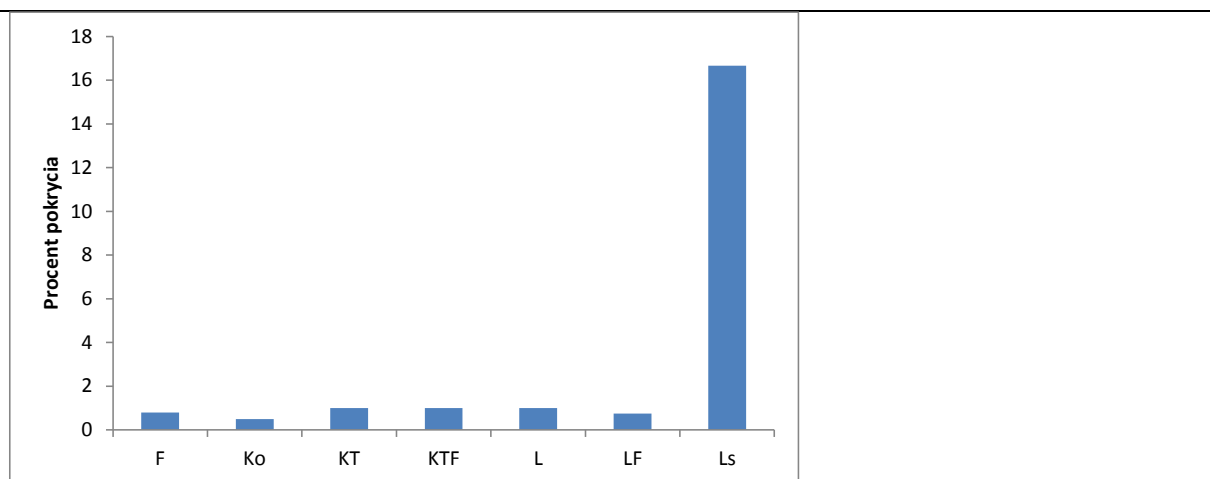


Z - I po łubinie

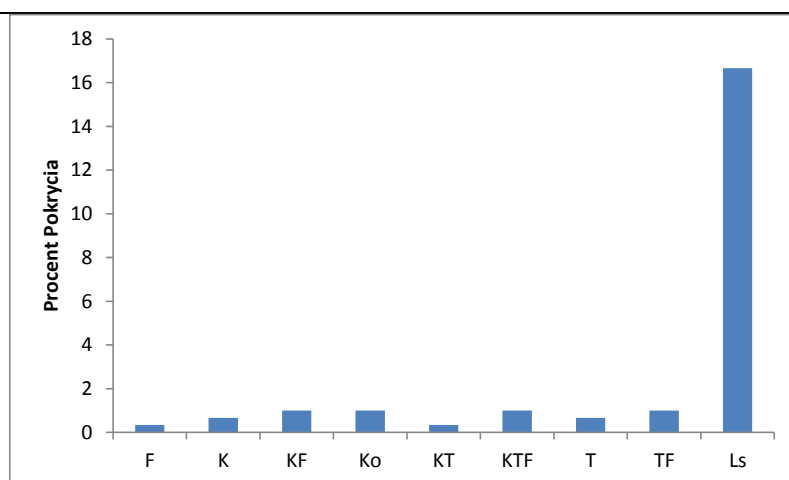


Z - I po ziemniakach

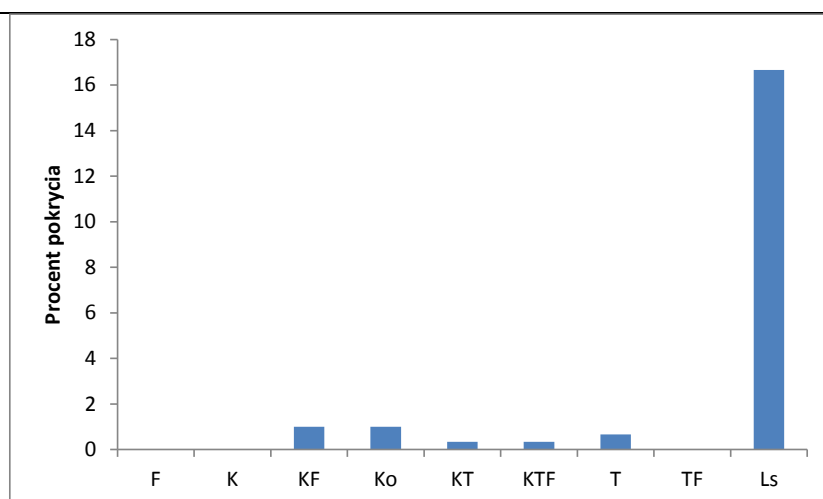
Ryc.2. Udział gatunków typowych dla różnych klas fitosocjologicznych na powierzchniach zoomielioracyjnych i kontrolnej. F – fauna, Ko – kontrola, KT – kora + trociny, KTF – kora + trociny + fauna, L – łubin, LF – łubin + fauna, Ls – kontrola na gruncie leśnym, K – kora, KF – kora + fauna, T – trociny, TF – trociny + fauna.



Z - II F = 6,03 p = 0,0022



Z - I po łubinie F = 5,65 p = 0,0011



Z - I po ziemniakach F = 5,95 p = 0,0009

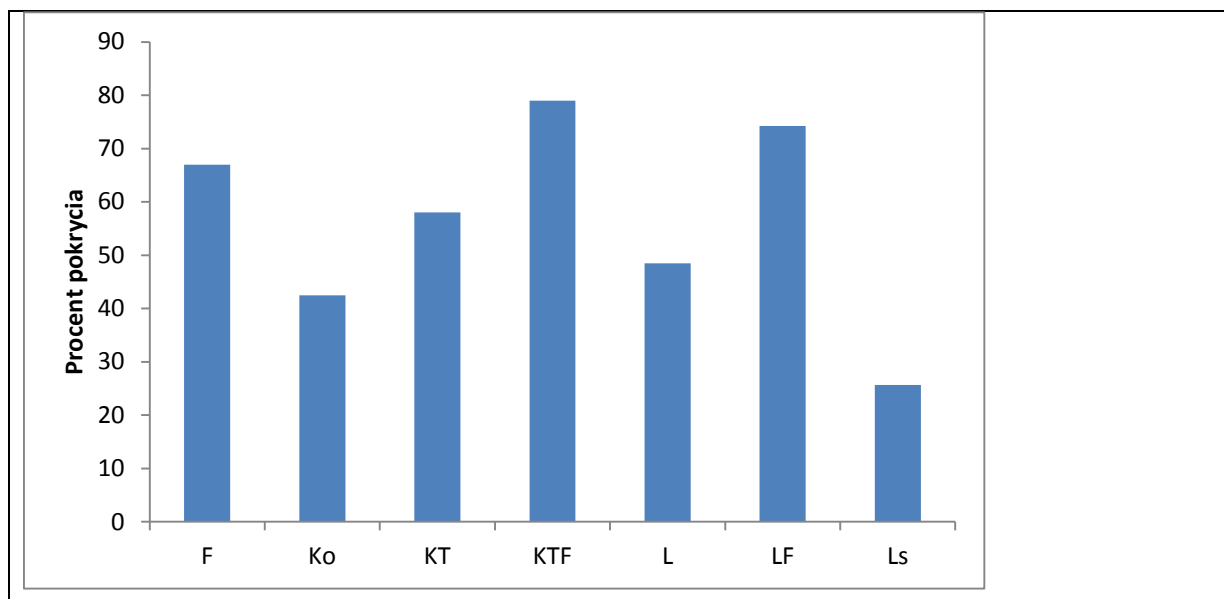
Ryc.3. Pokrycie przez borówkę czarnicę na poszczególnych powierzchniach zoomeliacyjnych i powierzchni kontrolnej. F – fauna, Ko – kontrola, KT – kora + trociny, KTF – kora + trociny + fauna, L – łubin, LF – łubin + fauna, Ls – kontrola na gruncie leśnym, K – kora, KF – kora + fauna, T – trociny, TF – trociny + fauna.

Przeanalizowano sumaryczne pokrycie wszystkich gatunków występujących w poszczególnych warstwach zbiorowiska. W przypadku warstwy drzewostanu różnice między wariantami na kolejnych powierzchniach były nieistotne statystycznie. Niemniej na powierzchni zoomelioracyjnej II dało się zauważyć pewną prawidłowość. Powierzchnie położone w północno zachodniej części miały największe pokrycie warstwy drzewostanu, na powierzchniach położonych w części południowo wschodniej pokrycie było najniższe. (ryc. 4). Daje się zaobserwować stopniowy spadek pokrycia przechodzący w kierunku od Płn. – Zach. do Płd. - Wsch. Wydaje się że istnieje wyraźny gradient na tych powierzchniach związany być może z rozprzestrzenianiem się infekcji patogenów korzeni od strony południowego wschodu.

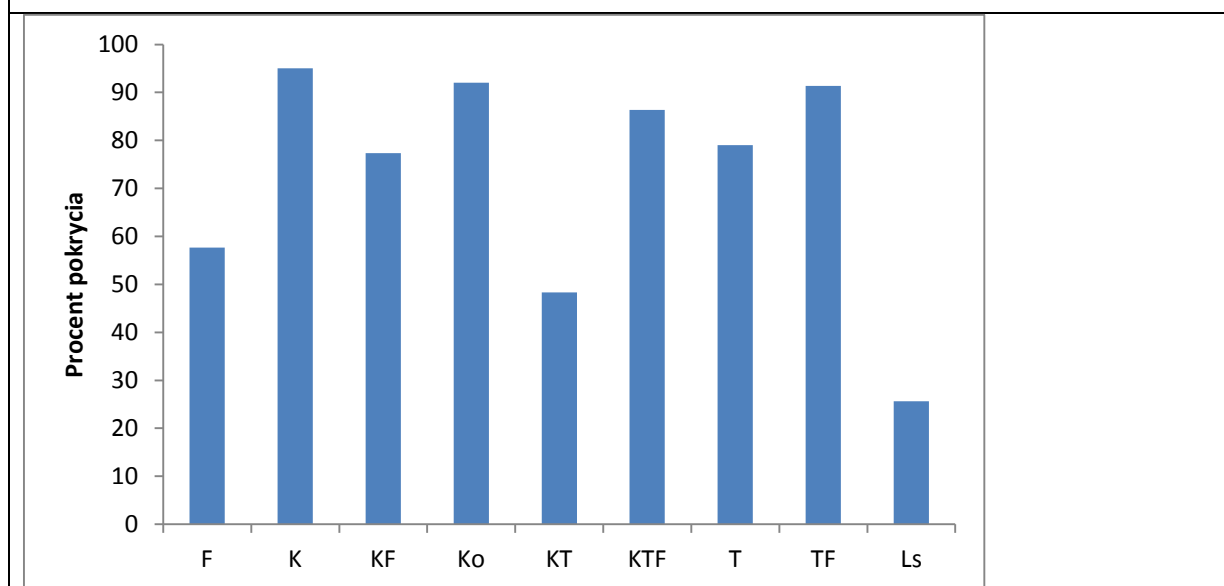
90 LF	90 KTF	90 KT	80 Ko	80 F	70 LF
90 F	90 LF	90 L	80 KT	70 KTF	70 F
80 KTF	80 F	80 Ko	70 L	70 LF	70 KTF

Ryc. 4. Kartodiagram przedstawiający pokrycie przez warstwę drzewostanu na powierzchni zoomelioracyjnej II. F – fauna, Ko – kontrola, KT – kora + trociny, KTF – kora + trociny + fauna, L – łubin, LF – łubin + fauna.

Różnice w pokryciu warstwy runa były istotne statystycznie na dwóch powierzchniach: zoomelioracyjnej II i zomelioracyjnej I po ziemniakach (ryc.5). Na obu powierzchniach można było wyróżnić jednorodną grupę wariantów doświadczania obejmujące leśną powierzchnię kontrolną i niektóre z wariantów rekultywacji. Na powierzchni zoomelioracyjnej II były to: wariant kontrolny na gruncie porolnym, wariant z łubinem i wariant z korą i trocinami oraz powierzchnia kontrolna na gruncie leśnym. Na powierzchni zoomelioracyjnej I po ziemniakach były to następujące warianty: kontrolna na gruncie leśnym, wariant z fauną, wariant z korą i trocinami.



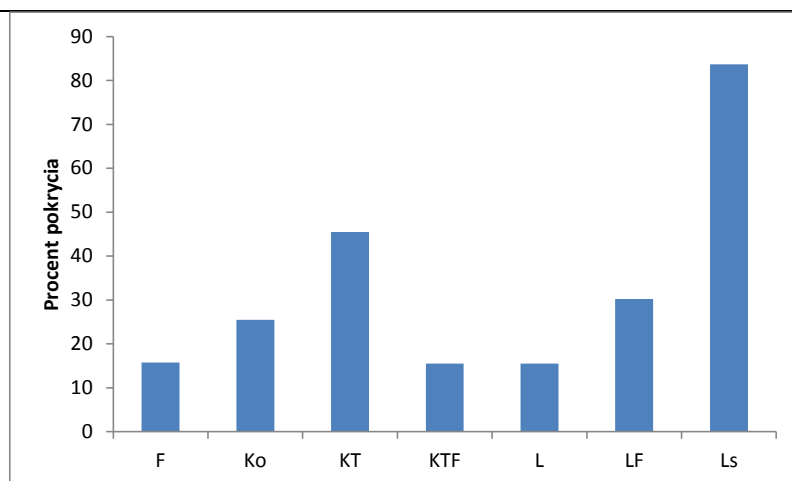
Z - II F = 2,99 p = 0,0427



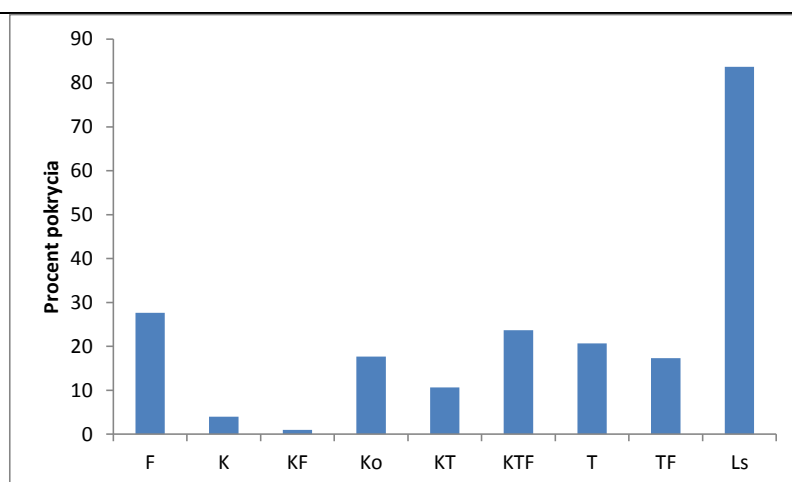
Z - I po ziemniakach F = 3,28 p = 0,0173

Ryc. 5. Procent pokrycia przez warstwę runa na powierzchniach zoomelioracyjnych i kontrolnej na gruncie leśnym. F – fauna, Ko – kontrola, KT – kora + trociny, KTF – kora + trociny + fauna, L – łubin, LF – łubin + fauna, Ls – kontrola na gruncie leśnym, K – kora, KF – kora + fauna, T – trociny, TF – trociny + fauna.

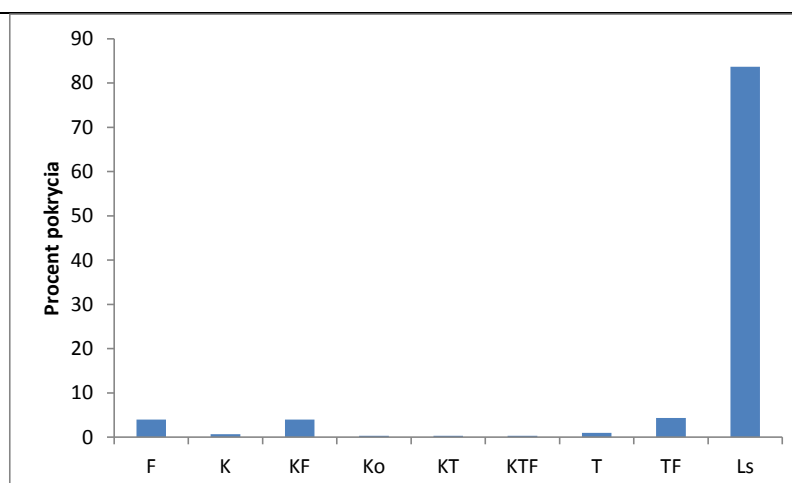
W przypadku warstwy mchów różnice były istotne dla wszystkich trzech powierzchni rekultywacyjnych (ryc. 6). Pokrycie warstwy mszystej było istotnie wyższe niż na wszystkich wariantach zabiegów rekultywacyjnych dla każdej z trzech powierzchni.



Z - II F = 5,84 P = 0,0031



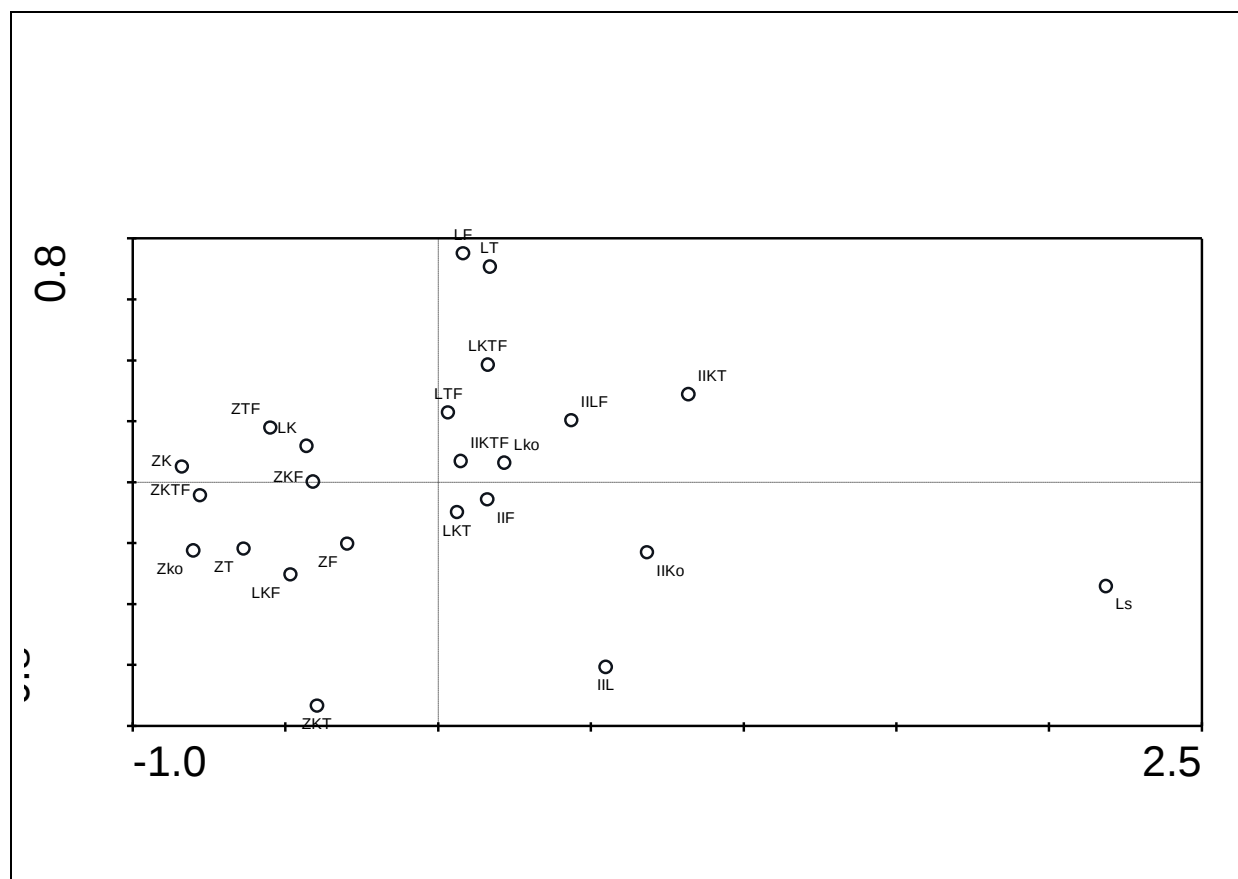
Z - I po łubinie F = 3,24 p = 0,0181



Z - I po ziemniakach F = 96,42 p < 0,0000

Ryc. 6. Pokrycie przez warstwę mchów na powierzchniach zoomelioracyjnych i powierzchni kontrolnej. F – fauna, Ko – kontrola, KT – kora + trociny, KTF – kora + trociny + fauna, L – łubin, LF – łubin + fauna, Ls – kontrola na gruncie leśnym, K – kora, KF – kora + fauna, T – trociny, TF – trociny + fauna.

Celem uchwycenia całego spektrum zmienności badanych powierzchni i wariantów poszczególnych doświadczeń zastosowano metodę analizy głównych składowych (PCA). Wyniki tej analizy przedstawia ryc. 7.



Ryc. 7. Uporządkowanie badanych wariantów doświadczenia zoomelioracyjnego względem głównych osi składowych analizy PCA.

Powierzchnia Z – I po ziemniakach: ZF – fauna, ZK – kora, ZKF – kora + fauna, ZKo – kontrola, ZKT – kora + trociny, ZKTF – kora + trociny + fauna, ZT – trociny, ZTF – trociny + fauna.

Powierzchnia Z – I po łubinie: LF – fauna, LK – kora, LKF – kora + fauna, LKo – kontrola, LKT – kora + trociny, LKTF – kora + trociny + fauna, LT – trociny, LTF – trociny + fauna.

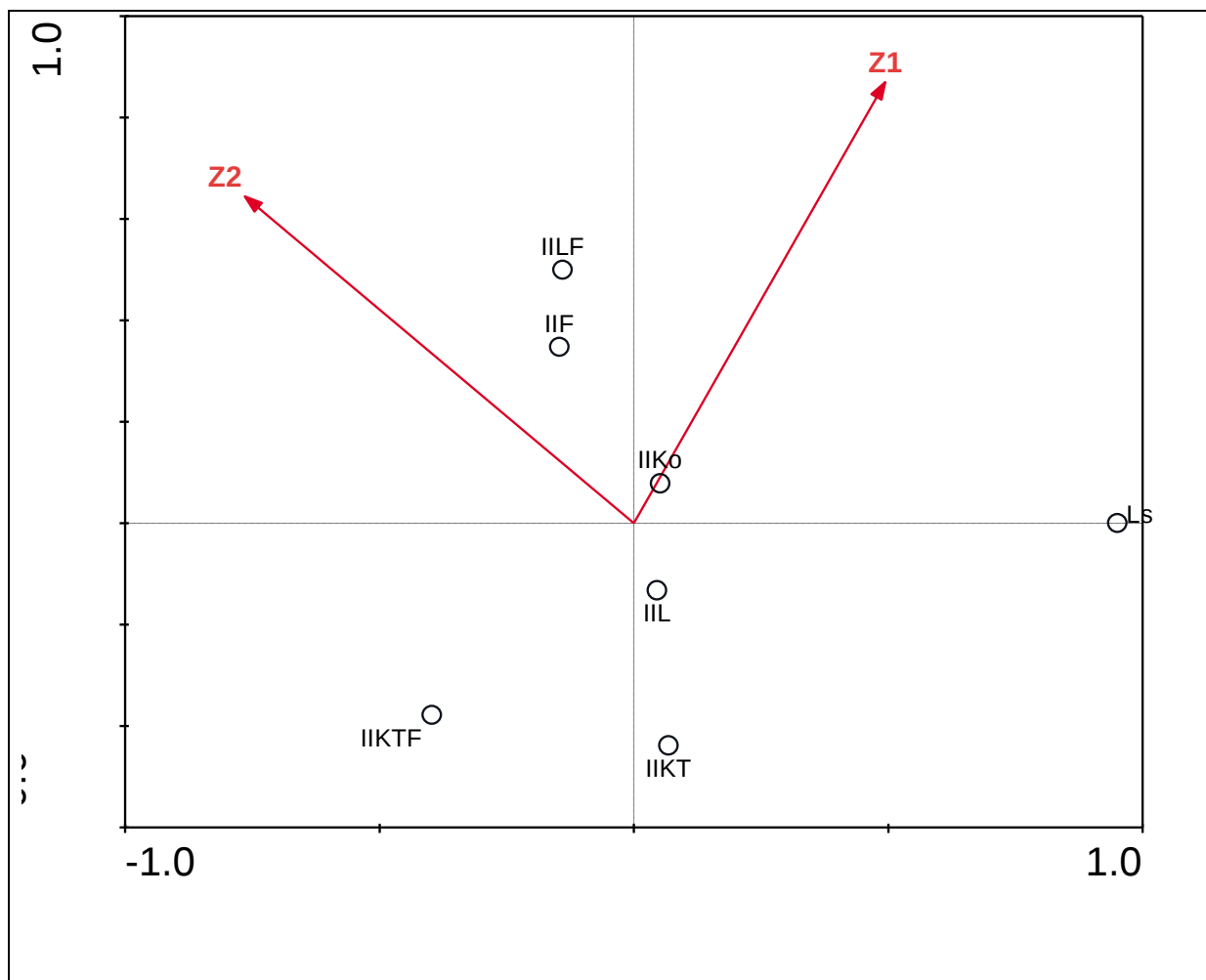
Powierzchnia Z – II: IIF – fauna, IIL – łubin, IILF – łubin + fauna, IILK – kontrola, IILKTF – kora + trociny + fauna, IILKTF – kora + trociny + fauna, IILKTF – kora + trociny + fauna, IILKTF – kora + trociny + fauna.

Ls – kontrola na gruncie leśnym

Na przedstawionym diagramie poszczególne powierzchnie doświadczalne tworzą wyraźne skupienia punktów. Od lewej są to kolejno: powierzchnia zoomelioracyjna I po ziemniakach, powierzchnia zoomelioracyjna I po łubinie, powierzchnia zoomelioracyjna II, powierzchnia kontrolna na gruncie leśnym. Wyraźny jest wysoki stopień odmienności między działkami na

gruncie leśnym i porolnym. Najbardziej zbliżone do działek leśnych są warianty kora i trociny oraz kontrola na powierzchni zoomelioracyjnej II.

Celem sprawdzania wpływu chemizmu gleby zastosowano kanoniczną analizę korespondencji (CCA). Większość charakterystyk gleby jest silnie wewnętrznie skorelowana. Z tego powodu zredukowano liczbę zmiennych za pomocą analizy głównych składowych (PCA). Uzyskano dwie zmienne syntetyczne, które łącznie wyjaśniają 92,72% zmienności wszystkich zmiennych. Zmienna pierwsza (Z1 – „kwaśność”) obejmuje kwasowość wymienna, kwasowość hydrolityczną, glin wymienny i stosunek glinu do magnezu, stosunek węgla do azotu, oraz zawartość sodu. Druga zmienna (Z2 – „zasadowość”) obejmuje zawartość węgla, próchnicy, azotu, wapnia, magnezu, potasu, pojemność sorpcyjną i sumę kationów zasadowych. Analiza CCA wskazuje że zróżnicowanie występowania i pokrycia roślin dla poszczególnych wariantów rekultywacji na powierzchni zoomelioracyjnej II nie ma związku z charakterystyką gleby. Osie zmiennych warunków glebowych (Z1 i Z2) są ustawione mniej więcej pod kątem 45° do głównych osi uporządkowania poszczególnych wariantów doświadczenia (Rys. 8).



Ryc. 8. Uporządkowanie wariantów doświadczenia na powierzchni zoomielioracyjnej II i głównych składowych charakteryzujących warunki glebowe. Z1 – „kwaśność”, Z2 – „zasadowość”. IIF – fauna, IIKo – kontrola, IIKT – kora + trociny, IIKTF – kora + trociny + fauna, IIL – łubin, IILF – łubin + fauna, Ls – kontrola na gruncie leśnym,

Dyskusja

Odtwarzanie się kompozycji florystycznej na gruntach porolnych typowej dla gruntów leśnych jest procesem długotrwałym. Faliński (1986) szacował, że proces ten zajmie ok. 140 lat. Badania przeprowadzone na Kurpiach i Mazurach wskazują że wiele roślin nie jest w stanie powrócić na grunty porolne nawet po 230 latach (Matuszkiewicz i in. 2013). Nawet sztuczne wprowadzanie roślin typowych dla lasów nie jest w stanie w znaczący sposób przyspieszyć tego procesu (Baeten i in. 2008). Na obszarze obecnej Francji istotne różnice w składzie gatunkowym runa między polami porzuconymi na początku naszej ery (rok 50 -250 ne.), a gruntami leśnymi są ciągle widoczne (Dupouey i in. 2002). W świetle powyższych badań, wyniki uzyskane po 30 latach od zastosowania zabiegów rekultywacyjnych wskazujące na znaczące różnice między gruntami leśnymi a porolnymi nie zaskakują. Zmiany

runa przypominają te opisane przez Matuszkiewicza (2013). Podobnie, gatunkami najsilniej reagującymi na zmiany siedliska na gruntach porolnych okazały się borówka czernica, borówka brusznica i wrzos. Można też dostrzec pewne różnice. Matuszkiewicz wskazuje na lepszy rozwój warstwy mszaków na gruntach porolnych, podczas gdy na powierzchniach zoomelioracyjnych zaobserwowano odwrotny obraz. Wynika to pewnie z innej grupy wiekowej drzewostanów objętych badaniami w przypadku obu prac. W młodych stadiach, warstwa mszysta nie zdążyła się jeszcze zregenerować, podczas gdy w drzewostanach starszych badanych przez Matuszkiewicza była już w pełni rozwinięta.

Zastanawiający jest brak związku między charakterystyką gleby a zmianami roślinności runa. Większość badaczy uważa różnice glebowe za główny czynnik odpowiadający za tempo rozwoju fitocenozy na gruntach porolnych (Dupouey i in. 2002, Sławski 2007, Schrijver i in. 2011). Przyczyną może być mała zmienność uzyskanych charakterystyk gleby oraz młode stadia rozwojowe zarówno powierzchni poddanych rekultywacji jak i powierzchni kontrolnej. W przypadku objęcia badaniami większego zakresu wiekowego powierzchni a co z tym związanej większej zmienności warunków glebowych, różnice byłyby bardziej wyraźne. Na przykład Sławski (2007) badając serię sukcesyjną rozwijającą się spontanicznie na gruntach porolnych za główne czynniki odpowiadające za rozwój fitocenozy uznał spadek zawartości azotu, wapnia i magnezu oraz wzrost ilości próchnicy.

Niewielkie różnice w uzyskiwanych charakterystykach mogą wskazywać na to, że dodatek kory i trocin na obecnym etapie eksperymentu najlepiej przyspieszył regenerację fitocenozy boru na gruncie porolnym. Obserwowane subtelne różnice (pokrycie warstwy runa, analiza PCA) wymagają jednak potwierdzenia w dalszym toku badań i na obecnym etapie nie mogą być podstawą formułowania stanowczych zaleceń dla praktyki. Wydaje się jednak że zwiększanie ilości martwej materii organicznej w glebie i ściółce jest właściwym kierunkiem przyspieszenia odtworzenia struktur i funkcji ekosystemu leśnego na gruntach porolnych. Najprostszą drogą realizacji tego kierunku działań melioracyjnych może być pozostawienie części zamierających i usuniętych w zabiegach pielęgnacyjnych drzew do naturalnego rozkładu.

Wnioski

1. Wszystkie warianty powierzchni doświadczalnych mających na celu przyspieszenie regeneracji boru sosnowego istotnie różniły się od kontrolnej powierzchni założonej na gruncie leśnym.

2. Powierzchnie porolne są o wiele bogatsze w gatunki niż powierzchnia kontrolna na gruncie leśnym.
3. Udział gatunków charakterystycznych dla borów nie przekracza na gruntach porolnych 37%, podczas gdy na powierzchni kontrolnej jest bliski 80%
4. Gatunkami nie występującymi na gruntach porolnych lub osiągającymi niskie wartości frekwencji i pokrycia są: wrzos, porosty z rodzaju chrobotek, borówka brusznica, borówka czernica, widłoząb kędzierzawy i rokit Szrebera.
5. Powierzchnie porolne charakteryzują się niskim pokryciem przez warstwę mszystą, zwykle dużo poniżej 50%, w porównaniu do powierzchni na gruncie leśnym gdzie wynosi ono ponad 80%
6. Różnice składu gatunkowego i stopnia pokrycia na powierzchniach podanych rekultywacji, i powierzchni kontrolnej nie wykazują związku z chemiczną charakterystyką gleby.

Literatura

- De Schrijver, A., Vesterdal, L., Hansen, K., De Frenne, P., Augusto, L., Achat, D. L., Staelens J., Baeten L., De Keersmaecker L., De Neve S., Verheyen, K. 2012. Four decades of post-agricultural forest development have caused major redistributions of soil phosphorus fractions. *Oecologia*, 169(1), 221-234.
- Dupouey J.L., Dambrine E., Laffite J.D., Moares C. 2002. Irreversible impact of past land use on forest soils and biodiversity. *Ecology* 83: 2978–2984.
- Faliński J.B. 1986. Vegetation dynamics in temperate lowland primeval forests. *Geobotany* 8: 1–537.
- Matuszkiewicz W. 2002. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
- Sławski M. 2007. Spontaniczne odtwarzanie lasu na porzuconych gruntach rolniczych na tle zmian wybranych właściwości gleby. *Przegląd Przyrodniczy* 1/2: 255-277.

3.5. Badania faunistyczne

3.5.1. Collembola,

Metodyka

Powierzchnia doświadczalna Katedry Ochrony Lasu i Ekologii została założona w latach 1976-77 na terenie Nadleśnictwa Niedźwiady. Na poletkach o rozmiarach 20x40 m przed założeniem uprawy wykonano następujące zabiegi rekultywacyjne: wysiew łubinu (Ł), wzbogacenie gleby w materię organiczą w postaci kory i trocin w ilości 250-270 m³/ha (KT), introdukcja fauny (F) (*Proteroiulus fuscus*) oraz warianty mieszane, czyli łubin + fauna (ŁF), kora + trociny + fauna (KTF). W dwóch poletkach kontrolnych nie wykonano żadnych zabiegów (K). Ponadto 9 powierzchni to poletka, na których przygotowanie gleb wykonano orką głęboką a pozostałych 9 orką płytką.

Próby glebowe do odłowu fauny zebrano z 12 poletek reprezentujących wszystkie warianty doświadczenia, po dwa poletka w każdym wariantcie. Do odłowu skoczogonków zastosowano metodę prób glebowych o nienaruszonej strukturze pobieranych metalową armatką glebową o średnicy 5 cm i długości 15 cm. Ze względu na heterogeniczny charakter wierzchnich warstw gleb leśnych pobrano tak zwane próby skumulowane, czyli serie. Jedną serię stanowi pięć rdzeni glebowych długości 15 cm i średnicy 5 cm. W trakcie zbioru prób unika się miejsc takich jak: martwe pnie, pniaki, owocniki grzybów, miejsca pozbawione ściółki w efekcie buchtowania lub wydeptywania.

Próby zbierano przez dwa sezony wegetacyjne w następujących terminach: 27.06.2011 i 29.09.2011 oraz 28.06.2012 i 21.09.2012. Łącznie w roku 2011 i 2012 zebrano 144 serii prób. Dodatkowo, na trzech poletkach w 30-letnim drzewostanie sosnowym na gruncie leśnym, w tych samych terminach zebrano 12 serii prób glebowych. Powierzchnie na gruncie leśnym to zewnętrzna kontrola założonego doświadczenia. Stan epigeiczno-glebowych zgrupowań tych powierzchni stanowił punkt odniesienia przy ocenie stopnia regeneracji fauny na gruntach porolnych.

Pobrane próby glebowe zostały poddane wypłaszaniu za pomocą uproszczonego aparatu Tullgrena a uzyskany materiał faunistyczny zakonserwowany w alkoholu. Oznaczanie skoczogonków wykonano poprzez obserwację przy pomocy mikroskopu stereoskopowego Olympus SZX9 używając powiększenia 20-40x a w przypadku mniejszych okazów, na

podstawie sporządzonych preparatów, używając mikroskopu Zeiss Axiolab wyposażonego w kontrast fazowy (powiększenie 40-100x).

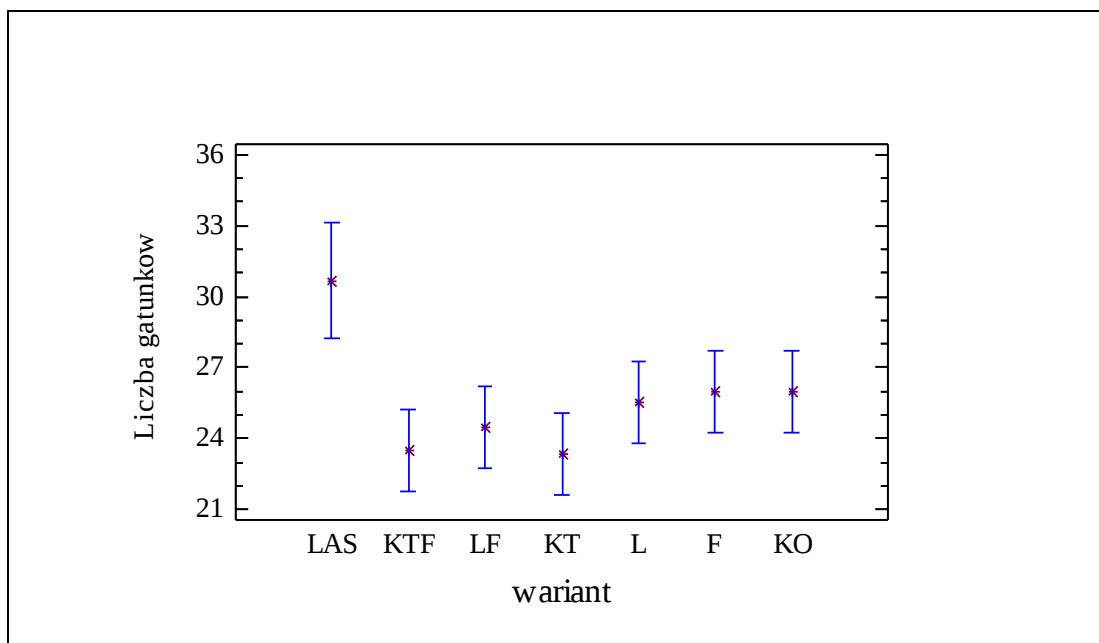
Podstawowe analizy statystyczne wykonano przy pomocy programu Statgraphics Plus 4.1 a do analiz wieloczynnikowych użyto Canoco 4.5.

Wyniki

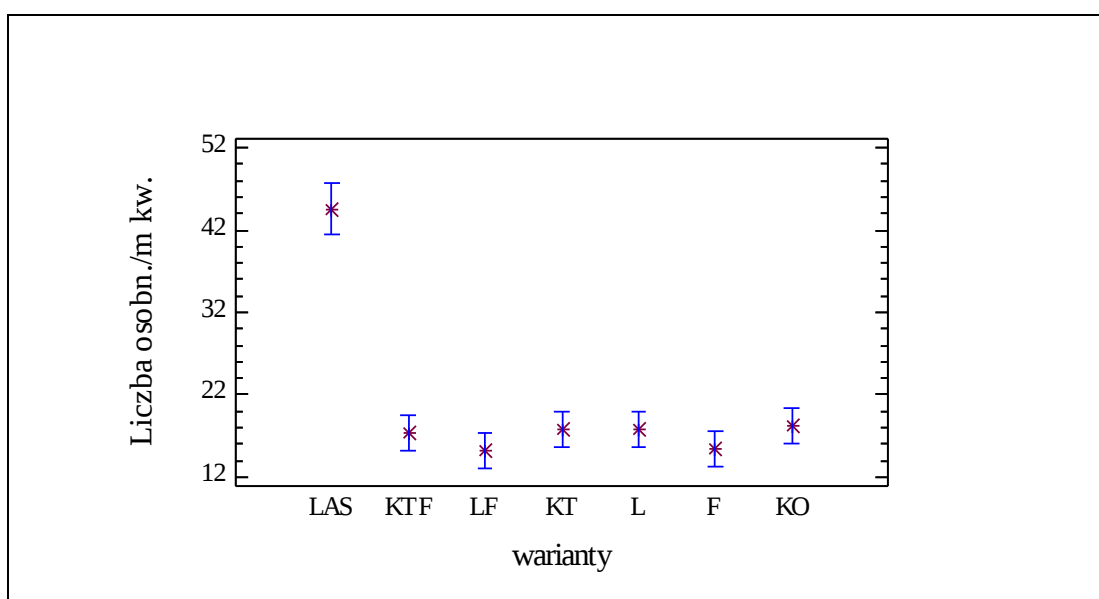
Materiał faunistyczny analizowany w pracy stanowi 29751 egzemplarzy skoczogonków sklasyfikowanych do 81 taksonów, w tym 61 gatunków, 15 rodzajów i 5 taksonów wyższego rzędu (Tab. 1). Do rodzaju lub taksonów wyższego rzędu oznaczono licznie występujące w zgrupowaniach osobniki młodociane.

Średnia liczba taksonów odłowionych w poszczególnych wariantach doświadczenia i kontroli w drzewostanie porolnym wynosi od 23 do 26, natomiast na powierzchni kontrolnej w drzewostanie na gruncie leśnym wartość ta przekracza 30 (Ryc. 1). Nie ma zatem istotnych różnic między wariantami doświadczenia a stwierdzone bogactwo gatunkowe zgrupowań skoczogonków poletek doświadczalnych jest wyraźnie niższe od bogactwa zgrupowania drzewostanu porównawczego na glebie leśnej.

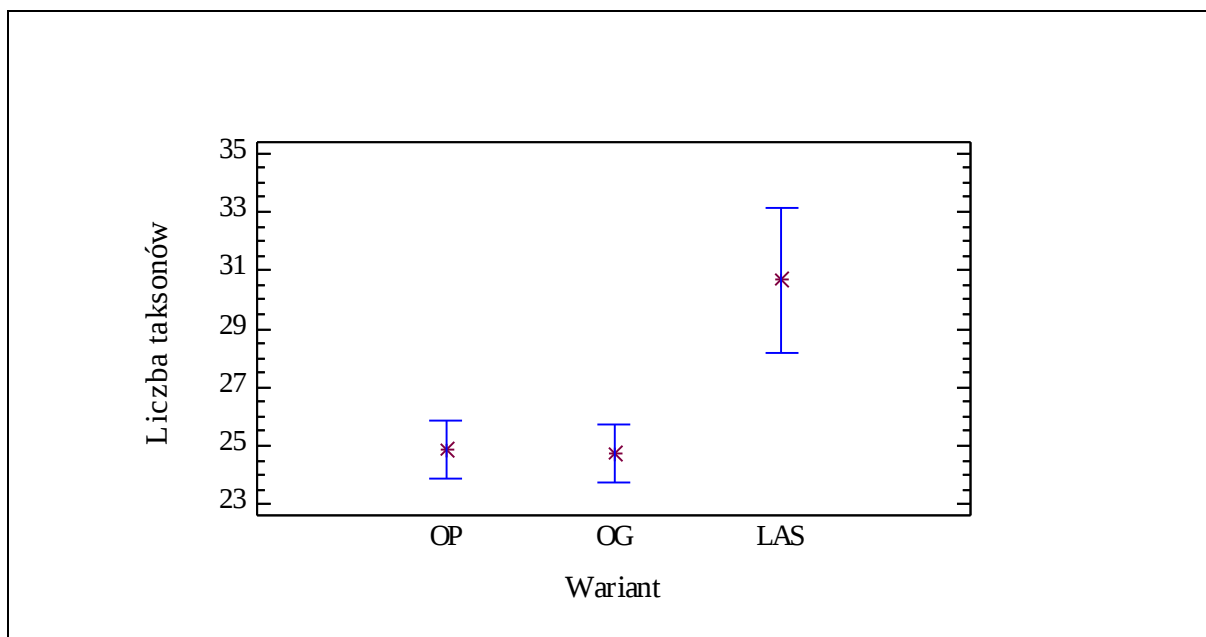
Średnie zagęszczenie zgrupowań na poletkach w drzewostanie porolnym przyjmuje wartości od 15,14 do 18,24 tys. osobników/m² (Ryc. 2). W drzewostanie na gruncie leśnym zgrupowania są zdecydowanie liczniejsze, gdyż na 1m² występuje średnio ponad 44,5 tys. osobników. Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy poszczególnymi wariantami doświadczenia i powierzchnią kontrolną w drzewostanie porolnym.



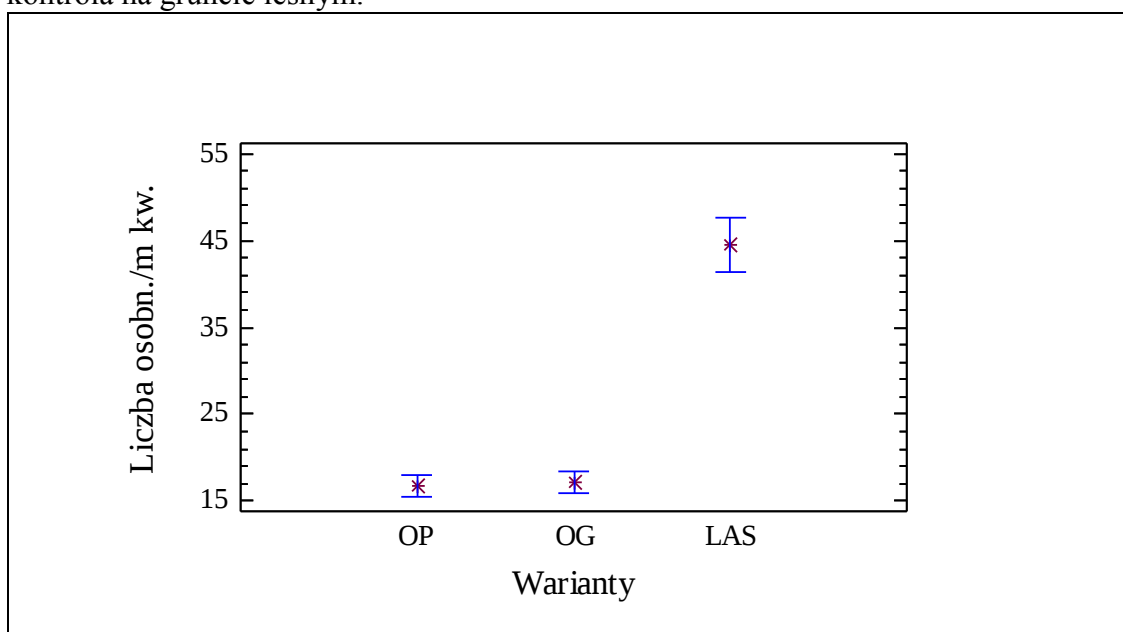
Ryc. 1. Średnia liczba gatunków skoczogonków na poletkach w borach sosnowych na gruntach porolnych poddanych rekultywacji i powierzchniach kontrolnych. Warianty doświadczenia: KTF-kora+trociny+fauna, LF-łubin+fauna, KT-kora+trociny, L-łubin, F-fauna, KO- kontrola na gruncie porolnym, LAS-zewnętrzna kontrola na gruncie leśnym.



Ryc. 2. Średnie zagęszczenie skoczogonków na poletkach w borach sosnowych na gruntach porolnych poddanych rekultywacji i powierzchniach kontrolnych. Warianty doświadczenia: KTF-kora+trociny+fauna, LF-łubin+fauna, KT-kora+trociny, L-łubin, F-fauna, KO- kontrola na gruncie porolnym, LAS-zewnętrzna kontrola na gruncie leśnym.



Ryc. 3. Średnia liczba taksonów na poletkach różniących się sposobem przygotowania gleby w borach sosnowych na gruntach porolnych poddanych rekultywacji oraz powierzchni kontrolnej. Warianty doświadczenia: OP- orka płytka, OG- orka głęboka LAS-zewnętrzna kontrola na gruncie leśnym.

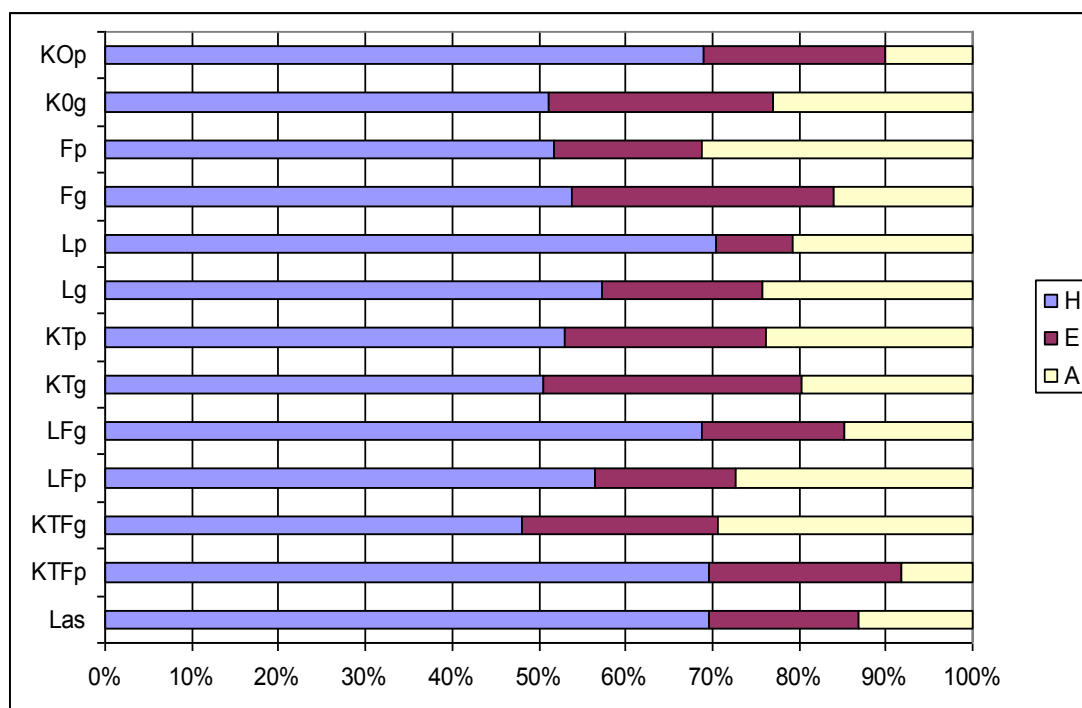


Ryc. 4. Średnie zagęszczenie skoczogonków na poletkach różniących się sposobem przygotowania gleby w borach sosnowych na gruntach porolnych poddanych rekultywacji oraz powierzchni kontrolnej. Warianty doświadczenia: OP- orka płytka, OG- orka głęboka LAS-zewnętrzna kontrola na gruncie leśnym.

Zgrupowania skoczogonków na poletkach w drzewostanie porolnym składały się z takiej samej liczby taksonów niezależnie od zastosowanego przez założeniem uprawy sposobu

przygotowania gleby. Zarówno w przypadku orki płytkiej jak i głębokiej średnia liczba taksonów wynosi około 25 (odpowiednio 24,89 i 24,72) (Ryc. 3) i jest znacznie niższa niż liczba taksonów zgrupowania leśnego składającego się z ponad 30 taksonów. Opisane różnice są istotne statystycznie.

Taka samą prawidłowość stwierdzono w przypadku średniego zagęszczenia zgrupowań skoczogonków w omawianych wariantach przygotowania gleby w porównaniu do drzewostanu na gruncie leśnym (Ryc. 4).

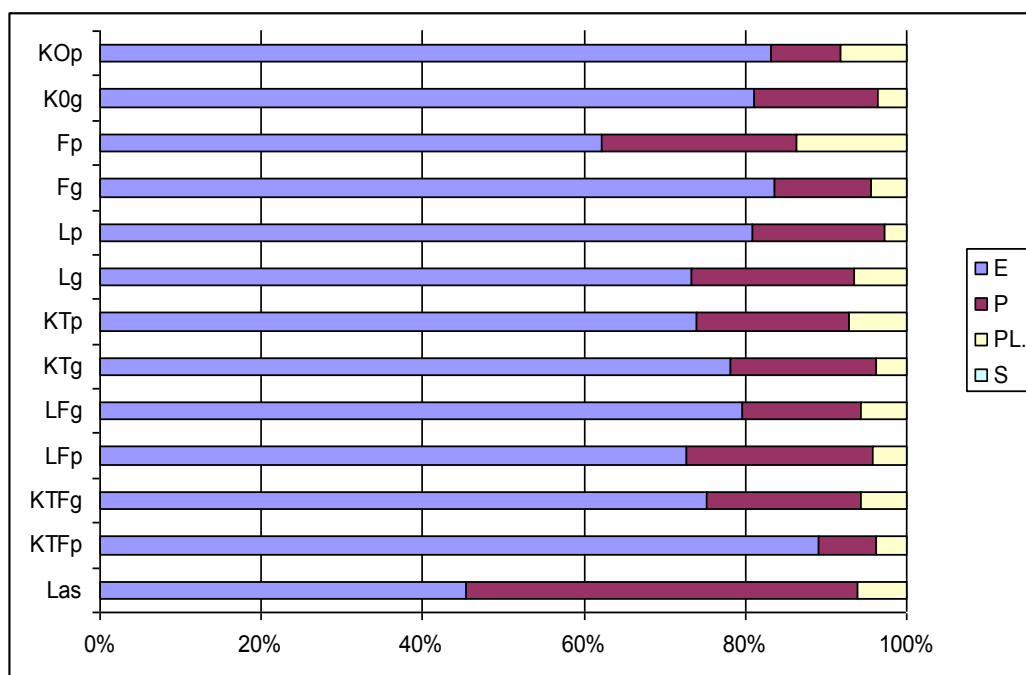


Ryc. 5. Udział form ekologicznych w zgrupowaniach skoczogonków w w borze sosnowym na gruncie porolnym poddanym rekultywacji i powierzchniach kontrolnych. Warianty doświadczenia: KTF-kora+trociny+fauna, LF-łubin+fauna, KT-kora+trociny, L-łubin, F-fauna, KO- kontrola na gruncie porolnym, LAS-zewnętrzna kontrola na gruncie leśnym. Małe litery w symbolach wariantów: p-orka płytka, g-orka głęboka. Formy ekologiczne: atmobionty (A), hemiedafon (H), euedafon (E)

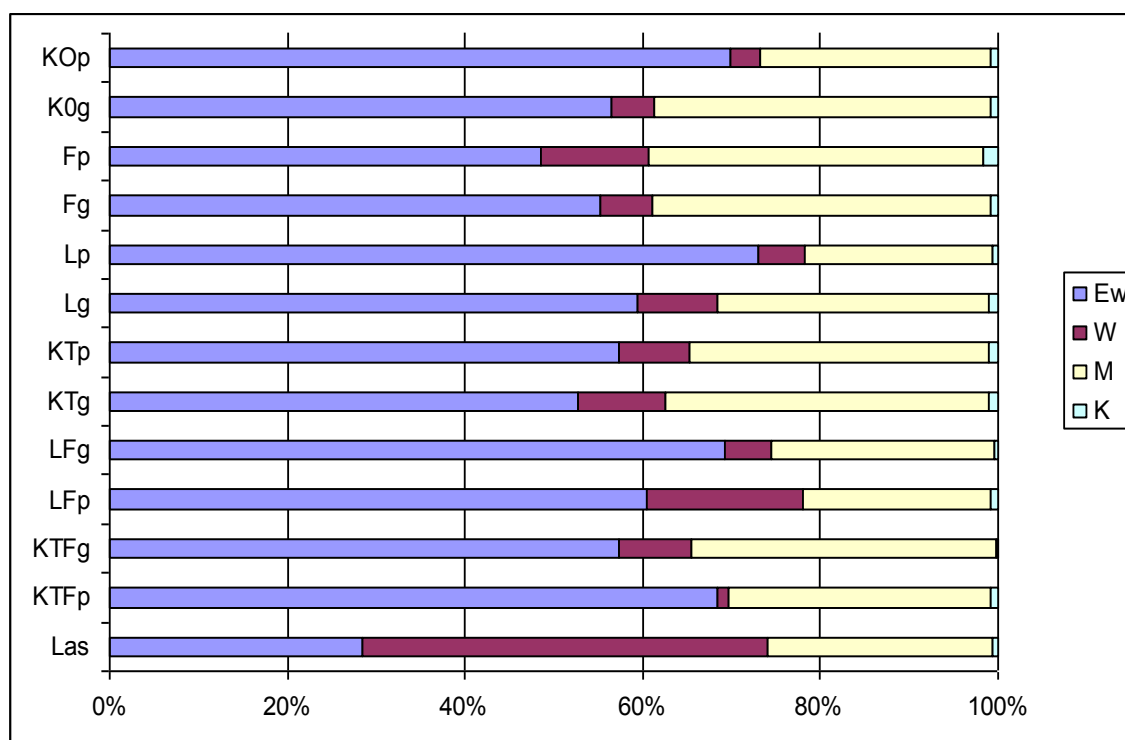
Z zamieszczonego na rycinie 5 zestawienia przedstawiającego udział w zgrupowaniach różnych form ekologicznych skoczogonków wynika, że w przypadku czterech z 12 poletek w drzewostanie porolnym stosunki ilościowe między fauną wierzchnich i głębszych poziomów glebowych są zbliżone do relacji typowych dla fauny boru sosnowego na gruncie leśnym. Są to następujące warianty : TFP-kora+trociny+fauna, LFg-łubin+fauna, Lp-łubin i KOp-kontrola na gruncie porolnym. W przypadku większości tych wariantów sposobem przygotowania gleby zastosowanym przed założeniem uprawy była płytka orka (p w symbolu wariantu). Na pozostałych poletkach w borze sosnowym na gruncie porolnym relacje między

grupami ekologicznymi odbiegały od typowych dla drzewostanu porównawczego i w większości przypadków odnotowano większy udział fauny naściółkowej zwykle kosztem hemiedafonu, który w borze na gruncie leśnym stanowił 70 % liczebności zgrupowań a w zgrupowaniach o zaburzonej relacji około 50%. Sposób przygotowania gleby przed założeniem doświadczenia nie miał znaczenia, gdyż oba rodzaje orki reprezentowane są przez podobną liczbę poletek.

W leśnych zgrupowaniach powierzchni porównawczej skoczogonki politopowe stanowiły blisko 50% liczebności, eurytopowe około 45% a 6 % gatunki obligatoryjne związane z lasami (ryc. 6). Natomiast wszystkie zgrupowania boru sosnowego na gruncie porolnym są bardzo silnie zdominowane przez gatunki eurytopowe, których udział w kilku przypadkach wyniósł 80-90%. W porównaniu do drzewostanu sosnowego na gruncie leśnym jest to wartość dwukrotnie wyższa. Gatunki stenotopowe w 30-letnich gospodarczych borach sosnowych występują bardzo rzadko lub wcale zarówno na gruntach porolnych jak i leśnych i pojedyncze odłowione osobniki nie znalazły odzwierciedlenia na rycinie 6.



Ryc. 6. Udział skoczogonków o różnych preferencjach środowiskowych w zgrupowaniach w borze sosnowym na gruncie porolnym poddanych rekultywacji i powierzchniach kontrolnych. Warianty doświadczenia: KTF-kora+trociny+fauna, LF-lubin+fauna, KT-kora+trociny, L-lubin, F-fauna, KO- kontrola na gruncie porolnym, LAS-zewnętrzna kontrola na gruncie leśnym. Małe litery w symbolach wariantów: p-orka płytka, g-orka głęboka. Preferencje środowiskowe: taksony eurytopowe (E), stenotopowych (S), politopowe właściwe (P), politopowe leśne (PL).



Ryc. 7. Udział skoczogonków o różnych preferencjach wilgotnościowych w zgrupowaniach w borze sosnowym na gruncie porolnym poddanym rekultywacji i powierzchniach kontrolnych. Warianty doświadczenia: KTF-kora+trociny+fauna, LF-łubin+fauna, KT-kora+trociny, L-łubin, F-fauna, KO- kontrola na gruncie porolnym, LAS-zewnętrzna kontrola na gruncie leśnym. Małe litery w symbolach wariantów: p-orka płytka, g-orka głęboka.

Preferencje wilgotnościowe: taksony kseroodporne (K), mezohigrofilne (M), higrofilne (W), nie wykazujące preferencji względem wilgotności (Ew)

Udział skoczogonków o różnych wymaganiach względem wilgotności gleby na powierzchniach badawczych został przedstawiony na rycinie 7. W leśnych zgrupowaniach drzewostanu porównawczego najliczniej reprezentowane są gatunki higrofilne, które stanowią blisko połowę liczebności (46%). Gatunki mezohigrofilne oraz taksony o dużym zakresie tolerancji względem uwilgotnienia mają znacznie mniejszy udział, gdyż stanowią odpowiednio 29% i 25% liczebności zgrupowań.

W drzewostanie na gruncie porolnym relacje między tymi grupami kształtują się odmiennie, gdyż skoczogonki higrofilne stanowią zaledwie kilka a w dwóch przypadkach kilkanaście procent liczebności. Wszystkie zgrupowania porolne zdominowane są przez taksony o dużym zakresie tolerancji względem uwilgotnienia, a ich udział w liczebności waha się od 48% do

73%. Również skoczogonki mezohigrofilne na większości poletek w drzewostanie porolnym występują liczniej niż w glebie leśnej.

Dyskusja

Przeprowadzona w pracy analiza składu i struktury epigeiczno-glebowych zgrupowań Collembola ponad 30-letniego boru sosnowego na gruncie porolnym i równowiekowego drzewostanu na glebie leśnej dostarczyła szeregu dowodów świadczących o wyraźnych różnicach w faunie glebowej badanych obiektów. Przede wszystkim zgrupowania gruntów porolnych są znacznie uboższe gatunkowo, a zagęszczenie osobników prawie 2,5 krotnie niższe w porównaniu do zgrupowań leśnych. Podobne wyniki uzyskano we wcześniejszych badaniach fauny glebowej w borach sosnowych na gruntach porolnych i glebach leśnych wykonanych w tym samym nadleśnictwie w latach 1996-97 (Sławska, 1999). Powierzchnie reprezentowały pięć klas wieku -uprawy, młodniki, drągowiny, średniowiekowe i dojrzałe. Wykazano, że dopiero w 40-letnim drzewostanie porolnym w zgrupowaniach skoczogonków pojawiają się liczniej gatunki leśne a ich udział jest zbliżony do zgrupowania uprawy na gruncie leśnym. Natomiast bory sosnowe na gruntach porolnych i leśnych w wieku 80-100 lat zasiedlają bardzo podobne zgrupowania. Można zatem przyjąć, że tempo odtworzenia ściółkowo-glebowych zespołów bezkręgowców na zalesionych gruntach porolnych jest bardzo powolne.

Przedstawiona w niniejszej pracy szczegółowa analiza struktury zgrupowań ujawniła, że udział grup ekologicznych, udział taksonów o różnych preferencjach środowiskowych oraz wymaganiach względem wilgotności w przypadku zgrupowań porolnych odbiega od proporcji typowych dla drzewostanu porównawczego na glebie leśnej. W epigeiczno-glebowych zgrupowaniach skoczogonków boru sosnowego na gruncie porolnym odnotowano większy udział fauny naściółkowej zwykle kosztem hemiedafonu, który w borze na gruncie leśnym stanowił 70 % liczebności zgrupowań a w zgrupowaniach o zaburzonej strukturze około 50%. Różnice te nie są istotne statystycznie ale mogą sugerować, że poziom organiczny na gruncie porolnym jest słabiej wykształcony niż w porównywalnym drzewostanie na glebie leśnej.

Zgrupowania boru sosnowego na gruncie porolnym są bardzo silnie zdominowane przez gatunki eurytopowe, których udział w liczebności w przypadku kilku poletek był nawet dwukrotnie wyższy niż w drzewostanie porównawczym na gruncie leśnym.

W zgrupowaniach porolnych najliczniej reprezentowane są taksony o dużym zakresie tolerancji względem uwilgotnienia, podczas gdy w glebie leśnej drzewostanu porównawczego blisko połowę liczebności stanowią gatunki higrofilne. Wyraźne różnice w udziale taksonów o różnych preferencjach wilgotnościowych wskazują na trwały niedobór wody w wierzchnich warstwach gleb porolnych.

Uzyskane wyniki trudno jest odnieść do badań innych autorów, gdyż skoczogonki gleb porolnych nie były jak dotąd przedmiotem tak szczegółowych badań. Wykonane na terenie Irlandii badania Collembola i Acari drzewostanów brzoźowych i modrzewiowych na gruntach porolnych dostarczają jedynie informacji na temat zagęszczenia fauny glebowej (Halldorsson, Oddsodottir, 2007). Autorzy nie stwierdzili istotnych różnic w zagęszczeniu skoczogonków w drzewostanach różniących się wiekiem i składem gatunkowym. Natomiast, niezależnie od wieku i gatunku drzewostanu, najwyższe zagęszczenie odnotowano w wierzchniej warstwie gleby, czyli 0-5 cm. Poniżej, zarówno w przypadku skoczogonków jak i roztoczy, znaleziono bardzo niewiele osobników. Na większości poletek w borze sosnowym na gruncie porolnym zdecydowanie liczniej niż w drzewostanie porównawczym wystąpiły naściółkowe gatunki skoczogonków z rodzajów *Pogonognatellus* i *Orchesella* a zdecydowanie mniej licznie formy ściółkowe, tak zwany hemiedafon. Jednocześnie nie odnotowano zmniejszenia udziału w zgrupowaniach euedafonu, czyli gatunków głębszych warstw gleby.

W założonym ponad 30 lat temu doświadczeniu uwzględniono różną intensywność zabiegu przygotowania gleby przed posadzeniem drzew. Na połowie poletek wykonano orkę płytką a na drugiej połowie orkę głęboką. Znajac wysoką wrażliwość leśnych skoczogonków na mechaniczne zaburzenie gleby (Sławska 2002, Sławska i Sławski 2006) postawiono pytanie, czy negatywne skutki silniejszego zaburzenia są widoczne po 30 latach od wykonania orki głębokiej. Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują na brak różnic między wariantami przygotowania gleby.

Podsumowując, zgrupowania skoczogonków poletek doświadczalnych założonych w 30 letnim borze sosnowym na gruncie porolnym różnią się wyraźnie od zgrupowań leśnych pod względem wszystkich analizowanych cech. Zatem odpowiedź na pytania na temat skuteczności podjętych zabiegów rekultywacyjnych jest negatywna. Jednorazowe zabiegi polegające na wzbogacaniu gleby w różne formy materii organicznej wykonane na gruncie porolnym przed założeniem uprawy nie przyczyniły się do poprawy warunków bytowania epigeiczno-glebowych skoczogonków. Równoczesne dostarczenie materii i introdukcja krocionogów, które tę materię rozkładają również nie przyspieszyły sukcesji gleb w kierunku

leśnym. Prowadzone przez dwa sezony badania i szczegółowo wykonana analiza porównawcza zgrupowań skoczogonków nie pozostawiają w tej kwestii żadnych wątpliwości.

Aktualny stan epigeiczno-glebowych zgrupowań skoczogonków ponad 30-letniego boru sosnowego na gruncie porolnym może sugerować, że monokultury iglaste posadzone na ubogich i degradowanych rolniczo glebach cechuje bardzo powolne tempo odbudowy fauny glebowej. Może to oznaczać, że osiągnięcie przez gleby porolne aktywności biologicznej porównywalnej do gleb leśnych wymaga wielu dziesięcioleci niezakłóconego rozwoju. W przypadku monokultur sosnowych na ubogich gruntach porolnych w sąsiedztwie Puszczy Białowieskiej okres 70-letni okazał się być niewystarczający (Sławska 2006). Badania innych autorów wskazują, że regeneracja leśnej roślinności zielnej na gruntach porolnych postępuje szybciej w przypadku gleb żyzniejszych, na których posadzono drzewa liściaste niż na siedliskach ubogich (Brunet i in. 2012). Z drugiej jednak strony wykazano też, że historia użytkowania ma większy wpływ na sukcesję mikroorganizmów glebowych niż właściwości gleby czy aktualna roślinność (Jangid et al. 2011). Poszukując lepszych sposobów odtwarzania ekosystemów leśnych na nieużytkach porolnych w dalszych badaniach warto byłoby sprawdzić, czy zalesienie gatunkami liściastymi, które produkują lepszej jakości ściółkę może sprzyjać szybszemu odtworzeniu leśnych zespołów bezkręgowców ściółkowo-glebowych.

Wnioski

1. Zgrupowania skoczogonków w ponad 30-letnim drzewostanie sosnowym na gruncie porolnym, mimo wykonanych zabiegów rekultywacyjnych przed założeniem uprawy, składają się z mniejszej liczby taksonów niż zgrupowania równowiekowego drzewostanu porównawczego na gruncie leśnym.
2. Nie stwierdzono różnic w bogactwie gatunkowym zgrupowań skoczogonków na poletkach reprezentujących różne warianty wzbogacania gleb porolnych i poletku kontrolnym w tym samym drzewostanie sosnowym.
3. Średnie zagęszczenie zgrupowań na wszystkich poletkach w drzewostanie porolnym przyjmuje wartości dużo niższe niż w drzewostanie porównawczym na gruncie leśnym. W 30-letnim borze sosnowym na glebie leśnej występuje średnio 44,5 tys. osobników na 1m² podczas gdy ściółce i glebie drzewostanu porolnego od 15,14 do 18,24 tys. osobników/m².

4. Nie stwierdzono istotnych różnic z zagęszczeniu skoczogonków pomiędzy poszczególnymi wariantami doświadczenia w borze sosnowym na gruncie porolnym.
5. Sposób przygotowania gleby przed założeniem uprawy na gruncie porolnym nie ma żadnego wpływu na bogactwo gatunkowe i zagęszczenie zgrupowań skoczogonków po upływie 30 lat.
6. Relacje między grupami ekologicznymi w zgrupowaniach skoczogonków w przypadku większości poletek w borze sosnowym na gruncie porolnym odbiegały od typowych dla drzewostanu porównawczego i polegały one na większym udziale fauny naściółkowej zwykle kosztem hemiedafonu. Może to świadczyć o tym, że poziom organiczny na glebach porolnych jest słabiej wykształcony niż w porównywalnym drzewostanie na gruncie leśnym.
7. Zgrupowania boru sosnowego na gruncie porolnym są bardzo silnie zdominowane przez gatunki eurytopowe, których udział w liczebności w przypadku kilku poletek był nawet dwukrotnie wyższy niż w drzewostanie porównawczym na gruncie leśnym.
8. W zgrupowaniach porolnych najliczniej reprezentowane są taksony o dużym zakresie tolerancji względem uwilgotnienia, podczas gdy w glebie leśnej drzewostanu porównawczego blisko połowę liczebności stanowią gatunki higrofilne. Wyraźne różnice w udziale taksonów o różnych preferencjach wilgotnościowych wskazują na trwały niedobór wody w wierzchnich warstwach gleb porolnych.
9. Jednorazowe zabiegi rekultywacyjne wykonane na gruncie porolnym przed założeniem uprawy nie przyczyniły się do poprawy warunków bytowania epigeiczno-glebowych skoczogonków.
10. Aktualny stan zgrupowań skoczogonków ponad 30-letniego boru sosnowego na gruncie porolnym sugeruje, że monokultury iglaste posadzone na ubogich i degradowanych rolniczo glebach cechuje bardzo powolne tempo odbudowy fauny glebowej a osiągnięcie przez gleby porolne aktywności biologicznej porównywalnej do gleb leśnych wymaga wielu dziesięcioleci niezakłóconego rozwoju.

Literatura

Brunet J., De Frenne P., Holmström E., Mayr M.L., 2012. Life-history traits explain rapid colonization of young post-agricultural forests by understory herbs. *Forest Ecol. Manage.* 278: 55-62.

- Halldorsson G., Oddsdottir E.S. 2007. The effects of afforestation on the abundance of soil fauna in Iceland. 147- 151. W: Halldorsson G., Oddsdottir E.S., Eggertsson O. (Eds.) 2007. Effect of Afforestation on Ecosystems, Landscape and Rural Development. Proceeding of the AFFORNORD conference Reykhold, Iceland , June 18-20, 2005.
- Jangid K., Williams M.A., Franzluebbers A.J. Schmidt T.M., Coleman D.C., Whiteman W.B. 2011. Land-use history has a stronger impact on soil microbial community composition than aboveground vegetation and soil properties. *Soil Biology and Biochemistry* 43: 2184-2193.
- Sławska M. 1999. Zmiany w strukturze i różnorodności fauny glebowej i epigeicznej na gruntach leśnych i porolnych - *Collembola (Apterygota)*. W: Mazur S., Tracz H. Zmiany w strukturze i różnorodności fauny borów sosnowych świeżych na terenach Puszczy Czulchowskiej w ciągu ostatnich 20 lat. Fundacja Rozwój SGGW. 43-48.
- Sławska M. 2002. Wpływ sposobu przygotowania gleby na zgrupowania skoczogonków (*Collembola, Apterygota*) boru sosnowego. *Sylwan* 11: 63-72.
- Sławska M. 2006. Monitoring of antropogenic changes in Białowieża Primeval Forest: epigeic and soil-dwelling communities of springtails (*Collembola, Hexapoda*). W: Zooindycation-based monitoring of antropogenic transformations in Białowieża Primeval Forest. Warsaw Agricultural University Press. Warszawa. 65-108.
- Sławska M., Sławski M. 2006. Wpływ sposobu przygotowania gleby i składu gatunkowego uprawy na tempo regeneracji zgrupowań *Collembola* na gruntach porolnych. *Sylwan*. 3: 57-65.

3.5.2. Diplopoda i Chilopoda

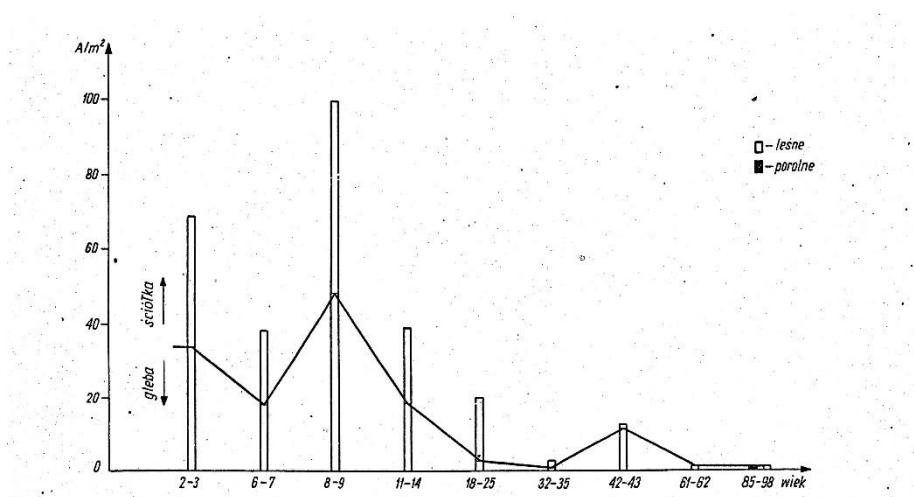
Wstęp

W planie rekonstrukcji zoocenoz glebowych ważne miejsce przypadają przedstawicielom saprofagów, których najczęściej brak lub też występują w małych ilościach na uprawach i w drzewostanach gruntów porolnych, a które wywierają istotny wpływ na tworzenie próchnicy i poprawę fizykochemicznych właściwości gleby. Jednym z saprofagów, który stał się obiektem zainteresowań zespołu KOLIE, na podstawie wcześniejszych badań (Szujewski i in., 1977, Tracz 1978, 1984, 1993) gruntów leśnych i porolnych w Nadleśnictwie Niedźwiady był krocionóg *Proteroiulus fuscus* (Am Stein, 1857) (Ryc. 1).



Ryc. 1: Dorosły osobnik *Proteroiulus fuscus*

Gatunek ten z różnym nasileniem występuje w borach sosnowych świeżych w całym cyklu produkcyjnym drzewostanów na gruntach leśnych oraz w drzewostanach rębnych na gruntach porolnych (Ryc. 2).



Ryc. 2. Zagęszczenie populacji *P. fuscus* na gruntach leśnych i porolnych

W najmłodszym okresie cyklu produkcyjnego drzewostanu na gruntach leśnych *P. fuscus* jest najważniejszym komponentem makrofauny glebowej. Wskaźnik dominacji tego gatunku w uprawach 2-3 letnich wyniósł 70% i prawie 50% w uprawach 8-9 letnich. Świadczyłoby to o szybkim wzroście liczebności populacji *P. fuscus* jako reakcji na nagromadzenie się dużych ilości resztek pożytkowych, w których (podobnie jak pod korą martwych pniaków i leżaniny) znajduje pokarm i schronienie. Zjawisko partenogenezy występujące u tego gatunku także sprzyja zasiedleniu nowych środowisk i szybkiemu wzrostowi liczebności populacji w korzystnych warunkach.

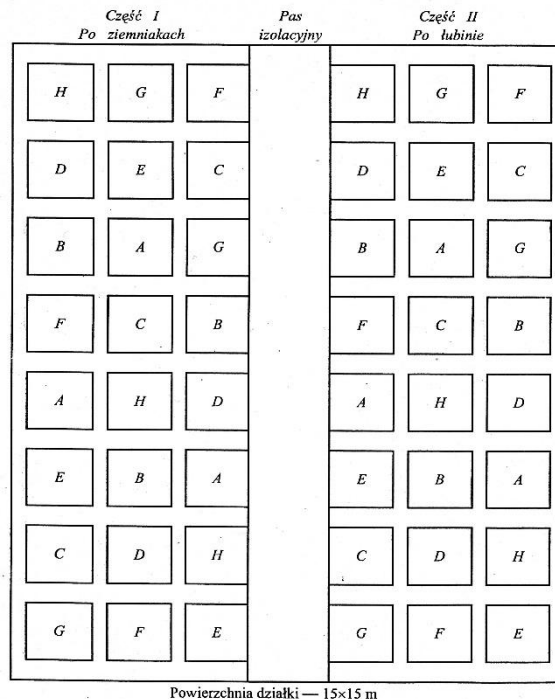
Dominujący w początkowym okresie *P. fuscus* zostaje, wraz z wiekiem drzewostanów stopniowo wypierany ze środowisk ściółkowo-glebowych i ogranicza swe występowanie do starych pniaków bądź ich najbliższego otoczenia. Dzieje się to prawdopodobnie wskutek postępujących procesów humifikacji i mineralizacji szczątków organicznych w glebie odnowionych zrębów, silnego rozwoju runa leśnego na dnie lasu, zwiększenia presji zewnętrznej wrogów naturalnych oraz ogólnej zmiany układu warunków mikroklimatycznych sprzyjających rozwojowi innej fauny. Ogólnie można stwierdzić, że w najmłodszej fazie

cyklu rozwojowego drzewostanów sosnowych obecność starych pniaków, nagromadzenie się dużej ilości resztek pozrębowych stanowi bazę wyjściową *P. fuscus* do gwałtownego wzrostu miejscowej populacji, zasilanej osobnikami z sąsiadujących powierzchni starszych upraw i młodników. Obfita baza pokarmowa, warunki mikroklimatyczne mieszczące się w granicach tolerancji tego gatunku, ograniczona presja zewnętrzna wrogów naturalnych, rozmnażanie partenogenetyczne oraz duża aktywność życiowa, determinują rozwój populacji *P. fuscus*, gatunku dominującego w powstałych układach populacyjnych.

Historia badań z okresu 1974-1982

Z uwagi na pożyteczną rolę *P. fuscus* w środowisku ściółkowo – glebowym, a ponadto sprzyjające właściwości gatunku, gdy chodzi o wymagania wobec czynników ekologicznych (Tracz 1978, 1984) zaprojektowano introdukcję tego gatunku na powierzchnie zoomelioracyjną Z I w 1974r. Dla sprawdzenia możliwości rozwoju tego gatunku i zdolności rozprzestrzeniania się na gruntach porolnych zastosowano nawożenie powierzchniowej warstwy gleby korą i trocinami na specjalnie do tego celu wybranej powierzchni użytkowanej w przeszłości rolniczo. Powierzchnię badawczą stanowił układ 8 wariantów (A–H) 6-krotnie powtórzonych w blokach losowych dających 48 działek o wymiarach każdej 15x15 m (Ryc. 3).

Układ bloków losowych do zabiegu zoomelioracyjnego



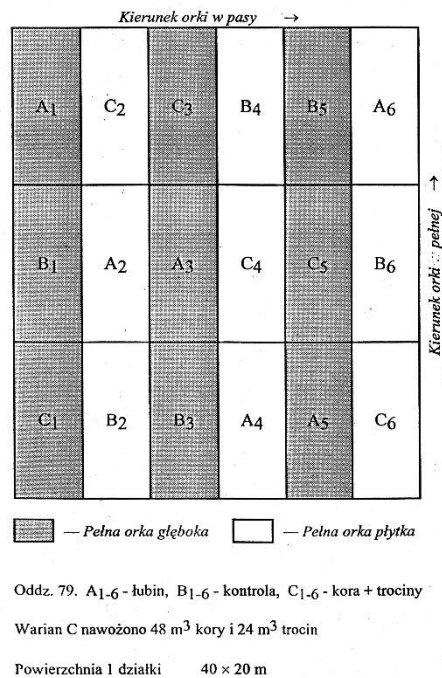
A - gleba (kontrola)
 B - kora + fauna (Introd. *P. fuscus*)
 C - trociny + kora (4 m³ + 2 m³)
 D - trociny + kora + fauna (*P. fuscus*)
 E - gleba + fauna (*P. fuscus*)
 F - trociny (4 m³)
 G - kora (6 m³)
 H - trociny + fauna (*P. fuscus*)

Rys. 3. Układ bloków losowych do zabiegu zoomelioracyjnego na pow. Z I

Dokładny opis warunków doświadczenia zamieszczono w pracach Tracza (1978, 1984) i Szujeckiego i Tracza (1986 a, b, c). Na 24 działkach odpowiednich wariantów przeprowadzono w specjalnie przygotowane miejsca introdukcję *P. fuscus* w trzech skupieniach po 100 dojrzałych osobników. Ogółem na powierzchnię zoomelioracyjną ZI wprowadzono 7200 osobników.

Obserwacja nad przebiegiem rozwoju introdukowanego *P. fuscus* w nowym środowisku oraz kontrola rozprzestrzeniania się na podstawie prób glebowych w pierwszych 2 latach po zabiegu, zasugerowała wypróbowanie na nowej powierzchni zoomelioracyjnej – ZII, wariantu nawożenia z korą i trocinami, wówczas optymalnego dla *P. fuscus* (Ryc. 4).

Układ dzialek na powierzchni zoomelioracyjnej Z II.



Ryc. 4. Układ bloków losowych do zabiegu zoomelioracyjnego na pow. Z II

Powstały układ 3 wariantów (A, B, C) 6-krotnie powtórzonych składał się z 18 dzialek o powierzchni każdej 40x20 m. Powierzchnia została założona w 1976 roku, natomiast introdukcję *P. fuscus* przeprowadzono wiosną 1981 roku na 12 działkach. Na każdej działce w 5 szczepach wprowadzono po 150 dojrzałych osobników, uzyskując wyjściowe obsadzenie po 750 sztuk na działkę. Z introdukcji wyłączono 2 środkowe części dzialek tj. 3 i 4, pozostawiając je jako kontrolę. Łącznie wprowadzono na nową powierzchnię zoomelioracyjną 9000 osobników *P. fuscus*. W trakcie badań kontrolowano stan populacji *P. fuscus* i obserwowano efekty introdukcji w latach 1974-84. Założenia metodyczne, sposób przygotowania powierzchni zoomelioracyjnych Z I i Z II, wielkość nawożenia i sposób introdukcji zawierają prace: Tracza (1978, 1984) i Szujckiego i Tracza (1986 a, b, c).

Metodyka badań terenowych w latach 2011-2012

Próby ściółkowo-glebowe poddane do wypłaszania fauny bezkręgowców w fotoeklektorach pobierano za pomocą metalowego pobieraka w kształcie walca o średnicy 13,5 cm do głębokości 10 cm. Próby pobierano z powierzchni zoomelioracyjnej Z I z 24 działek, z powierzchni zoomelioracyjnej Z II z 18 działek oraz z drzewostanu sosnowego na gruncie leśnym jako kontrola (pow. 16) z 3 działek. Każdorazowo jedną próbę stanowiło dwukrotne użycie pobieraka na każdej badanej działce. Łącznie w roku 2011 i 2012 w terminach (wiosenny i jesienny) pobrano $24 \times 2 + 18 \times 2 + 3 \times 2 = 90 \times 2 = 180$ prób ściółkowo-glebowych.

Badania prób rozkładającego się drewna z pniaków pozostałych po zabiegach pielęgnacyjnych rozpoczęto w terminie jesiennym 2011r z wszystkich uwzględnionych przy pobieraniu prób glebowych działek. Każdorazowo jedną próbę stanowiła objętość dwóch litrów próchna pniaków pobranego z jednej działki. Łącznie w trzech terminach 2011/12r pobrano 135 prób z próchnem pniaków, które przewożono z Nadleśnictwa Niedźwiady do wypłaszania w fotoeklektorach funkcjonujących w Katedrze w Warszawie. Czas wypłaszania wynosił 1-2 tygodnie a zebrany materiał faunistyczny sortowano do taksonów m. in. z podziałem na Myriapoda, który oznaczono następnie klasyfikując go do gromad: Diplopoda i Chilopoda. Do analiz zasiedlenia próchna pniaków, pobranego z powierzchni Z I, Z II i kontroli „K” zastosowano test nieparametryczny Kruskala-Wallisa przy badaniu istotności różnic pomiędzy średnimi liczebności *P. fuscus* w jednej próbie.

Wyniki

1. Próby ściółkowo-glebowe

Analizując poszczególne okresy badawcze od momentu introdukcji krocionogów na pow. Z I zauważono wzrastającą liczebność odławianych krocionogów w latach 1975-1982 (Tracz 1984, 1993). Uzyskane wyniki świadczyły o tym, że krocionogi w nowych warunkach zaaklimatyzowały się i wyprowadziły nowe generacje osobników stopniowo rozprzestrzeniających się po powierzchni. Początkowo w dwóch pierwszych okresach badawczych (Tracz 1993) najliczniej zasiedlony był wariant D (trociny + kora + fauna) i wariant G (kora). Częstotliwość występowania *P. fuscus* na wariancie D utrzymywała się

również w pozostałych okresach z tendencjami wzrostowymi. Także i w ostatnich badaniach z roku 2011 i 2012 wariant D wykazał w pierwszej próbie obecność 2 osobników *P. fuscus* (Tab. 1), co dało zagęszczenie 5,8 osobników / m² w tym wariantcie.

Tabela 1. Liczba odłowionych *P. fuscus* – Diplopoda oraz Chilopoda w próbach ściółkowo-glebowych oraz w próchnie z powierzchni Z I, Z II oraz kontroli w latach 2011 i 2012

2011r	Z I	Z I	Z II	Z II	Kontrola (K)	
I zbiór	próby ściółkowo- glebowe	próchno	próby ściółkowo- glebowe	próchno	próby ściółkowo- glebowe	próchno
<i>P. fuscus</i>	-		1		-	-
<i>Geophilus sp.</i>	63	nie pobrano	12	nie pobrano	-	-
<i>Lithobius sp.</i>	8		2		1	-
Suma	71	-	15	-	1	-
2011r – II zbiór	Z I	Z I	Z II	Z II	Kontrola (K)	
<i>P. fuscus</i>	3	82	0	50	-	2
<i>Geophilus sp.</i>	39	10	35	5	-	-
<i>Lithobius sp.</i>	10	33	4	19	2	6
Suma	52	125	39	74	2	8
2012r – I zbiór	Z I	Z I	Z II	Z II	Kontrola (K)	
<i>P. fuscus</i>	2	125	1	54	-	4
<i>Geophilus sp.</i>	36	30	48	32	-	-
<i>Lithobius sp.</i>	10	17	2	43	2	3
Suma	48	172	51	129	2	7
2012r – II zbiór	Z I	Z I	Z II	Z II	Kontrola (K)	
<i>P. fuscus</i>	1	113	3	32	-	18
<i>Geophilus sp.</i>	30	23	18	9	-	-

<i>Lithobius sp</i>	7	31	6	35	-	1
<i>Pol. compl</i>	-	-	8	-	-	-
Suma	38	167	35	76	-	19
Razem	209	464	140	279	5	34

Po 38 latach istnienia drzewostanu na tym fragmencie pow. zoomelioracyjnej po łubinie, oprócz wariantu D, także warianty C (trocin + kora) oraz H (trocin + *P. fuscus*) wykazały pojedyncze osobniki *P. fuscus* w próbkach. Sugerowałoby to, że postać materii organicznej (trocin, kora) zachowuje najlepiej swoje właściwości biologiczne oraz jako substrat rozkładany przez grzyby, stanowi dobrą pożywkę dla krocionogów (Tracz 1978, 1993). Inne warianty nawożenia nie wykazywały obecności *P. fuscus* w próbach ściółkowo-glebowych. Wyniki badań z 1982r. (Tracz 1993) świadczyły o poprawie właściwości fizyko-chemicznych gleb, szczególnie wyraźnie widocznych na wariantach nawożonych korą z trocinami a także pozytywnego wpływu na gospodarkę materiałową sosny i obieg pierwiastków. Pewne cechy taksacyjne: średnia wysokość i pierśnica drzewek, średnia długość igieł zalesień sosnowych na tych wariantach wykazywały wysoką dodatnią korelację.

Analizując występowanie *P. fuscus* na drugiej pow. zoomelioracyjnej Z II w 1982r. stwierdzono, że w dwa lata po zabiegu wariant nawożony korą i trocinami + *P. fuscus* (C), a także bez introdukcji krocionogów był najczęściej zasiedlony. Zabieg łubinowania na tym etapie badań nie wywarł istotnego wpływu na liczebność krocionogów. Także próby pobierane w latach 2011 i 2012 z pow. Z II wykazały pojedyncze osobniki w próbach ściółkowo-glebowych tylko na wariacie nawożonym korą i trocinami i z introdukowanym *P. fuscus* (Tab. 2), odpowiednio dając zagęszczenie 2,9 osobników / m² oraz 8,7 osobników / m². Ponadto interesującym było to, że w wariacie C6 (trocin + kora + *P. fuscus* + orka płytka) wystąpiły w 2012r. przy drugim terminie zbioru w jednej próbie 3 osobniki *P. fuscus* oraz 8 osobników innego Diplopoda – *Polydesmus complanatus* L., charakterystycznego dla borów sosnowych świeżych na gruntach leśnych, gdzie jest pospolitym krocionogiem. Próby ściółkowo-glebowe pobrane z powierzchni kontrolnej „K” na gruncie leśnym nie wykazywały obecności *P. fuscus* w glebie jedynie nieliczne *Lithobius sp.* (Tab. 1).

Tabela 2. Liczba odłowionych *P. fuscus* w próbach ściółkowo-glebowych na powierzchniach Z I, Z II w dwóch terminach roku 2011 i 2012

Rok 2011			Rok 2012		
Powierzchnia Z I					
Wariant	I termin	II termin	Wariant	I termin	II termin
D1 C3		2 1	C3	1	1
			H2	1	
			H2		
Powierzchnia Z II					
C6	1	brak	C1	1	3
			C6		
Suma	1	3	-	3	4

Interesującym jest, że w próbach ściółkowo-glebowych obu zoomeliorowanych powierzchni Z I i Z II odławiały się stosunkowo licznie przedstawiciele drapieżnych pareczników (Chilopoda) tj. *Geophilus sp.* (168 osobników) oraz mniej licznie *Lithobius sp.* (35 osobników) i co charakterystyczne, częściej na powierzchniach nawożonych korą i trocinami oraz korą (Tab. 1).

2. Próchno pniaków

Pnie ściętych drzew pozostałe w efekcie prowadzenia zabiegów hodowlano-ochronnych przez cały cykl produkcyjny drzewostanu, stanowią główne źródło zasilania w nowe potomstwo *P. fuscus* i stąd prawdopodobnie rozpoczyna się migracja krocionogów na powierzchnie, poprzez ściółkę oraz obumarłe korzenie. Ponadto pniaki reprezentując bardziej stabilne warunki termiczne i wilgotnościowe, stanowią dogodne schronienie dla zwierząt w niekorzystnych dla nich okresach życia (linienie, długotrwały okres susz, zimowanie).

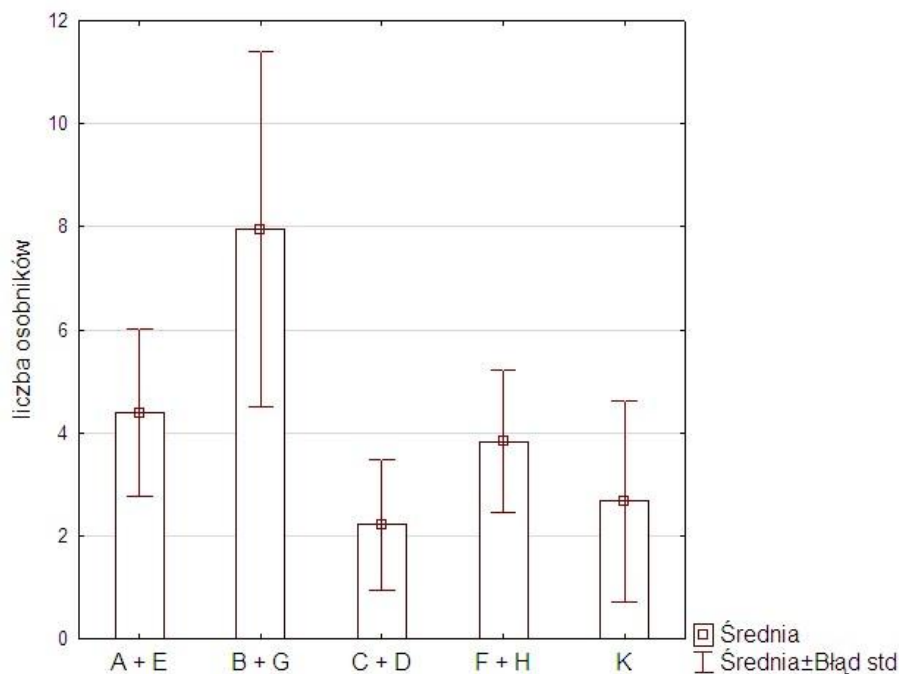
We wcześniejszych eksperymentach (Tracz 1978) przetestowano zasiedlenie przez *P. fuscus* pniaków z gruntów porolnych (około 50-letni drzewostan) przeniesionych na grunty leśne (starsze uprawy i młodniki) tj. w okresie ich największego zagęszczenia. Obserwacje prowadzono przez okres 2 i 14 miesięcy trwania eksperymentu. W obu przypadkach stwierdzono zasiedlenie pniaków w przeważającej części przez osobniki młodociane, które najprawdopodobniej wywodziły się z jaj złożonych przez dojrzałe osobniki w próchno tych pniaków. W okresie 2 miesięcy trwania doświadczenia zasiedlanie pniaków było niższe, a osobniki nie reprezentowały wszystkich stadiów rozwojowych. W okresie natomiast 12 miesięcy trwania obserwacji, zauważono dużo wyższe zasiedlenie pniaków zarówno przez osobniki dojrzałe, jak i młodociane, przy czym stadia młodociane reprezentowały bardzo liczny udział. Na podstawie tych wyników można przypuszczać, że na gruntach porolnych nie stwierdzono gatunku w młodszych okresach cyklu produkcyjnego drzewostanu (na podstawie prób glebowych i pniakowych), z uwagi na brak *P. fuscus* w tych stadiach sukcesji fauny glebowej.

Analiza zasiedlenia przez *P. fuscus* pniaków pobranych z pow. Z I, Z II oraz kontroli „K”.

W okresie 2 lat obserwacji występowania *P. fuscus* w próchnie pniaków sosnowych na pow. Z I pobrano ogółem 72 próby (2 litry każda) w 3 terminach 2011 i 2012 roku. Stwierdzono łącznie 464 osobniki Diplopoda i Chilopoda. W próbach największą liczbę tj. 320 osobników stanowiły krocionogi *P. fuscus*, natomiast pareczniki (Chilopoda) – *Lithobius* sp. – 81 osobników oraz *Geophilus* sp. – 63 osobniki. W analizie uwzględniono połączone warianty o tym samym nawożeniu z dodatkiem krocionogów oraz kontrolę, łącznie po 18 prób. Wariant B+G nawożony korą wykazał średnią liczebność *P. fuscus* w próbie z próchnem pniaków jako najwyższą tj. prawie 8 osobników, wariant A+E (kontrola na gruncie porolnym) wykazał średnią liczebność na poziomie 4,4 osobników. Wariant nawożony trocinami (F+H) wykazał średnie zasiedlenie na poziomie 3,8 osobników. Natomiast wariant nawożony korą i trocinami (C+D) był średnio najslabiej zasiedlony, a jego poziom wynosił 2,2 osobników. Dla porównania wariant kontrolny „K” na gruncie leśnym wykazał średnie zasiedlenie przy 9 próbach na poziomie 2,6 osobników.

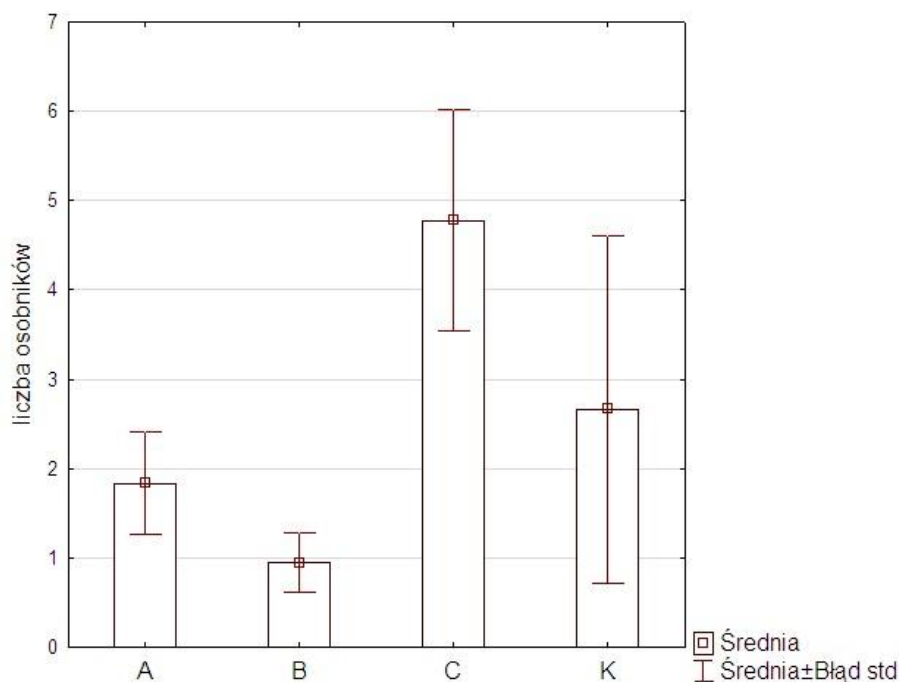
Sprawdzona testem nieparametrycznym Kruskala-Wallisa istotność różnic pomiędzy średnimi poszczególnych wariantów nie potwierdziła istotnej różnicy między nimi (Ryc. 5).

Można jedynie stwierdzić, że pniaki na wariacie nawożonym korą charakteryzowały się największą średnią liczebnością *P. fuscus*.



Ryc. 5. Średnia liczebność *P. fuscus* w próbach z próchna pniaków na wariantach nawożenia pow. Z I i kontroli na gruncie leśnym (A + E – kontrola na gruncie porolnym pow. Z I, B + G – nawożenie korą, C + D – nawożenie korą i trocinami, F + H – nawożenie trocinami, K – kontrola na gruncie leśnym)

Z powierzchni Z II pobrano ogółem 54 próby z próchnem pniaków. Nie pobrano prób w I terminie 2011 roku. Łącznie zostało wypłoszonych 279 osobników Diplopoda i Chilopoda, w tym 136 osobników *P. fuscus* (Diplopoda), 97 *Lithobius sp.* oraz 46 *Geophilus sp.* (Chilopoda). Średnia liczebność *P. fuscus* w próbach z próchna pniaków przy uwzględnieniu wszystkich 18 prób każdego wariantu była najwyższa na wariacie nawożonym korą i trocinami. (C) i wynosiła 4,8 osobników i różniła się istotnie od wariantu kontrolnego na gruncie porolnym (B), gdzie wynosiła 0,9 osobników. Wariant z łubinem (A) wykazywał przeciętną liczebność na 1 próbę – 1,8 osobników. Natomiast wariant kontrolny („K”) na gruncie leśnym przedstawiał średnie zasiedlenie na poziomie 2,6 osobników (Ryc. 6).



Ryc. 6. Średnia liczebność *P. fuscus* w próbach z próchna pniaków na wariantach pow. zoomieloracyjnej Z II i kontroli na gruncie leśnym (A – pow. łubinowana, B – kontrola na gruncie porolnym, C – nawożenie korą i trocinami, K – kontrola na gruncie leśnym)

Można zatem przyjąć, że pniaki na wariantcie nawożonym korą i trocinami były najchętniej zasiedlane – średnio 4,8 osobników na próbę, co przewyższało zasiedlenie pniaków na gruncie leśnym (L) – 2,6 osobników na próbę o 84, 6 %.

Na wariantach A3, B3, C3, oraz A4, B4, C4 powierzchni Z II, pomimo że w zabiegach zoomieloracyjnych nie wprowadzono tu szczepów z krocionogami *P. fuscus*, to po ponad 30 latach stwierdzono w próchnie pniaków obecność krocionogów we wszystkich wariantach (A, B, C).

W próbach z próchnem pniaków z pow. kontrolnej („K”) na gruncie leśnym stwierdzono łącznie 37 Diplopoda i Chilopoda, w tym 24 *P. fuscus* i 13 *Lithobius sp.* Wariant kontrolny („K”) na gruncie leśnym wykazał więc średnie zasiedlenie przy 9 próbach na poziomie 2,6 osobników, co było średnio więcej od najmniej zasiedlonego wariantu z pow. Z I (C +D). Na powierzchni Z II wariant kontrolny „K” był jedynie słabszy od zasiedlenia wariantu nawożonego korą i trocinami (C), natomiast jego średnie zasiedlenie próchna pniaków było wyższe od wariantu z łubinem (A) i z kontrolą na gruncie porolnym (B). (Ryc. 6).

Dyskusja

Jednym z przykładów zastosowania inżynierii ekologicznej w leśnictwie są zabiegi zoomelioracji zalesianych gleb porolnych.

Motywy przewodnim jest tu kompleks działań zmierzających do polepszenia aktywności biologicznej gleb, m.in. poprzez poprawę funkcjonowania organizmów glebowych w celu usprawnienia krążenia materii w cyklu produkcyjnym drzewostanu. Problem ten wciąż jeszcze słabo rozpoznany od strony teoretycznej, ma w perspektywie możliwości zastosowania w rehabilitacji zdegradowanych środowisk. W kompleksie czynników przygotowawczych do zabiegu zoomelioracji przeprowadzono nawożenie przy użyciu rozdrobnionej kory sosnowej oraz kory z dodatkiem trocin przed introdukcją krocionogów na pow. Z I w 1974-75r. oraz na pow. Z II w 1981r. Przeprowadzony zabieg zoomelioracyjny na gruntach porolnych pozwolił uzyskać najlepsze efekty introdukcji krocionogów, jak też najkorzystniejsze wartości charakterystyk biocenotycznych i ekosystemowych na wariantach nawożonych korą i trocinami oraz korą. Obserwacje te dotyczą badań efektów zabiegów w kilka lat po założeniu pow. Z I w 1974r i Z II w 1976r. oraz introdukcji *P. fuscus* w 1974-75r. na pow. Z I i w 1982r. na pow. Z II.

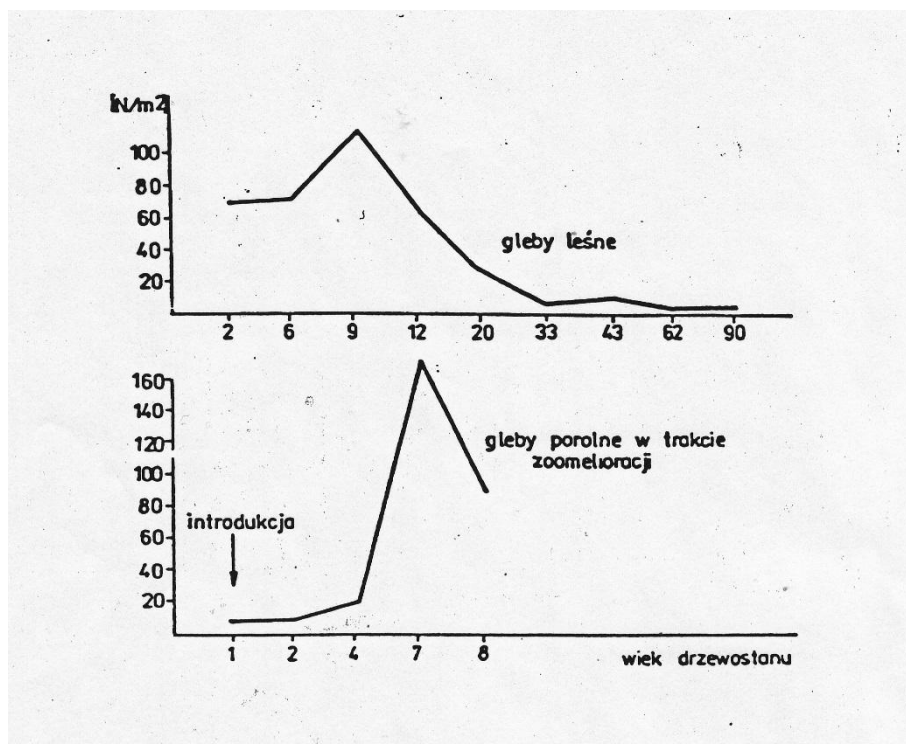
Obserwacje poczynione w ramach ostatnich badań na podstawie pobranych prób ściółkowo-glebowych i prób próchna pniaków na gruntach porolnych z połowy powierzchni Z I i całej pow. Z II potwierdzają tendencje spadku przeciętnego zagęszczenia *P. fuscus* w całym cyklu produkcyjnym drzewostanów na gruncie leśnym. Według wcześniejszych badań zespołu KOLiE, dominujący w początkowym okresie *P. fuscus* zostaje wraz z wiekiem drzewostanu stopniowo wypierany ze środowisk ściółkowo – glebowych i ogranicza swe występowanie do pniaków bądź ich najbliższego otoczenia. Dzieje się to prawdopodobnie wskutek postępujących procesów humifikacji i mineralizacji szczątków organicznych w glebie odnowionych zrębów, silnego rozwoju runa leśnego na dnie lasu, zwiększenia presji zewnętrznej wrogów naturalnych oraz ogólnej zmiany układu warunków mikroklimatycznych sprzyjających rozwojowi innej fauny.

Stwierdzone w próbach ściółkowo-glebowych z lat 2011–2012 na pow. zoomelioracyjnych Z I w pojedynczych próbach z wariantu D, F i H – nawożonych trocinami i korą bądź tylko trocinami krocionogi *P. fuscus*, potwierdzają nadal istniejące najkorzystniejsze warunki środowiskowe dla rozwoju, osiągając na wariantach D pow. Z I

zagęszczenie 5,8 osobników / m². Prawdopodobnie ta postać materii organicznej (trociny, kora) zachowuje najlepiej swoje właściwości biologiczne oraz jako substrat będący obiektem rozkładu lignocelulolitycznego przez grzyby, stanowi dobrą pożywkę dla krocionogów. Podobnie stwierdzono na drugiej pow. zoomielioracyjnej Z II – pojedyncze osobniki w próbach ściółkowo-glebowych tylko na wariancie nawożonym korą i trocinami i z introdukowanym *P. fuscus* odpowiednio uzyskując zagęszczenie 2,9 osobników / m² oraz 8,7 osobników / m². Interesującym okazało się również, że w wariancie C6 (trociny + kora + *P. fuscus*) z orką płytką, wystąpiły w II terminie zbioru prób w 2012r. 3 osobniki *P. fuscus* w próbie, oraz 8 osobników innego krocionoga *Polydesmus complanatus*, który jest charakterystyczny dla borów sosnowych świeżych na gruntach leśnych i należy tam do pospolitych krocionogów. Sugerowałoby to zatem o pozytywnym, leśnym kierunku zmian na tym wariancie nawożenia gleby porolnej.

Ponadto w próbach ściółkowo-glebowych obu pow. Z I i Z II odławiały się stosunkowo licznie przedstawiciele drapieżnych pareczników (Chilopoda) tj. *Geophilus sp.* oraz mniej licznie *Lithobius sp.* i co charakterystyczne, częściej na powierzchniach nawożonych korą i trocinami oraz korą. W próbach z próchnem pniaków pow. zoomielioracyjnej Z I i Z II wykazano zasiedlenie ich przez *P. fuscus*. Wariant B+G nawożony korą (pow. Z I) wykazał najwyższą średnią liczebność zasiedlenia pniaków (8 osobników). Wariant nawożony trocinami (F+H) – średnio 3,8 osobników, natomiast wariant kontrolny na pow. Z I (A+E) – średnio 4,4 osobników. Zaś wariant (C+D) nawożony korą i trocinami był średnio najslabiej zasiedlony – 2,2 osobników / próbę. Wariant kontrolny „K” na gruncie leśnym przewyższał średnio w zasiedleniu jedynie (C+D) osiągając poziom 2,6 osobników / próbę.

Na powierzchni Z II wariant nawożony korą i trocinami (C) wykazał najwyższe średnie zasiedlenie (4,8 osobników / próbę), które różniło się statystycznie istotnie od średniej na wariancie kontrolnym (B) gruntu porolnego z 0,9 osobnikami / próbę. Wariant obsiany łubinem był także średnio słabiej zasiedlony przez *P. fuscus* (1,8 osobników / próbę) w pniakach niż wariant kontrolny na gruncie leśnym (K) – 2,6 osobników / próbę. Interesującym było także stwierdzenie *P. fuscus* w próchnie pniaków na powierzchniach wariantów, na których nie prowadzono introdukcji *P. fuscus* w 1982r. tj. w wariantach A3, B3, C3 oraz A4, B4, C4.



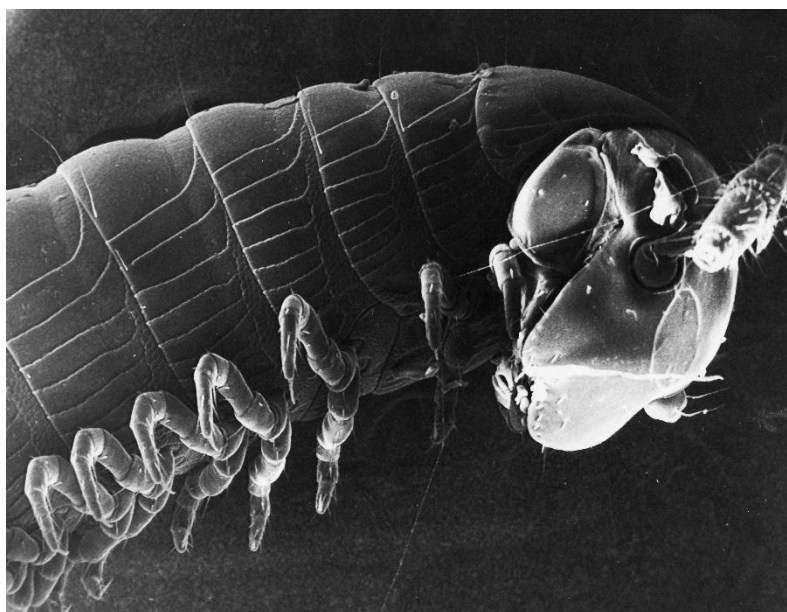
Ryc. 7. Zagęszczenie populacji krocionogów – *Proteroiulus fuscus* na glebach leśnych i porolnych w trakcie zoomelioracji.

Wnioski

1. Przeprowadzony w latach 1974-75 na pow. Z I oraz w 1976-81 na pow. Z II zalesionych gruntów porolnych zabieg zoomelioracyjny pozwolił uzyskać najlepsze efekty introdukcji krocionogów. Podobnie najkorzystniejsze wartości charakterystyk biocenotycznych i ekosystemowych uzyskano na wariantach nawożonych korą i trocinami oraz korą. Stwierdzenie to odnosiło się do okresu badań 1975-1982 prowadzonych przez KOLiE w Nadleśnictwie Niedźwiady.
2. Badania KOLiE przeprowadzone na tych samych powierzchniach Z I, Z II i kontroli na gruncie leśnym („K”) w latach 2011-2012 oraz opierające się na podstawie pobranych prób ściółkowo-glebowych i prób próchna z pniaków po cięciach hodowlano-ochronnych wskazują w dalszym ciągu na preferowanie przez *P. fuscus* środowisk wariantów nawożonych korą i trocinami oraz korą obu badanych powierzchni.

3. Najnowsze obserwacje poczynione nad obecnością *P. fuscus* w próbach ściółkowo – glebowych na powierzchniach wariantów Z I i Z II w okresie po ponad 30 latach, potwierdzają tendencje ogólnego spadku średniego zagęszczenia *P. fuscus* w cyklu produkcyjnym drzewostanów na gruntach leśnych (Ryc. 6). Osobniki *P. fuscus* wypierane ze środowisk ściółkowo-glebowych przenoszą się do rozkładających się pniaków sosnowych. Niemniej zarówno na pow. Z I jak i Z II warianty nawożone korą i trocinami oraz trocinami wykazały w pojedynczych próbach glebowych zagęszczenie od 5,8 osobników / m² na pow. Z I do 8,7 osobników / m² na pow. Z II.
4. Interesującym okazało się, że w wariancie C6 nawożonym korą i trocinami na pow. Z II wystąpiły 3 osobniki *P. fuscus* oraz 8 osobników *Polydesmus complanatus* w jednej próbie. Obecność *Polydesmus complanatus* na tej powierzchni jako gatunku pospolitego w borach sosnowych świeżych na gruntach leśnych, świadczyć może o przyspieszeniu procesu korzystnych zmian w glebach porolnych w kierunku charakteru gleb leśnych.
5. W próbach ściółkowo-glebowych obu badanych powierzchni Z I i Z II odławiały się stosunkowo licznie przedstawiciele drapieżnych pareczników (Chilopoda) – tj. *Geophilus* sp. oraz mniej licznie *Lithobius* sp. i co było charakterystyczne, częściej na powierzchniach nawożonych korą i trocinami oraz korą.
6. W próbach z próchnem pniaków pow. zoomelioracyjnych Z I i Z II wykazano ich zasiedlenie przez *P. fuscus*. W badaniach z okresu 1975 nie wykazano obecności *P. fuscus* w pniakach pobranych z gruntów porolnych (wiek drzewostanu około 50 lat). Dopiero w eksperymencie przeniesienia pniaków do starszych upraw i młodników na gruntach leśnych po okresie 2 i 14 miesięcy stwierdzono ich zasiedlenie (Tracz 1978).
7. Najbardziej preferowane w zasiedleniu przez *P. fuscus* były pniaki na wariancie nawożonym korą (B+G) pow. Z I oraz na wariancie nawożonym kora i trocinami (C) pow. Z II, z których to drugie wskazało na istotną różnicę w średnim zasiedleniu do pniaków pochodzących z wariantu kontrolnego (B) gruntu porolnego.

8. Interesującym było stwierdzenie *P. fuscus* także w próchnie pniaków na wariantach, na których nie prowadzono introdukcji *P. fuscus* w 1982r. tj. w wariantach A3, B3, C3 oraz A4, B4, C4.
9. Utrzymanie się i potwierdzenie obserwacji wyboru przez introdukowane krocionogi *P. fuscus* wariantów nawożonych trocinami, korą i trocinami na pow. Z I i Z II gruntów porolnych po ponad 30 latach ich funkcjonowania, świadczyć może o tym, że ta postać materii organicznej zachowuje najlepiej swoje właściwości jako środowisko występowania oraz jako substrat będący obiektem rozkładu lignocelulolitycznego przez grzyby i stanowi ważny element w diecie pokarmowej krocionogów.



Ryc. 8. Dorosły osobnik *Proteroiulus fuscus* w powiększeniu spod mikroskopu skaningowego

Literatura

- Szujecki A., Szyszko J., Mazur S., Perliński S. 1977. Badania nad potrzebną i możliwościami zoomelioracji zalesionych gruntów porolnych. Sprawozdanie końcowe. Maszynopis. Katedra Ochrony Lasu i Ekologii SGGW –AR. 210 s.
- Szujecki A., Szyszko J., Mazur S., Perliński S. 1983. The proces of forest soil macrofauna formation after afforestation of farmland. Warsaw Agric. Univ. Press. Warsaw, 196 s.
- Szujecki A., Tracz H. 1986a. Badania nad kompleksem zabiegów niezbędnych dla introdukcji *Proteroiulus fuscus* (Am Stein) na gleby porolne oraz stymulacji miejscowych

- saprofagów. W: Badania nad zoomelioracją gleb porolnych. Sprawozdanie końcowe. (Red. A. Szujecki), 10-14.
- Szujewki A., Tracz H. 1986b. Metodyka przygotowania powierzchni doświadczalnej Z.I i Z.II, Ibidem, 14-19.
- Szujewki A., Tracz H. 1986c. Przebieg zabiegu rekultywacyjnego na pow. Z.II i ich rezultaty. Sposób założenia powierzchni i metoda odłowu makrofauny. Ibidem, 149-150.
- Tracz H. 1978. Studia nad ekologią *Nopoiulus fuscus* (Diplopoda, Blaniulidae) w aspekcie problemów rehabilitacji gleb zalesionych. (Doctor's thesis, typescript). Katedra Ochrony Lasu i Ekologii AGGW-AR, 133 s.
- Tracz H. 1984: Studies on the ecology of *Proteroiulus fuscus* (Am Stein 1857) (Diplopoda, Blaniulidae). *Acta Zool. Cracov.*, 21: 519-576.
- Tracz H. 1993. Problemy udziału Diplopoda w dekompozycji materii organicznej borów świeżych. Rozprawy Naukowe i Monografie. Rozprawa habilitacyjna.

3.5.3. Staphylinidae

Założenia, miejsce i przebieg badań

Eksperyment zoomeliacyjny polegał na wniesieniu na opuszczone grunty rolne przeznaczone do zalesienia szczątków organicznych w postaci rozdrobnionej kory sosnowej i trocin oraz wprowadzeniu krocionoga *Proteroiulus fuscus* mającego istotne znaczenie w dekompozycji kory. Celem takiego postępowania była intensyfikacja biologicznych procesów glebotwórczych, usprawnienie gospodarki węglem i azotem i przyspieszenie procesu kształtowania się ekosystemu leśnego. Kora sosnowa miała nadto sprawować funkcję retencyjną wobec azotu w początkowym okresie, kiedy w glebach porolnych występuje w nadmiarze, by następnie po 20-30 latach oddać go do ponownego obiegu kiedy drzewa zalesień cierpią na jego brak. Uzasadnieniem do tej hipotezy były wyniki wcześniejszych badań na terenie gruntów porolnych i w zalesieniach nadleśnictwa Niedźwiady (Pomorze Środkowe, Puszcza Człuchowska) (Szujewski i inni, 1975).

Eksperyment zlokalizowano na gruntach porolnych przeznaczonych do zalesienia objętych oddziałem 158h wymienionego nadleśnictwa. Powierzchnia doświadczalna składała się z 48 bloków losowych o wymiarach 15 x 15 m reprezentujących 8 wariantów doświadczalnych (o symbolach od A do H): A – kontrola, E- *Proteroiulus*, B – kora G – kora + *Proteroiulus*, C – kora + trociny D – kora + trociny+ *Proteroiulus*, F = trociny, H – trociny + *Proteroiulus*. Powierzchnia założona w 1974 roku otrzymała symbol „Z I” (Rys. 1). Zbiór kusakowatych na pow. Z I miał miejsce w latach 1975-1976, 1992, 2011 – 2012.

Wstępne wyniki badań uzyskane w roku 1975 zachęciły do przeprowadzenia zabiegu zoomeliacyjnego na skalę wdrożeniową. Powierzchnię taką o symbolu „Z II” założono w oddziale 79 (aktualnie 104Ag i 80c) na nieużytku porolnym na wionę 1976 roku. Reprezentowała następujące warianty: A – gleba porolna z wprowadzonym łubinem trwałym, B kontrola, C – gleba porolna zasilona mieszaniną kory i trocin. Ponadto na A i C wprowadzono liczne osobniki *Proteroiulus fuscus*. Każdy wariant był reprezentowany przez orkę płytką i orkę głęboką a każdy podwariant miał 3 powtórzenia (Rys. 2). Zbiór kusakowatych miał miejsce w latach 1992 i 2011-12.

Zgodnie z założeniem eksperymentu zoomeliacyjnego opartego na metodach inżynierii ekologicznej (wniesienie brakujących elementów) miał on doprowadzić do ukształtowania ekosystemu leśnego o doskonalszych cechach niż zalesienie pozbawione takiej rekultywacji. Kusakowate byłyby tu indyktem zmiany stanu badanego ekosystemu i jednym z elementów jego waloryzacji. Efektu zoomeliacji spodziewano się dokonać po upływie

czasu potrzebnego na zasadniczy rozkład wniesionego materiału organicznego a więc po około 20 latach na podstawie porównania stanu zgrupowań na działkach meliorowanych i kontrolnych. Zmiany w strukturze zgrupowań kusakowatych mają w procesie sukcesji wtórnej dynamiczny przebieg, który został szczegółowo rozpoznany (Szujecki i inni, 1983) Tracz H. (1984). Brak ciągłych pomiarów tych zmian jakie zachodziły na powierzchni Z I i Z II postanowiono więc odtworzyć w przybliżeniu przez analizę struktur dominacyjnych zgrupowań kusakowatych na powierzchniach uznanych jako referencyjne w stosunku do Z I i Z II. Wytypowano 6 takich powierzchni z pośród wielu jakie były wykorzystywane w badaniach prowadzonych w oparciu o Stację Terenową Katedry Ochrony Lasu i Ekologii SGGW w nadleśnictwie Niedźwiady:

Powierzchnia „10” – grunt porolny do zalesienia obok wsi Załęże w sąsiedztwie powierzchni Z II. `Odlów owadów w latach 1973-4 metodą cylindrów chwytnych i prób glebowych

Powierzchnia „U” – Uprawa sosnowa 2 letnia na gruncie porolnym sąsiadująca z powierzchnią ZI. Lata badań 1973 -4 , metoda : cylindry chwytne i próby glebowe.

Powierzchnia „K” – uprawa lesna 5=7 letnia na gruncie porolnym w okolicy Łękini i zalesieniu o zróżnicowanym składzie gatunkowym i różnym sposobie przygotowania gleby. Zbiór materiału faunistycznego metodą pułapek STN w latach 2003-2004.

Powierzchnia „S 1” Tyczkowina sosnowa 27 letnia na gruncie porolnym w nadl. Niedźwiady. Metoda : pułapki STN Okres badań – 1996-7.

Powierzchnia „S 2” Drągowina sosnowa 45 lat na gruncie porolnym w nadleśnictwie Niedźwiady Termin i metoda badań jak „S1”

Powierzchnia „S 3” Drągowina sosnowa 40 letnia w nadleśnictwie Niedźwiady. Termin i metoda badań jak „S 1”.

Szczegółowe wyniki badań na powierzchniach referencyjnych są zawarte w opracowaniach:

Szujecki A. Mazur S. Szyszko J. Perliński S. 1983. The process of forest soil makrofauna after afforestation of farm land. Warsaw Agricultural University Press. Warsaw, 196 pp.

Szujecki A. 2005. Wpływ różnych sposobów przygotowania gleby i składu gatunkowego 5 letnich zalesień na Pomorzu Środkowym na zgrupowania kusakowatych (Staphylinidae Col.). Maszynopis 15 str + rysunki i tabele.

Smoleński M. 1999. C) Staphylinidae, w: Zmiany w strukturze i różnorodności fauny borów sosnowych świeżych na terenach Puszczy Czulchowskiej w ciągu ostatnich 20 lat (S. Mazur, H. Tracz red.) Katedra ochrony Lasu i Ekologii SGGW, Warszawa, str. 63- 72.

Metody badawcze na powierzchniach Z I i Z II .

Odłów kusakowatych na powierzchni Z I w 1975 roku (pierwszy etap badań) oraz na pow. Z I i Z II w roku 1982 (drugi etap badań) odbywał się przez wycinanie kwadratów ściółki i gleby o pow. 0,25 m² i wypłaszaniu z nich owadów w zmodyfikowanych aparatach Tullgrena. Umożliwiło to ocenę zagęszczenia imagines i larw tych owadów. Szczegółowe informacje o metodyce i wynikach znajdują się w opracowaniach:

Szujecki A, Szyszko J., Mazur S., Perliński S. 1977. Sprawozdanie końcowe merytoryczne za lata 1973-1977. Z zadania badawczego „Badania nad potrzebą i możliwościami zoomelioracji zalesionych gruntów porolnych” z problemu węzłowego 09.2.1., tematu 09.2.1.01. i podtematu 09.2.1.01.02.08. („Badania przyrodniczych podstaw i ocena potrzeb nawożenia młodników i drzewostanów”) Część II, Warszawa SGGW Akademia Rolnicza Instytut Ochrony Lasu i Drewna, 105 str + foto 1-10

Szujecki A., Łęgowska K, Łęgowski D., Mazur S., Perliński S., Szpojda A., Szyszko J., Ślipińska M., Tracz H. 1986. Sprawozdanie końcowe merytoryczne za lata 1981-1985 z zadania badawczego „Badania nad zoomelioracją gleb porolnych” problem węzłowy : 09.81.10.03.02.11. SGGW AR w Warszawie Katedra Ochrony Lasu i Ekologii, Warszawa, 285 str.

W trzecim etapie badań w roku 1992 zastosowano pułapki STN. Na każdej działce funkcjonowała 1 pułapka , z której 4- krotnie w sezonie wegetacyjnym wybierano owady. Tak więc na Z I pobrano 196 prób, z Z II 72 próby. Wyjściowe wyniki badań z roku 1992 znajdują się w opracowaniu:

Siemiński S. 1993. Wpływ leśnej rekultywacji gruntów porolnych w nadleśnictwie Niedźwiady na chrząszcze epigeiczne z rodziny kusakowatych (Staphylinidae, Col.). Praca magisterska wykonana w Katedrze Ochrony Lasu i Ekologii SGGW pod kierunkiem prof. dr hab. Andrzeja Szujeckiego

W czwartym etapie badań w latach 2011-12 stosowano metodę prób glebowych pobieranych pobierakiem o powierzchni $286, 1325 \text{ cm}^2$ sięgającym do głębokości 10,00 cm. Próby pobierano 2 razy w roku (wiosna, jesień) przez 2 sezony wegetacyjne. Z powierzchni Z I pobrano 192 takich prób (8 wariantów x 3 powtórzenia x 4 terminy) Próby te łączono po dwie co stanowiło próbę obliczeniową. Na 96 prób 61 było pozytywnych (wystąpiły kusakowate). Analogicznie na powierzchni Z II pobrano 144 próby (72 próby obliczeniowe) (6 wariantów po 3 powtórzenia x 4 terminy). W 66 próbach obliczeniowych wystąpiły kusakowate. Uzyskany materiał faunistyczny z lat 1992 i 2011-12 został oznaczony do gatunku i poddany analizie liczbowej z wykorzystaniem następujących wskaźników:

Liczba osobników – N

Liczba gatunków – S

Dominacja – D

Średnia długość gatunku (mm) – LS

Średnia długość osobnicza (mm) – LN

Klasa wierności wobec środowiska leśnego F

F3 – wyłączone

F2 - wybierające

F1 – obojętne

Fo – obce

Zagęszczenie osobników G- ($N/0,25 \text{ m}^2$)

Zagęszczenie biomasy g/m^2

Wskaźnik biomasy EL -(suma długości osobników)

Procentowy wskaźnik biomasy EL % przypadający z całości na dany wariant melioracyjny

Wskaźnik naturalności (zmodyfikowany wskaźnik Bohača) $ISC = 100 - (suma\ dominacji\ F_o + F_1 + \frac{1}{2} \text{ dominacji } F_2)$

Wskaźnik różnicowania gatunkowego $d = S - 1/\log N$

Wskaźnik jakości $Q = \sqrt{dx F_3 x (R + 1)}$, gdzie R – udział osobników gatunków reliktowych.

Wyniki

Porównanie przebiegu zmian struktur dominacyjnych głównych gatunków wszystkich wyróżnionych powierzchni zoomeliorycyjnych i referencyjnych w przebiegu sukcesji leśnej

przedstawiono w tabeli 1 oraz na „diagramach drzewa” (rys. 1, 2). Tabela 2 ilustruje kształtowanie się średniej długości i wskaźnika biomasy 6 (od 1 do 6) gatunków dominujących na każdej powierzchni od „10” do „S 3” , czyli ustawionych w szeregu rozwojowym drzewostanów. Wreszcie w tabeli 3 przedstawiono szereg wskaźników charakteryzujących cechy ekologiczne zgrupowań kusakowatych na wszystkich powierzchniach referencyjnych i zoo melioracyjnych bez uwzględnienia wariantów eksperymentu.

Z materiałów tych wynika, że powierzchnie Z I i Z II znajdują swoje miejsce w szeregu sukcesyjnym zgrupowań kusakowatych na co wskazują struktury dominacyjne 6 głównych gatunków; jak również pokrewieństwo zgrupowań przedstawione na diagramie drzewa. Ważnym stwierdzeniem jest wykazanie, większego pokrewieństwa zgrupowań kusakowatych na powierzchniach Z I i Z II w roku 1992 kiedy drzewostany tam występujące były w wieku 17 lat do zgrupowania w uprawie 5-7 letniej niż do zgrupowań z drzewostanów około 40 letnich rosnących na gruntach leśnych jak i porolnych, którym z kolei odpowiadały zgrupowania kusakowatych z Z I i Z II w latach 2011-12, kiedy drzewostany osiągnęły tam 37 lat. Do cech różniących struktury zgrupowań kusakowatych tych powierzchni jest znaczący, większy niż na powierzchniach referencyjnych (S1, S2, S3) udział gatunku *Lathrobium brunnipes*, który jest uważany za próchnico i wilgociolubny (Szujecki 1966).co najmniej równy udział *Geostiba circellaris* Grav. ważnego elementu składowego zgrupowań kusakowatych w borach sosnowych, następnie wzrost udziału gatunków i osobników gatunków leśnych, wzrastająca wielkość ciała gatunków wśród których wyróżniają się przedstawiciele *Quedius*, *Staphylinus*, *Lathrobium*, co przekłada się pośrednio na wielkości zastosowanych wskaźników stanu biomasy. Zatem wnioskując o położeniu zgrupowań kusakowatych na powierzchniach Z I i Z II jako mieszczących się w szeregu rozwojowym drzewostanów na gruntach porolnych i nie wykazujących różnic ujemnych a nawet pewne pozytywy w stosunku do referencyjnych zgrupowań w odpowiadających wiekowo drzewostanów na gruntach leśnych to można przejść do szczegółowej analizy zmian faunistycznych na powierzchniach Z I i Z II.

Rok 1975

Po pierwszym roku od wniesienia kory i trocin na powierzchnię Z I rozpoznano zmiany w zagęszczeniu imagines i larw Staphylinidae, jak również rozkład ich biomasy w poszczególnych wariantach melioracyjnych oraz na działkach kontrolnych (tab.4)

Porównując dane z działek traktowanych korą lub korą z trocinami nie zauważa się różnic w zagęszczeniu imagines i nieznacznie silniejszy wpływ kory niż trocin na zagęszczenie larw. Wielkości biomasy imagines wskazały na większą stymulację kory z trocinami niż samej kory gdy wartości biomasy larw wskazały na wariant kontrolny przed wariantem z korą jako sprzyjające tym owadom Połączone omawiane wskaźniki wykazały najwyższą wartość na działkach z korą i trocinami (tab. 4). Zatem po pierwszym roku trwania zabiegu zoo melioracyjnego jednoznacznie określono znaczenie zabiegu jako pobudzającego aktywność badanych chrząszczy będących zoofagami i ważnym elementem regulującym liczebność innych przedstawicieli edafonu. Ten wynik uzyskany równolegle z innymi zachęcił do założenia powierzchni Z II jako eksperymentu wieloletniego z zakresu inżynierii ekologicznej.

Rok 1982

Okazało się, że zagęszczenie imagines i larw Staphylinidae na pow. Z I jest zdecydowanie najwyższe w wariancie z korą sosnową ($38,0/0,25m^2$) niż w wariancie kory z trocinami ($23,0/0,25m^2$). A więc odwrotnie jak w I okresie badań. Mniejsze jeszcze zgęszczenie stwierdzono na kontroli, najmniejsze w wariancie z trocinami. Wpływu wprowadzonego krocionoga na zagęszczenie Staphylinidae nie zauważono (działki bez krocionoga liczba kusakowatych 106, działki z krocionogiem - 97)

Na powierzchni Z II wpływ rekultywacji gleby na zagęszczenie kusakowatych był jednoznacznie pozytywny w warunkach kory z trocinami ($33,7/0,25m^2$) w stosunku zarówno do kontroli ($11,9/0,25m^2$), jak i działek z łubinem trwałym ($19,0/m^2$). Stwierdzono ponadto, że zagęszczenie kusakowatych na działkach z orką płytką było wyraźnie większe (22,7 niż na działkach, na których zastosowano orkę głęboką ($14/0,25m^2$). Wielkości biomasy larw i imagines Staphylinidae kształtowały się podobnie jak zagęszczenie W wariancie z korą i trocinami 1,182g/m², z łubinem 0,0171, na kontroli 0,0066 (tab.4).

Rok 1992

W odróżnieniu od metody prób ściółkowo glebowych, jakie zastosowano w roku 1976 określających zagęszczenie owadów, w roku 1992 zastosowano do odłowu kusakowatych pułapki typu STN, funkcjonujące od maja do września, z których czterokrotnie wybierano odłowione owady. Aczkolwiek pułapki STN efektywnie określają łowność a więc pośrednio

liczebność owadów epigeicznych, to trzeba mieć na uwadze, że na wyniki odłowu ma wpływ także aktywność osobników zależna od wielu czynników, nie tylko od ich liczebności, a zwłaszcza zagęszczenia. Ich zaletą jest stosunkowo łatwe uzyskanie obfitego materiału faunistycznego. Wyniki tych odłowów ilustrują tabele 6-9.

Po 16 latach w zalesieniach sosnowych w fazie młodnika udział gatunków leśnych osiągnął 67,8% co było zauważalnie więcej niż w uprawie 5-7 letniej (27,3%) a nawet więcej niż w 27 letniej tyczkowninie referencyjnej „S” 1 (57,1%, ale też mniej niż na tej samej powierzchni w 20 lat później (76%). Na wszystkich wariantach melioracyjnych podobnie jak na kontroli dominował gatunek leśny klasy F2 – *Staphylinus erythropterus* L. (wyróżniający się najdłuższym ciałem (16 mm) spośród stwierdzonych w badaniach), a między wariantami nie odnotowano istotnych różnic w strukturze dominacyjnej zgrupowań. Największym udziałem *S. erythropterus* L. odznaczył się wariant z trocinami (FH) co decydowało o ostrości struktury dominacyjnej tego zgrupowania, wysokich wskaźnikach średniej wielkości osobników, najwyższym udziałem biomasy, najwyższym udziałem gatunków leśnych i najwyższym wskaźniku naturalności, przy najmniejszym wskaźniku zróżnicowania gatunkowego. Po upływie dalszych 20 lat gdy *S. erythropterus* zszedł z pozycji dominanta te wielkości się nie powtórzyły się i wariant z trocinami ustępował na ogół innym pod względem ocen waloryzacyjnych. Mimo, że wartości poszczególnych wskaźników ekologicznych rozkładały się różnie w kolejnych wariantach powierzchni ZI w roku 1992, to pewne prawidłowości dały się zauważyć. Należy do nich wskaźnik udziału gatunków leśnych z maximum w wariancie kontrolnym, wskaźnik biomasy EL najniższy w wariancie kontrolnym i wskaźnik jakości Q ze zdecydowaną przewagą w wariantach z korą i korą z trocinami (BG,CD). Proporcje tych wielkości nie zawsze potwierdziły się na powierzchni Z II. Pamiętając o tym, że na ZII brak było wariantu z trocinami (FH) i z korą –BG można zauważyć, że największym udziałem gatunków leśnych odznaczył się wariant z trocinami i korą (C), gdy osobników tych gatunków okazało się najwięcej na powierzchni kontrolnej, wskaźnik biomasy był największy na powierzchni kontrolnej oraz z łubinem. Ta zmienność nie potwierdzona statystycznie może wskazywać, gdy się powtarza, tylko na pewne tendencje. I tak wskaźnik Q o najwyższych wartościach w wariantach korowych i korowo trocinowych zarówno na pow. Z I jak i ZII wydaje się prawidłowo wskazywać na stymulujące wobec fauny działanie tej masy organicznej.

\

Po 36 latach struktura badanych wskaźników ekologicznych w zasadzie się potwierdziła co ilustruje tab.13 . Szczególnie istotnym są wysokie wskaźniki udziału gatunków leśnych w wariancie z korą i trocinami, gdy osobników tych gatunków najwięcej jest na pow. kontrolnej, podobnie jak i najwyższe wskaźniki naturalności, najwyższe wskaźniki biomasy w wariantach kora, łubin, wskaźnika „d” w wariancie korowo trocinowym i korowym, oraz wskaźnika Q w wariantach korowych i korowo trocinowych. Rozrzut wartości starano się uporządkować metodą punktową od najniższych z wartością 1 do najwyższych z wartością 5. Rezultaty przedstawia tabela 13. Z danych zawartych w tabeli wynika, że struktura wartości wskaźników wskazuje jednoznacznie, że w stosunku do kontroli na wariantach z kora i trocinami oraz z korą wskaźniki osiągnęły istotnie większe wartości, gdy warianty z trocinami lub z łubinem na ogół nieco niższe.

Wnioski

1. Zgrupowania kusakowatych na powierzchniach Z I i Z II odpowiadają strukturą dominacji zgrupowaniom tych owadów na powierzchniach referencyjnych. W okresie młodnika są one bardziej zbliżone do zgrupowań występujących w uprawach, gdy w okresie drągowiny odpowiadają, a nawet wykazują pewne cechy dodatnie w stosunku do zgrupowań w drzewostanach 40 letnich zarówno na gruntach porolnych jak i leśnych.
2. Różne metody pobierania prób w poszczególnych okresach badań nie stwarzają możliwości pełnych porównań uzyskanych wyników i stąd możemy mówić o występowaniu bardziej lub mniej wyraźnych tendencjach w strukturze ilościowej badanych wskaźników ekologicznych. Szczególnie istotnym dla wiarygodności wyników i wnioskowania jest to, że rozkład wartości punktów waloryzujących poszczególne warianty był zarówno w odniesieniu do wyników z roku 1992, jak i 2011-12 prawie identyczny, co potwierdza uzyskane wyniki i ich prawidłowość (tab.13)
3. Do takich tendencji należy wysoka naturalność zgrupowania powierzchni kontrolnej, znaczna biomasa w wariancie z łubinem oraz korowym, najwyższe wskaźniki jakości Q (składowe: liczba gatunków, liczba osobników udział osobników gatunków leśnych wyłącznych) w wariantach z korą i trocinami i z korą. Bardzo wyraźnie zaznaczył się wpływ orki głębokiej na wyższe wartości wszystkich wskaźników z wyjątkiem udziału gatunków i osobników F2 F3 oraz wskaźnika naturalności w porównaniu z orką płytką

4. Zabieg zoomelioracyjny wskazał we wszystkich kolejnych okresach badań a więc w uprawie 1 rocznej, 7 letniej, młodniku 16 letnim, drągowinie 36 letniej na mieszaninę rozdrobnionej kory z trocinami jako skutecznie aktywizującą epigeicznie glebową faunę reprezentowaną przez na ogół zoofagiczne Staphylinidae. Negatywnym aspektem tego sukcesu jest zwiększony udział gatunków nieleśnych FoF1 co ograniczyło naturalność zgrupowań na działkach meliorowanych, szczególnie łubinem, trocinami.

5. Wartość zooindykacyjno-waloryzacyjna badań będzie możliwa do oceny po porównaniu z wynikami pozostałych badań realizowanych w projekcie. Na obecnym etapie poznania tej zależności zwraca uwagę poprawność zooindykacyjna wzoru jakości Q zgrupowania z sumaryczną waloryzacją wszystkich wariantów eksperymentu na obu powierzchniach jak i dwu ostatnich okresach badań ustaloną metodą punktową (rys. 3, 4)

3.5.4. Elateridae

Metodyka badań

Badanie wpływu różnych rodzajów zabiegów rekultywacyjnych na sprężykowate przeprowadzono na podstawie prób ściółkowo-glebowych i prób próchna na terenie Nadleśnictwa Niedźwiady (RDLP Szczecinek) na dwóch powierzchniach zoomelioracyjnych (Z I i Z II) w porównaniu do powierzchni kontrolnej (pow. „16”). Wszystkie wymienione powierzchnie porastają drzewostany sosnowe w podobnym wieku.

Materiał badawczy został zebrany w latach 2011-2012 w dwóch okresach - wiosennym i jesiennym. Dokonano 4 zbiorów prób ściółkowo-glebowych w następujących terminach: 23 maja i 4 października 2011 roku oraz 14 maja i 21 października 2012 roku. Próby próchna pobrano 3 razy: 4 października 2011 roku oraz 14 maja i 21 października 2012 roku.

Jednorazowo z każdego wariantu doświadczenia pobrano jedną próbę ściółkowo-glebową i jedną próbę próchna. Próby ściółkowo-glebowe pozyskano za pomocą pobieraka glebowego o średnicy 13,5 cm do głębokości 10 cm. Jedna próba ściółkowo-glebową składała się z dwóch pobrań pobieraka i wynosiła 286,1325 cm². W ciągu całego okresu badań z pow. „16” pobrano 12 prób, z pow. „Z I” 96 prób i z pow. „Z II” 72 próby; łącznie 280 prób ściółkowo-glebowych.

Jedna próba próchna miała 2 litry objętości. W ciągu całego okresu z pow. „16” pobrano 9 prób, z pow. „Z I” 72 próby i z pow. „Z II” 54 próby; łącznie 135 prób próchna.

Ściółkę wraz z glebą oraz próchno wkładano do osobnych woreczków plastikowych. Zaetykietowany materiał następnie przewożono do laboratorium Katedry Ochrony Lasu i Ekologii SGGW, gdzie wypłaszano owady z prób ściółkowo-glebowych i próchna za pomocą fotoeklektora. Okres wypłaszania trwał 10 dni. Po wypłoszeniu *Elateridae* konserwowano w płynie Scheerpeltza, a następnie oznaczano. W dalszej kolejności dokonano klasyfikacji zebranego materiału faunistycznego na następujące grupy asocjalne:

F₃ – gatunki charakterystyczne wyłącznie, występujące regularnie w środowisku leśnym, w innym pojawiają się rzadko. Do tej grupy zaliczono: *Ampedus sp.*, *Athous subfuscus*, *Denticollis linearis*, *Prosternum tessellatum*.

F₂ – gatunki charakterystyczne wybierające, znajdowane najczęściej w środowisku leśnym, jakkolwiek występujące w innych środowiskach. Do tej grupy zaliczono: *Dalopius marginatus*, *Melanotus villosus*.

F₁ – gatunki towarzyszące, okolicznościowo związane ze środowiskiem leśnym. Do tej grupy zaliczono: *Selatosomus aeneus*, *Sericus brunneus*.

F₀ – gatunki przypadkowe, niezwiązane z lasem. Do tej grupy zaliczono: *Adelocera murina*, *Agriotes obscurus*.

Przyjęte wskaźniki fauny

Jedną z charakterystyk zgrupowania *Elateridae* jest ich struktura dominacyjna na poszczególnych wariantach doświadczenia (nawożenia i kontroli) pow. Z I i Z II i na łącznej powierzchni zoomelioracyjnej Z I i Z II oraz w drzewostanie gospodarczym na pow. „16”:

- wskaźnik dominacji (D)

$$D = n/N$$

gdzie: n – liczebność danego gatunku w zgrupowaniu, N – liczebność zgrupowania

Na potrzeby opracowania taksonomicznego *Elateridae* wykorzystano także:

- wskaźnik bogactwa gatunkowego Margalefa (d)

$$d = S-1/\log N$$

gdzie: S – liczba gatunków w zgrupowaniu, N – liczba osobników w zgrupowaniu

- wskaźnik wierności zgrupowania (Q_{F3})

$$Q_{F3} = \sqrt{dU_{NF3}}U_{SF3}$$

gdzie: d – wskaźnik bogactwa gatunkowego Margalefa, U_{NF3} – procentowy udział osobników gatunków obligatoryjnie związanych z lasem w zgrupowaniu, U_{SF3} – procentowy udział gatunków obligatoryjnie związanych z lasem w zgrupowaniu.

- wielkość wskaźnika waloryzacyjnego obliczono na podstawie wskaźnika wierności zgrupowania (Q_{F3}) przedstawionego w układzie procentowym, przy czym wartość 100% przypisano wariantowi doświadczenia o najwyższym wskaźniku Q_{F3} .

Powierzchnia zoomelioracyjna Z I

Badania na powierzchni zoomelioracyjnej Z I przeprowadzono na 24 działkach składających się z 8 wariantów doświadczenia. Została ona założona na gruntach porolnych w 1973 roku. Każdy wariant doświadczenia składał się z 3 powtórzeń (rys. 1). Z uwagi na to, że niektóre warianty doświadczenia (tab. 1) mają wzajemne podobieństwa przeprowadzonych na nich zabiegów rekultywacyjnych połączono je w 4 grupy działek (warianty nawożenia) o spodziewanych podobnych ich rolach (tab. 2).

a) Próby ściółkowo-glebowe

Zgrupowanie *Elateridae* na powierzchni zoomelioracyjnej Z I określone na podstawie prób ściółkowo-glebowych składa się z 5 gatunków. Największe stwierdzono na wariancie korowym (B+G) oraz trocinowym (F+H) (tab. 2).

Na wszystkich wariantach nawożenia oraz kontroli współdominującymi gatunkami są: *Athous subfuscus* i *Dalopius marginatus* (tab. 2), będące przedstawicielami fakultatywno-saprofagicznej grupy troficznej (tab. 3). Nieznacznie większą dominację tej grupy pokarmowej stwierdzono na wariancie trocinowo-korowym (C+D) oraz trocinowym (F+H) (tab. 3). Zoofagi zdecydowanie największe udziały osiągają na kontroli (A+E), zaś fitofagi na wariancie korowym (B+G) a następnie trocinowo-korowym (C+D) (tab. 3).

Wartości wskaźnika bogactwa gatunkowego „ d ” oraz wierności zgrupowania „ Q_{F3} ” i wielkość wskaźnika waloryzacji większe zarejestrowano na wariancie trocinowym (F+H), a następnie korowym (B+G). Mniejsze stwierdzono na wariancie trocinowo-korowym (C+D) i kontrolnym (A+E) z tym, że ich wskaźniki „ d ” są zbliżone, natomiast wskaźnik „ Q_{F3} ” i wielkość wskaźnika waloryzacji są znacząco mniejsze na wariancie trocinowo-korowym (C+D).

Athous subfuscus jako jeden z gatunków współdominujących najwyższe zagęszczenie osiągnął na wariancie korowym (B+G), w następnej kolejności również duże na trocinowo-korowym (C+D) i trocinowym (F+H). Natomiast na kontroli posiadał najmniejsze, stanowiące połowę wartości zagęszczenia, jakie uzyskał drugi ze współdominantów *Dalopius*

marginatus, który na tym wariancie miał tę wartość największą, zaś najniższą na wariancie trocinowym (F+H) (tab. 4).

Z uwagi na to, że *Athous subfuscus* i *Dalopius marginatus* należą do fakultatywno-saprofagicznej grupy troficznej jej zagęszczenie we wszystkich wariantach jest zdecydowanie najwyższe, z tym, że znacznie większe na korowym (B+G) i trocinowo-korowym (C+D). Natomiast fitofagi największą zagęszczenie uzyskiwały na wariancie korowym (B+G), a zoofagi na kontroli (A+E) (tab. 5).

b) Próby próchna

Badając wpływ różnych zabiegów rekultywacyjnych na sprężykowate za pomocą prób próchna na powierzchni Z I stwierdzono występowanie 6 taksonów, w tym: *Ampedus sp.*, *Athous subfuscus*, *Dalopius marginatus* i *Selatosomus aeneus*, złowionych także za pomocą prób ściółkowo-glebowych oraz dwóch typowo saproksylobiontycznych gatunków występujących w próchnowiskach *Denticollis linearis* i *Melanotus villosus*.

Największe zgrupowanie *Elateridae*, podobnie jak i to odłowione za pomocą prób ściółkowo-glebowych, odnotowano na wariancie korowym (B+G), jednakowo mniejsze było na pozostałych wariantach nawożenia i kontroli (tab. 7).

Głównym dominantem okazał się saproksylobiontyczny takson *Ampedus sp.*, a subdominantem dominant prób ściółkowo-glebowych fakultatywny saprofag *Athous subfuscus*.

Na wszystkich wariantach nawożenia i kontroli dzięki wyjątkowo licznemu występowaniu *Ampedus sp.* dominującą grupą troficzną są zoofagi (tab. 8), które największe udziały uzyskały na wariancie trocinowym (F+H) a następnie na kontroli (A+E) i wariancie korowym (B+G).

Fakultatywne saprofagi największą dominację osiągnęły na wariancie trocinowo-korowym (C+D), mniejszą na pozostałych wariantach nawożenia oraz kontroli.

Tylko na wariancie korowym (B+G) zarejestrowano znikome udziały fitofagów (tab.8).

W próchnowiskach największy wskaźnik bogactwa gatunkowego „d” i wierności zgrupowania „Q_{F3}” oraz wielkość wskaźnika waloryzacji zarejestrowano na wariancie korowym (B+G). Ponadto dużą wartość wskaźnika „Q_{F3}” oraz wielkość wskaźnika waloryzacji stwierdzono również na kontroli (A+E). Mniejsze wartości wymienionych powyżej wskaźników stwierdzono na pozostałych wariantach powierzchni Z I (tab. 7).

Na wszystkich wariantach nawożenia i kontroli w próchnowiskach najliczniejsze zagęszczenie osiągnął saproksylobiontyczny *Ampedus sp.*, z tym, że największe na wariancie

korowym (B+G) a następnie na kontroli (A+E). Pośrednią wartość odnotowano na wariancie trocinowym (F+H), zaś znacząco mniejszą na trocinowo-korowym (C+D). Natomiast zagęszczenie subdominanta fakultatywnego saprofaga *Athous subfuscus* większe było na wariancie trocinowo-korowym (C+D), następnie korowym (B+G), zaś mniejsze na kontroli (A+E) i wariancie trocinowym (F+H) (tab.9).

Zdecydowanie większą grupą troficzną w próchnowiskach są zoofagi, z uwagi na dominanta *Ampedus sp.* licznie występującego w zgrupowaniu sprężykowatych. W związku z tym jego zagęszczenie na poszczególnych wariantach doświadczenia przekłada się w bardzo dużym stopniu na liczebność zoofagów na tych samych wariantach. Znacznie mniejsze zagęszczenie osiągnęły fakultatywne saprofagi, zaś znikome fitofagi (tab.10).

Powierzchnia zoomelioracyjna Z II

Powierzchnie zoomelioracyjną Z II założono na nieużytku porolnym w 1976 roku. Została ona podzielona na 18 działek składających się z 6 wariantów doświadczenia, w tym: dwóch nawożonych korą z trocinami (wariant z pełną orką głęboką i wariant z pełną orką płytką), dwóch łubinowanych (wariant z pełną orką głęboką i wariant z pełną orką płytką) oraz dwóch kontrolnych (wariant z pełną orką głęboką i wariant z pełną orką płytką). Każdy wariant doświadczenia, podobnie jak na powierzchni zoomelioracyjnej Z I, został powtórzony trzy krotnie (rys. 2).

a) Próby ściółkowo-glebowe

Zgrupowanie sprężykowatych na powierzchni Z II składa się z 7 gatunków i jest większe o dwa gatunki od zgrupowania na pow. Z I. Z tym, że ubył leśny zoofag *Prosternon tessellatum* a przybyło trzy gatunki: leśny fitofag *Sericus brunneus* oraz dwa eurytopowe fitofagiczny *Agriotes obscurus* i zoofagiczny *Adelocera murina* (tab. 1). Rozpatrując oddzielnie każdy z 6 wyżej wymienionych wariantów doświadczenia należy zauważyć, że największe zgrupowanie *Elateridae* występowało na wariantach: korowo-trocinowych, na których wykonano pełną orkę głęboką ($C_{1,3,5}$) i pełną orkę płytką ($C_{2,4,6}$) oraz łubinowanych z pełną orką głęboką ($A_{1,3,5}$) i pełną orką płytką ($A_{2,4,6}$). Natomiast rozpatrując powyższe warianty nawożenia i kontroli łącznie dla pełnej orki głębokiej i pełnej orki płtkiej wówczas największe zgrupowanie *Elateridae* stwierdzono na wariancie łubinowanym (A_{1-6}), następnie korowo-trocinowym (C_{1-6}) a znacząco mniejsze na kontroli (B_{1-6}) (tab. 1).

Athous subfuscus jest gatunkiem zdecydowanie dominującym na całej powierzchni Z II, jak również jego udziały są duże na poszczególnych wariantach nawożenia i kontroli

rozpatrywanych osobno i łącznie przy zastosowaniu pełnej orki głębokiej i płytkiej (tab. 2). Na analogicznych wariantach doświadczenia *Dalopius marginatus* jest subdominantem (tab. 2).

Dominującą grupą troficzną, podobnie jak na powierzchni zoomelioracyjnej Z I, na wszystkich wariantach doświadczenia rozpatrywanych osobno, jak i łącznie dla pełnej orki głębokiej i pełnej orki płytkiej są fakultatywne saprofagi. Największą dominację osiągnęły one na wariantach: kontrolnym z pełną orką płytką (B_{2,4,6}), a następnie korowo-trocinowym (C_{1,3,5}) i kontrolnym (B_{1,3,5}), na których wykonano pełną orkę głęboką. Natomiast przy łącznym rozpatrywaniu wariantów z pełną orką głęboką i płytką największą dominację uzyskały one na kontroli (B₁₋₆), a następnie na wariacie korowo-trocinowym (B₁₋₆) (tab. 3). Fitofagi największą dominację uzyskały na wariantach: łubinowym (A_{2,4,6}) i korowo-trocinowym (C_{2,4,6}), na których wcześniej wykonano pełną orkę płytką, a następnie na kontrolnym (B_{1,3,5}) i łubinowym (A_{1,3,5}) z pełną orką głęboką. Natomiast przy łącznym rozpatrywaniu wariantów z pełną orką głęboką i płytką najwyższą osiągnęły na wariacie po łubinowaniu (A₁₋₆), mniejszą na korowo-trocinowym (C₁₋₆) i kontrolnym (B₁₋₆) (tab. 3). Niewielkie udziały zoofagów stwierdzono tylko na wariacie po łubinowaniu (A_{1,3,5}) i korowo-trocinowym (C_{1,3,5}) z pełną orką głęboką (tab. 3).

Na powierzchni Z II największe wskaźniki bogactwa gatunkowego „d” i wierności zgrupowania „Q_{F3}” oraz wielkość wskaźnika waloryzacji stwierdzono na wariantach łubinowanych z pełną orką głęboką (A_{1,3,5}) i płytką (A_{2,4,6}), z tym, że wskaźnik „Q_{F3}” i wielkość wskaźnika waloryzacji większe są na wariacie z pełną orką głęboką (A_{1,3,5}). Natomiast wskaźnik „d” większy jest na pełnej orce płytkiej (A_{2,4,6}). Duże wartości wskaźników „d” i „Q_{F3}” i wielkość wskaźnika waloryzacji zarejestrowano także na wariacie korowo-trocinowym z pełną orką głęboką (C_{1,3,5}). Ponadto również wskaźnik „d” posiadał dużą wartość na wariacie korowo-trocinowym z pełną orką płytką (C_{2,4,6}). Najmniejszy wskaźnik „d” stwierdzono na kontroli z pełną orką płytką (B_{2,4,6}) i głęboką (B_{1,3,5}), a wskaźnik „Q_{F3}” i wielkość wskaźnika waloryzacji na wariacie korowo-trocinowym z pełną orką płytką (C_{2,4,6}).

Przy łącznym rozpatrywaniu pełnej orki głębokiej i płytkiej najwyższe wskaźniki „d” i „Q_{F3}” oraz wielkość wskaźnika waloryzacji są również na wariacie łubinowym (A₁₋₆). Dużą wartość osiągnął także wskaźnik „d” na wariacie trocinowo-korowym (C₁₋₆), zaś znacznie mniejszą na kontroli (B₁₋₆). Znacząco małą wartość wskaźnika „Q_{F3}” i wielkość wskaźnika waloryzacji zauważono na wariacie kontrolnym (B₁₋₆) i korowo-trocinowym (C₁₋₆) w stosunku do wariantu z łubinem (A₁₋₆) (tab. 2).

Dominujący gatunek *Athous subfuscus* na oddzielnie rozpatrywanych wszystkich wariantach z pełną orką głęboką miał większe zagęszczenie niż na wariantach z pełną orką płytką, z tym, że największe na wariacie korowo-trocinowym ($C_{1,3,5}$), następnie na kontroli ($B_{1,3,5}$) a znacznie mniejsze po łubinowaniu ($A_{1,3,5}$). Wyraźnie najniższe jego zagęszczenie odnotowano na wariacie z pełną orką płytką po łubinowaniu ($A_{2,4,6}$). Zagęszczenie subdominanta *Dalopius marginatus* także większe było na wariantach z pełną orką głęboką, ale tylko na kontroli ($B_{1,3,5}$) i po łubinowaniu ($A_{1,3,5}$). Natomiast na wariacie korowo-trocinowym większe było z pełną orką płytką ($C_{2,4,6}$) i jednocześnie najwyższe z wszystkich wariantów doświadczenia (tab. 4).

Przy łącznej analizie wariantów z pełną orką głęboką i płytką *Athous subfuscus* największe zagęszczenie osiągnął na wariacie korowo-trocinowym (C_{1-6}), następnie na kontroli (B_{1-6}) a znacznie mniejsze po łubinowaniu (A_{1-6}). Podobną tendencję zauważa się w odniesieniu do subdominanta *Dalopius marginatus*, jak i posiadającego wyraźnie niższe zagęszczenie *Selatosomus aeneus* (tab. 4).

Na wszystkich oddzielnie rozpatrywanych wariantach z pełną orką głęboką zagęszczenie fakultatywnych saprofagów było większe niż z pełną orką płytką, przy czym największe na wariacie korowo-trocinowym ($C_{1,3,5}$). Najmniejsze zaś stwierdzono na wariacie po łubinowaniu z pełną orką płytką ($A_{2,4,6}$) (tab.5).

Przy łącznej analizie wariantów z pełną orką głęboką i płytką największe ich zagęszczenie stwierdzono na wariacie korowo-trocinowym (C_{1-6}), następnie na kontroli (B_{1-6}), a znacznie mniejsze po łubinowaniu (A_{1-6}) (tab. 5).

Na wariacie korowo-trocinowym z pełną orką płytką ($C_{2,4,6}$) zauważono największe zagęszczenie fitofagów, zaś najmniejsze z pełną orką głęboką ($C_{1,3,5}$). Zagęszczenia, jakie stwierdzono na wariacie po łubinowaniu z pełną orką płytką ($A_{2,4,6}$) i głęboką ($A_{1,3,5}$) były o identycznej wartości i mniejsze niż na kontroli z pełną orką głęboką ($B_{1,3,5}$).

Łącznie rozpatrując warianty z pełną orką głęboką i płytką większe zagęszczenie fitofagów zarejestrowano na wariacie korowo-trocinowym (C_{1-6}) a pośrednie po łubinowaniu (A_{1-6}).

Niewielkie zagęszczenie zoofagów stwierdzono na wariantach z pełną orką głęboką po łubinowaniu ($A_{1,3,5}$) i traktowanych korą wraz z trocinami ($C_{1,3,5}$).

b) Próby próchna

Zgrupowanie sprężykowatych w próchnowiskach na powierzchni zoomelioracyjnej Z II składa się z 5 gatunków i jest mniejsze o jeden wszędobylski gatunek *Selatosomus aeneus*, który łowiony był w próchnowiskach na pow. Z I. Z analizy osobno rozpatrywanych

wariantów doświadczenia można stwierdzić, że największe zgrupowanie *Elateridae* wystąpiło na wariancie korowo-trocinowym z pełną orką głęboką ($C_{1,3,5}$) a następnie na kontroli również z pełną orką głęboką ($B_{1,3,5}$), zaś tylko jeden gatunek został złowiony na kontroli z pełną orką płytką ($B_{2,4,6}$) (tab. 6).

Rozpatrując warianty nawożenia i kontroli łącznie z pełną orką głęboką i płytką, to również największe zgrupowanie *Elateridae* odnotowano na wariancie korowo-trocinowym (C_{1-6}) a następnie na kontroli (B_{1-6}) (tab. 6).

W próchnowiskach na wszystkich wariantach doświadczenia powierzchni Z II, tak samo jak na powierzchni Z I, zdecydowanie dominującym taksonem był *Ampedus sp.*, a subdominantem *Athous subfuscus* (tab. 7).

Zdecydowanie dominującą grupą troficzną, podobnie jak na powierzchni Z I, okazały się zoofagi, tak na wszystkich wariantach doświadczenia analizowanych osobno, jak i łącznie z pełną orką głęboką i płytką (tab. 8). Maksymalne udziały osiągnęły one na kontroli z pełną orką głęboką ($B_{1,3,5}$) i płytką ($B_{2,4,6}$) oraz na wariancie korowo-trocinowym z pełną orką płytką ($C_{2,4,6}$).

Natomiast przy rozpatrywaniu wariantów łącznie z pełną orką głęboką i płytką stuprocentową ich dominację stwierdzono jedynie na kontroli (B_{1-6}).

Fakultatywne saprofagi najliczniej wystąpiły na wariancie korowo-trocinowym z pełną orką głęboką ($C_{1,3,5}$) ponadto niewielkie ich udziały stwierdzono tylko na wariancie po łubinowaniu z pełną orką głęboką ($A_{1,3,5}$) i płytką ($A_{2,4,6}$).

Nie stwierdzono obecności fitofagicznej grupy pokarmowej (tab. 8).

Na powierzchni Z II na wariantach doświadczenia rozpatrywanych osobno największe wskaźniki bogactwa gatunkowego „ d ” i wierności zgrupowania „ Q_{F3} ” oraz wielkości wskaźnika waloryzacji zarejestrowano na wariancie korowo-trocinowym ($C_{1,3,5}$) i kontroli ($B_{1,3,5}$) z pełną orką głęboką. Natomiast wymienione powyżej wskaźniki najniższe były na wariancie korowo-trocinowym z pełną orką płytką ($C_{2,4,6}$). Z uwagi na to, że był tylko jeden gatunek *Elateridae* na kontroli z pełną orką płytką ($B_{2,4,6}$) nie wyliczano dla tego wariantu wskaźników „ d ” i „ Q_{F3} ” oraz wielkości wskaźnika waloryzacji.

Przy łącznym rozpatrywaniu pełnej orki głębokiej i płytkej największe wskaźniki „ d ” i „ Q_{F3} ” oraz wielkość wskaźnika waloryzacji zostały stwierdzone na wariancie korowo-trocinowym (C_{1-6}), pośrednie ich wartości odnotowano na kontroli (B_{1-6}), zaś znacznie mniejsze po łubinowaniu (A_{1-6}) (tab. 7).

W próchnowiskach na powierzchni Z II zdecydowanie większe zagęszczenie ma także, jak na powierzchni Z I, *Ampedus sp.* na wszystkich wariantach z tym, że

rozpatrywanych osobno i łącznie. Analizując osobno warianty doświadczenia należy zauważyć, że największe zagęszczenie taksonu *Ampedus sp.* było na wariantach korowo-trocinowych tak z pełną orką płytką (C_{2,4,6}) jak i głęboką (C_{1,3,5}), mniejsze zaś na łubinowanych (A_{2,4,6} i A_{1,3,5}) i kontrolnych (B_{2,4,6} i B_{1,3,5}), z tym, że większe jego wartości były zawsze na wariantach z pełną orką płytką.

Rozpatrując łącznie warianty z pełną orką głęboką i płytką podobnie większe zagęszczenie stwierdzono na wariancie korowo-trocinowym (C₁₋₆), zaś jednakowo mniejsze zauważono na łubinowym (A₁₋₆) i kontroli (B₁₋₆). Zagęszczenie subdominanta *Athous subfuscus* także większe odnotowano na wariancie z korą i trocinami (C₁₋₆). Natomiast na kontroli nie został odłowiony (tab. 9).

Z uwagi na to, że dominujący *Ampedus sp.* ma zdecydowanie największe zagęszczenie na wszystkich wariantach doświadczenia, tak z pełną orką głęboką jak i płytką, a pozostałe dwa zoofagiczne gatunki *Denticollis linearis* i *Melanotus villosus* występują nielicznie, dlatego nie zmienia to faktu, że zoofagi najwyższe zagęszczenie mają na wariantach korowo-trocinowych, a mniejsze na kontroli i po łubinowaniu. Zoofagi również większą wartość zagęszczenia mają na wszystkich wariantach z pełną orką płytką (tab. 10).

Powierzchnia „16” – kontrola w gospodarczym drzewostanie sosnowym oraz łącznie rozpatrywane warianty nawożenia i kontroli na powierzchniach zoomelioracyjnych Z I i Z II

a) Próby ściółkowo-glebowe

Badania w gospodarczym drzewostanie sosnowym przeprowadzono na trzech działkach powierzchni „16” kontrolnej. Zgrupowanie gatunkowe sprężykowatych na tej powierzchni było najmniejsze i wynosiło 4, natomiast na pow. Z I - 5 a na pow. Z II - 7 gatunków (tab. 1). Gatunkiem zdecydowanie dominującym na pow. „16” okazał się także, jak na powierzchni Z II, fakultatywny saprofag *Athous subfuscus* a subdominantem *Dalopius marginatus*. Zaś na pow. Z I było dwóch współdominantów *Athous subfuscus* i *Dalopius marginatus* o prawie identycznych udziałach. *Athous subfuscus* największą dominację osiągnął na pow. „16”, następnie na Z II a znacznie mniejszą na Z I. Natomiast *Dalopius marginatus* wyraźnie najmniejsze udziały miał na pow. „16”, nieco większe na Z II i ponad dwa razy większe na Z I (tab. 2).

Grupa fakultatywno-saprofagicznych sprężykowatych na wszystkich powierzchniach zdecydowanie dominowała, mając podobne wartości, z tym, że większe na Z I, następnie na pow. „16”, a mniejsze na Z II (tab. 3).

Najwyższą dominację fitofagów stwierdzono na pow. Z II a znacznie niższą na pow. Z I i „16”.

Udziały zoofagów największe były na pow. „16” a nieliczne na powierzchniach zoomelioracyjnych Z I i Z II (tab. 3).

Na pow. „16” wskaźnik bogactwa gatunkowego „d” uzyskał niewiele większą wartość niż na pow. Z I, natomiast znacznie mniejszą w stosunku do pow. Z II. Zaś wskaźnik wierności zgrupowania „ Q_{F3} ” oraz wielkość wskaźnika waloryzacji na pow. „16” są nieco większe niż na pow. Z II i znacząco wyższe niż na pow. Z I (tab. 2).

Athous subfuscus zdecydowanie największe zagęszczenie osiągnął na pow. kontrolnej „16” w porównaniu do pow. Z I i Z II. Natomiast *Dalopius marginatus* największe zagęszczenie uzyskał na pow. Z I, które jest zbliżone do wartości, jaką miał na tej powierzchni *Athous subfuscus*. Pośrednią wielkość jego zagęszczenia stwierdzono na pow. „16”, zaś znacząco najmniejszą na pow. Z II. Zagęszczenie pozostałych gatunków było niewielkie, z tym, że nieco większe na pow. „16” niż na Z II i Z I (tab. 4).

Na wszystkich trzech rozpatrywanych powierzchniach zarejestrowano zdecydowanie największe zagęszczenie fakultatywnych saprofagów, z tym, że najwyższe na pow. „16”, również duże na pow. Z I, zaś znacznie mniejsze na Z II.

Fitofagów największe i identyczne zagęszczenie stwierdzono na pow. „16” i Z II, a mniejsze na Z I.

Tak samo najwyższe zagęszczenie zoofagów odnotowano na pow. „16”, zaś znacznie mniejsze na obu powierzchniach zoomelioracyjnych Z I i Z II (tab. 5).

b) Próby próchna

Zgrupowanie gatunkowe sprężykowatych w próchnie w gospodarczym drzewostanie sosnowym na kontrolnej powierzchni „16” było najmniejsze z wszystkich dotychczas analizowanych zgrupowań *Elateridae*. Składa się ono z dwóch taksonów: dominującego saproksylobionta *Ampedus* sp., zaliczanego do zoofagicznej grupy pokarmowej i *Athous subfuscus*, będącego reprezentantem fakultatywno-saprofagicznej grupy troficznej. Na powierzchni Z II stwierdzono 5 taksonów: dwa, które wystąpiły na pow. 16 oraz dwa saproksylobionty *Denticollis linearis* i *Melanotus villosus* i fakultatywny saprofag *Dalopius*

marginatus. Największe zgrupowanie było na pow. Z I i wynosiło 6 taksonów, o jeden ubikwistyczny fitofag *Selatosomus aeneus* więcej, jakie odnotowano na pow. Z II (tab. 6).

Gatunkiem zdecydowanie dominującym na wszystkich powierzchniach okazał się *Ampedus sp.*, których miał na nich zbliżone udziały, z tym, że większe na pow. Z II i pow. „16” (tab. 7).

Zoofagiczna grupa pokarmowa na wszystkich trzech powierzchniach zdecydowanie dominowała, osiągając zbliżone wartości, z tym, że największe na Z II, następnie Z I, zaś mniejsze na pow. „16”.

Natomiast grupa fakultatywno-saprofagiczna największe udziały miała na powierzchni kontrolnej „16”, mniejsze na powierzchniach zoomelioracyjnych, z tym, że znacznie niższe na Z II.

Znikome udziały fitofagów stwierdzono jedynie na powierzchni Z I (tab. 8).

W gospodarczym drzewostanie sosnowym na pow. „16” zanotowano znacznie mniejsze wskaźniki bogactwa gatunkowego „*d*” i wierności zgrupowania „*Q_{F3}*” oraz wielkość wskaźnika waloryzacji. Na powierzchniach zoomelioracyjnych największy wskaźnik „*d*” odnotowano na Z I, zaś na Z II znacząco większy wskaźnik „*Q_{F3}*” i wielkość wskaźnika waloryzacji (tab. 7).

Najwyższe zagęszczenie na pow. „16”, jak również na Z I i Z II osiągnął *Ampedus sp.*, z tym, że znacznie większe w gospodarczym drzewostanie sosnowym na pow. „16”, a pośrednie na pow. Z I. Podobną tendencję w zagęszczeniu na powyżej wymienionych powierzchniach miał także subdominant *Athous subfuscus* (tab. 9).

Zoofagiczna grupa troficzna największe zagęszczenie uzyskała także w gospodarczym drzewostanie sosnowym na pow. „16” a mniejsze na powierzchniach zoomelioracyjnych, z tym, że najniższe na Z II.

Podobną sytuację stwierdza się w odniesieniu do fakultatywnych saprofagów, zaś znikome zagęszczenie fitofagów zarejestrowano na pow. Z I (tab. 10).

Powierzchnie kontrolne

Powierzchnia „16”, wariant A +E na powierzchni Z I, warianty B_{1,3,5} i B_{2,4,6} oraz B₁₋₆ na powierzchni Z II

a) Próby ściółkowo-glebowe

Powierzchnia „16” w gospodarczym drzewostanie sosnowym ma największe zgrupowanie sprężykowatych (4 taksony) spośród wszystkich powierzchni kontrolnych. Po trzy taksony zarejestrowano na wariancie A+E na pow. Z I oraz na wariancie rozpatrywanym osobno z pełną orką głęboką ($B_{1,3,5}$) i analizowanym łącznie z pełną orką głęboką i płytką (B_{1-6}) na pow. Z II. Zaś bardzo ubogie zgrupowanie było na wariancie z pełną orką płytką ($A_{2,4,6}$) na pow. Z II, ponieważ stwierdzono tylko 2 gatunki (tab. 2).

Gatunkiem zdecydowanie dominującym na pow. „16” i na wariantach z pełną orką głęboką i płytką rozpatrywanych osobno ($B_{1,3,5}$ i $B_{2,4,6}$) i łącznie (B_{1-6}) na pow. Z II był dominant borów sosnowych *Athous subfuscus*. Największą jego dominację zanotowano na wariancie z pełną orką płytką ($B_{2,4,6}$). Duże udziały miał również na pow. „16” oraz na wariancie rozpatrywanym łącznie z pełną orką głęboką i płytką (B_{1-6}), jak i analizowanym osobno z pełną orką głęboką ($B_{1,3,5}$). Natomiast na wariancie A+E na pow. Z I dominantem był subdominant borów sosnowych *Dalopius marginatus*.

Grupą troficzną wyraźnie dominującą na wszystkich powierzchniach kontrolnych są fakultatywne saprofagi. Stuprocentowy udział stwierdzono na wariancie z pełną orką płytką ($B_{2,4,6}$). Jednakże duże udziały zarejestrowano również na wariancie A+E na pow. Z I i na pow. „16” oraz na wariancie rozpatrywanym łącznie z pełną orką głęboką i płytką (B_{1-6}) na pow. Z II. Nieznacznie mniejsze stwierdzono na wariancie z pełną orką głęboką ($B_{1,3,5}$) na pow. Z II.

Fitofagi największą dominację miały na wariancie rozpatrywanym oddzielnie z pełną orką głęboką ($B_{1,3,5}$), pośrednią na wariancie rozpatrywanym łącznie z pełną orką głęboką i płytką (B_{1-6}) na pow. Z II. Znacznie mniejsze udziały odnotowano na pow. „16”, natomiast na wariancie A+E na pow. Z I nie stwierdzono fitofagicznych sprężyków (tab. 3).

Małe udziały zoofagów zarejestrowano tylko na wariancie A+E na pow. Z I oraz wyraźnie mniejsze na pow. „16”, zaś na wariantach kontrolnych na pow. Z II nie zostały złowione (tab. 3).

Najwyższe wskaźniki bogactwa gatunkowego „ d ” i wierności zgrupowania „ Q_{F3} ” oraz wielkość wskaźnika waloryzacji były na powierzchni „16”, pośrednie na wariantach kontrolnych na pow. Z II, zaś najmniejsze na wariancie A+E na pow. Z I (tab. 2).

Athous subfuscus zdecydowanie największe zagęszczenie uzyskał na powierzchni „16”, znacznie mniejsze na wariancie rozpatrywanym osobno z pełną orką głęboką ($B_{1,3,5}$) oraz łącznie z pełną orką głęboką i płytką (B_{1-6}) na pow. Z II. Zaś na wariancie analizowanym osobno z pełną orką płytką ($B_{2,4,6}$) na pow. Z II i wariancie A+E na pow. Z I jego zagęszczenie było najniższe (tab. 4). Natomiast *Dalopius marginatus* największe

zagęszczenie osiągnął na wariancie A+E na pow. Z I, następnie na „16”, zaś zdecydowanie najmniejsze na wariantach kontrolnych rozpatrywanych tak łącznie, jak i osobno z pełną orką głęboką i płytką na pow. Z II (tab. 4).

Fakultatywne saprofagi zdecydowanie najwyższe zagęszczenie miały na pow. „16”, pośrednie na wariancie A+E na pow. Z I. Natomiast znacznie mniejsze na wariantach kontrolnych na pow. Z II, przede wszystkim na wariancie analizowanym osobno z pełną orką płytką (B_{2,4,6}).

Natomiast fitofagi najwyższe zagęszczenie osiągnęły na wariancie analizowanym osobno z pełną orką głęboką (B_{1,3,5}) na pow. Z II. Pośrednie zagęszczenie stwierdzono na pow. „16” a znacznie mniejsze na wariancie rozpatrywanym łącznie z pełną orką głęboką i płytką (B₁₋₆) na pow. Z II. Na wariancie A+E na pow. Z I fitofagi nie były rejestrowane (tab.5).

Niewielkie o identycznych wartościach zagęszczenie uzyskały zoofagi na pow. „16” i na wariancie A+E na pow. Z I. Nie były one wykazane na wariantach kontrolnych na pow. Z II.

b) Próby próchna

W próchnowiskach na pow. „16” tendencja była odwrotna niż w próbach ściółkowo-glebowych, ponieważ stwierdzono na niej bardzo ubogie zgrupowanie *Elateridae* składające się jedynie z 2 gatunków. Największe zgrupowanie (4 gatunki) odnotowano na wariancie A+E na pow. Z I. Trzy gatunki zarejestrowano na wariancie analizowanym osobno z pełną orką głęboką (B_{1,3,5}) oraz łącznie z pełną orką głęboką i płytką (B₁₋₆) na pow. Z II. Natomiast na wariancie z pełną orką płytką (B_{2,4,6}) na pow. Z II wystąpił tylko jeden gatunek (tab. 7).

Na wszystkich rozpatrywanych powierzchniach kontrolnych zdecydowanie dominującym okazał się saproksylobiont *Ampedus* sp. Maksymalny jego udział odnotowano na wariancie rozpatrywanym osobno z pełną orką płytką (B_{2,4,6}) na pow. Z II. Duży jego udział stwierdzono także na wariancie analizowanym łącznie z pełną orką głęboką i płytką (B₁₋₆) oraz osobno z pełną orką głęboką (B_{1,3,5}) na pow. Z II. Natomiast mniejszą dominację zarejestrowano na wariancie A+E na pow. Z I oraz w gospodarczym drzewostanie sosnowym na pow. „16”. Odwrotna sytuacja dotyczy subdominanta fakultatywnego saprofaga *Athous subfuscus*, którego największe udziały były na pow. „16”, mniejsze na wariancie A+E na pow. Z I, a na wariantach kontrolnych na pow. Z II nie był rejestrowany (tab. 7).

Stuprocentowy udział uzyskały zoofagi na wariantach rozpatrywanych oddzielnie (B_{1,3,5} i B_{2,4,6}), jak i łącznie z pełną orką głęboką i płytką (B₁₋₆) na pow. Z II, nieznacznie mniejszy na

wariancie A+E na pow. Z I. Na ostatnim miejscu znajdują się zoofagi w gospodarczym drzewostanie sosnowym na pow. „16” o nieco jeszcze mniejszej dominacji.

Udział fakultatywnych saprofagów był równoznaczny z dominacją *Athous subfuscus*, ponieważ na rozpatrywanych powierzchniach kontrolnych nie wystąpił drugi fakultatywny saprofag *Dalopius marginatus*.

Natomiast fitofagów na powierzchniach kontrolnych nie stwierdzono.

Największe wskaźniki bogactwa gatunkowego „d” i wierności zgrupowania „ Q_{F3} ” oraz wielkość wskaźnika waloryzacji były na wariancie A+E na pow. Z I, następnie na wariantach rozpatrywanych osobno z pełną orką głęboką ($B_{1,3,5}$) oraz łącznie z pełną orką głęboką i płytką (B_{1-6}) na pow. Z II. Zdecydowanie mniejsze były na pow. „16”. Zaś dla wariantu kontrolnego z pełną orką płytką ($B_{2,4,6}$) na pow. Z II nie wyliczono wskaźników, ponieważ był tylko jeden gatunek (tab. 7).

Największe zagęszczenie *Ampedus sp.* stwierdzono na pow. „16”, następnie na wariancie A+E na pow. Z I. Znacznie mniejsze na wariancie rozpatrywanym osobno z pełną orką płytką ($B_{2,4,6}$) na pow. Z II. Zaś najmniejsze było na wariancie z pełną orką głęboką ($B_{1,3,5}$) oraz na wariancie analizowanym łącznie z pełną orką głęboką i płytką (B_{1-6}) na pow. Z II. Subdominant *Athous subfuscus* najwyższe zagęszczenie miał również na pow. „16”, a o połowę mniejsze na wariancie A+E na pow. Z I. Nie zarejestrowano jego obecności na wariantach kontrolnych na pow. Z II (tab. 9).

Zoofagi największe zagęszczenie miały na kontrolnej pow. „16”. Duże jego wartości stwierdzono także na wariancie A+E na pow. Z I. Znacznie mniejsze na wariantach rozpatrywanych osobno z pełną orką głęboką ($B_{1,3,5}$) i płytką ($B_{2,4,6}$), jak i łącznie (B_{1-6}) na pow. Z II.

Dla fakultatywnych saprofagów również większe zagęszczenie odnotowano na pow. „16”, a o połowę mniejsze na wariancie A+E na pow. Z I. Na wariantach kontrolnych na pow. Z II nie zostały one złowione.

Fitofagów nie stwierdzono na żadnej powierzchni kontrolnej (tab. 10).

Dyskusja

Na podstawie badań przeprowadzonych za pomocą prób ściółkowo-glebowych po 38-39 latach od zabiegu zoomelioracyjnego na pow. Z I w grupie działek (wariant nawożenia B+G i C+D), na których była kora, stwierdzono zdecydowanie większe zagęszczenie sprzążników należących do fakultatywno-saprofagicznej grupy troficznej. Im więcej było kory (wariant B+G) tym większe było ich zagęszczenie. Należy przypuszczać, że kora, jako

substrat nawożenia ze względu na budowę chemiczną będąc stosunkowo słabo rozkładalną, po blisko 40 latach od zabiegu zoomelioracyjnego stworzyła najlepsze warunki do rozwoju larw sprzążków fakultatywno-saprofagicznych.

Ponadto stwierdza się, że fakultatywny saprofag *Athous subfuscus* dominant borów sosnowych największą dominację osiągnął na powierzchni kontrolnej „16” w gospodarczym drzewostanie sosnowym, zbliżoną na powierzchni zoomelioracyjnej Z II, a znacznie mniejszą na powierzchni Z I. Oznaczać to może, że czym większą dominację posiada *Athous subfuscus* na powierzchni porośniętej drzewostanem sosnowym, tym lepsze są warunki do rozwoju tego drzewostanu. Ponieważ pokarmem larw fakultatywnego saprofaga *Athous subfuscus* jest ściółka o szczególnie trudnej rozkładającej się grubej warstwie to mają one istotne znaczenie w udziale procesów glebowych. Przyczyniają się one do szybkiego rozkładu ściółki, a tym samym przyspieszają obieg pierwiastków w przyrodzie przez co stwarzają lepsze warunki do rozwoju drzewostanów sosnowych.

Na podstawie badań próchnowisk stwierdza się, że na powierzchniach zoomelioracyjnych Z I i Z II większe są zgrupowania *Elateridae* oraz wskaźniki bogactwa gatunkowego „d” i wierności zgrupowania „ Q_{F3} ”, a przez to większe są wartości wskaźnika waloryzacji niż w gospodarczym drzewostanie sosnowym na powierzchni „16”. Wynikać to może z tego, że na powierzchniach zoomelioracyjnych zdecydowanie więcej jest pozostawionego martwego drewna w postaci powalonych wykrotów, złomów, jak i po wykonanych czyszczeniach i trzebieżach, na którym larwy sprzążkowatych o większej wierności do lasu mają lepsze warunki do rozwoju.

Wnioski

a) wynikające z analiz prób ściółkowo-glebowych.

1. Większe zgrupowania sprzążkowatych były na powierzchni gospodarczego drzewostanu sosnowego (pow. „16”) i na wariantach poddanych zabiegom rekultywacyjnym na powierzchniach zoomelioracyjnych (Z I i Z II).
2. Na powierzchni „16” oraz na wszystkich wariantach nawożenia i kontroli na pow. Z II gatunkiem zdecydowanie dominującym był *Athous subfuscus* a subdominantem *Dalopius marginatus*, oba gatunki fakultatywno - saprofagiczne. Natomiast na pow. Z I było dwóch współdominantów *Athous subfuscus* i *Dalopius marginatus*.
3. Można przypuszczać, że na powierzchniach badawczych (kontrola pow. „16”, jak i też pow. Z II), na których zdecydowanie dominuje fakultatywny saprofag *Athous subfuscus* są

lepsze warunki do rozwoju drzewostanów sosnowych, ponieważ jego larwy biorą udział w procesach glebowych przyczyniając się do szybkiego rozkładu ściółki, a więc przyspieszają obieg pierwiastków w przyrodzie.

4. W gospodarczym drzewostanie sosnowym (pow. „16” kontrola) dominant borów sosnowych fakultatywny saprofag *Athous subfuscus* oprócz najwyższej dominacji ma również zdecydowanie największe zagęszczenie.

5. Na wariantach nawożonych korą na powierzchni zoomelioracyjnej Z I stwierdzono największe zagęszczenie fakultatywno-saprofagicznych sprężyków oraz zauważono również, że im więcej kory tym większe było ich zagęszczenie.

6. Na powierzchni Z II stwierdzono również największe zagęszczenie fakultatywnych saprofagów na nawożonym korą wariantcie korowo-trocinowym przy zastosowaniu pełnej orki głębokiej, jak i na wariantcie analizowanym łącznie z orką głęboką i płytką. Potwierdza to, że nawożenie korą po 35-36 latach stworzyło lepsze warunki do rozwoju larw fakultatywnych saprofagów w stosunku do innych rodzajów zabiegów rekultywacyjnych.

7. Na powierzchni zoomelioracyjnej Z II przy zastosowaniu pełnej orki głębokiej stwierdzono większe dominacje sprężyków fakultatywno-saprofagicznych na wariantach korowo-trocinowych i po łubinowaniu. Natomiast na kontroli większe ich udziały stwierdza się przy zastosowaniu pełnej orki płytkiej. Odwrotną sytuacją mamy w przypadku fitofagów, największą ich dominację odnotowuje się przy zastosowaniu pełnej orki płytkiej na wariantach nawożenia łubinem i korą z trocinami a na kontroli, gdy stosuje się pełną orkę głęboką.

8. Na powierzchni Z II większe zagęszczenie fakultatywnych saprofagów stwierdzono na wszystkich oddzielnie rozpatrywanych wariantach z pełną orką głęboką niż na wariantach z pełną orką płytką, z uwagi na większe zagęszczenie *Athous subfuscus*.

9. Na powierzchni Z II z pełną orką głęboką i płytką na wariantach nawożonych łubinem i korą z trocinami zarejestrowano większe wartości wskaźnika „d” przy zastosowaniu pełnej orki płytkiej, zaś na kontroli odwrotnie większy wskaźnik „d” odnotowano przy zastosowaniu pełnej orki głębokiej. Natomiast wartość wskaźnika „ Q_{F3} ” i wielkość wskaźnika waloryzacji na wszystkich wariantach z pełną orką głęboką są większe, z tym, że zdecydowanie wyższe na wariantach nawożonych łubinem oraz korą z trocinami, zaś na kontroli są tylko nieco większe niż przy zastosowaniu pełnej orki płytkiej.

10. Największe zagęszczenie fakultatywnych saprofagów zarejestrowano w gospodarczym drzewostanie sosnowym (pow. „16”), poza tym także na wariantcie

korowym i trocinowo-korowym na pow. Z I. Fitofagów największe zagęszczenie było na osobno rozpatrywanym wariancie korowo-trocinowym z pełną orką płytką, jak również na kontroli z pełną orką głęboką na pow. Z II i na wariancie korowym na pow. Z I. Zaś największe zagęszczenie zoofagów stwierdzono na pow. „16” i kontroli na powierzchni zoomelioracyjnej Z I.

11. Wskaźniki bogactwa gatunkowego „ d ” i wierności zgrupowania „ Q_{F3} ” oraz wielkość wskaźnika waloryzacji są większe na pow. „16” i Z II niż na pow. Z I. Może to oznaczać, że na pow. „16” w sosnowym drzewostanie gospodarczym, jak i na powierzchni zoomelioracyjnej Z II przy sposobie uprawy gleby z zastosowaniem pełnej orki głębokiej i płytkiej są lepsze warunki do rozwoju larw sprzążkowatych o większej wierności do lasu.

b) wynikające z analiz prób próchna.

1. Największe zagęszczenie zoofagów odnotowano na pow. „16”, a poza tym także na wariancie korowym i kontrolnym na pow. Z I. Fakultatywnych saprofagów najwięcej było na wariancie trocinowo-korowym na pow. Z I i pow. „16”, jak również korowym na pow. Z I i na trocinowo-korowym z pełną orką głęboką na pow. Z II. Fitofagów jedynie znikome zagęszczenie stwierdzono na wariancie korowym na pow. Z I.

2. Wskaźniki bogactwa gatunkowego „ d ” i wierności zgrupowania „ Q_{F3} ” oraz wielkość wskaźnika waloryzacji są większe na powierzchniach zoomelioracyjnych Z II i Z I niż w gospodarczym drzewostanie sosnowym. Może to świadczyć o tym, że na powierzchniach zoomelioracyjnych zabiegi hodowlano-ochronne nie były prowadzone tak restrykcyjnie, jak w drzewostanach gospodarczych.

3. Na zgrupowanie sprzążkowatych występujących w próchnowiskach na pow. „16” oraz na wariantach nawożenia i kontroli na pow. Z I i Z II prawdopodobnie większy wpływ ma ich wielkość i jakość niż zabieg rekultywacyjny.

Podsumowanie opracowania taksonomicznego

Fakultatywne saprofagi *Elateridae* mają istotny wpływ na tworzenie próchnicy, a tym samym na obieg materii w ekosystemach zalesień na gruntach porolnych.

1. Dla zapewnienia fakultatywnym saprofagom bazy pokarmowej celowe były zabiegi zoomelioracyjne poprzedzone zabiegiem fitomelioracyjnym polegającym na wprowadzeniu łąbinu. Najlepszym zabiegiem było dla nich wprowadzenie masy

organicznej wolno rozkładającej się, jakim była kora oraz sposób uprawy gleby orką pełną głęboką. Zabiegi te protegowały lepszy rozwój lokalnych fakultatywnych saprofagów zasiedlających gleby porolne, jakimi były *Athous subfuscus* i *Dalopius marginatus*.

2. Na wariantach nawożonych korą i korą z trocinami nastąpiło usprawnienie aktywności biologicznej zalesionych gruntów porolnych co uwidoczniło się w większym zagęszczeniu fakultatywnych saprofagów oraz większą aktywnością lignocelulolityczną.

3. Rozpatrując sposoby uprawy gleby (pełna orka głęboka, pełna orka płytka) zauważono, że na wszystkich wariantach nawożenia i kontroli przy stosowaniu pełnej orki głębokiej znacznie większe było zagęszczenie fakultatywnych saprofagów niż przy zastosowaniu pełnej orki płytkej.

Największe było na wariantach po nawożeniu korą z trocinami, zaś różnica w ich zagęszczeniu pomiędzy wariantami z pełną orką głęboką a pełną orką płytką najwyższa była po łubinowaniu.

4. Za stosowaniem pełnej orki głębokiej przemawia również fakt, że na wszystkich wariantach nawożenia i kontroli przy tym sposobie uprawy gleby większe odnotowano wartości wskaźnika wierności zgrupowania „ Q_{F3} ” i wielkości wskaźnika waloryzacji. Z tym, że wyższe były one na wariantach nawożenia, szczególnie po łubinowaniu, gdzie były najwyższe w stosunku do wszystkich pozostałych wariantów doświadczenia na obu powierzchniach zoomelioracyjnych, jak i w drzewostanie gospodarczym.

5. Na wariantach korowo-trocinowych i po łubinowaniu z pełną orką głęboką stwierdza się również większą dominację pożytecznych fakultatywno-saprofagicznych sprzątek a mniej rejestruje się szkodliwych należących do fitofagicznej grupy troficznej.

6. Analizując aktywność lignocelulolityczną mikroorganizmów na wariantach kontrolnych na obu powierzchniach zoomelioracyjnych, jak i w drzewostanie gospodarczym na powierzchni Z II, na której stosowano pełną orkę, w sekcji 25-40 cm a więc także na większych głębokościach stwierdzono największe ubytki ciężaru próbek drewna.

powierzchni glebę przygotowano w sposób tradycyjny.

7. Larwy fakultatywno-saprofagicznych sprzątek w czasie pionowych i poziomych migracji przyczyniają się do wymieszania części organicznych gleby z mineralnymi,

poprawy struktury gleby, rozprzestrzeniania się mikroorganizmów i w końcowym efekcie do polepszenia fizykochemicznych właściwości gleb gruntów porolnych.

3.6. Analiza hodowlano-dendrometryczna drzewostanów w różnych wariantach nawożenia

Wstęp

Ekosystemy leśne różnią się w sposób zasadniczy od ekosystemów rolnych. Pierwsze są zbliżone do ekosystemów pierwotnych i charakteryzują się dobrze zachowanym składem flory i fauny, drugie zaś pod tym względem są uboższe i mniej trwałe. W glebach rolniczych występuje najczęściej silnie zagęszczona podeszwa płużna o zniszczonej strukturze gruzełkowej, utrudniająca podsiąkanie wody do warstw powierzchniowych. Gleby takie są stosunkowo zasobne pod względem azotu, natomiast cechuje je niedobór fosforu i potasu oraz mała zasobność substancji organicznej w wierzchniej warstwie do głębokości 20-25cm (Sierota 1998). W porównaniu do gleb leśnych, gleby porolne cechują się znacznie niższym stosunkiem węgla do azotu ($C:N = 8-12$ w glebach porolnych oraz $= 12-30$ w glebach leśnych), oraz zwykle wyższym odczynem pH (6-8 w glebach porolnych, 4-5 w glebach leśnych), co m.in. powoduje, że w edafonie gleb rolnych dominują promieniowce i bakterie. Liczebność pożytecznej fauny glebowej jest 10-15 razy niższa w glebach rolnych niż w glebach leśnych, co stwarza mniej korzystne warunki do powstania próchnicy i wpływa na zjawisko niedożywienia drzew (Sierota 1998). Najbardziej znacząco gleby rolne od leśnych różni brak ścióły oraz korzeni i pniaków, stanowiących źródło energii dla grzybów rozkładających ligninę i celulozę oraz owadów odżywiających się drewnem i produktami jego rozkładu. Organizmy te współuczestnicząc w procesach degradacji substancji organicznych zawartych w korzeniach i ściółce, wpływają na aktywność biologiczną tych gleb. Ma to wpływ na występowanie grzybów mikoryzowych i glebowych o zdolnościach antagonistycznych

wobec patogenów korzeni (Sierota 1998) i sugeruje, że najważniejsze różnice pomiędzy gruntem leśnym a porolnym mają charakter biologiczny (Gorzelak 1999).

Zamiana typu użytkowania gleb z rolniczego na leśny jest zabiegiem trudnym i długotrwałym. Istnieją jednak możliwości przyspieszenia tego procesu drogą odpowiednich zabiegów agrotechnicznych i hylotechnicznych (Gorzelak i in. 1999). Do takich zabiegów restytucyjnych należą m.in.: 1) orka pełna głęboka mająca na celu rozkruszenie podeszwy płuznej, 2) nawożenie niekompostowaną, rozdrobnioną korą sosnową, lub korą z dodatkiem trocin, 3) wysiew łubinu trwałego w międzyrzędy drzew na uprawie, jak również 4) zabiegi specjalistyczne z zakresu tzw. zoomelioracji polegające na introdukcji określonych gatunków, jak np. wija *Proteroiulus fuscus*, zdolnego do intensywnego rozdrabniania kory (Gorzelak i in. 1999).

Ocena skuteczności ww. zabiegów była przedmiotem doświadczenia założonego przed kilkudziesięcioma laty na gruntach porolnych, położonych w zasięgu nadleśnictwa Niedźwiady. Głównym celem niniejszego opracowania jest analiza podstawowych cech i parametrów drzew występujących na założonych w ramach tego doświadczenia powierzchniach badawczych, z uwzględnieniem poszczególnych czynników i wariantów doświadczalnych. Ponadto, w zakres opracowania wchodzi ogólna ocena hodowlana aktualnego stanu drzewostanów występujących na powierzchniach doświadczalnych oraz próba prognozowania ich dalszego rozwoju.

Obiekt badań

Obiekt badawczy składa się z ogółem 3 powierzchni doświadczalnych, z których 2 (oznaczone symbolami Z1 oraz Z2) zostały założone na gruncie porolnym oraz 1 (powierzchnia kontrolna oznaczona symbolem K) została założona na gruncie leśnym.

Na powierzchni Z1 założono dwuczynnikowe doświadczenie, gdzie jednym czynnikiem eksperymentalnym jest substrat, natomiast drugim – fauna glebowa (edafon). Pierwszy czynnik przyjmuje cztery wartości: 1) kontrola; 2) kora; 3) trociny; 4) kora + trociny, natomiast drugi - dwie: f - fauna; k - kontrola, bez fauny – Ryc.2.1.

Doświadczenie założono w układzie bloków losowych, przy czym każdy z wariantów występuje w 3 powtórzeniach (bloki 1-3). Biorąc pod uwagę oba czynniki, tj. substrat i faunę, można wyróżnić ogółem 8 kombinacji czynników doświadczalnych: 1k - kontrola; 1f – fauna; 2k – kora; 2f - kora + fauna; 3k – trociny; 3f – trociny + fauna; 4k - kora + trociny; 4f - kora

+ trociny + fauna (mix) (na oryginalnych mapach oznaczone literami od A do H, odpowiednio 1-A, 2-B, ..., 8-H).

Elementarna powierzchnia doświadczalna ma wymiary 15x15m i jest oddzielona od innych dwoma rzędami brzozy. Wymiary całej powierzchni doświadczalnej wynoszą 60x150m (9000m²).

Na powierzchni Z2 w układzie bloków losowych założono trzyczynnikowe doświadczenie (Ryc. 2.2a-c).

Pierwszym czynnikiem jest rodzaj użytego substratu, który występuje w 3 wariantach: 1) łubin; 2) kontrola; 3) kora i trociny (na oryginalnych mapach A, B, C, odpowiednio 1-A, 2-B, 3-C). Każdy z wariantów występuje w 6 powtórzeniach (bloki 1-6).

Drugim czynnikiem doświadczenia jest sposób przygotowania gleby, gdzie wyróżniono dwa warianty: Og - orka pełna głęboka; Op - orka pełna płytka.

Biorąc pod uwagę substrat i sposób przygotowania gleby, można wyróżnić następujące kombinacje doświadczalne: 1Op; 1Og; 2Op; 2Og; 3Op; 3Og.

W blokach 1-2 oraz 5-6 występuje jeszcze jeden, trzeci czynnik - fauna. Uwzględniając faunę jako czynnik eksperymentalny utworzono warianty doświadczenia: f - fauna; k - kontrola.

Biorąc pod uwagę substrat i faunę wyróżniono następujące warianty doświadczenia: 1f - łubin + fauna; 1k - tylko łubin; 2f - kontrola + fauna; 2k - tylko kontrola; 3f - kora + trociny + fauna; 3k - kora + trociny.

Dla wszystkich czynników doświadczenia (substrat, orka, fauna) utworzono warianty: 1Op; 1Opf; 1Og; 1Ogf; 2Op; 2Opf; 2Og; 2Ogf; 3Op; 3Opf; 3Og; 3Ogf.

Każdy wariant doświadczenia występuje na elementarnych powierzchniach o wymiarach 20x40m. Wymiary całej powierzchni doświadczalnej wynoszą 120x120m (14400m²).

Kontrola (K) w przeciwieństwie do powierzchni doświadczalnych Z1 i Z2 została założona na siedlisku leśnym i składa się z 3 powierzchni o wymiarach 20x20m (łącznie 1200m²).

Pomiary terenowe

Pomiary terenowe wykonano w sierpniu 2012 roku wykorzystując do tego celu technologię Field-Map. Na powierzchni doświadczalnej określono położenie (współrzędne przestrzenne) każdego drzewa na podstawie pomiaru odległości i azymutu z wykorzystaniem

dalmierza laserowego wyposażonego w kompas elektroniczny - TruPulse 360B. Ponadto, pomierzono pierśnice wszystkich drzew z dokładnością do 1mm oraz oszacowano jakość techniczną drzew, klasę biosocjalną i typ rozwojowy korony każdego drzewa. Wykonano również pomiar wysokości dla reprezentatywnej próby drzew w celu określenia krzywej wysokości.

Jakość techniczną drzew określono według skali:

- 1 - sortymenty specjalne (sklejka, okleina) i drewno tartaczne najwyższej jakości, pnie proste, gonne, dobrze oczyszczone;
- 2 - dopuszczalne lekkie krzywizny, pnie nieco zbieżyste, słabiej oczyszczone, lecz produkujące w całej swej masie dobry surowiec tartaczny;
- 3 - drzewa z silniejszą krzywizną, zbieżyste i gałęziste, surowiec tartaczny gorszej jakości;
- 4 - drzewa o wartości opałowej lub nadające się jedynie na przerób chemiczny, krzywe, sękate, zbieżyste, „dwójki”.

Klasyfikację biosocjalną drzew oszacowano według Kraftha (1888 – por. Ryc. 3.1) w skali:

- 1 - drzewa górujące (symbol I);
- 2 - drzewa panujące (symbol II);
- 3 - drzewa współpanujące (symbol III);
- 4 - drzewa opanowane, wkleszczone między inne, korona ścieśniona w dolnej części z wolnym wierzchołkiem (symbol IVa);
- 5 - drzewa opanowane, o koronach częściowo zasłoniętych, górna część korony jeszcze wolna, dolna zasłonięta lub obumarła (symbol IVb);
- 6 - drzewa całkowicie przygłuszone, korony zdolne do życia (symbol Va);
- 7 - drzewa całkowicie przygłuszone, korony martwe lub zamierające (symbol VB).

Typy pokrojowo-rozwojowe sosny oszacowano według skali (Ryc. 3.2):

- 1 - gałęzie cienkie, współczynnik kształtności korony (stosunek długości korony do jej szerokości) stosunkowo duży, korony wąskie;
- 2 - forma pośrednia pomiędzy 1 i 3;
- 3 - gałęzie grube, współczynnik kształtności korony stosunkowo niski, korony szerokie.

Metodyka

Analizy statystyczne

Średnie pierśnice drzew (cecha mierzalna, zmienna o charakterze ciągłym) uzyskane dla różnych wariantów doświadczalnych porównano, wykorzystując w tym celu, w zależności od doświadczenia, jedno, dwu lub trzyczynnikową analizę wariancji ($\alpha = 0,05$). W celu określenia grup jednorodnych wykorzystano test Tukey'a dla różnych liczebności spostrzeżeń.

W celu porównania cech szacowanych (jakość techniczna drzew, klasa biosocjalna, typ rozwojowy korony) wykorzystano nieparametryczną analizę wariancji, tj. test rang Kruskala–Wallisa (test H, $\alpha=0,05$, dla nie więcej niż 10 grup; dla więcej niż 10 grup wykonano test mediany) lub test U Manna–Whitneya (test U, $\alpha=0,05$; dla dwóch prób niezależnych). W celu określenia grup jednorodnych użyto testu wielokrotnych porównań średnich rang dla wszystkich grup (Siegel i Castellan 1988).

Wyniki opracowano wykorzystując oprogramowanie Statistica 9.1 StatSoft Inc.

Miaższość drzew obliczono za pomocą wzoru $V=G*H*F$, gdzie G – pole przekroju pierśnicowego drzewa, F - liczba kształtu określona wg wzorów Bruchwalda (1996), H – wysokość wg funkcji Michajłowa (Korf i in. 1972), której parametry obliczono na podstawie pomierzonej próby drzew.

Wzór na liczbę kształtu sosny zwyczajnej wg Bruchwalda (1996) jest następujący:

$$F=(1/(1+(D/(1,2895+0,90645*D))^4))*((D-6)/(0,2834+0,988*(D-6)))^4,$$

gdzie:

D - pierśnica drzewa.

Wizualizacja struktury przestrzennej i symulacja dalszego rozwoju drzewostanu

Wizualizację struktury przestrzennej drzewostanów występujących na powierzchniach badawczych, z uwzględnieniem różnych kategorii drzew, wyróżnionych w trakcie badań i pomiarów terenowych, a także prognozę dalszego rozwoju drzewostanów przeprowadzono przy pomocy programu BWINPro (Nagel 1990; Nagel 2003; Döbbeler i in. 2006). Stronę tytułową programu BWINPro (wersja S 6.3) przedstawiono na Ryc. 5.1.

Głównym elementem programu BWINPro jest empiryczny model wzrostu drzewostanu. Podstawową funkcją tego modelu jest prognozowanie wzrostu poszczególnych

drzew, z uwzględnianiem (lub bez uwzględniania) położenia drzew w przestrzeni, dla różnych scenariuszy postępowania hodowlanego. Model zawiera 2 zmienne zależne, tj. wysokość i grubość drzewa. Obie te zmienne symulowane są oddzielnie. Rolę głównych zmiennych objaśniających pełnią takie parametry, jak: wiek drzewa, wymiary korony drzewa, wskaźnik konkurencji, wskaźnik uwolnienia w wyniku trzebieży.

Program BWINPro umożliwia komputerową symulację podstawowych typów zabiegów hodowlanych (trzebież dolna, trzebież górna, trzebież selekcyjna, główne rodzaje cięć odnowieniowych), analizę ich wpływu na stan aktualny oraz prognozowanie przyszłego rozwoju drzewostanu (przewidywania reakcji drzewostanu na planowane zabiegi).

Dane wejściowe do programu mogą pochodzić z powierzchni próbnych o różnej wielkości i kształcie (kołowe, czworokątne). Dane minimalne, jakie są potrzebne na „wejściu” modelu, to: wielkość powierzchni próbnej, powierzchnia przekroju pierśnicowego, wiek, pierśnica przeciętna, pierśnica maksymalna (dla poszczególnych gatunków drzew). Maksymalne możliwości przetwarzania danych obejmują takie parametry, jak: przynależność gatunkowa, współrzędne przestrzenne drzew, pierśnice, wysokości, szerokości i wysokości nasady korony, status w trzebieży (dorodne, szkodliwe, pożyteczne).

Ogólną strukturę programu BWINPro-S 6.3 przedstawiono na Ryc. 5.2.

Wynikiem pracy programu jest duża liczba danych i zmiennych. Dane te można podzielić na 3 zasadnicze części.

Pierwsza część zawiera wyniki dotyczące poszczególnych drzew, takie jak: wiek, pierśnica, wysokość całkowita, wysokość nasady korony, szerokość korony, względna długość korony w %, współczynnik smukłości h/d , miąższość, współrzędna x i y, status drzewa w zabiegach trzebieżowych (dorodne, szkodliwe, pożyteczne), status konkurencyjny drzewa, wskaźnik uwolnienia, biomasa części nadziemnej.

Drugą część danych wynikowych stanowią dane uśrednione dla całego drzewostanu: zagęszczenie drzew, pierśnicowe pole przekroju (ppp), miąższość, pierśnica i wysokość przeciętna, pierśnica i wysokość 100 najgrubszych drzew, wiek, ogółem i z podziałem na gatunki oraz z uwzględnieniem drzewostanu głównego i podrzędnego (drzewa przeznaczone do usunięcia w ramach trzebieży), skład gatunkowy (w %) określony na podstawie ppp, liczba drzew w poszczególnych stopniach grubości.

Trzecia część danych wynikowych zawiera wartości wskaźników strukturalnych. Są to następujące parametry: liczba gatunków, indeks Shannona (N, G), indeks równomierności (N, G), profil pionowy, współczynnik smukłości h/d , %korony (wartości średnie, minimalne i maksymalne), wskaźnik segregacji, wskaźnik zmieszania, wskaźnik zróżnicowania pierśnic, wskaźnik dominacji, indeks Clarka i Evansa, miara kątowna.

Poza ww. funkcjami i opcjami program BWINPro umożliwia wykonywanie wizualizacji graficznej drzewostanu. Przy pomocy programu można sporządzić 2- (widok z góry) i 3-wymiarowy (widok z boku) obraz drzewostanu. Poszczególne gatunki mogą być oznaczone przy pomocy kolorów naturalnych lub zdefiniowanych przez użytkownika kodów barwnych. Możliwe jest także wizualne wyróżnienie drzew dorodnych i drzew przeznaczonych do usunięcia. Ponadto, program BWINPro automatycznie wykonuje różnego rodzaju histogramy i wykresy (np. strukturę grubości lub strukturę wysokości drzew).

Wyniki badań

Analiza statystyczna wyników doświadczenia zoomelioracyjnego

Na wszystkich powierzchniach doświadczalnych pomierzonych w 2012 roku wystąpiło w sumie 2937 drzew, w tym 2767 sosen i 170 brzoź. W wariancie kontrolnym K na powierzchni leśnej wystąpiło 120 drzew (tylko sosna), na powierzchni doświadczalnej Z1- 915 drzew, w tym 169 brzoź, a na powierzchni Z2 - 1902 drzewa, w tym 1 brzoza. Analizy statystyczne wykonano dla sosny, ponieważ brzoza została wprowadzona jako gatunek pomocniczy, do oznaczenia granic wariantów doświadczalnych. Zależność między pierśnicą i wysokością dla drzew sosny występujących na powierzchniach badawczych, określoną na podstawie próby, przedstawiono na Ryc. 6.1a-d.

Doświadczenie Z1

Liczba drzew, pierśnica

Liczba sosen w doświadczeniu Z1 wahała się w zależności od użytego substratu od 175 do 194 drzew (Tab. 6.1 i 6.2). W wariantach będących kombinacją substratu i występowania fauny liczba ta mieściła się w przedziale od 85 do 108 drzew (Tab. 6.3).

Pierśnice cechowały się niską zmiennością, dla wszystkich drzew współczynnik zmienności wyniósł około 22%.

Pierśnicę sosny w wariantach doświadczenia Z1 porównano za pomocą analizy wariancji. W przypadku czynnika substrat ($P=0,216$; $F=1,49$) i fauna ($P=0,474$; $F=0,51$) nie uzyskano istotnego wpływu tych czynników na wielkość pierśnicy (Tab. 6.2; Ryc. 6.2 i 6.3). W dwuczynnikowej analizie wariancji wystąpiły istotne interakcje pomiędzy substratem a fauną ($P=0,001$; $F=5,03$). W wariancie z substratem w postaci kory i trocin (4) fauna wpływała na obniżenie wielkości pierśnicy, w przeciwieństwie do pozostałych wariantów doświadczenia (Ryc. 6.4a, 6.4b). Test post-hoc wskazał 2 grupy jednorodne (Tab. 6.3).

Jakość techniczna sosny

W doświadczeniu Z1 udział poszczególnych klas jakości technicznej pnia był zbliżony do wartości średnich dla wszystkich wariantów doświadczalnych (Tab. 6.4, 6.5, 6.6 i 6.7).

W doświadczeniu Z1 nie uzyskano istotnych różnic w jakości technicznej pni sosny względem substratu ($P=0,185$; $H=4,82$) oraz fauny ($P=0,194$; $U=65996$), jak również w przypadku obu tych czynników razem ($P=0,074$; $H=12,92$), pomimo, że warianty: 1k, 2k, 3f i 4k wykazywały większy udział drzew z dobrymi cechami jakości technicznej pnia (Tab. 6.6 i 6.7, Ryc. 6.5, 6.6 i 6.7).

Klasy biosocjalne Krafta

W doświadczeniu Z1 udział drzew w poszczególnych klasach biosocjalnych Krafta był zbliżony do wartości średnich. W pierwszej klasie biosocjalnej występowało około 3,3% drzew w drogiej 43,7% a w trzeciej około 30%. W drzewostanie podrzędnym występowało około 25% drzew (Tab. 6.8, 6.9, 6.10, 6.11).

W doświadczeniu Z1 nie uzyskano istotnych różnic w strukturze liczebnej poszczególnych klas biosocjalnych Krafta w zależności od substratu ($P=0,491$; $H=2,42$), fauna ($P=0,747$; $U=68664$) i obu czynników razem ($P=0,871$; $H=3,15$) (Tab. 6.8 i 6.10; Ryc. 6.8, 6.9 i 6.10)

Typy rozwojowe koron sosny

Strukturę liczebną i procentową udziału drzew w poszczególnych klasach rozwojowych koron sosny przedstawiają tabele 12, 13, 14 i 15. W pierwszej klasie uzyskano około 8,6% drzew w drugiej 14,3% a w trzeciej 77%.

W doświadczeniu Z1 nie uzyskano istotnych różnic w strukturze typów rozwojowych koron sosny w zależności od czynników substrat ($P=0,192$; $H=4,73$) i fauna ($P=0,749$; $U=65748$) (Tab. 6.12, Ryc. 6.11 i 6.12). Uzyskano różnice w strukturze tej cechy w zależności od obu czynników doświadczenia razem ($P=0,005$; $H=20,5$). Warianty: 1k, 2k i 3f cechowały się istotnie wyższym udziałem drzew o korzystniejszych cechach korony (klasa 1 i 2) niż warianty: 2f i 3k (Tab. 6.14; Ryc. 6.13).

Mięszość drzewostanu

Tabele 6.16a i 6.16b przedstawiają mięszość drzew w wariantach doświadczalnych. Mięszość drzewostanu na powierzchni doświadczalnej wyniosła $386 \text{ m}^3/\text{ha}$, w tym grubizny $373,8 \text{ m}^3/\text{ha}$. Najniższą mięszością cechował się wariant 1f, a najwyższą 3f.

Doświadczenie Z2

Liczba drzew, pierśnica

Statystykę opisową pierśnicy sosny w zależności od czynnika doświadczalnego przedstawiają Tab. 6.18, 6.19, 6.20 i 6.21. W doświadczeniu Z2 uzyskano średnią pierśnicę sosny 178,8 mm, charakteryzującą się niewielkim współczynnikiem zmienności wynoszącym około 20%.

Pierśnicę sosny w wariantach doświadczenia Z2 porównano za pomocą analizy wariancji. W przypadku czynnika substrat ($P<0,001$; $F=9,69$) uzyskano istotne różnice w wielkości pierśnicy. Wariant kora i trociny (3) różnił się od pozostałych (Tab. 6.18; Ryc. 6.14). Pod względem czynników przygotowanie gleby ($P=0,237$; $F=1,10$) i fauna ($P=0,566$; $F=0,33$) nie uzyskano istotnych różnic w wielkości pierśnicy sosny (Tab. 6.18; Ryc. 6.15 i 6.16).

Wykonano również dwuczynnikową analizę wariancji z uwzględnieniem substratu i sposobu przygotowania gleby. W tym przypadku uzyskano istotne różnice w wartościach średnich pierśnic sosny, zależnie od substratu ($P<0,001$; $F=9,81$) (Tab. 6.19; Ryc. 6.17), ale bez wpływu sposobu przygotowania gleby ($P=0,172$, $F=1,86$) i interakcji substratu ze sposobem przygotowania gleby ($P=0,59$; $F=0,53$). Test post-hoc wyróżnił 2 grupy

jednorodne: 1) warianty: 3Og, 3Op i 1Og oraz 2) warianty: 3Op, 1Og, 2Op, 2Og, 1Op (Tab. 6.19).

Wykonano także dwuczynnikową analizę wariancji z uwzględnieniem substratu i wpływu fauny. W tym przypadku również uzyskano istotne różnice w wartościach średnich pierśnic sosny zależnie od substratu ($P < 0,001$; $F = 8,55$), ale bez wpływu fauny ($P = 0,625$; $F = 0,24$) i interakcji substratu i fauny ($P = 0,629$, $F = 0,46$). Przy pomocy testu Tukey'a wyróżniono 2 grupy jednorodne: 1) warianty: 1k, 3f i 3k oraz 2) warianty: 1f, 2k, 2f i 1k (Tab. 6.20).

W wyniku trzyczynnikowej analizy wariancji (substrat, sposób przygotowania gleby i fauna) uzyskano istotne różnice w wartościach średnich pierśnic zależnie od substratu ($P < 0,001$; $F = 8,83$) oraz interakcji wszystkich czynników ($P = 0,005$; $F = 5,24$). Wariant doświadczenia kora i trociny, orka głęboka i fauna okazał się najlepszy pod względem wielkości pierśnicy (186,7mm) a wariant łubin, orka płytka i bez fauny najgorszy (170,5mm) (Ryc. 6.18). Grupy jednorodne przedstawia Tab. 6.21. Pozostałe kombinacje czynników okazały się nieistotne statystycznie.

Jakość techniczna sosny

W doświadczeniu Z2 udziały poszczególnych klas jakości technicznej pnia były zbliżone do wartości średnich dla wszystkich analizowanych powierzchni (Tab. 6.22-25), jednakże w wariantach z substratem łubin i kontrola występowało więcej drzew reprezentujących pierwszą klasę jakości technicznej.

W doświadczeniu Z2 uzyskano istotne różnice w strukturze jakości technicznej sosny w zależności od użytego substratu ($P < 0,001$; $H = 31,10$). Test post-hoc porównań wielokrotnych wyróżnił 2 grupy jednorodne przyporządkowując do pierwszej grupy warianty 1 i 2, a do drugiej wariant 3 (Tab. 6.22, Ryc. 6.19). W przypadku pozostałych czynników: sposób przygotowania gleby ($P = 0,838$; $U = 448494$) i fauna ($P = 0,960$; $U = 403620$) nie uzyskano istotnych zależności (Ryc. 6.20 i 6.21).

W przypadku czynników substrat i sposób przygotowania gleby wykazano różnice w strukturze jakości technicznej sosny ($P < 0,001$; $H = 32,43$). Test porównań wielokrotnych wyróżnił 2 grupy jednorodne: 1Og, 1Op, 2Og, 2Op oraz 1Op, 3Og, 3Op (Tab. 6.24, Ryc. 6.22).

W przypadku czynników substrat i fauna również wykazano różnice w strukturze jakości technicznej sosny ($P < 0,001$; $H = 33,89$). Test porównań wielokrotnych wyróżnił 2 grupy jednorodne: 1f, 1k, 2f, 2k oraz 1k, 3f, 3k (Tab. 26).

W analizach uwzględniono także wszystkie czynniki doświadczenia, gdzie również uzyskano istotną statystycznie zależność struktury jakości technicznej sosny ($P < 0,001$; $\chi^2 = 51,70$). Test porównań wielokrotnych wyróżnił 2 grupy jednorodne, które przedstawia Tab. 6.28 i Ryc. 6.23.

Klasy biosocjalne Krafta

W doświadczeniu Z2 oszacowano średnio 5,94% drzew w pierwszej klasie biosocjalnej, a w następnych odpowiednio: 47,82%; 32,61%; 10,10%; 3,00%; 0% i 0,53% (Tab. 6.30 i 6.31).

Pod względem użytego substratu ($P = 0,525$; $H = 1,28$) i czynnika fauna ($P = 0,938$; $U = 403329$) nie uzyskano istotnych różnic w rozkładach klas biosocjalnych w poszczególnych wariantach doświadczenia (Tab. 6.30). Jedynie w przypadku czynnika sposób przygotowania gleby uzyskano istotną zależność ($P < 0,001$; $U = 402952$) (Ryc. 6.24-26).

Również w przypadku dwóch czynników substrat i sposób przygotowania gleby uzyskano istotną zależność w strukturze biosocjalnej drzew ($P < 0,001$; $H = 32,43$). Test porównań wielokrotnych wyróżnił 2 grupy jednorodne: 1Og, 2Og, 2Op, 3Og, 3Op oraz 1Op, 2Og, 2Op, 3Op (Tab. 6.32 i 6.33; Ryc. 6.27).

W kombinacjach czynników substrat i fauna ($P = 0,763$; $H = 2,58$) nie uzyskano istotnych zależności (Tab. 6.34–35). W analizach uwzględniających wszystkie czynniki doświadczenia uzyskano istotną statystycznie zależność struktury jakości technicznej sosny ($P = 0,047$; $\chi^2 = 19,89$), jednak test porównań wielokrotnych nie wyróżnił grup jednorodnych (Tab. 6.36 i 6.37; Ryc. 6.28).

Typy rozwojowe koron sosny

W doświadczeniu Z2 oszacowano w pierwszym typie rozwojowym koron 21,79% drzew, w drugim 27,18% a w trzecim 51,03% (Tab. 6.38 i 6.39).

W doświadczeniu Z2 uzyskano istotne różnice w strukturze rozkładu typów rozwojowych koron sosny w zależności od substratu ($P = 0,021$, $H = 7,74$). Test porównań wielokrotnych wyróżnił 2 grupy jednorodne: warianty 1 i 2 oraz wariant 3 (Tab. 6.38, Ryc.

6.29). Nie uzyskano istotnych zależności dla sposobu przygotowania gleby ($P=0,591$; $U=440130$) (Tab. 6.38; Ryc. 6.30). Natomiast odnotowano wpływ fauny ($P<0,001$; $U=448494$) (Tab. 6.38; Ryc. 6.31).

Również w przypadku kombinacji czynników doświadczenia: substratu i sposobu przygotowania gleby ($P=0,043$; $H=11,48$); substratu i fauny ($P=0,001$; $H=21,39$) uzyskano istotne zależności (Tab. 6.40-43; Ryc. 6.32). Grupy jednorodne przedstawiają Tab. 6.40, 6.42 i 6.44. Dla wszystkich 3 czynników doświadczenia nie uzyskano istotnych zależności testem mediany ($P=1$; $\chi^2=0$) (Tab. 6.44-45; Ryc. 6.33).

Mięszczość drzewostanu

Tab. Tab. 6.46a i 6.46b przedstawiają miąższość drzew w wariantach doświadczalnych. Miąższość drzewostanu na powierzchni doświadczalnej wynosiła 296,7 m³/ha, w tym grubizny 284 m³/ha. Najniższą miąższością cechował się wariant 2Op_f, a najwyższą 3Og_k.

Kontrola – powierzchnia kontrolna na gruncie leśnym

Liczba drzew, pierśnica

Liczba drzew na powierzchni kontrolnej (leśnej) wahała się od 31 do 40 sztuk na działce o wymiarach 20x20m. Średnia pierśnica pomierzonych drzew wyniosła 136,5mm (Tab. 6.47).

Jakość techniczna sosny

Na powierzchniach kontrolnych uzyskano duży udział 1 klasy jakości technicznej drzew – około 21% (Tab. 6.48 i 6.49). Pozostałe klasy były reprezentowane w udziale 38% i 41%.

Klasy biosocjalne KRAFTA

Na powierzchniach kontrolnych występowały tylko klasy biosocjalne zakodowane jako 1, 2, 3 i 6. Czyli występował drzewostan główny i jedynie klasa Va Krafra. Ta struktura odzwierciedla niedawno wykonany zabieg trzebieży wczesnej (Tab. 6.50 i 6.51), w którym usuwano głównie drzewa z niższych klas biosocjalnych.

Typy rozwojowe koron sosny

Na powierzchniach kontrolnych oszacowano w pierwszym typie rozwojowym koron 31,67% drzew, w drugim 21,67%, a w trzecim – 46,67% (Tab. 6.52 i 6.53).

Mięszczość drzewostanu

Powierzchnie kontrolne na gruntach leśnych charakteryzowały się mięszczością około 113 m³/ha (Tab. 6.54a i 6.54b).

Porównanie wariantu kontrolnego z doświadczeń Z1, Z2 i K – na gruncie leśnym

Pierśnica

Porównując wielkość pierśnicy w wariantach kontrolnych doświadczeń Z1, Z2 i Kontroli uzyskano istotną różnicę w wielkości tej cechy ($P < 0,001$; $F = 56,04$). Warianty kontrolne Z1 i Z2 tworzyły grupę jednorodną i różniły się od Kontroli założonej na gruncie leśnym (Tab. 6.55, Ryc. 6.34).

Jakość techniczna sosny

Pod względem jakości technicznej warianty kontrolne Z1, Z2 i Kontrola nie różniły się istotnie ($P = 0,713$; $H = 0,674$) (Ryc. 6.35).

Klasy biosocjalne Kraftha

Pod względem udziału poszczególnych klas biosocjalnych warianty kontrolne Z1, Z2 i Kontrola różniły się istotnie ($P < 0,001$; $H = 44,153$). W wariancie Kontrola po wykonanych zabiegach trzebieżowych o charakterze trzebieży dolnej nie występowały drzewa z niższych klas biosocjalnych, dlatego wariant ten różnił się od pozostałych (Ryc. 6.36).

Pod względem udziału poszczególnych typów rozwojowych koron sosny warianty kontrolne Z1, Z2 i Kontrola różniły się istotnie ($P=0,001$; $H=13,56$). W wariancie Kontrola występowało więcej drzew z typami koron a i a/b (1 i 2), dlatego wariant ten różnił się od pozostałych (Ryc. 6.37).

Wizualizacja struktury przestrzennej i symulacja dalszego rozwoju drzewostanów występujących na powierzchniach doświadczalnych

Wykorzystując program BWINPro przedstawiono, w pierwszej kolejności, aktualne rozmieszczenie drzew na poszczególnych powierzchniach badawczych. Na Ryc. 6.38 pokazano aktualne (stan na 2012r.) przestrzenne rozmieszczenie wszystkich drzew (rzuty koron) na powierzchni badawczej Z1, na tle granic działek odpowiadających poszczególnym wariantom doświadczalnym. Następne ryciny (Ryc. 6.39-6.41) przedstawiają, kolejno, rozmieszczenie drzew reprezentujących 1 i 2 klasę Krafta (drzewa górujące i panujące), drzew zaliczonych do pierwszej i drugiej klasy jakości, oraz drzew reprezentujących 1 i 2 klasę rozwoju. Podsumowaniem tych trzech rycin jest Ryc. 6.42, na której pokazano przestrzenne rozmieszczenie drzew, spełniających łącznie wszystkie ww. kryteria. Są to drzewa o aktualnie najwyższej wartości hodowlanej, zasługujące na poparcie w prowadzonych w przyszłości na powierzchniach badawczych zabiegach pielęgnacyjnych i mogące potencjalnie stanowić drzewostan końcowy. Warto podkreślić, że przestrzenne rozmieszczenie tych drzew jest stosunkowo równomierne. Występują one prawie na wszystkich działkach doświadczalnych, z wyjątkiem działek oznaczonych jako 3k, 4k i 4f. Na pozostałych działkach liczba drzew o aktualnie wysokiej wartości hodowlanej wynosi od 1 do maksymalnie 6 (działka oznaczona symbolem 1k). Na działkach, na których wykonano zabieg zoomelioracyjny (oznaczonych symbolem f), wystąpiła ogółem nieco większa liczba drzew o dużej wartości hodowlanej (31 sztuk) niż na działkach kontrolnych (27 sztuk).

Program BWINPro wykorzystano także do przeprowadzenia próby prognozy dalszego rozwoju drzewostanu występującego na powierzchni Z1 w okresie najbliższych 10 lat. Uwzględniono dwa scenariusze rozwoju drzewostanu: „optymistyczny” i „pesymistyczny”. W obu przypadkach założono, że w najbliższym czasie zostanie wykonany zabieg pielęgnacyjny, w którym szczególna uwaga zostanie zwrócona na stworzenie jak najlepszych warunków rozwoju dla drzew o dużej wartości hodowlanej (Ryc. 6.43 i 6.44). Różnica

między wariantem „optymistycznym” i „pesymistycznym” polega na tym, że w pierwszym z nich założono, że po wykonaniu zabiegu w ciągu kolejnych 10 lat praktycznie żadne dodatkowe drzewa nie wydzielą się z drzewostanu w sposób samoistny, tj. w wyniku zamierania spowodowanego np. działalnością huby korzeniowej. Biorąc pod uwagę fakt, że patogen ten jest już obecny na powierzchni doświadczalnej, o czym świadczy m.in. obecność luk i przerzedzeń, a także występowanie owocników huby, na które autorzy opracowania natrafili w trakcie wykonywania pomiarów terenowych, scenariusz taki wydaje się jednak mało prawdopodobny. Z tego względu uwzględniono także w prognozie scenariusz „pesymistyczny”, chyba jednak bardziej realny, dopuszczający, że po wykonaniu cięcia drzewa będą dalej zamierały, głównie w wyniku postępującego procesu chorobowego. Graficzną ilustracją rozwoju drzewostanu w tym scenariuszu jest Rycina 6.45. Zmiany podstawowych cech taksacyjnych drzewostanów, z uwzględnieniem obu scenariuszy rozwoju, zawierają Tab. 6.55 i 6.56. W obu scenariuszach w ramach zaplanowanego cięcia pozyskuje się 89 drzew w przeliczeniu na powierzchnię 1 hektara o łącznej miąższości 26m^3 (drzewostan podrzędny). Oznacza to, że nasilenie cięcia określone na podstawie miąższości usuwanych drzew jest stosunkowo niewielkie i wynosi ok. 11%. Po wykonaniu zaplanowanego cięcia całkowite zagęszczenie drzew w drzewostanie występującym na powierzchni doświadczalnej Z1 spada do 930 sztuk na 1 hektarze, z czego na sosnę przypadają 743 drzewa. W scenariuszu „optymistycznym” zagęszczenie to utrzymuje się do końca okresu prognozy. W rezultacie miąższość drzewostanu w ciągu 10 lat wzrasta, w stosunku do stanu wyjściowego, o ponad 100m^3 i dochodzi do poziomu ponad 340m^3 , w przeliczeniu na 1 hektar. W wariantie „pesymistycznym” dopuszczającym możliwość zamierania drzew w wyniku postępującego procesu chorobowego, całkowita liczba drzew w drzewostanie maleje w kolejnych, 5-letnich okresach prognostycznych, dochodząc na koniec okresu symulacji (w roku 2022) do 540 sztuk w przeliczeniu na 1 hektar. W efekcie całkowita miąższość drzewostanu jest tylko o 20m^3 większa niż w stanie wyjściowym, tj. przed wykonaniem cięcia (243m^3).

Trzeba także zwrócić uwagę na fakt, że całkowita liczba drzew o dużej wartości hodowlanej na powierzchni doświadczalnej Z1 wynosi na chwilę obecną 58 osobników, co odpowiada zagęszczeniu 50-60 drzew na powierzchnię jednego hektara. W przypadku drzewostanu sosnowego z hodowlanego punktu widzenia trudno uznać takie zagęszczenie za satysfakcjonujące. Biorąc pod uwagę zarówno ten fakt, jak i zagrożenie ze strony huby korzeniowej, w toku dalszego postępowania hodowlanego należałoby się skupić przede wszystkim na popieraniu drzew najbardziej żywotnych, nie wykazujących oznak

chorobowych i śladów uszkodzeń jakiegokolwiek rodzaju, o możliwie jak najsilniejszych i rozbudowanych koronach. Są to drzewa reprezentujące w większości pierwszą i drugą klasę wg Krafra (drzewa górujące i drzewa panujące). Takich drzew w chwili obecnej na powierzchni doświadczalnej jest stosunkowo dużo (por. Ryc. 6.39). Innymi słowy, dalsze postępowanie na powierzchni doświadczalnej powinno uwzględniać specyficzny charakter drzewostanu założonego na gruncie porolnym i kierować się ogólnymi zasadami wypracowanymi dla tej kategorii drzewostanów. Na chwilę obecną trudno jednak ocenić, czy takie postępowanie okaże się wystarczająco skuteczne z punktu widzenia niedopuszczenia do rozwoju huby i zahamowania procesów zamierania drzew.

Analogiczne analizy i prognozy przeprowadzono także dla powierzchni doświadczalnej Z2. Ze względów technicznych oraz dla większej przejrzystości uzyskanych wyników, obliczenia i ilustracje graficzne wykonano oddzielnie dla trzech części powierzchni Z2, odpowiadających blokowi 1 i 2, 3 i 4 oraz 5 i 6. Przestrzenne rozmieszczenie wszystkich drzew na poszczególnych częściach powierzchni Z2 pokazano na Ryc. 6.46 (blok 1 i 2), Ryc. 6.54 (blok 3 i 4) oraz Ryc. 6.62 (blok 5 i 6). Na Ryc. 6.54 można m.in. zauważyć fragment pozbawiony drzew odpowiadający drodze leśnej przecinającej powierzchnię doświadczalną. Poza tym, w drzewostanie dość licznie występują fragmenty lukowate i przerzedzone, widoczne zwłaszcza w przypadku bloku 5 i 6 (Ryc. 6.62). Różnice między blokami, dostrzegalne wizualnie, potwierdzają wyniki obliczenia podstawowych parametrów taksacyjnych drzewostanów, występujących w trzech częściach powierzchni doświadczalnej, zestawione w Tab. 6.57, 6.59 i 6.61. Wynika z nich, że na chwilę bieżącą najniższe zagęszczenie drzew (ok. 1200 sztuk/ha) występuje w bloku 5 i 6 (Tab. 6.61). W bloku 3 i 4 wynosi ono ok. 1340 sztuk (Tab. 6.59), a w bloku 1 i 2 jest najwyższe i wynosi ponad 1440 sztuk/ha (Tab. 6.57). Odpowiednie różnice występują też w zakresie miąższości, która w bloku 5 i 6 jest o ok. 50m^3 mniejsza (ok. $250\text{m}^3/\text{ha}$) niż w dwóch pozostałych częściach powierzchni doświadczalnej, gdzie wynosi ok. $300\text{m}^3/\text{ha}$. Jak można przypuszczać, różnice między blokami wynikają głównie z faktu, że w przypadku bloku 5 i 6 aktualne nasilenie występowania szkód od huby korzeni jest największe.

Wzorem powierzchni Z1, na kolejnych rycinach przedstawiono także rozmieszczenie drzew reprezentujących 1 i 2 klasę Krafra, 1 i 2 klasę jakości technicznej oraz 1 i 2 typ rozwoju korony, z uwzględnieniem poszczególnych części powierzchni doświadczalnej. W dalszej kolejności analogiczne zestawienia wykonano dla drzew o dużej wartości hodowlanej, spełniających wszystkie ww. kryteria. Jak wynika np. z Ryc. 6.50 (blok 1 i 2), przestrzenne rozmieszczenie tych drzew jest stosunkowo nierównomierne i wyraźnie zaznaczają się

fragmenty drzewostanu, gdzie takich drzew jest stosunkowo dużo oraz miejsca, gdzie tych drzew nie ma wcale. W przypadku bloku 3 i 4 oraz 5 i 6 problem ten występuje z jeszcze większym nasileniem, przy czym ogólna liczba takich drzew jest w tych dwóch częściach powierzchni doświadczalnej zdecydowanie mniejsza niż w przypadku bloku 1 i 2 (Ryc. 6.58 i Ryc. 6.66). Z hodowlanego punktu widzenia nie jest to na pewno sytuacja korzystna. Tym niemniej, całkowite zagęszczenie drzew o dużej wartości hodowlanej jest w przypadku powierzchni Z2 znacznie wyższe niż w przypadku powierzchni Z1 i waha się, w zależności od bloku, od ok. 200 do 400 drzew na hektarze. Z hodowlanego punktu widzenia są to liczby znacznie bardziej satysfakcjonujące niż w przypadku powierzchni Z1.

Podobnie jak w przypadku powierzchni Z1 przeprowadzono, wykorzystując do tego celu program BWINPro, próbę prognozy dalszego rozwoju drzewostanu znajdującego się na powierzchni badawczej Z2 w okresie najbliższych 10 lat, oddzielnie dla jej trzech głównych części, wyróżnionych jak wyżej. Podobnie jak w przypadku powierzchni Z1, uwzględniono też dwa scenariusze rozwoju drzewostanu: „optymistyczny” i „pesymistyczny”. W obu przypadkach założono, że w najbliższym czasie zostanie wykonany zabieg pielęgnacyjny, w którym szczególna uwaga zostanie zwrócona na stworzenie jak najlepszych warunków rozwoju dla drzew o dużej wartości hodowlanej (patrz Ryc. 6.51 i 6.52 (blok 1 i 2), Ryc. 6.59 i 6.60 (blok 3 i 4) oraz Ryc. 6.67 i 6.68 (blok 5 i 6)). Wariant „optymistyczny” i „pesymistyczny” zdefiniowano w taki sam sposób, jak w przypadku powierzchni Z1, tj. w pierwszym z nich założono, że po wykonaniu zabiegu w ciągu kolejnych 10 lat żadne dodatkowe drzewa nie wydzielą się z drzewostanu w sposób samoistny, tj. w wyniku zamierania spowodowanego działalnością huby korzeniowej, natomiast w drugim dopuszczono, że po wykonaniu cięcia drzewa będą dalej zamierały, w wyniku postępującego procesu chorobowego drzewostanu. Tak jak w przypadku powierzchni Z1, taki scenariusz rozwoju wydaje się bardzo prawdopodobny, w świetle aktualnego stanu drzewostanu występującego na powierzchni doświadczalnej.

Graficzną ilustracją rozwoju drzewostanu w scenariuszu „pesymistycznym”, z uwzględnieniem trzech części powierzchni doświadczalnej, są Ryciny 6.53, 6.61 i 6.69. We wszystkich przypadkach można zaobserwować występowanie dużych fragmentów całkowicie pozbawionych drzewostanu, powstałych w wyniku grupowego oraz płatowego zamierania drzew.

Zmiany podstawowych cech taksacyjnych drzewostanów, występujących w trzech głównych częściach powierzchni Z2, z uwzględnieniem obu scenariuszy rozwoju, tj. scenariusza „optymistycznego” oraz scenariusza „pesymistycznego” zawierają Tab. Tab. 6.57

do 6.63. Jak już to zauważono wyżej, pod względem podstawowych cech taksacyjnych (zagęszczenie drzew, miąższość), drzewostan występujący w bloku 5 i 6, odbiega, na niekorzyść, od dwóch pozostałych części powierzchni doświadczalnej. Dotyczy to również parametrów drzewostanu podrzędnego (drzewa przeznaczone do pozyskania w wyniku cięcia ukierunkowanego na popieranie drzew o najwyższej wartości hodowlanej). W przypadku bloku 5 i 6 do usunięcia przeznaczono najmniejszą liczbę drzew, wynoszącą ok. 200 szt./ha, o ogólnej miąższości niespełna 50m^3 . W przypadku bloku 3 i 4 liczby te są trochę wyższe (ok. 260 drzew o łącznej miąższości prawie $60\text{m}^3/\text{ha}$). Najwięcej drzew przeznacza się do usunięcia w przypadku bloku 1 i 2 (ok. 370 szt./ha o miąższości prawie 90m^3). Nasilenie cięcia, obliczane na podstawie miąższości pozyskiwanych drzew, jest zbliżone w przypadku bloku 3 i 4 oraz 5 i 6, gdzie wynosi ok. 20% i największe w bloku 1 i 2, gdzie wynosi prawie 30%.

Dalszy rozwój drzewostanów występujących w trzech wyróżnionych w tym opracowaniu częściach powierzchni doświadczalnej Z2, zależy przede wszystkim od przyjętego scenariusza. W scenariuszu optymistycznym, zgodnie z przyjętym założeniem, liczba drzew po wykonaniu zaplanowanego cięcia utrzymuje się na stałym poziomie, natomiast miąższość drzewostanu we wszystkich częściach powierzchni doświadczalnej ulega istotnemu zwiększeniu, średnio o ok. $140\text{m}^3/\text{ha}$. Biorąc pod uwagę, że w wielu miejscach powierzchni doświadczalnej występują oznaki, świadczące o pojawieniu się huby korzeniowej, scenariusz ten wydaje się mało prawdopodobny. Należy raczej oczekiwać, że faktyczny rozwój drzewostanu będzie bardziej zbliżony do wyników scenariusza „pesymistycznego”, z którego wynika, że miąższość drzewostanu albo utrzymuje się na poziomie zbliżonym do stanu wyjściowego (procesy zamierania i przyrastania drzew się równoważą), albo spada o kilkadziesiąt metrów sześciennych w stosunku do stanu wyjściowego (procesy zamierania przewyższają procesy przystania). Aby nie dopuścić do zrealizowania scenariusza „pesymistycznego” należałoby, w toku dalszego postępowania hodowlanego na powierzchni doświadczalnej Z1 kierować się podobnymi, ogólnymi zasadami, o jakich była mowa wyżej w przypadku powierzchni Z1. Z doświadczenia wiadomo jednak, że w przypadku drzewostanów, w których huba korzeniowa już się pojawiła, utrzymanie stabilności tych drzewostanów i odpowiedniej zdrowotności drzew jest bardzo trudne.

Na Ryc. Ryc. 6.70 – 6.77 przedstawiono, dla celów porównawczych, strukturę przestrzenną drzewostanu występującego na powierzchni kontrolnej K założonej na gruncie leśnym. Poszczególne Ryciny zostały przygotowane w takim samym układzie, jak w

przypadku wcześniej omówionych powierzchni doświadczalnych Z1 i Z2. Wyniki prognozy dalszego rozwoju drzewostanu na powierzchni kontrolnej K zawiera Tab. 6.63. Ze względu na brak zagrożenia ze strony huby korzeniowej uwzględniono tylko jeden, „optymistyczny” scenariusz rozwoju, tj. stabilną liczbę drzew po wykonaniu cięcia pielęgnacyjnego ukierunkowanego na poprawę warunków wzrostu drzew o najwyższej wartości hodowlanej. Uzyskane wyniki nie odbiegają zasadniczo od tych, które uzyskano w przypadku scenariuszy „optymistycznych” na powierzchniach doświadczalnych, jakkolwiek należy zwrócić uwagę na wyraźnie większe ogólne zagęszczenie drzew na powierzchni kontrolnej K, w porównaniu z powierzchniami doświadczalnymi.

Dyskusja

Nieużytki porolne przeznaczone do zalesienia występują najczęściej na piaskach luźnych lub słabo gliniastych. Takie gatunki gleby odpowiadają najczęściej potencjalnym siedliskowym typom lasu boru lub boru mieszanego. W następstwie długotrwałej uprawy rolniczej gleby na takich gruntach są zazwyczaj wyjałowione i charakteryzują się niedostateczną zawartością składników pokarmowych, w szczególności azotu i potasu, często również fosforu i magnezu (Strzelecki i Sobczak 1972). Cechą charakterystyczną jest również bardzo niska zasobność gleb porolnych w substancję organiczną, wynosząca w wierzchniej warstwie poniżej 1%, co wpływa negatywnie na cechy fizyczne i chemiczne tych gleb (Strzelecki i Sobczak 1972). Z tego względu w opisywanych doświadczeniach Z1 i Z2 wykorzystano różne substraty do poprawy cech fizyko-chemicznych gleby oraz nawożenie zielone w celu uzupełnienia brakujących biogenów. Substratami tymi były kora, trociny oraz mieszanina kory i trocin. Nawożenie zielone mające na celu wzrost zasobności gleby w azot wykonano łubinem.

Masa trocinowa powstająca podczas mechanicznego przerobu drewna jest materiałem organicznym o małej zawartości składników mineralnych oraz o wysokim stosunku C/N (Walendzik i Szołtyk 1990). Podstawowymi składnikami organicznymi trocin jest lignina (26-30%) i celuloza (49-51%). Skład chemiczny trocin jest taki sam jak drewna i stanowi naturalny element środowiska leśnego. Proces rozkładu trocin w środowisku glebowym jest powolny, a powstała próchnica jest określana jako trwała (Marszewska-Ziemięcka 1974; Trojanowski 1973). Substraty organiczne np. w postaci trocin, kompostu, czy pozostałości zrębowych na zalesianych gruntach poprawiają ich żyzność i stymulują procesy mikrobiologiczne (Sobczak 1990; Gorzelak 1998; Sierota i Kwaśna 1998, 1999, Oszako i

Olejarski 2003; Olejarski 2005). W glebach mało zasobnych w próchnicę dobre warunki do rozwoju znajdują głównie grzyby zgorzelowe, natomiast przy wysokim poziomie odpowiedniej materii organicznej (pochodzenia leśnego) dominują grzyby saprofityczne i mikoryzowe (Mańka i Przedzbórski 1987). Związki mikoryzowe roślin drzewiastych i grzybów zwiększają możliwości pobierania przez korzenie związków pokarmowych i wody oraz podnoszą ich odporność na choroby grzybowo-bakteryjne (Mańka i Gierczak 1972; Duchesne i in. 1989, Kope i Fortin 1989; Rudawska 1990). Grzyby saprofityczne rozkładające w glebie martwą materię organiczną wydzielają substancje chemiczne (enzymy, antybiotyki) antagonistyczne względem grzybów chorobotwórczych, tworząc w ten sposób naturalną barierę ochronną dla korzeni roślin (Jelinowski i in. 1983).

Rozkładająca się masa roślin zielnych (krzyżowe) sprzyja rozwojowi grzybów zgorzelowych (*Fusarium* spp., *Pthium* spp.), a dodatek trocin ogranicza rozwój patogenów (Jeffrey 1993). Nawożenie szkółek leśnych materiałami mało zasobnymi w azot może korzystnie wpływać na rozwój grzybów mikoryzowych (Buraczyk 1998). Ściółkowanie gleby 3-centymetrową warstwą trocin sosnowych nie wywiera negatywnego wpływu na wzrost i rozwój sadzonek, natomiast skutecznie ogranicza rozwój chwastów, zmniejszając nawet 6-9-krotnie ich suchą masę (Buraczyk 1998). Wprowadzona do gleby masa trocinowa, mimo niekorzystnych właściwości (mała zawartość składników pokarmowych, wysoki stosunek C/N) inicjuje łańcuch zmian glebowych prowadzących, poprzez zmiany struktury fizycznej gleby, do intensyfikacji rozwoju mikroflory i mikrofauny glebowej zwiększającej aktywność biologiczną i sprawność produkcyjną gleby (Buraczyk 1998). Trociny powodują obniżenie pH gleby (Łoginow 1985). Ściółkowanie gleby trocinami ogranicza parowanie wody z powierzchni gleby, przez co poprawia warunki wilgotnościowe szczególnie w okresie suszy (Rose i in. 1995), a lepsze warunki wilgotnościowe ułatwiają rozwój korzeni w górnych, bardziej dotlenionych partiach gleby (Roberts 1978).

Jednym ze sposobów powiększania ilości substancji organicznej w glebie na ubogich w próchnicę nieużytkach jest wprowadzanie roślin dających dużo masy organicznej, jak np. łubin jednoroczny, łubin trwały lub inne rośliny motylkowe o zdolnościach wiązania wolnego azotu z powietrza. Z licznych badań wynika, że po wprowadzaniu łubinu do upraw leśnych można uzyskać nawet do 700-1200 kg suchej masy organicznej (w drugim roku po wysiewie) z części nadziemnej roślin i 250-550 kg suchej masy korzeni z 1 ha (Rehfuess 1965). Łączna masa łubinu może zawierać nawet 27-42 kg azotu, 18-36 kg potasu, 2-3 kg fosforu, 3-5 kg magnezu i 19-30kg wapnia na 1 ha. Łubin wpływa na podwyższenie bonitacji siedliska, zwiększa przyrost biomasy drzewnej i poprawia właściwości biochemiczne i strukturalne

gleby. Łubin ma dość wysokie wymagania glebowe i na skrajnie ubogich glebach ginie (Strzelecki i Sobczak 1972). Dobrze rośnie na glebach przygotowanych pod zalesienie orka pełną (Strzelecki i Sobczak 1972). Rudnicki (1954) stwierdził na zalesionych nieużytkach porolnych dodatni wpływ łubinu jednorocznego nawet jeszcze po 10 latach od założenia uprawy.

W doświadczeniu Z1 nie uzyskano istotnych zależności pod względem wpływu zastosowanego substratu na wielkość pierśnicy drzew (Ryc. 6.2). Jednak ewidentnie daje się zauważyć pozytywny wpływ poprawy warunków siedliskowych w każdym (2, 3 i 4) wariancie w stosunku do kontroli (1). Wielkość średniej pierśnicy była najwyższa w wariancie z substratem w postaci mieszaniny kory i trocin, nieco niższa w wariancie z korą, jeszcze niższa z łubinem, a najniższa w przypadku kontroli. W doświadczeniu Z2 wariant nawożenia mieszaniną kory i trocin różnił się istotnie od pozostałych (nawożenie zielone łubinem i wariant kontrolny) (Ryc. 6.14). Wprowadzenie na grunt porolny substancji charakterystycznych dla gleb leśnych w postaci trocin i kory wpłynęło na tworzenie trwałej próchnicy i mogło mieć wpływ na powstanie symbiozy grzybów mikoryzowych z drzewami, a to przełożyło się na większy przyrost grubości drzew w perspektywie ponad 30 lat wzrostu. W przypadku doświadczenia Z1 nie uzyskano istotnych zależności prawdopodobnie ze względu na bardzo małe działki (15x15m) poszczególnych wariantów. Ich wielkość może negatywnie wpływać na wyniki doświadczenia wraz ze wzrostem drzew (wiekiem drzewostanu), ponieważ rozproszenie poszczególnych wariantów doświadczenia na całej powierzchni doświadczalnej w postaci bloków losowych powoduje, że są one w zasięgu korzeni drzew z sąsiednich wariantów. W przypadku doświadczenia Z2 poszczególne działki były większe (20x40m), co na tym etapie doświadczenia jeszcze nie wpłynęło znacząco na wyniki doświadczenia.

Pod względem badanych cech szacunkowych opisujących jakość techniczną drzew, strukturę biosocjalną w drzewostanie oraz udział typów rozwojowych korony sosny w doświadczeniu Z1 nie uzyskano istotnych zależności od użytego substratu. W doświadczeniu Z2 w przypadku struktury biosocjalnej drzewostanu również nie uzyskano istotnych zależności w stosunku do użytego substratu. W tym doświadczeniu istotnie różniły się jakość techniczna drzew i typy rozwojowe korony sosny (Ryc. 6.19 i 29). W obu przypadkach drzewa występujące w wariancie z substratem w postaci kory i trocin charakteryzowały się gorszą jakością techniczną i bardziej rozbudowanymi, grubo-gałęzistymi koronami. Fakt ten może wynikać z szybszego wzrostu (drzewa w tym wariancie były istotnie grubsze od pozostałych) w bardziej korzystnych warunkach siedliskowych. Jakość techniczna drzew,

typy pokrojowe korony i struktura biosocjalna drzewostanu w dużej mierze zależą od historii rozwoju drzewostanu, w szczególności od zaburzeń, które mogły spowodować pojedyncze lub grupowe zamieranie drzew. Zaburzenia takie mogą być spowodowane zarówno czynnikami abiotycznymi (szkody od mokrego śniegu lub wiatru) lub biotycznymi (szkody od owadów lub grzybów). Jeśli takie zaburzenia nie występują, to częstym czynnikiem różnicującym strukturę drzewostanów jest materiał genetyczny, czyli pochodzenie sadzonek drzew lub zasobność siedliska i dostępność biogenów. W przypadku opisywanego doświadczenia Z2 dało się zauważyć w niektórych partiach drzewostanu luki powstałe po zamarcu drzew zaatakowanych przez hubę korzeniową. Jednakże wydaje się, że istotny wpływ na badane szacunkowe cechy opisujące jakość drzew i budowę ich koron miał wykorzystany substrat przekształcający środowisko gleb rolniczych na leśne.

Orka pełna głęboka obejmuje swym działaniem melioracyjnym całą powierzchnię gleby, a dzięki zrzuceniu do bruzdy wierzchniej warstwy gleby (odpowiada to regulówce) zmniejsza znacznie niebezpieczeństwo zachwaszczenia powierzchni gleby. W tym sposobie przygotowania gleby następuje wymieszanie materii próchnicznej z mineralną, głębokie spulchnienie gleby i likwidacja warstw nieprzepuszczalnych (tzw. podeszwy płuznej). W wyniku orki pełnej poprawiają się właściwości fizyczne, zdolność magazynowania wody oraz wzrasta żyzność gleby dzięki uruchomieniu związków mineralnych zgromadzonych w formie nieprzyswajalnej w poziomie wmycia (Strzelecki i Sobczak 1972). W wyniku orki pełnej płytkiej, ze względu na głębokość części roboczej pługa, nie uzyskuje się tak dobrych efektów agromelioracyjnych przy przygotowaniu gruntów porolnych do zalesień. Orka płytka nie zapewnia spulchnienia podeszwy płuznej, zabiegu niezbędnego do wykształcania właściwego systemu korzeniowego przez posadzone drzewa. Powoduje to rozwój korzeni w płaszczyźnie horyzontalnej, co w okresach suszy pozbawia drzewa możliwości pobrania wody z warstw głębszych. Korzenie 30-letnich sosen rosnących jako 1-sze pokolenie na gruncie porolnym przebiegają w płaszczyźnie horyzontalnej w górnej warstwie gleby, na głębokości zaledwie 20cm, a ich zasięg może sięgać nawet 16m (Sierota 1998).

Czynnik doświadczenia w postaci głębokości orki był wykorzystany tylko w doświadczeniu Z2. Pod względem wielkości pierśnicy nie uzyskano istotnych zależności od sposobu przygotowania gleby. Również w przypadku analizy dwuczynnikowej (substrat x głębokość orki) nie uzyskano istotnego wpływu sposobu przygotowania gleby (głębokości orki) ani istotnej interakcji pomiędzy głębokością orki a substratem. Takie wyniki mogą jedynie wynikać z faktu braku podeszwy płuznej, która na bardzo ubogich glebach wytworzonych z piasków luźnych lub słabogliniastych na ogół nie występuje.

W przypadku jakości technicznej drzew nie uzyskano istotnych różnic biorąc pod uwagę głębokość orki. Analizując dwa czynniki, tj. głębokość orki i substrat uzyskano pod względem tej cechy istotne różnice, lecz były one spowodowane znaczącym wpływem substratu, a nie głębokości orki (w grupie jednorodnej warianty 1Op, 3Og i 3Op, por. Ryc. 6.22). W przypadku struktury biosocjalnej uzyskano istotny wpływ głębokości orki, w wariancie z orką płytką było znacząco więcej drzew z niższych klas biosocjalnych. Może to wynikać z faktu, że drzewa występujące w wariancie z orką głęboką były nieznacznie grubsze (Ryc. 6.15), przez co więcej najsłabszych drzew już się wydzieliło z drzewostanu. W przypadku typów rozwojowych koron nie uzyskano istotnego wpływu głębokości orki na strukturę tej cechy (Ryc. 6.30), ale uzyskano istotną zależność biorąc pod uwagę kombinację czynników głębokość orki i substrat (Tab. 6.40). W tym przypadku również, tak jak dla jakości technicznej, było to spowodowane większym wpływem substratu w postaci kory i trocin, w którym sosny osiągały większe rozmiary oraz miały bardziej rozbudowane korony.

Masa organiczna przechodząca do gleby podlega procesowi ciągłego mikrobiologicznego i fizykochemicznego rozkładu wielocząsteczkowych związków organicznych na coraz prostsze, które z elementami mineralnymi gleby tworzą naturalną mieszaninę różnorodnych substancji organiczno-mineralnych zwanych próchnicą (Trojanowski 1973; Marszewska-Zięmięcka 1974; Jaworski 1988; Prusinkiewicz i in. 1991). Proces humifikacji ma charakter przede wszystkim biologiczny, w którym dominującą rolę odgrywają bakterie, promieniowce i grzyby, które uwalniają prawie 90% energii zgromadzonej w ściółce i glebie (Trojanowski 1973). W wyniku procesu mineralizacji związki próchniczne (humusowe) uwalniają do roztworu glebowego znaczne ilości składników pokarmowych, które mogą być pobierane przez korzenie roślin (Rose i in. 1995). Bardzo duże znaczenie w procesie rozkładu materii organicznej w lesie ma fauna glebowa (Górny 1974). Zwierzęta glebowe rozdrabniają materię organiczną, zwiększając w ten sposób jej powierzchnię dostępną dla bakterii i grzybów, a mieszając resztki organiczne z glebą mineralną poprawiają jej strukturę. Biorą one udział w tworzeniu cząstek organiczno-mineralnych (wydalin) i chemicznym rozkładzie mas organicznych. Rozdrobnienia i przemieszania materiałów organicznych dokonują duże bezkręgowce – dżdżownice, ślimaki, krocionogi, stonogi. Przebudowy z wielocząsteczkowych substancji na proste związki za pomocą enzymów dokonują pierwotniaki, skoczogonki, roztocza i wazonkowce. Istnieją skomplikowane zależności pomiędzy fauną i mikroflorą glebową, np. gleba przerobiona przez dżdżownice i skoczogonki zawiera 2-3 razy więcej bakterii niż taka w której nie było tych bezkręgowców (Welte 1963).

W doświadczeniu Z1 czynnik fauna nie wpływał na wielkość pierśnicy sosen (Ryc. 6.3), natomiast wystąpiła istotna interakcja pomiędzy czynnikami substrat i fauna (Ryc. 6.4b), gdzie w wariancie kora i fauna zaobserwowano niższą wielkość średniej pierśnicy w wariancie z fauną niż bez fauny. W pozostałych wariantach użytego substratu fauna wpływała na wzrost średniej wartości pierśnicy. W doświadczeniu Z2 nie uzyskano istotnego wpływu fauny na wielkość pierśnicy sosen. Również biorąc pod uwagę wpływ dwu czynników fauny i substratu nie uzyskano istotnych zależności w przeciwieństwie do wszystkich czynników doświadczenia razem: substrat x głębokość orki x fauna, gdzie uzyskano taką zależność (Ryc. 6.18). Znamienным wydaje się fakt, że największe średnie pierśnice uzyskano w wariancie kora i trociny, orka głęboka oraz fauna. **To wskazuje na synergiczne działanie wszystkich czynników razem poprawiających warunki środowiskowe na gruntach porolnych.**

Pod względem jakości technicznej drzew, struktury biosocjalnej w drzewostanie oraz typów rozwojowych korony sosny w doświadczeniu Z1 nie uzyskano istotnych zależności od czynnika fauna. W przypadku typów rozwojowych koron sosny uzyskano istotne zależności obu badanych czynników fauny i substratu, jednakże ze względu na to, że warianty z fauną występowały w obu grupach jednorodnych należy uznać większy wpływ substratu na wystąpienie tych zależności (Tab. 6.12). W doświadczeniu Z2 pod względem jakości technicznej drzew i struktury biosocjalnej nie uzyskano istotnych zależności od czynnika fauna. Wystąpiły zależności przy wpływie fauny i substratu na strukturę jakości technicznej drzew oraz przy wpływie wszystkich trzech czynników (Tab. 6.28). W przypadku struktury biosocjalnej wpływ fauny i substratu był nieistotny, natomiast uzyskano istotną zależność w przypadku wszystkich czynników (Tab. 6.36). W przypadku struktury typów rozwojowych koron wykazano wpływ fauny oraz fauny i głębokości orki na strukturę tej cechy. Wszystkie czynniki razem nie wpłynęły istotnie na strukturę typów rozwojowych koron sosny.

Bezpośredni wpływ fauny na cechy biometryczne drzew jest trudny do objaśnienia, wydaje się, że jedynie pośrednio fauna może wpływać na poprawę warunków środowiskowych, a przez to na cechy jakości, pokroju korony czy stanowiska socjalnego drzew.

W doświadczeniach założonych na terenie nadleśnictwa Niedźwiady porównano również wszystkie warianty kontrolne z doświadczeń Z1, Z2 i kontroli założonej na gruncie leśnym K. W przypadku średniej wielkości pierśnicy sosen wariant kontrolny na gruncie leśnym istotnie różnił się od pozostałych (Ryc. 6.34). Pod względem cech szacunkowych tylko jakość techniczna nie różniła się we wszystkich wariantach kontrolnych (Ryc. 6.35). Struktura biosocjalna drzew w przypadku gruntu leśnego była zmieniona przez planowo

wykonane trzebieże wczesne o charakterze dolnym i istotnie różniła się od pozostałych wariantów kontrolnych Z1 i Z2 (Ryc. 6.36). Również typy pokrojowe koron w przypadku powierzchni leśnej były istotnie częściej reprezentowane przez lepsze jakościowo typy a oraz a/b (1 i 2 klasę) (Ryc. 6.37).

Wnioski

1. Wprowadzenie na grunt porolny substancji charakterystycznych dla gleb leśnych w postaci trocin i kory wpłynęło na tworzenie trwałej próchnicy i mogło mieć wpływ na powstanie symbiozy grzybów mikoryzowych z drzewami, a to przełożyło się na większy przyrost grubości drzew w perspektywie ponad 30 lat wzrostu.
2. Pod względem wielkości pierśnicy nie uzyskano istotnych zależności od sposobu przygotowania gleby. Takie wyniki mogą wynikać z braku podeszwy płuznej, która na bardzo ubogich glebach wytworzonych z piasków luźnych lub słabogliniastych najczęściej nie występuje.
3. Jakość techniczna drzew, typ pokroju korony i struktura biosocjalna drzewostanu w dużej mierze zależą od historii rozwoju drzewostanu, w szczególności od zaburzeń które mogły spowodować pojedyncze lub grupowe zamieranie drzew. Jeśli zaburzenia takie nie występują, to częstym czynnikiem różnicującym strukturę drzewostanów jest materiał genetyczny, czyli pochodzenie sadzonek drzew lub zasobność siedliska i dostępność biogenów.
4. Największe średnie pierśnice sosny uzyskano w kombinacji czynników doświadczenia obejmującej zastosowanie kory i trocin, wykonanie orki głębokiej oraz zabieg zoomelioracyjny w postaci aplikacji fauny glebowej. To wskazuje na synergiczne działanie wszystkich tych czynników wspólnie poprawiających warunki środowiskowe na gruntach porolnych.
5. Bezpośredni wpływ fauny na cechy biometryczne drzew jest trudny do udowodnienia, wydaje się że jedynie pośrednio fauna może wpływać na poprawę warunków środowiskowych, a przez to na cechy jakości, pokroju korony czy stanowiska socjalnego drzew.

6. Z hodowlanego punktu widzenia drzewostany występujące na powierzchniach doświadczalnych charakteryzują się umiarkowaną jakością i obniżoną żywotnością, czego podstawowym wyrazem jest stosunkowo mały udział drzew o odpowiednio wysokiej wartości hodowlanej, zaznaczający się zwłaszcza w przypadku powierzchni Z1.
7. Na obu powierzchniach doświadczalnych (Z1 i Z2) występują wyraźne objawy zamierania spowodowanego pojawieniem się huby korzeniowej. W przyszłości fakt ten może być głównym czynnikiem determinującym rozwój drzewostanu i postępowanie hodowlane.

Literatura

- Bruchwald A. 1996. New Empirical Formulae for Determination of Volume of Scots Pine Stands. *Fol. For. Pol. Ser. – A*, No 38.
- Buraczyk W. 1998. Wpływ nawożenia z udziałem trocin na uprawę szkółkarską *Picea abies* (L.) Karst. Praca doktorska KHL SGGW w Warszawie.
- Döbbeler H., Albert M., Schmidt M., Nagel J., Schröder J. 2006. BWINPro. Programm zur Bestandesanalyse und Prognose. Version 6.3. TU Dresden. Tharandt.
- Duchesne L. C., Peterson R. L., Ellis B. E. 1989. Interaction between the ectomycorrhizal fungus *Paxillus involutus* and *Pinus resinosa* induces resistance to *Fusarium oxysporum*. *Can. J. Bot.* 66: 558-562.
- Górny M. 1974. Zooekologia gleb leśnych. PWRiL. Warszawa.
- Gorzelak A. 1998. Rola substancji organicznej w podnoszeniu produktywności wydmy oraz słabszych gruntów porolnych. *Sylwan* 8: 27-33.
- Gorzelak A. (Red.) 1999. Zalesianie terenów porolnych. A-R W. A. Grzegorzcyk. W-a.
- Jaworski A. 1988. Ekologiczne podstawy projektowania składu gatunkowego odnowień. AR Kraków.
- Jeffrey K. S. 1993. Green manure effects on soilborne pathogens. *Proceedings NIFCNAM*. St. Louis, Missouri, August 2-5.
- Jelinowski S., Myśków W., Markiewicz M., Mróz A. 1983. Potencjał fitosanitarny gleby z ryzosfery pszenicy ozimej w zależności od jej miejsca w zmianowaniu. *Mat. Symp. IUNG Puławy i FZB Münchenberg*. Str. 48-63.
- Kope H. H., Fortin J. A. 1989. Inhibition of phytopathogenic fungi in vitro by cell free culture media of ectomycorrhizal fungi. *New Phytol.* 113: 57-63.

- Korf V., Hubač K., Šmelko Š., Wolf J., 1972. Dendrometrie. Praha, SZN: 1-376.
- Łoginow W. 1985. Nowoczesne podstawy nawożenia organicznego. Postępy Nauk Rolniczych. Nr 6: 25-37.
- Mańka K., Gierczak M. 1972. Możliwości użycia grzyba *Mycelium radicis atrovirens* Melin. do biologicznego zwalczania zgorzeli siewek sosny zwyczajnej. Prace Kom. Nauk Roln. I Kom. Nauk Leś. ATPN 34: 111-119.
- Mańka K., Przedzbórski A. 1987. W kierunku biologicznej ochrony siewek drzew leśnych przed pasożytniczą zgorzelą. Sylwan 1: 53-59.
- Marszewska-Ziemiańska J. 1974. Mikrobiologia gleby i nawozów organicznych. PWRiL. Warszawa.
- Nagel J. 1999. Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystems für Nordwestdeutschland. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Nieders. Forstl. Versuchsanstalt. Band 128, J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M., Str. 122.
- Nagel J. 2003. TreeGrOSS: Tree Growth Open Source Software. TreeGrOSS documentation. Abteilung Waldwachstum, Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Göttingen.
- Olejarski I. 2005. Wykorzystanie pozostałości zrębowych do nawożenia organicznego gruntów porolnych. Postępy Techniki w Leśnictwie, 92: 20-24.
- Oszako T., Olejarski I. 2003. Inicjowanie procesów przekształcania gleb porolnych w gleby leśne poprzez wykorzystanie pozostałości zrębowych, kompostów i trocin. Prace IBL, Ser. A. (1): 76-79.
- Prusinkiewicz Z., Kwiatkowska A., Pokojka U. 1991. Soil organic matter as a factor reducing the harmful effects of acid rain. Folia For. Polonica A. 33: 71-83.
- Rehfuess K. 1965. Ernährung und Wachstum der Dauerlupine (*Lupinus polyphyllus* L.) unter Kieferschirm auf Oberpfälzer Standorten. Forstwirtschaftliches Z-blatt. Nr 9/10.
- Roberts A. N. 1978. Bark and sawdust mulches in maintenance planning. Ornamentals Northwest. 1(19): 13-17.
- Rose R., Haase D. L., Boyer D. 1995. Organic matter management in forest tree nurseries. Theory and practice.
- Rudawska M. 1990. Some mechanism of resistance of mycorrhizae to pathogenic infection. Bull. Finn. Forest Res. Inst. 360: 191-199.
- Siegel S., Castellan N.J. 1988. Nonparametric statistics for the behavioral sciences (2-nd ed.). New York, McGraw-Hill.
- Sierota Z. 1998. Huba korzeniowa na gruntach porolnych. Wydawnictwo Świat. Warszawa.

- Sierota Z., Kwaśna H. 1998. Effect of pine sawdust on the structure of fungi communities in the soils of post agricultural land. *Acta Mycologica*, Vol. 33(1): 77-90.
- Sierota Z., Kwaśna H. 1999. Ocena mikologiczna zmian zachodzących w glebie gruntu porolnego po dodaniu trocin iglastych. *Sylvan* 4: 57-66.
- Sobczak R. 1990. Teoretyczne i praktyczne aspekty zakładania upraw i prowadzenia drzewostanów na gruntach porolnych. *Sylvan* 3-12: 61-74.
- Strzelecki W., Sobczak R. 1972. Zalesianie nieużytków i gruntów trudnych do odnowienia. PWRiL. Warszawa.
- Trojanowski J. 1973. Przemiany substancji organicznych w glebie. PWRiL. Warszawa.
- Walendzik J. R., Szołtyk G. 1988. Organiczne i mineralne nawożenie szkółek leśnych. Pr. Inst. Bad. Leś. Ser. B. Nr 8: 15-22.
- Welte E. 1963. Der Ab- und Umbau der Humusstoffe in Boden - seine Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit. *Die Bodenkultur* 14: 97-111.

3.6.1. Ocena hodowlana wpływu zabiegów rekultywacyjnych na wzrost i cechy jakościowe sosny wprowadzonej na powierzchniach Z1 i Z2 w porównaniu z kontrolą na gruncie leśnym K

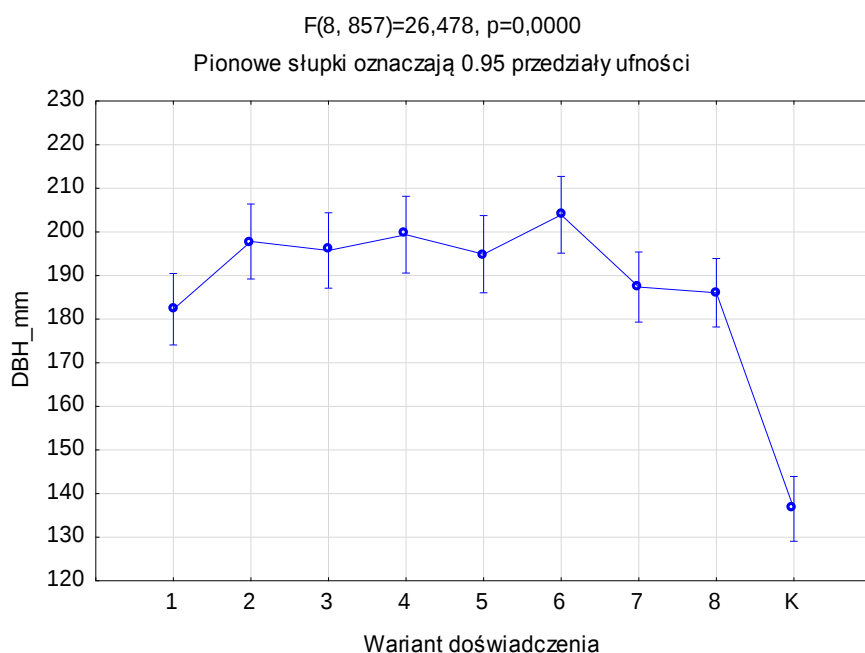
Pierśnica

Pierśnicę sosny w wariantach doświadczenia Z1 oraz Z2 na gruntach porolnych porównano za pomocą analizy wariancji z pierśnicą w wariantie kontrolnym na gruncie leśnym K. Zarówno w przypadku doświadczenia Z1 ($P<0,001$; $F=26,48$), jak i Z2 ($P<0,001$; $F=15,88$) uzyskano istotne zależności wielkości średniej pierśnicy od sposobu przygotowania środowiska porolnego i leśnego (Tab. 1 i 2, Ryc. 1). W doświadczeniu Z1 wyróżniono 3 grupy jednorodne, wariant F (3k - trociny bez fauny) w którym uzyskano najwyższe wielkości pierśnicy, istotnie różnił się od pozostałych wariantów, ponadto wariant A (1k - kontrola na gruncie porolnym), który charakteryzował się najniższymi wartościami średnimi pierśnicy na gruncie porolnym różnił się od pozostałych wariantów, a wariant K (kontrola na gruncie leśnym) charakteryzował się najniższą średnią pierśnicą i różnił się istotnie od pozostałych wariantów (Tab. 1).

Tabela 1. Zróżnicowanie pierśnic sosen na powierzchni Z1, w zależności od czynnika i wariantu doświadczenia. Znaczenie symboli: N – liczba drzew; μ – średnia, w mm; gj – grupy jednorodne; me – mediana, w mm; min – wartość minimalna, w mm; max – wartość maksymalna, w mm; δ – odchylenie standardowe, w mm; ε – błąd standardowy, w mm, V – współczynnik zmienności, w %

Czynnik	War.	N	μ	gj	me	min	max	δ	ε	V
Substrat	1f (E)	85	194,9	ab	195,0	89	316	49,5	5,4	25,4

x	1k (A)	99	182,3	b	179,0	99	283	43,4	4,4	23,8
fauna	2f (B)	90	197,8	ab	201,0	99	286	41,6	4,4	21,0
	2k (G)	103	187,4	ab	186,0	94	287	39,1	3,9	20,9
	3f (H)	108	186,0	ab	186,0	97	317	39,4	3,8	21,2
	3k (F)	86	203,9	a	203,0	112	292	42,2	4,6	20,7
	4f (D)	86	199,4	ab	188,5	111	314	43,2	4,7	21,7
	4k (C)	89	195,8	ab	194,0	107	308	44,5	4,7	22,7
	K	120	136,5	c	129	81	242	32,9	3,0	24,1



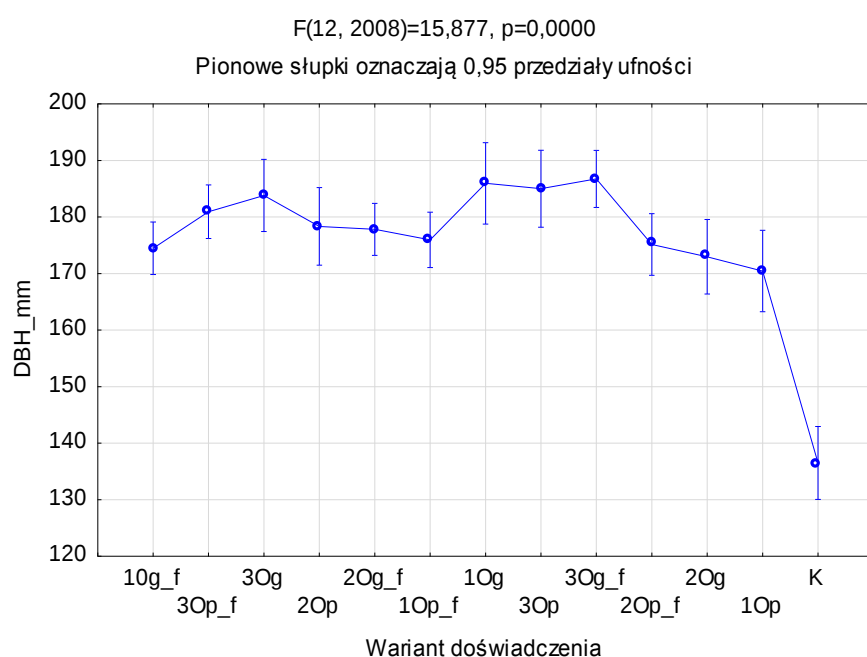
Ryc. 1. Wartości średnie pierśnic sosny w doświadczeniu Z1 (1k-A; 1f-E; 2k-G; 2f-B; 3k-F; 3f-H; 4k-C; 4f-D; K-kontrola na gruncie leśnym)

W doświadczeniu Z2 również wyróżniono 3 grupy jednorodne, wariant A₄ (łubin, orka płytka bez fauny) w którym uzyskano najniższe wielkości pierśnicy na gruncie porolnym, istotnie różnił się od pozostałych wariantów, ponadto wariant K (kontrola na gruncie leśnym) charakteryzował się najniższą średnią pierśnicą i różnił się istotnie od pozostałych wariantów badawczych (Tab. 2, Ryc. 2).

Tabela 2. Zróznicowanie pierśnic sosen na powierzchni Z2, w zależności od czynnika i wariantu doświadczenia (objaśnienia jak w Tab. 1)

Czynnik	War.	Oznacz.	N	μ	gj	me	min	max	δ	ε	V
Substrat	1Og_f	A ₁₅	231	174,5	ab	174	105	337	36,7	2,4	21,0
x	1Og_k	A ₃	96	186,0	ab	186	96	280	38,6	3,9	20,8
przyg.	1Op_f	A ₂₆	208	176,0	ab	171	98	304	36,2	2,5	20,6

gleby	1Op_k	A ₄	96	170,5	b	168	95	265	34,6	3,5	20,3
x	2Og_f	B ₁₅	235	177,8	ab	175	92	262	35,0	2,3	19,7
fauna	2Og_k	B ₃	115	173,0	ab	170	104	262	34,7	3,2	20,1
	2Op_f	B ₂₆	168	175,1	ab	172	113	272	32,6	2,5	18,6
	2Op_k	B ₄	106	178,3	ab	176	121	285	36,0	3,5	20,2
	3Og_f	C ₁₅	196	186,7	ab	183	118	300	37,8	2,7	20,2
	3Og_k	C ₃	122	183,8	ab	181	110	284	34,4	3,1	18,7
	3Op_f	C ₂₆	221	180,9	ab	180	107	264	36,2	2,4	20,0
	3Op_k	C ₄	107	185,0	ab	176	104	305	42,2	4,1	22,8
		K	120	136,5	c	129	81	242	32,9	3,0	24,1



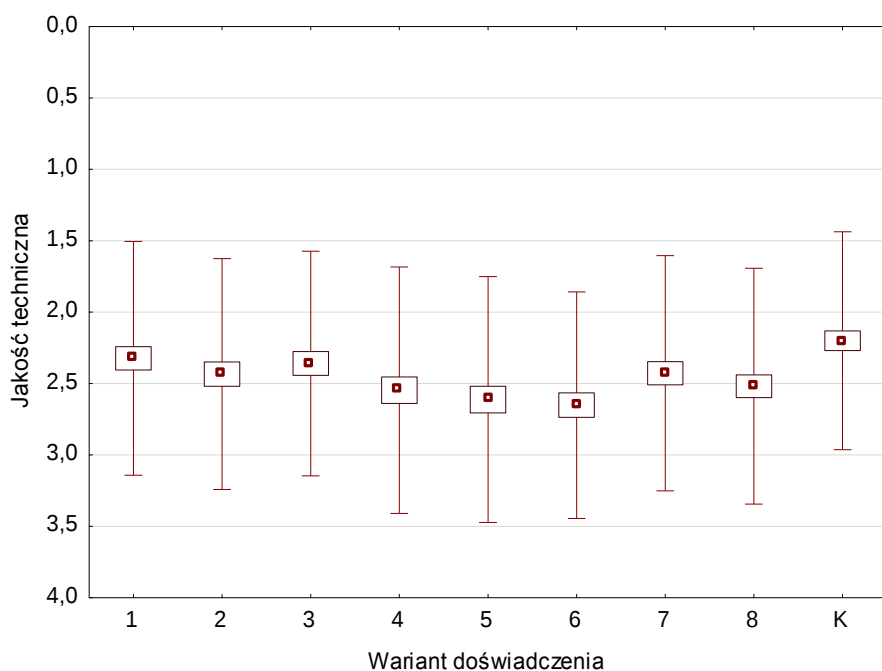
Ryc. 2. Wartości średnie pierśnic sosny w doświadczeniu Z2 (1Ogf-A₁₅; 1Ogk-A₃; 1Opf-A₂₆; 1Opk-A₄; 2Ogf-B₁₅; 2Ogk-B₃; 2Opf-B₂₆; 2Opk-B₄; 3Ogf-C₁₅; 3Ogk-C₃; 3Opf-C₂₆; 3Opk-C₄; K-kontrola na gruncie leśnym)

Jakość techniczna sosny

W doświadczeniu Z1 oraz w wariancie kontrolnym na gruncie leśnym (K) uzyskano istotne różnice w strukturze jakości technicznej pni sosny ($P=0,006$; $H=21,28$). Najlepszą strukturą jakości technicznej pni drzew charakteryzował się wariant kontrolny na gruncie leśnym (Tab. 3, Ryc. 3), a najgorszą jakością wariant F (3k - trociny bez fauny), w którym uzyskano najgrubsze drzewa (Tab. 1) i dominowała 3 (słaba) jakość techniczna drzew.

Tabela 3. Struktura procentowa jakości technicznej pni sosny wg liczby drzew w doświadczeniu Z1. Znaczenie symboli: gj – grupy jednorodne; 1 - 4 klasy jakości technicznej drzew

Czynnik	War.	gj	1	2	3	4	Razem
Substrat x fauna	1f (E)	ab	8,24	38,82	36,47	16,47	100
	1k (A)	ab	15,15	44,44	33,33	7,07	100
	2f (B)	ab	7,78	53,33	26,67	12,22	100
	2k (G)	ab	11,65	43,69	34,95	9,71	100
	3f (H)	ab	10,19	38,89	39,81	11,11	100
	3k (F)	b	5,81	37,21	43,02	13,95	100
	4f (D)	ab	6,98	48,84	26,74	17,44	100
	4k (C)	ab	10,11	52,81	28,09	8,99	100
	K	a	20,83	38,33	40,83	0	100

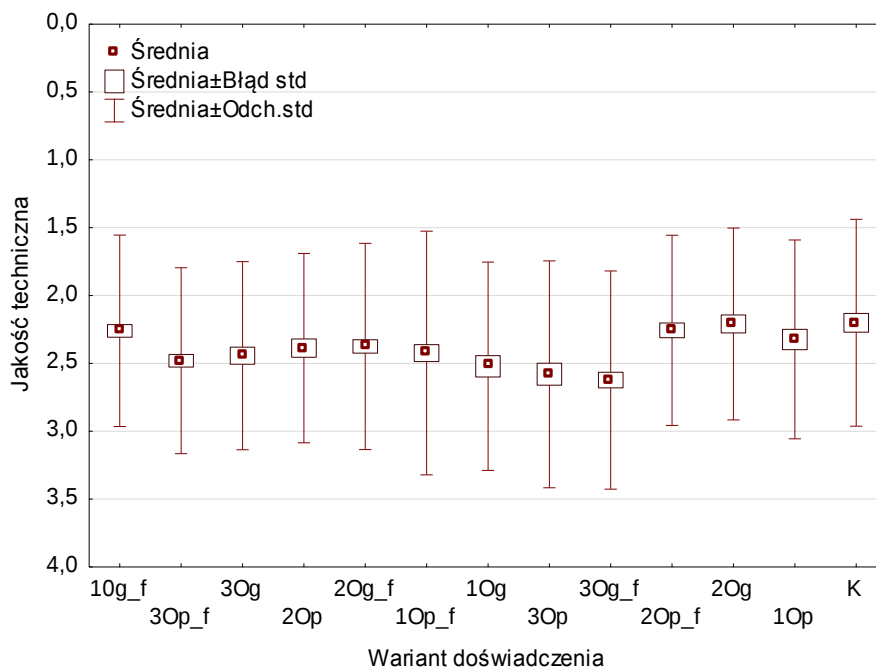


Ryc. 3. Struktura jakości technicznej pni sosny w doświadczeniu Z1(1k-A; 1f-E; 2k-G; 2f-B; 3k-F; 3f-H; 4k-C; 4f-D; K-kontrola na gruncie leśnym)

W doświadczeniu Z2 oraz w wariancie kontrolnym na gruncie leśnym (K) również uzyskano istotne różnice w strukturze jakości technicznej pni sosny ($P < 0,001$; $H = 21,28$). Najlepszą strukturą jakości technicznej pni drzew charakteryzowały się warianty: kontrolny na gruncie leśnym K oraz A₁₅, B₃ i B₂₆ (Tab. 4), a najgorszą jakością wariant C₁₅ (kora i trociny oraz fauna), który różnił się od wszystkich pozostałych (Tab. 4, Ryc. 4).

Tabela 4. Struktura procentowa jakości technicznej pni sosny wg liczby drzew w doświadczeniu Z2 (objaśnienia jak w Tab. 3)

Czynnik	War.	Oznacz.	gł	1	2	3	4	Razem
Substrat x przyg. gleby x fauna	1Og_f	A ₁₅	ab	10,82	56,71	28,14	4,33	100
	1Og_k	A ₃	b	6,25	45,83	37,50	10,42	100
	1Op_f	A ₂₆	b	9,38	55,21	29,17	6,25	100
	1Op_k	A ₄	b	14,90	40,87	31,25	12,98	100
	2Og_f	B ₁₅	b	12,17	59,13	24,35	4,35	100
	2Og_k	B ₃	ab	9,79	50,21	32,77	7,23	100
	2Op_f	B ₂₆	ab	6,60	53,77	33,96	5,66	100
	2Op_k	B ₄	b	10,71	57,14	27,98	4,17	100
	3Og_f	C ₁₅	c	5,74	50,00	38,52	5,74	100
	3Og_k	C ₃	b	7,65	35,20	44,39	12,76	100
	3Op_f	C ₂₆	b	6,54	44,86	32,71	15,89	100
	3Op_k	C ₄	b	5,43	46,61	42,53	5,43	100



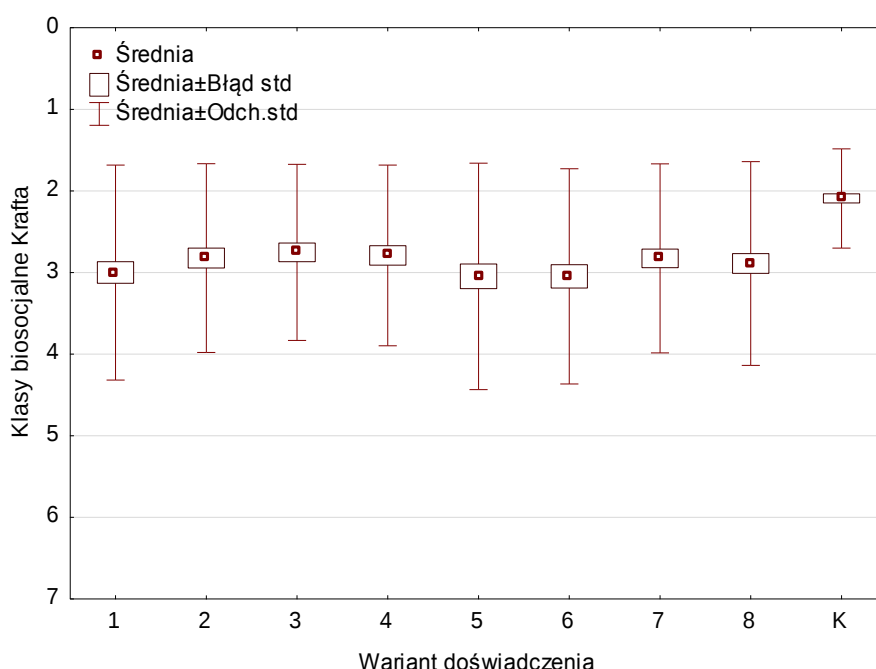
Ryc. 4. Struktura jakości technicznej pni sosny w doświadczeniu Z2 (1Ogf-A₁₅; 1Ogk-A₃; 1Opf-A₂₆; 1Opk-A₄; 2Ogf-B₁₅; 2Ogk-B₃; 2Opf-B₂₆; 2Opk-B₄; 3Ogf-C₁₅; 3Ogk-C₃; 3Opf-C₂₆; 3Opk-C₄; K-kontrola na gruncie leśnym)

Klasy biosocjalne Krafta

W doświadczeniu Z1 oraz w wariancie kontrolnym na gruncie leśnym (K) uzyskano istotne różnice w strukturze liczebnej poszczególnych klas biosocjalnych Krafta (Tab. 5, Ryc. 5). Wariant kontrolny występujący na gruncie leśnym (K) istotnie różnił się od pozostałych, co najprawdopodobniej wynikało z wykonanych trzebieży wczesnych o charakterze dolnym ($P < 0,001$; $H = 65,14$).

Tabela 5. Struktura biosocjalna drzewostanu [%] wg liczby drzew w doświadczeniu Z1
Znaczenie symboli: gj – grupy jednorodne; klasyfikacja biosocjalna wg Krafta: 1 – I, 2 – II, 3 – III, 4 – IVa, 5 – IVb, 6 – Va, 7 – Vb

Czynnik	War.	gj	1	2	3	4	5	6	7	Razem
Substrat	1f (E)	b	2,35	43,53	27,06	14,12	3,53	5,88	3,53	100
x	1k (A)	b	3,03	44,44	25,25	12,12	8,08	6,06	1,01	100
fauna	2f (B)	b	1,11	51,11	26,67	12,22	5,56	1,11	2,22	100
	2k (G)	b	3,88	42,72	34,95	9,71	4,85	1,94	1,94	100
	3f (H)	b	4,63	42,59	27,78	17,59	1,85	2,78	2,78	100
	3k (F)	b	1,16	40,70	33,72	12,79	4,65	2,33	4,65	100
	4f (D)	b	3,49	43,02	36,05	11,63	2,33	1,16	2,33	100
	4k (C)	b	6,74	41,57	30,34	14,61	4,49	2,25	0,00	100
	K	a	10,00	74,17	15,00	0	0	0,83	0	100

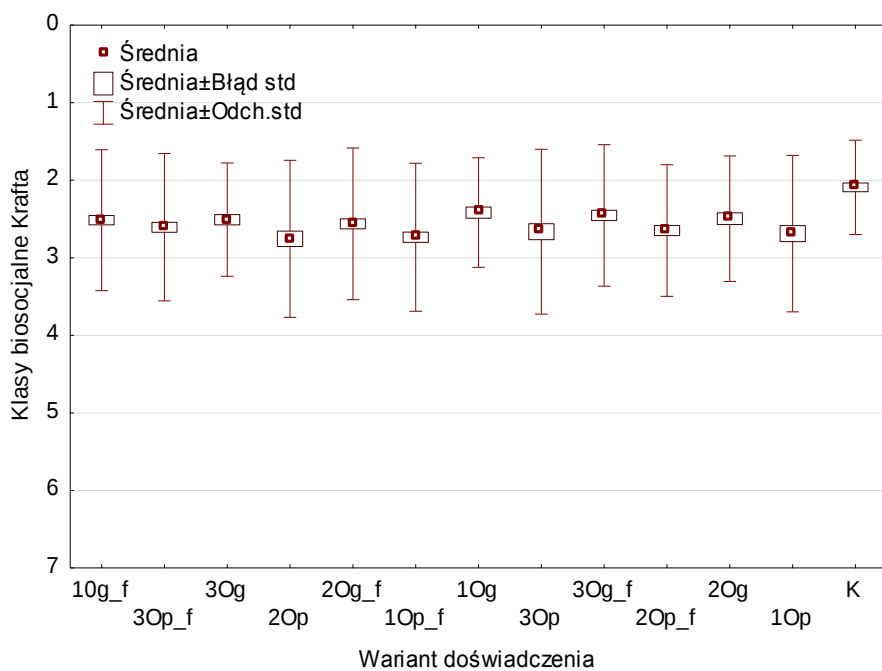


Ryc. 5. Struktura biosocjalna sosny w doświadczeniu Z1 (1k-A; 1f-E; 2k-G; 2f-B; 3k-F; 3f-H; 4k-C; 4f-D; K-kontrola na gruncie leśnym)

W doświadczeniu Z2 oraz w wariacie kontrolnym na gruncie leśnym (K) również uzyskano istotne różnice w strukturze liczebnej poszczególnych klas biosocjalnych Krafta (Tab. 6, Ryc. 6). Wariant kontrolny występujący na gruncie leśnym (K) istotnie różnił się od pozostałych (za wyjątkiem wariantu A₃ na gruncie porolnym), co wynikało z wykonanych trzebieży wczesnych o charakterze dolnym w wariacie kontrolnym K ($P < 0,001$; $H = 64,40$).

Tabela 6. Struktura biosocjalna drzewostanu [%] wg liczby drzew w doświadczeniu Z1 (objaśnienia jak w Tab. 6)

Czynnik	War.	Oznaczn.	gł	1	2	3	4	5	6	7	Razem
Substrat x przyg. gleby x fauna	1Og_f	A ₁₅	b	6,93	50,22	32,03	6,93	3,46	0,00	0,43	100
	1Og_k	A ₃	ab	4,17	58,33	29,17	8,33	0,00	0,00	0,00	100
	1Op_f	A ₂₆	b	5,21	44,79	33,33	11,46	4,17	0,00	1,04	100
	1Op_k	A ₄	b	4,81	41,35	34,13	15,87	3,37	0,00	0,48	100
	2Og_f	B ₁₅	b	5,22	52,17	33,04	6,96	2,61	0,00	0,00	100
	2Og_k	B ₃	b	5,96	52,34	27,66	9,36	3,83	0,00	0,85	100
	2Op_f	B ₂₆	b	5,66	40,57	32,08	17,92	2,83	0,00	0,94	100
	2Op_k	B ₄	b	4,17	44,05	37,50	11,31	2,98	0,00	0,00	100
	3Og_f	C ₁₅	b	2,46	54,92	32,79	9,02	0,82	0,00	0,00	100
	3Og_k	C ₃	b	9,69	48,98	31,63	6,63	2,55	0,00	0,51	100
	3Op_f	C ₂₆	b	6,54	43,93	35,51	8,41	3,74	0,00	1,87	100
	3Op_k	C ₄	b	7,24	44,34	33,94	10,41	3,62	0,00	0,45	100
		K	a	10,00	74,17	15,00	0	0	0,83	0	100



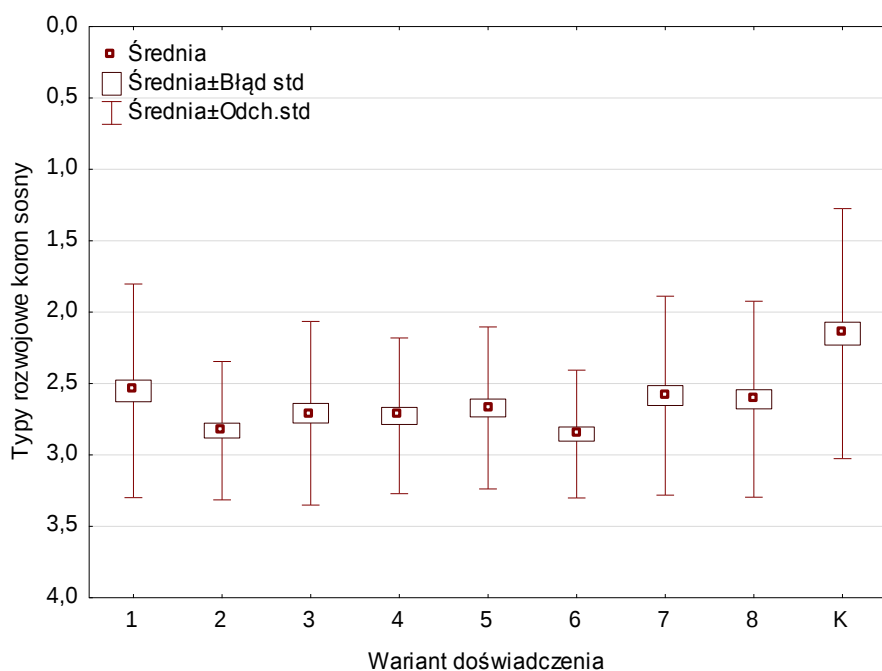
Ryc. 6. Struktura biosocjalna sosny w doświadczeniu Z2 (1Ogf-A₁₅; 1Ogk-A₃; 1Opf-A₂₆; 1Opk-A₄; 2Ogf-B₁₅; 2Ogk-B₃; 2Opf-B₂₆; 2Opk-B₄; 3Ogf-C₁₅; 3Ogk-C₃; 3Opf-C₂₆; 3Opk-C₄; K-kontrola na gruncie leśnym)

Typy rozwojowe koron sosny

W doświadczeniu Z1 oraz w wariancie kontrolnym na gruncie leśnym (K) uzyskano istotne różnice w strukturze typów rozwojowych koron sosny ($P < 0,001$; $H = 73,10$). Korony sosen występujących w wariancie kontrolnym na gruncie leśnym znacznie częściej miały typ 1 tj. były cienkogałęziste i długie w porównaniu z koronami drzew w innych wariantach (Tab. 7, Ryc. 7).

Tabela 7. Struktura typów rozwojowych (1-3) koron sosny [%] wg liczby drzew w doświadczeniu Z1. gj – grupy jednorodne

Czynnik	War.	gj	1	2	3	Razem
Substrat	1f (E)	b	4,88	23,17	71,95	100
x	1k (A)	b	15,31	14,29	70,41	100
fauna	2f (B)	b	4,55	7,95	87,50	100
	2k (G)	b	11,88	17,82	70,30	100
	3f (H)	b	11,43	16,19	72,38	100
	3k (F)	b	3,66	7,32	89,02	100
	4f (D)	b	4,76	17,86	77,38	100
	4k (C)	b	10,11	8,99	80,90	100
	K	a	31,67	21,67	46,67	100

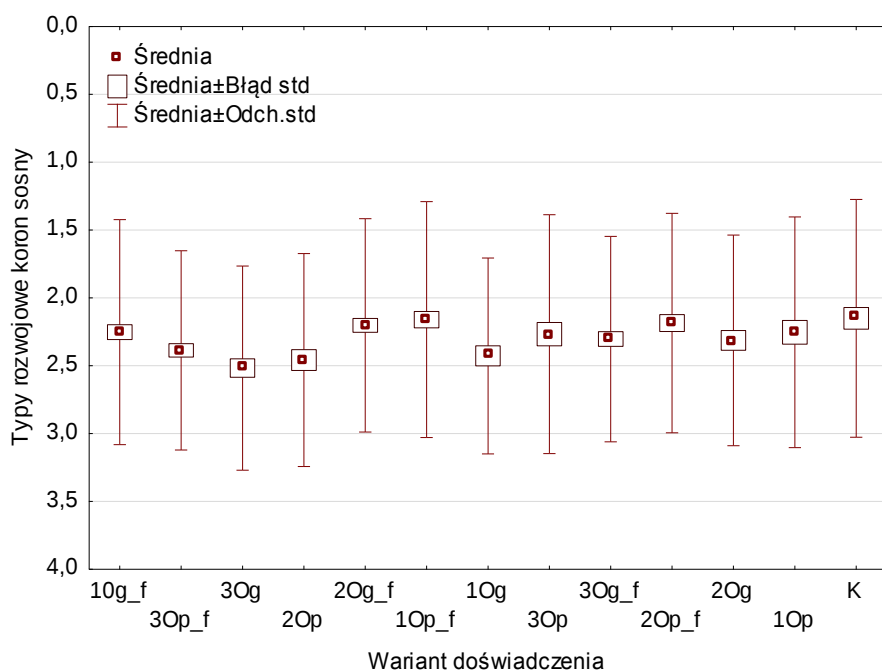


Ryc. 7. Struktura typów rozwojowych koron sosny w doświadczeniu Z1 (1k-A; 1f-E; 2k-G; 2f-B; 3k-F; 3f-H; 4k-C; 4f-D; K-kontrola na gruncie leśnym)

W doświadczeniu Z2 oraz w wariancie kontrolnym na gruncie leśnym (K) również uzyskano istotne różnice w strukturze typów rozwojowych koron sosny ($P < 0,001$; $H = 35,24$). Jednakże w tym przypadku korony sosen występujących w wariancie kontrolnym na gruncie leśnym różniły się jedynie od wariantów A_{26} i B_{15} (Tab. 8, Ryc. 8).

Tabela 8. Struktura typów rozwojowych (1-3) koron sosny wg liczby drzew w doświadczeniu Z2, w %. gj – grupy jednorodne

Czynnik	War.	Oznac.	gj	1	2	3	Razem
Substrat	1Og_f	A_{15}	ab	24,78	25,22	50,00	100
	1Og_k	A_3	ab	13,54	30,21	56,25	100
przyg.	1Op_f	A_{26}	a	26,32	22,11	51,58	100
	1Op_k	A_4	ab	30,92	22,22	46,86	100
x	2Og_f	B_{15}	a	19,13	30,43	50,43	100
	2Og_k	B_3	ab	22,75	34,33	42,92	100
fauna	2Op_f	B_{26}	ab	18,10	18,10	63,81	100
	2Op_k	B_4	ab	25,00	31,55	43,45	100
	3Og_f	C_{15}	ab	15,57	17,21	67,21	100
	3Og_k	C_3	ab	17,95	33,85	48,21	100
	3Op_f	C_{26}	ab	28,57	16,19	55,24	100
	3Op_k	C_4	ab	15,00	31,36	53,64	100
		K	ab	31,67	21,67	46,67	100



Ryc. 8. Struktura typów rozwojowych koron sosny w doświadczeniu Z2 (1Ogf-A₁₅; 1Ogk-A₃; 1Opf-A₂₆; 1Opk-A₄; 2Ogf-B₁₅; 2Ogk-B₃; 2Opf-B₂₆; 2Opk-B₄; 3Ogf-C₁₅; 3Ogk-C₃; 3Opf-C₂₆; 3Opk-C₄; K-kontrola na gruncie leśnym)

Mięszczość drzewostanu

Tabele 9 i 10 przedstawiają mięszczość drzewostanu w wariantach doświadczalnych. Mięszczość drzewostanu na powierzchniach doświadczalnych na gruntach porolnych Z1 i Z2 była prawie 3-krotnie wyższa niż na gruncie leśnym, co wynikało zarówno ze znacznie mniejszych pierśnic drzew oraz z zagęszczenia w wariantach kontrolnym. W wariantach na gruncie leśnym zagęszczenie drzew po wykonanych trzebieżach wyniosło około 1000 szt./ha. W pozostałych wariantach zagęszczenie drzew było niewiele niższe od przyjętego przy zalesianiu gruntu porolnego (pojedyncze drzewa zmarły z przyczyn losowych).

Tabela 9. Struktura miąższości drzewostanu na powierzchni badawczej Z1 (sosna, m³/ha)

Substrat	Fauna	Miąższość pni w korze [m ³]	Miąższość grubizny w korze [m ³]	Miąższość pni bez kory [m ³]	Miąższość grubizny bez kory [m ³]	Miąższość gałęzi [m ³]
1	f (E)	365,04	353,98	305,59	304,84	0,39
	k(A)	366,32	352,15	306,05	304,98	0,31
1 Razem		365,68	353,06	305,82	304,91	0,35
2	f (B)	390,54	378,77	327,04	326,57	0,39
	k(G)	398,47	383,97	333,15	332,31	0,34
2 Razem		394,50	381,37	330,10	329,44	0,36
3	f(H)	412,18	396,88	344,53	343,60	0,35
	k(F)	397,35	386,64	332,99	332,73	0,43
3 Razem		404,76	391,76	338,76	338,17	0,39
4	f(D)	380,41	369,39	318,57	318,27	0,40
	k(C)	380,81	369,13	318,78	318,27	0,39
4 Razem		380,61	369,26	318,67	318,27	0,39
Razem	Z1	386,39	373,86	323,34	322,69	0,37
	K	113,70	103,72	93,75	91,25	0,03

Tabela 10. Struktura miąższości drzewostanu na powierzchni badawczej Z II (sosna, m³/ha)

Substrat	Przygotowanie gleby	Fauna	Oznacz.	Miąższość pni w korze [m ³]	Miąższość grubizny w korze [m ³]	Miąższość pni bez kory [m ³]	Miąższość grubizny bez kory [m ³]	Miąższość gałęzi [m ³]
1	Og	f	A ₁₅	309,37	295,20	257,96	256,89	0,21
		k	A ₃	292,54	281,52	244,50	243,84	0,24
	Og Suma			303,76	290,64	253,48	252,54	0,22
	Op	f	A ₂₆	282,91	270,23	235,99	235,06	0,19
		k	A ₄	244,43	232,35	203,65	202,55	0,15
	Op Suma			270,08	257,61	225,21	224,22	0,18
1Razem				286,92	274,12	239,34	238,38	0,20
2	Og	f	B ₁₅	325,47	311,25	271,59	270,60	0,22
		k	B ₃	301,42	287,14	251,26	250,14	0,19
	Og Suma			317,45	303,21	264,81	263,78	0,21
	Op	f	B ₂₆	224,66	214,31	187,35	186,63	0,14
		k	B ₄	295,89	283,12	246,93	246,09	0,21
	Op Suma			248,40	237,25	207,21	206,45	0,16
2 Razem				282,93	270,23	236,01	235,12	0,19
3	Og	f	C ₁₅	300,63	289,44	251,27	250,72	0,25
		k	C ₃	360,24	345,95	300,94	300,17	0,27
	Og Suma			320,50	308,27	267,83	267,21	0,25
	Op	f	C ₂₆	317,58	304,47	265,18	264,35	0,23
		k	C ₄	325,51	313,28	271,99	271,28	0,28
	Op Suma			320,22	307,41	267,45	266,66	0,25
3 Razem				320,36	307,84	267,64	266,93	0,25
Razem	Z2			296,74	284,06	247,66	246,81	0,21
	K			113,70	103,72	93,75	91,25	0,03

3.7. Stan zdrowotny drzewostanów w różnych warunkach nawożenia

3.7.1. Grzyby

Głównym sprawcą zamierania *Pinus sylvestris* L. na powierzchniach badawczych założonych 30 lat temu w Nadleśnictwie Niedźwiady jest huba korzeniowa (*Heterobasidion annosum*). Gatunek ten został stwierdzony we wszystkich analizowanych obiektach (eksperymenty Z-I, Z-II oraz powierzchnia kontrolna 16 III).

W eksperymencie Z-I boirąc pod uwagę występowanie owocników *H. annosum* można wyróżnić dwa ogniska chorobowe. Pierwsze to stykające się powierzchnie B1, A2 i F1, natomiast drugie to sąsiadujące ze sobą powierzchnie G1, F2 oraz D2. Dodatkowo stwierdzono dwie wyraźne luki w drzewostanie, przylegające do drugiego ogniska chorobowego (na powierzchni E3 oraz na granicy powierzchni B2, A3, D2 i H3), które są prawdopodobnie spowodowane wcześniejszą działalnością *H. annosum* (Ryc. 1).

Szczególnie intensywnie huba korzeniowa występuje w pewnym fragmencie eksperymentu Z-II (powierzchnie A4, A5, B5, C5, A6, B6 i C6), wytwarzając na pniach i pniakach sosny owocniki, jak również powodując wydzielanie się drzew na obrzeżach powstających luk w drzewostanie (Fot. 1-3). Na pozostałych powierzchniach tego eksperymentu huba korzeniowa praktycznie nie występuje (jedno stwierdzenie na pow. A1). Stwierdzono natomiast w tej części doświadczenia na pniakach sosnowych liczne owocniki korowniczy okazałej *Phanerochaete gigantea* (syn. żylica olbrzymia *Phlebia gigantea*) (Fot. 4) – konkurenta pokarmowego dla *H. annosum* (Ryc. 2, Tab. 1). W Polsce *P. gigantea* od końca lat 70. do chwili obecnej jest wykorzystywany jako biopreparat do zabezpieczania pniaków iglastych (jako preparat PgIBL) przed groźnymi patogenami systemu korzeniowego z rodzajów *Heterobasidion* i *Armillaria*, głównie w drzewostanach na gruntach porolnych (Rykowski, Sierota 1977; Sierota 1995, 2001; Małecka i in. 2012a, b; Żółciak 2007). Zastosowanie w 1998 roku w trakcie wykonywania zabiegów hodowlanych biopreparatu PgIBL z pewnością ograniczyło i nadal ogranicza występowanie grzybni *H. annosum* na powierzchni eksperymentu Z-II.



Fot. 1. Owocniki *Heterobasidion annosum* na pniaku sosnowym w eksperymencie Z-II (Fot. J. Piętka)



Fot. 2. Owocniki *Heterobasidion annosum* w odziomku martwej sosny w eksperymencie Z-II (Fot. J. Piętka)



Fot. 3. Luka w drzewostanie sosnowym w eksperymencie Z-II powstała w wyniku działalności *Heterobasidion annosum* (Fot. J. Piętka)



Fot. 4. Owocniki *Phanerochaete gigantea* (*Phlebia gigantea*) na pniaku sosnowym w eksperymencie Z-II (Fot. J. Piętka)

H 1	G 2	F 3
D 1	E 2	C 3
B 1	A 2	G 3
F 1	C 2	B 3
A 1	H 2	D 3
E 1	B 2	A 3
C 1	D 2	H 3
G 1	F 2	E 3

Ryc. 1. Występowanie *Heterobasidion annosum* (powierzchnie z szarym tłem) oraz luk na poszczególnych powierzchniach w eksperymencie Z-I

Zakażenie drzew przez *Heterobasidion annosum* może odbywać się na różne sposoby. Sprawca może wnikać przez rany, przerastać z korzeni chorych do zdrowych w miejscach bezpośredniego kontaktu korzeniowego. Zarodniki patogena mogą również kiełkować na pniakach, bądź wmyte do gleby porażać korzenie. Rozwój korzeni w płaszczyźnie horyzontalnej ułatwia infekcję kolejnych drzew w wyniku kontaktu korzeniowego (Mańka 1998). Huba korzeniowa powoduje duże straty w drzewostanach wszystkich klas wieku, zwłaszcza będących pierwszym pokoleniem lasu na gruntach porolnych (Sierota 2001).

A 1	C 2	C 3	B 4	B 5	A 6
B 1	A 2	A 3	C 4	C 5	B 6
C 1	B 2	B 3	A 4	A 5	C 6

Ryc. 2. Występowanie *Heterobasidion annosum* (powierzchnie z szarym tłem) na poszczególnych powierzchniach w eksperymencie Z-II

Tab. 1. Frekwencja występowania owocników *Heterobasidion annosum* i *Phanerochaete gigantea* w różnych wariantach doświadczenia w eksperymencie Z-II

Numer powierzchni	Wariant doświadczenia	Liczba pniaków (drzew) z owocnikami	
		<i>Heterobasidion annosum</i>	<i>Phanerochaete gigantea</i>
A1	łubin + fauna	2	8
A2	łubin + fauna	-	9
A3	łubin	-	3
A4	łubin	1	5
A5	łubin + fauna	6	-
A6	łubin + fauna	4	2
B1	fauna	-	8
B2	fauna	-	3
B3	kontrola	-	2
B4	kontrola	-	2
B5	fauna	2	-
B6	fauna	1	-
C1	kora + trocin + fauna	-	13
C2	kora + trocin + fauna	-	4
C3	kora + trocin	-	6
C4	kora + trocin	-	1
C5	kora + trocin + fauna	2	1
C6	kora + trocin + fauna	1	1

W przypadku porażenia przez *H. annosum* drzew kilkuletnich dochodzi do przebarwienia aparatu asymilacyjnego na kolor bladozielony, z czasem igły brązowieją i przedwcześnie opadają. Między korą a drewnem takich drzew można dostrzec delikatny biały nalot grzybni. W okolicach szyi korzeniowej mogą wytworzyć się niewielkie owocniki patogena.

W przypadku drzew starszych choroba ma charakter przewlekły. Sprawca poraża pasożytniczo korzenie, skąd przenika dalej do szyi korzeniowej i pnia. Owocniki ukazują się z reguły w szyi korzeniowej drzewek, na korzeniach i pozostawionych pniakach. Owocniki mogą być różnego kształtu. W miejscach o słabym dostępie światła tworzą się najczęściej owocniki w postaci resupinatu (całą górną stroną przyrośnięte do substratu). U podstawy pnia czy na pniakach tworzą się natomiast owocniki mniej lub bardziej konsolowate. Górna strona jest początkowo czerwono-brązowa, później ciemniejąca, niewyraźnie koncentrycznie strefowana. Brzeg w okresie wzrostu biały. Hymenofor rurkowy, wielowarstwowy, początkowo biały z czasem staje się kremowy. Warstwy rurek z różnych lat często nie pokrywają się ze sobą na całej powierzchni hymenoforu a fragmenty z lat ubiegłych przybierają brązową barwę. Owocnik wzrastając często obrasta napotkane przeszkody (igły, żdzbla trawy, fragmenty kory).

Fakt występowania huby korzeniowej na korzeniach i wewnątrz pnia uniemożliwia szybkie zdiagnozowanie choroby. W przypadku drzew starszych może się ona rozwijać przez wiele lat nie dając na zewnątrz żadnych widocznych objawów porażenia. Rozwój tego patogena w korzeniach sosen nie ustaje z chwilą zamarcia zaatakowanego drzewa. Pozostaje on w zasiedlonych tkankach korzeni i pniaków stanowiąc trwałe zagrożenie dla drzew sąsiednich oraz następnych pokoleń lasu na danym terenie. Sierota i in. (2005) potwierdzają, że choroby korzeni stanowią stałe zagrożenie dla drzewostanów i nie ustępują z opanowanych terenów.

Wzmoczone zagrożenie drzewostanów ze strony patogenów korzeniowych to między innymi efekt zmian w środowisku leśnym. Jako główne przyczyny można wskazywać okresowo występujący w ostatnich latach deficyt opadów oraz związane z tym obniżanie się poziomu wód gruntowych. Sierota (2001) donosi, iż płytki, horyzontalny system korzeniowy niektórych gatunków drzew i krzewów, pozbawiony dostępnej wody, w szybkim czasie zamiera. Sytuacja taka zwiększa możliwości rozwojowe patogenów korzeniowych.

Przez rany (np. uszkodzenia mechaniczne) powstałe na pniu i wystających korzeniach do drewna bielastego żywych drzew iglastych może wnikać skórnik krwawiący *Stereum sanguinolentum* i być przyczyną tworzenia się nieregularnych raków na pniu (Domański

1991). W trakcie lustracji terenowych gatunek ten (powodujący białą zgniliznę drewna) stwierdzano jednak jedynie na pniakach oraz martwych leżących gałęziach sosnowych.

Nazewnictwo gatunków grzybów zestawionych poniżej przyjęto według listy krytycznej „Checklist of Polish larger Basidiomycetes” (Wojewoda 2003).

Grzyby nadrzewne stwierdzone w Eksperymentach Z-I (10.2013 r.)

Powierzchnia A1

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa
Ascocoryne sp. – pniak brzozowy

Powierzchnia A2

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. s.lato (Korzeniowiec wieloletni) – na suchej sośnie (x1)
Psilocybe fascicularis (Huds.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma fusciculare* (Huds.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka wiązkowa) – na pniakach sosnowych
Mycena galericulata (Scop.: Fr.) Gray (Grzybówka hełmiasta) – na pniakach liściastych

Powierzchnia A3

Psilocybe aeruginosa (M. A. Curtis: Fr.) Noordel., syn. *Stropharia aeruginosa* (M. A. Curtis: Fr.) Quél. (Pierścieniak grynszpanowy) – pniaki i leżanina sosnowa
2 suche sosny

Powierzchnia B1

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. s.lato (Korzeniowiec wieloletni) – na suchej sośnie (x1)
Psilocybe aeruginosa (M. A. Curtis: Fr.) Noordel., syn. *Stropharia aeruginosa* (M. A. Curtis: Fr.) Quél. (Pierścieniak grynszpanowy) – pniaki i leżanina sosnowa

Powierzchnia B2

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa
Pluteus sp. – na pniaku sosnowym

Powierzchnia B3

Psilocybe fascicularis (Huds.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma fusciculare* (Huds.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka wiązkowa) – na pniaku brzozowym

Powierzchnia C1

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa
Piptoporus betulinus (Bull.: Fr.) P. Karst. (Porek brzozowy) – leżanina brzozowa

Powierzchnia C2

Psilocybe capnoides (Fr.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma capnoides* (Fr.: Fr.) P. Kumm.
(Maślanka łagodna) – na pniakach sosnowych

Powierzchnia C3

Psilocybe fascicularis (Huds.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma fasciculare* (Huds.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka wiązkowa) – na pniaku sosnowym

Powierzchnia D1

Ganoderma applanatum (Pers.) Pat. (Łakownica spłaszczona) – pniak brzozy

Xylaria hypoxylon (L.) Grev. (Próchnilec gałęzisty) – pniak brzozy

Mycena galericulata (Scop.: Fr.) Gray (Grzybówka hełmiasta) – pniak brzozy

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa

Lycoperdon perlatum Pers.: Pers. (Purchawka gruszkowata) – leżanina liściasta

1 sucha sosna

Powierzchnia D2

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. s.lato (Korzeniowiec wieloletni) – na suchej sośnie (x1)

Powierzchnia D3

Xylaria hypoxylon (L.) Grev. (Próchnilec gałęzisty) – pniak brzozy

Powierzchnia E1

Psilocybe aeruginosa (M. A. Curtis: Fr.) Noordel., syn. *Stropharia aeruginosa* (M. A. Curtis: Fr.) Quél. (Pierścieniak grynszpanowy) – pniak sosnowy

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – pniak sosnowy

Paxillus involutus (Batsch: Fr.) Fr. (Krowiak podwinięty) – pniak sosnowy

Xylaria hypoxylon (L.) Grev. (Próchnilec gałęzisty) – pniak brzozy

Powierzchnia E2

Pholiota mutabilis (Scop.: Fr.) P. Kumm. (Łuskwiak zmienny) – pniak brzozy

Powierzchnia E3

Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – na suchej sośnie

Powierzchnia F1

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. s.lato (Korzeniowiec wieloletni) – na suchej sośnie (x1),
obok widoczna kolejna sucha sosna

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – pniak sosnowy

Pluteus sp. – na pniaku sosnowym

Mycena galericulata (Scop.: Fr.) Gray (Grzybówka hełmiasta) – pniak brzozowy

Powierzchnia F2

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. s.lato (Korzeniowiec wieloletni) – (x3) na suchych sosnach

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – pniak sosnowy

Powierzchnia F3

brak owocników grzybów nadrzewnych

Powierzchnia G1

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. s.lato (Korzeniowiec wieloletni) – na suchej sośnie (x1)

Powierzchnia G2

Xylaria hypoxylon (L.) Grev. (Próchnilec gałęzisty) – pniak brzozowy

Powierzchnia G3

Piptoporus betulinus (Bull.: Fr.) P. Karst. (Porek brzozowy) – leżanina brzozowa

Powierzchnia H1

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – pniak sosnowy

Psilocybe capnoides (Fr.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma capnoides* (Fr.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka łagodna) – pniak sosnowy

Tricholomopsis rutilans (Schaeff.: Fr.) Singer (Rycerzyk czerwonozłoty) – pniak sosnowy

Powierzchnia H2

Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – na suchej sośnie

Fomes fomentarius (L.: Fr.) Kickx (Hubiak pospolity) – martwa brzoza

Powierzchnia H3

Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – sucha sosna i leżanina sosnowa

Grzyby nadrzewne stwierdzone w Eksperymentie Z-II (10.2013 r.)

Powierzchnia A1

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. s.lato (Korzeniowiec wieloletni) – na pniakach sosnowych (x2)

Phanerochaete gigantea (Fr.: Fr.) Ratten *et al.* (Korownica okazała) – na pniakach sosnowych (x8)

Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa

Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa
Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa
Psilocybe fascicularis (Huds.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma fusciculare* (Huds.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka wiązkowa) – na pniakach sosnowych
Psilocybe aeruginosa (M. A. Curtis: Fr.) Noordel., syn. *Stropharia aeruginosa* (M. A. Curtis: Fr.) Qué. (Pierścieniak grynszpanowy) – pniaki i leżanina sosnowa
Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – leżanina sosnowa
Pholiota flammans (Batsch: Fr.) P. Kumm. (Łuskwiak ognisty) – leżanina sosnowa
Skeletocutis amorpha (Fr.: Fr.) Kotl. & Pouzar (Szkieletnica pomarańczowa) – na leżaninie sosnowej
Tricholomopsis rutilans (Schaeff.: Fr.) Singer (Rycerzyk czerwonożłoty) – na pniaku sosnowym
Mycena epipterygia (Scop.: Fr.) Gray (Grzybówka cytrynowa) – na pniaku sosnowym
Dacryomyces stillatus Nees: Fr. (Łzawnik rozciekliwy) – pniaki sosnowe
Ascocoryne sp. – pniaki sosnowe

Powierzchnia B1

Phanerochaete gigantea (Fr.: Fr.) Ratten *et al.* (Korownica okazała) – na pniakach sosnowych (x8)
Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa
Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa
Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa
Psilocybe aeruginosa (M. A. Curtis: Fr.) Noordel., syn. *Stropharia aeruginosa* (M. A. Curtis: Fr.) Qué. (Pierścieniak grynszpanowy) – pniaki i leżanina sosnowa
Psilocybe capnoides (Fr.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma capnoides* (Fr.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka łagodna) – na pniakach sosnowych
Panellus mitis (Pers.: Fr.) Singer (Łycznik białawy) – na gałęziach sosnowych
Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – leżanina sosnowa
Pholiota flammans (Batsch: Fr.) P. Kumm. (Łuskwiak ognisty) – leżanina sosnowa
Skeletocutis amorpha (Fr.: Fr.) Kotl. & Pouzar (Szkieletnica pomarańczowa) – na leżaninie sosnowej
Mycena epipterygia (Scop.: Fr.) Gray (Grzybówka cytrynowa) – na pniaku sosnowym
Dacryomyces stillatus Nees: Fr. (Łzawnik rozciekliwy) – pniaki sosnowe
Fomitopsis pinicola (Swartz: Fr.) P. Karst. (Pniarek obrzeżony) – leżanina sosnowa

Powierzchnia C1

Phanerochaete gigantea (Fr.: Fr.) Ratten *et al.* (Korownica okazała) – na pniakach sosnowych
(x13)

Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa

Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa

Psilocybe fascicularis (Huds.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma fusciculare* (Huds.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka wiążkowa) – na pniakach sosnowych

Psilocybe aeruginosa (M. A. Curtis: Fr.) Noordel., syn. *Stropharia aeruginosa* (M. A. Curtis: Fr.) Quél. (Pierścieniak grynszpanowy) – pniaki i leżanina sosnowa

Panellus mitis (Pers.: Fr.) Singer (Łycznik białawy) – na gałęziach sosnowych

Mycena epipterygia (Scop.: Fr.) Gray (Grzybówka cytrynowa) – na pniaku sosnowym

Chondrostereum purpureum (Schum.: Fr.) Pouzar (Chrząstkoskórnik purpurowy) – na pniaku brzoźowym

Powierzchnia A2

Phanerochaete gigantea (Fr.: Fr.) Ratten *et al.* (Korownica okazała) – na pniakach sosnowych
(x9)

Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa

Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa

Psilocybe aeruginosa (M. A. Curtis: Fr.) Noordel., syn. *Stropharia aeruginosa* (M. A. Curtis: Fr.) Quél. (Pierścieniak grynszpanowy) – pniaki i leżanina sosnowa

Psilocybe capnoides (Fr.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma capnoides* (Fr.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka łagodna) – na pniakach sosnowych

Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – leżanina sosnowa

Panellus mitis (Pers.: Fr.) Singer (Łycznik białawy) – na gałęziach sosnowych

Powierzchnia B2

Phanerochaete gigantea (Fr.: Fr.) Ratten *et al.* (Korownica okazała) – na pniakach sosnowych
(x3)

Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa

Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa
Psilocybe capnoides (Fr.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma capnoides* (Fr.: Fr.) P. Kumm.
 (Maślanka łagodna) – na pniakach sosnowych
Pholiota flammans (Batsch: Fr.) P. Kumm. (Łuskwiak ognisty) – leżanina sosnowa
Dacryomyces stillatus Nees: Fr. (Łzawnik rozciekliwy) – pniaki sosnowe
Calocera viscosa (Pers.: Fr.) Fr. (Pięknoróg największy) – leżanina sosnowa

Powierzchnia C2

Phanerochaete gigantea (Fr.: Fr.) Ratten *et al.* (Korownica okazała) – na pniakach sosnowych
 (x4)
Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa
Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa
Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa
Psilocybe aeruginosa (M. A. Curtis: Fr.) Noordel., syn. *Stropharia aeruginosa* (M. A. Curtis: Fr.) Quél. (Pierścieniak grynszpanowy) – pniaki i leżanina sosnowa
Psilocybe capnoides (Fr.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma capnoides* (Fr.: Fr.) P. Kumm.
 (Maślanka łagodna) – na pniakach sosnowych
Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – leżanina sosnowa
Pholiota flammans (Batsch: Fr.) P. Kumm. (Łuskwiak ognisty) – leżanina sosnowa
Skeletocutis amorpha (Fr.: Fr.) Kotl. & Pouzar (Szkieletnica pomarańczowa) – na leżaninie sosnowej
Mycena eipterygia (Scop.: Fr.) Gray (Grzybówka cytrynowa) – na pniaku sosnowym
Mycena stipata Maas Geest. & Schwöb. (Grzybówka alkaliczna) – na pniaku sosnowym
Panellus mitis (Pers.: Fr.) Singer (Łycznik białawy) – na gałęziach sosnowych
Paxillus panuoides (Fr.: Fr.) Fr. (Krowiak bocznotrzonowy) – leżący pień sosny
Hygrophoropsis aurantiaca (Wulf.: Fr.) J. Schröt. (Lisówka pomarańczowa) – na pniaku sosnowym
Ascocoryne sp. – pniaki sosnowe

Powierzchnia A3

Phanerochaete gigantea (Fr.: Fr.) Ratten *et al.* (Korownica okazała) – na pniakach sosnowych
 (x3)
Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa
Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa
Psilocybe aeruginosa (M. A. Curtis: Fr.) Noordel., syn. *Stropharia aeruginosa* (M. A. Curtis: Fr.) Quél. (Pierścieniak grynszpanowy) – pniaki i leżanina sosnowa
Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – leżanina sosnowa
Skeletocutis amorphia (Fr.: Fr.) Kotl. & Pouzar (Szkieletnica pomarańczowa) – na leżaninie sosnowej

Powierzchnia B3

Phanerochaete gigantea (Fr.: Fr.) Ratten *et al.* (Korownica okazała) – na pniakach sosnowych (x2)
Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa
Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa
Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – leżanina sosnowa
Psilocybe capnoides (Fr.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma capnoides* (Fr.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka łagodna) – na pniakach sosnowych
Dacryomyces stillatus Nees: Fr. (Łzawnik rozciekliwy) – pniaki sosnowe

Powierzchnia C3

Phanerochaete gigantea (Fr.: Fr.) Ratten *et al.* (Korownica okazała) – na pniakach sosnowych (x6)
Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa
Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa
Psilocybe capnoides (Fr.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma capnoides* (Fr.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka łagodna) – na pniakach sosnowych
Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa
Skeletocutis amorphia (Fr.: Fr.) Kotl. & Pouzar (Szkieletnica pomarańczowa) – na leżaninie sosnowej
Mycena epipterygia (Scop.: Fr.) Gray (Grzybówka cytrynowa) – na pniaku sosnowym
Panellus mitis (Pers.: Fr.) Singer (Łyczynnik białawy) – na gałęziach sosnowych
Oligoporus stypticus (Pers.: Fr.) Gilbertson & Ryvarden (Drobnoporek gorzki) – leżanina sosnowa
Calocera viscosa (Pers.: Fr.) Fr. (Pięknoróg największy) – leżanina sosnowa
Ascocoryne sp. – pniaki sosnowe

Powierzchnia A4

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. s.lato (Korzeniowiec wieloletni) – na pniakach sosnowych (x1)

Phanerochaete gigantea (Fr.: Fr.) Ratten *et al.* (Korownica okazała) – na pniakach sosnowych (x5)

Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa

Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa

Skeletocutis amorpha (Fr.: Fr.) Kotl. & Pouzar (Szkieletnica pomarańczowa) – na leżaninie sosnowej

Psilocybe aeruginosa (M. A. Curtis: Fr.) Noordel., syn. *Stropharia aeruginosa* (M. A. Curtis: Fr.) Quél. (Pierścieniak grynszpanowy) – pniaki i leżanina sosnowa

Psilocybe capnoides (Fr.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma capnoides* (Fr.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka łagodna) – na pniakach sosnowych

Dacryomyces stillatus Nees: Fr. (Łzawnik rozciekliwy) – pniaki sosnowe

Powierzchnia B4

Phanerochaete gigantea (Fr.: Fr.) Ratten *et al.* (Korownica okazała) – na pniakach sosnowych (x2)

Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa

Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa

Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – leżanina sosnowa

Psilocybe aeruginosa (M. A. Curtis: Fr.) Noordel., syn. *Stropharia aeruginosa* (M. A. Curtis: Fr.) Quél. (Pierścieniak grynszpanowy) – pniaki i leżanina sosnowa

Psilocybe capnoides (Fr.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma capnoides* (Fr.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka łagodna) – na pniakach sosnowych

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa

Mycena epipterygia (Scop.: Fr.) Gray (Grzybówka cytrynowa) – na pniaku sosnowym

Panellus mitis (Pers.: Fr.) Singer (Łycznik białawy) – na gałęziach sosnowych

Powierzchnia C4

Phanerochaete gigantea (Fr.: Fr.) Ratten *et al.* (Korownica okazała) – na pniakach sosnowych (x1)

Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa

Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa

Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – leżanina sosnowa

Psilocybe aeruginosa (M. A. Curtis: Fr.) Noordel., syn. *Stropharia aeruginosa* (M. A. Curtis: Fr.) Quél. (Pierścieniak grynszpanowy) – pniaki i leżanina sosnowa

Psilocybe capnoides (Fr.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma capnoides* (Fr.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka łagodna) – na pniakach sosnowych

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa

Mycena epipterygia (Scop.: Fr.) Gray (Grzybówka cytrynowa) – na pniaku sosnowym

Mycena stipata Maas Geest. & Schwöb. (Grzybówka alkaliczna) – na pniaku sosnowym

Oligoporus stypticus (Pers.: Fr.) Gilbertson & Ryvarden (Drobnoporek gorzki) – leżanina sosnowa

Panellus mitis (Pers.: Fr.) Singer (Łycznik białawy) – na gałęziach sosnowych

Skeletocutis amorpha (Fr.: Fr.) Kotl. & Pouzar (Szkieletnica pomarańczowa) – na leżaninie sosnowej

Powierzchnia A5

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. s.lato (Korzeniowiec wieloletni) – na pniakach sosnowych (x6)

Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa

Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa

Psilocybe aeruginosa (M. A. Curtis: Fr.) Noordel., syn. *Stropharia aeruginosa* (M. A. Curtis: Fr.) Quél. (Pierścieniak grynszpanowy) – pniaki i leżanina sosnowa

Psilocybe capnoides (Fr.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma capnoides* (Fr.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka łagodna) – na pniakach sosnowych

Psilocybe fascicularis (Huds.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma fusciculare* (Huds.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka wiążkowa) – na pniakach sosnowych

Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – leżanina sosnowa

Pholiota flammans (Batsch: Fr.) P. Kumm. (Łuskwiak ognisty) – leżanina sosnowa

Skeletocutis amorpha (Fr.: Fr.) Kotl. & Pouzar (Szkieletnica pomarańczowa) – na leżaninie sosnowej

Powierzchnia B5

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. s.lato (Korzeniowiec wieloletni) – na pniakach sosnowych (x2)

Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa

Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa

Psilocybe capnoides (Fr.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma capnoides* (Fr.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka łagodna) – na pniakach sosnowych

Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – leżanina sosnowa

Mycena epipterygia (Scop.: Fr.) Gray (Grzybówka cytrynowa) – na pniaku sosnowym

Oligoporus leucomallellus (Murrill) Gilbertson & Ryvarden – leżanina sosnowa

Powierzchnia C5

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. s.lato (Korzeniowiec wieloletni) – na pniakach sosnowych (x2)

Phanerochaete gigantea (Fr.: Fr.) Ratten *et al.* (Korownica okazała) – na pniakach sosnowych (x1)

Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa

Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa

Psilocybe aeruginosa (M. A. Curtis: Fr.) Noordel., syn. *Stropharia aeruginosa* (M. A. Curtis: Fr.) Quél. (Pierścieniak grynszpanowy) – pniaki i leżanina sosnowa

Psilocybe capnoides (Fr.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma capnoides* (Fr.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka łagodna) – na pniakach sosnowych

Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – leżanina sosnowa

Powierzchnia A6

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. s.lato (Korzeniowiec wieloletni) – na pniakach sosnowych (x4)

Phanerochaete gigantea (Fr.: Fr.) Ratten *et al.* (Korownica okazała) – na pniakach sosnowych (x2)

Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa

Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa

Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa

Psilocybe aeruginosa (M. A. Curtis: Fr.) Noordel., syn. *Stropharia aeruginosa* (M. A. Curtis: Fr.) Quél. (Pierścieniak grynszpanowy) – pniaki i leżanina sosnowa

Psilocybe capnoides (Fr.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma capnoides* (Fr.: Fr.) P. Kumm.
(Maślanka łagodna) – na pniakach sosnowych
Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – leżanina sosnowa
Pholiota flammans (Batsch: Fr.) P. Kumm. (Łuskwiak ognisty) – leżanina sosnowa
Pluteus sp. – na pniaku sosnowym

Powierzchnia B6

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. s.lato (Korzeniowiec wieloletni) – na pniakach sosnowych (x1)
Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa
Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa
Psilocybe aeruginosa (M. A. Curtis: Fr.) Noordel., syn. *Stropharia aeruginosa* (M. A. Curtis: Fr.) Quél. (Pierścieniak grynszpanowy) – pniaki i leżanina sosnowa
Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – leżanina sosnowa
Skeletocutis amorphia (Fr.: Fr.) Kotl. & Pouzar (Szkieletnica pomarańczowa) – na leżaninie sosnowej
Oligoporus ceasius (Schrad.: Fr.) Gilbertson & Ryvarden (Drobnoporek modry) – leżanina sosnowa
Ascocoryne sp. – pniaki sosnowe

Powierzchnia C6

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. s.lato (Korzeniowiec wieloletni) – na pniakach sosnowych (x4)
Phanerochaete gigantea (Fr.: Fr.) Ratten *et al.* (Korownica okazała) – na pniakach sosnowych (x1)
Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – leżanina sosnowa
Tremella encephala Pers.: Fr. (Trzesak mózgowaty) – leżanina sosnowa
Gymnopilus penetrans (Fr.: Fr.) Murrill (Łysak plamistoblaszkowy) – leżanina sosnowa
Psilocybe aeruginosa (M. A. Curtis: Fr.) Noordel., syn. *Stropharia aeruginosa* (M. A. Curtis: Fr.) Quél. (Pierścieniak grynszpanowy) – pniaki i leżanina sosnowa
Psilocybe fascicularis (Huds.: Fr.) Noordel., syn. *Hypholoma fusciculare* (Huds.: Fr.) P. Kumm. (Maślanka wiążkowa) – na pniakach sosnowych
Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – leżanina sosnowa
Pholiota flammans (Batsch: Fr.) P. Kumm. (Łuskwiak ognisty) – leżanina sosnowa

Skeletocutis amorpha (Fr.: Fr.) Kotl. & Pouzar (Szkieletnica pomarańczowa) – na leżaninie sosnowej

Hygrophoropsis aurantiaca (Wulf.: Fr.) J. Schröt. (Lisówka pomarańczowa) – na pniaku sosnowym

Grzyby nadrzewne stwierdzone na powierzchniach kontrolnych

Powierzchnia 16 I

Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – leżanina sosnowa

Calocera viscosa (Pers.: Fr.) Fr. (Pięknoróg największy) – leżanina sosnowa

Powierzchnia 16 II

brak owocników grzybów nadrzewnych

Powierzchnia 16 III

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. s.lato (Korzeniowiec wieloletni) – na pniakach sosnowych (x2)

Trichaptum abietinum (Dicks.: Fr.) Ryvarden (Niszczyk iglastodrzewny) – leżanina sosnowa

Stereum sanguinolentum (Alb.& Schwein.: Fr.) Fr. (Skórnik krwawiący) – pniak sosnowy

Wnioski

1. Głównym sprawcą zamierania sosny pospolitej (*Pinus sylvestris* L.) na powierzchniach badawczych w Nadleśnictwie Niedźwiady jest huba korzeniowa (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. ss. lato).
2. Zastosowanie w 1998 roku na powierzchni eksperymentu Z-II w trakcie wykonywania zabiegów hodowlanych biopreparatu PgIBL z grzybnią korownicy okazałej *Phanerochaete gigantea* (Fr.: Fr.) Rattan et al. (syn. żylica olbrzymia *Phlebia gigantea* Fr.: Fr.) Donk) z pewnością ograniczyło i nadal ogranicza występowanie grzybni *H. annosum*.

3. Na powierzchniach badawczych stwierdzono dodatkowo 23 inne gatunki grzybów saprotroficznych, które rozkładając martwe drewno pni i pniaków sosnowych przyczyniają się do ograniczenia możliwości rozwojowych patogenów korzeniowych.
4. Nie zauważono zależności między występowaniem grzybów rozkładających drewno (patogenów korzeniowych), grzybów saprofitycznych) sosny pospolitej a wariantem nawożenia czy sposobem przygotowania gleby.

Literatura:

- Domański S. 1991. Grzyby. Podstawczaki, Bezblaszkowce, Skórnikowate, Pucharkowate. PWN, Warszawa – Kraków.
- Małecka M., Żółciak A., Sikora K., Sierota Z. 2012a. Ocena występowania grzybnii i owocników *Phlebiopsis gigantea* w pniakach sosnowych po wykonaniu zabiegu ochronnego przed hubą korzeni. *Leśne Prace Badawcze* 73 (2): 127-136.
- Małecka M., Sierota Z., Żółciak A. 2012b. Porównanie skuteczności preparatów z grzybem *Phlebiopsis gigantea* zastosowanych do zabezpieczania pniaków sosnowych na gruntach porolnych przed infekcją pierwotną *Heterobasidion annosum*. *Sylwan* 156 (7): 526-532.
- Mańka M. 1998. Ważniejsze choroby infekcyjne. W: A. Boratyński, W. Bugała [red.]. *Biologia świerka pospolitego*, 427-455. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Rykowski K., Sierota Z. 1977. Badania nad przygotowaniem do produkcji biopreparatu z grzybem *Phlebia gigantea* (Fr.) Donk. *Prace IBL* 534: 73-90.
- Sierota Z. 1995. Rola grzyba *Phlebiopsis gigantea* (Fr.: Fr.) Jülich w ograniczaniu huby korzeni w drzewostanach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na gruntach porolnych. *Prace IBL* 810: 1-180.
- Sierota Z. 2001. Choroby lasu. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
- Sierota Z., Małecka M., Stocka T. 2005. Choroby infekcyjne. W: Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce w 2005 roku. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa.
- Wojewoda W. 2003. Checklist of Polish larger Basidiomycetes. Krytyczna lista wielkoowocnikowych grzybów Polski. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Science, Kraków.

Żółciak A. 2007. Inokulacja pniaków sosnowych preparatami biologicznymi z *Phlebiopsis gigantea*. Leśne Prace Badawcze 2: 77-94.

3.7.2. Szkodniki pierwotne i wtórne

Zagrożenie ze strony szkodników pierwotnych na terenie nadleśnictwa Niedźwiady ma charakter wielkoobszarowy i trudno jest ocenić je jedynie na podstawie wytypowanych obiektów badawczych, tj. powierzchni zoomeliuracyjnych i kontrolnych. Zależy ono głównie od następujących czynników:

- dużego udziału drzewostanów rosnących na gruntach porolnych (36,6% gruntów zalesionych)
- monokultur sosnowych
- niekorzystnych warunków meteorologicznych

Największe zagrożenia w ostatnim 20-leciu związane było z występowaniem brudnicy mniszki (*Lymantria monacha* L.), poprocha cetyniaka (*Bupalus piniarius* L.), borecznika sosnowca (*Diprion pini* L.) i strzygoni choinówki (*Panolis flammea* Schiff.) (Tab. 1). Ogniska gradacyjne pierwotnych szkodników sosny stwierdzono na łącznej powierzchni 13379, 61 ha (na podstawie jesiennych poszukiwań pierwotnych sosny), zaś gradacje powtarzały się od 1988 roku w cyklu 4 – 5 letnim.

Ocenę zagrożenia ze strony szkodników wtórnych przeprowadzono na podstawie lustracji wszystkich powierzchni zoomeliuracyjnych w październiku 2012. Lustrację przeprowadzono na pow. Zoomeliuracyjnej I (leśn. Łabędzie Bagno, oddz. 158d), pow. Zoomeliuracyjnej II (leśn. Kamionka, oddz. 104Ag i 80c) i trzech powierzchniach kontrolnych (leśn. Nowa Brda, oddz. 212d).

Stan obecny i zagrożenie oceniano na podstawie szacunkowej ilości na poszczególnych powierzchniach (udział procentowy). Na wybranej losowo próbie (10 drzew posuszowych) stwierdzano obecność szkodników wtórnych.

Wyniki

Obecność stwierdzonych szkodników wtórnych przedstawiono tabelarycznie.

Powierzchnie kontrolne

Nr. drzewa Gatunek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Pitogenes quadridens</i> Htg.	+			+	+	+			+	+

Na powierzchniach kontrolnych wykonano trzebież wczesną w 2011 roku, przez co nie stwierdzono na tych powierzchniach posuszu stojącego (szacunkowa ilość posuszu – 0%). Analizy dokonano na pozostawionej leżaninie (wybrano 10 najgrubszych i najdłuższych drzew). Nie stwierdzono żadnego szkodnika wtórnego o istotnym znaczeniu. Jedynie na 6 drzewach stwierdzono obecność rytownika czterozębnego. Stan zdrowotny nie budzi obaw. Brak jakiegokolwiek źródła zagrożenia.

Powierzchnia Zoomelioracyjna I

Nr. drzewa Gatunek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Tomicus piniperda</i> L.	+	+	+	+	+			+	+	
<i>Pissodes pini</i> L.	+	+		+						+

Notuje się tu szereg wypadów, posuszu stojącego (szacunkowa ilość 30-50%) i leżaniny. Drzewa posuszowe wzięte do analizy zaatakowane były przez korzeniowca wieloletniego i opieńki. Na 7 z nich stwierdzono obecność cetyńca większego a na 4 – smolika sosnowca. Stan zdrowotny jest dużo gorszy niż na powierzchniach kontrolnych, ale główne zagrożenie stanowi korzeniowiec wieloletni.

Powierzchnia Zoomelioracyjna II

Nr. drzewa Gatunek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Tomicus piniperda</i> L.		+		+					+	+
<i>Pityogenes bidentatus</i> Herbst	+									

Ogólny stan zdrowotny tej powierzchni podobny jest do pow. Zoomelioracyjnej I, z tym, że jest znacznie więcej posuszu (szacunkowa ilość - >50%) i leżaniny. Obecność cetyńca wykryto na czterech drzewach a na jednym stwierdzono obecność rytownika dwuzębnego. I tu także szkodniki wtórne nie są głównym źródłem zagrożenia. Bardziej istotne są tu zaniedbania hodowlane i obecność patogenów grzybowych.

Podsumowanie

Na żadnej zlustrowanej powierzchni szkodniki wtórne nie stanowią zagrożenia dla drzewostanów sosnowych. Na powierzchniach kontrolnych stwierdzono obecność rytowników, a więc korników bez znaczenia gospodarczego. Być może drzewa opanowane przez inne szkodniki wtórne (cetyńce, smoliki) zostały usunięte w trzebieży, ale istniejący drzewostan nie wykazuje żadnych symptomów chorobowych.

Znacznie gorszy stan zdrowotny notuje się na powierzchniach zoomelioracyjnych ale i tam szkodniki wtórne nie stanowią zagrożenia. Nieco więcej posuszu ze śladami żerów cetyńca większego i smolika sosnowca, jednak i tu o stanie zdrowotnym decyduje obecność patogenów grzybowych.

4. Ocena skuteczności zabiegów rekultywacji leśnej gruntów porolnych po 36 latach od ich zastosowania

4.1. Właściwości chemiczne gleb i igieł sosny

Spośród zastosowanych zabiegów, stosunkowo największe i długotrwałe zmiany nastąpiły pod wpływem dostarczenia do gleby kory i trocin przy jednoczesnym wprowadzeniu na polletka badawcze krocionoga *Proteroiulus fuscus*. Zmiany te polegały na znaczącym wzroście zawartości związków próchnicznych, związków węgla – również jego form rozpuszczalnych, wzroście pojemności sorpcyjnej, a także wzroście zawartości kationów zasadowych i stopnia wysycenia gleby Ca, K i Mg. W glebie tej powierzchni stwierdzono wyższą kwasowość hydrolityczną. Gleba porolna będąca pod wpływem opisywanego zabiegu cechowała się też istotnie wyższą zawartością azotu, w tym jego form rozpuszczonych, większą aktywnością enzymów glebowych, zwłaszcza kwaśnej fosfatazy, a w końcu większą od innych powierzchni na glebach porolnych intensywnością respiracji. Wbrew wcześniejszym oczekiwaniom, zmianom nie uległy takie parametry jak pH roztworu glebowego, kwasowość wymienna, ani stosunek C:N.

Na początku eksperymentu zakładano, że dostarczenie do gleby kory i trocin będzie skutkowało w długim czasie poprawą warunków glebowych, a przede wszystkim zwiększy zawartość związków próchnicznych, których zwykle mniej jest w glebach porolnych niż w glebach typowo leśnych. Wzrost zawartości substancji próchnicznych oznaczałby poprawę właściwości powietrzno-wodnych oraz sorpcyjnych gleb, miałyby chronić powierzchnię gleby przed wysychaniem oraz stymulować życie biologiczne w glebie. Choć ten rodzaj materii nie stanowi zasadniczo nawozu, oczekiwano że materia ta w dalszej perspektywie stanowi magazyn substancji pokarmowych, które (jak przewidywano) ulegną wyczerpaniu w typowej glebie porolnej w ciągu 20-30 lat od założenia uprawy (Szujewski i in. 1986).

Badania przeprowadzone po 7 latach od rozpoczęcia doświadczenia nie wykazywały jeszcze wzrostu zawartości substancji próchnicznych. Gleby nawożone miały nawet mniej

związków C niż powierzchnia nienawożona. Wszystko wskazuje na to, że do potwierdzenia postawionej tezy potrzeba było znacznie dłuższego czasu. I tak, wyniki uzyskane po ponad 30 latach od założenia eksperymentu wskazują, że istotnie, zawartość substancji próchnicznych na powierzchniach z korą i trocinami wzrosła i pozostała na wysokim poziomie. W obecnych badaniach wykazano, że poziom ten przekraczał nawet zawartość próchnicy w glebie leśnej. Należy tu jeszcze dodać, że zdrewniałe tkanki wprowadzone w postaci trocin i kory zawierają naturalnie duże ilości wapnia, który jest pierwiastkiem wbudowywanym w strukturę ścian komórkowych drewna (Prosiński 1969). Fakt ten nie powinien zostać pominięty w rozważaniach nad melioracją gleb porolnych. W trakcie użytkowania rolniczego gleby te bowiem podlegają rutynowym zabiegom wapnowania. Można więc oczekiwać, że po zasileniu w korę i trociny ich zasobność w Ca będzie podwójnie duża, co zresztą potwierdziły niniejsze badania. Z punktu widzenia prawidłowego funkcjonowania ekosystemów leśnych, nadmiar związków wapnia w glebie nie wydaje się być pożądany, bowiem skutkuje zawyżeniem pH roztworów glebowych, co nie jest cechą przynależną glebom typowo leśnym.

Zakładając doświadczenie oczekiwano, że pod wpływem nawożenia korą i trocinami dojdzie do zakwaszenia gleb porolnych. Wskazywały na to wyniki badań przeprowadzonych po 7-letnim początkowym okresie trwania eksperymentu. Obserwowano wówczas pewne zmniejszenie pH, rzędu 0,4 jednostki w skali pH. Porównując tamte dane do wyników współczesnych można stwierdzić, że proces zakwaszania gleb porolnych zachodzi niezwykle powoli. Wartości pH w KCl uzyskane obecnie pokazują też, że obniżenie pH nie jest ani domeną dostarczenia trocin i kory do gleby, ani też nie zależy rodzaju gleby (leśna/porolna). Zmiany widać na wszystkich porolnych poletkach doświadczalnych, nie tylko tam, gdzie dostarczono kory i trocin. Ponadto, spadek pH ma także miejsce w młodych drzewostanach na gruntach typowo leśnych (Tarabuła 1999). Mimo pewnej tendencji do zakwaszenia, pH gleb porolnych badanych w doświadczeniu kształtuje się wciąż na stosunkowo wysokim poziomie w odniesieniu do gleby leśnej. Potwierdzałoby to obserwacje Tarabuły (1999), która dowodzi, że pH gleb porolnych przybliża się do gleb leśnych dopiero w dojrzałych drzewostanach sosnowych. Wydaje się, że kwestia niedostatecznego zakwaszenia gleb porolnych jest jedną z podstawowych i taką, która powinna zostać uwzględniona w większym stopniu w trakcie przyszłego użytkowania leśnego gleb o post-rolniczym charakterze.

Jednym z najważniejszych założeń zabiegów rekultywacji gruntów porolnych było przypuszczenie oparte na o ówczesne pomiary zasobności gleb porolnych w związki azotu, że

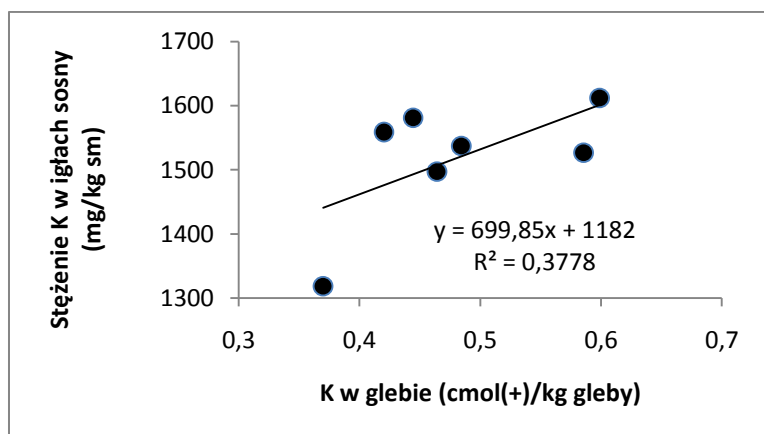
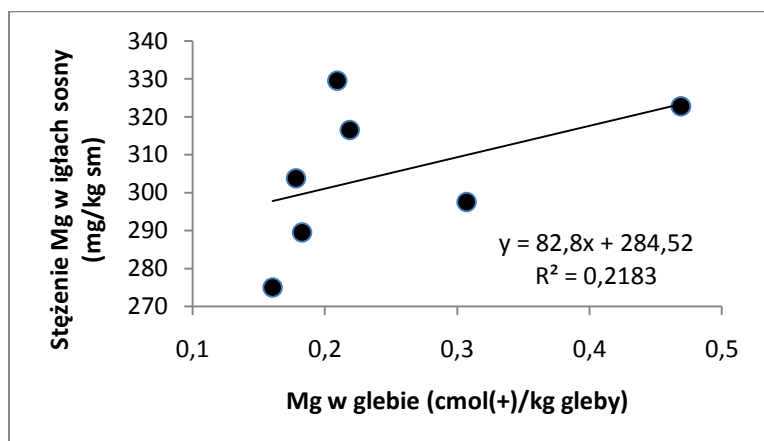
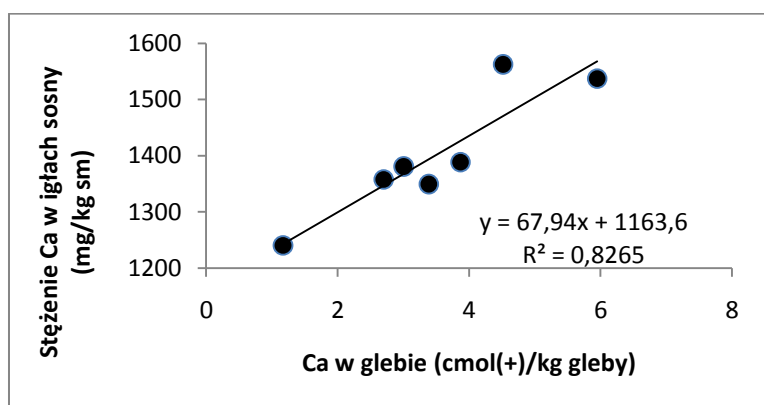
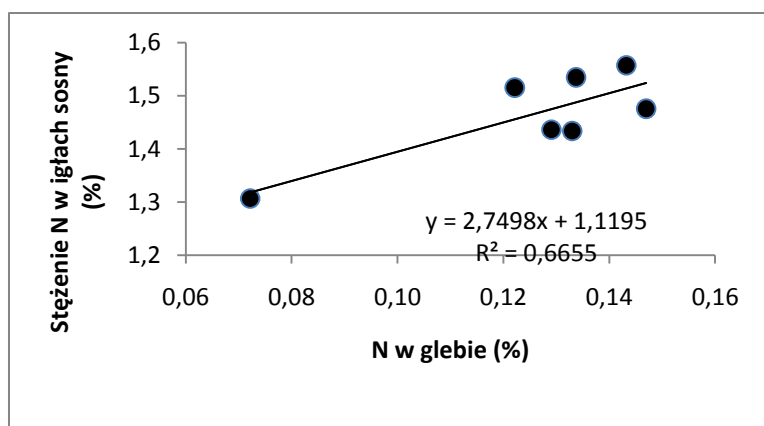
w wieku 20-25 lat drzewostany tam występujące mogą przechodzić kryzys troficzny, rzutujący na ogólnie znane ich skłonności chorobowe.

Badania wartości troficznej gleb w trzech wariantach zabiegów rekultywacyjnych na pow. Z II nie wskazały, by w wieku 30-40 lat drzewostan sosnowy zaczynał przeżywać istotny „kryzys troficzny”. W żadnym wariancie doświadczenia ani w glebie, ani w roślinach nie stwierdzono szczególnie niskich zawartości N, co nie uprawnia do wnioskowania o wyczerpaniu się podstawowych składników pokarmowych. Zawartość głównego czynnika limitującego produkcję biologiczną, azotu, była we wszystkich wariantach doświadczenia znacząco wyższa niż w glebie leśnej i kształtowała się na poziomie optimum troficznego dla sosny (Ingestad 1979). Z drugiej strony, zaopatrzenie drzew w biogeny, zarówno bezwzględne (stężenia), jak i względne (proporcje) wskazują na znaczne deficyty Mg i K na wszystkich poletkach badawczych, włączając w to powierzchnię typowo leśną (Tabela 1 i 2) (Ingestad 1979). Na ten stan rzeczy mógł mieć jednak znaczący wpływ sposób zbioru igieł sosny i możliwość wymycia części tych jonów (zwłaszcza potasu) przez opady atmosferyczne. Przyczynkiem do wnioskowania o kryzysie troficznym mogłyby być szczególnie niskie zawartości kationów zasadowych (Mg i K) w glebie poletek doświadczenia, które nie były nawożone korą i trocinami. Zasobność tych gleb w Mg i K była na poziomie zbliżonym do typowej gleby leśnej, a jednocześnie zawartość Ca i N była znacznie wyższa niż w glebie leśnej. Wskazywałoby to na względny deficyt magnezu i potasu w stosunku do azotu. Istnienie podobnej prawidłowości pokazały wcześniejsze badania w drzewostanach na gruntach porolnych (Tarabula 1999).

Zasobność gleb powinna określać stopień zaopatrzenia drzew w dany pierwiastek. Dlatego sprawdzono, jak kształtują się zależności pomiędzy różnymi składnikami w glebie i w młodych igłach sosnowych. Okazało się, że zasobność gleb w N, a szczególnie w Ca znajduje swoje bezpośrednie odzwierciedlenie w stężeniach tych pierwiastków w listowiu drzew (większa zasobność w glebie – większe stężenie w igłach), jednak w przypadku K, a szczególnie Mg, zależność nie jest wcale oczywista (Ryc.1). Składniki te, choć obecne w większych ilościach w glebie nawożonej korą i trocinami, nie powodują istotnego wzrostu ich zawartości w igliwiu. Stężenia Mg i K w igłach sosny na tych powierzchniach są znacznie niższe niż wskazywałyby na to zawartości w glebie.

Zróżnicowane zabiegi melioracyjne miały praktycznie nieistotny wpływ na zaopatrzenie drzew w składniki pokarmowe. Zmienność stężeń pierwiastków biogennych w igłach nie przekroczyła w żadnym przypadku 8%, a proporcji pomiędzy pierwiastkami - 7%, co wskazuje na wyjątkowo sprawne mechanizmy homeostatyczne drzew w zakresie odżywiania

prowadzące do niemal stałego składu chemicznego żywych tkanek, niezależnie od różnic w zasobności gleby.



Ryc. 1. Wpływ zasobności gleby na zaopatrzenie drzew w składniki pokarmowe

Tabela 1. Zaopatrzenie sosny w składniki pokarmowe mierzone stężeniami w igłach żywych

Powierzchnia	Ca	Mg	K	Na	C	N
	mg/kg s.m.				% s.m.	
Las	1241	275	1319	78,0	34,1	1,31
Kontrola	1350	330	1497	63,0	33,4	1,44
Fauna	1358	290	1581	73,8	33,7	1,43
Łubin	1389	317	1537	72,0	33,6	1,56
Kora+Trociny	1563	298	1527	77,0	33,4	1,53
Łubin+Fauna	1381	304	1559	80,8	33,9	1,52
Kora+Trociny+Fauna	1537	323	1612	79,3	33,3	1,48

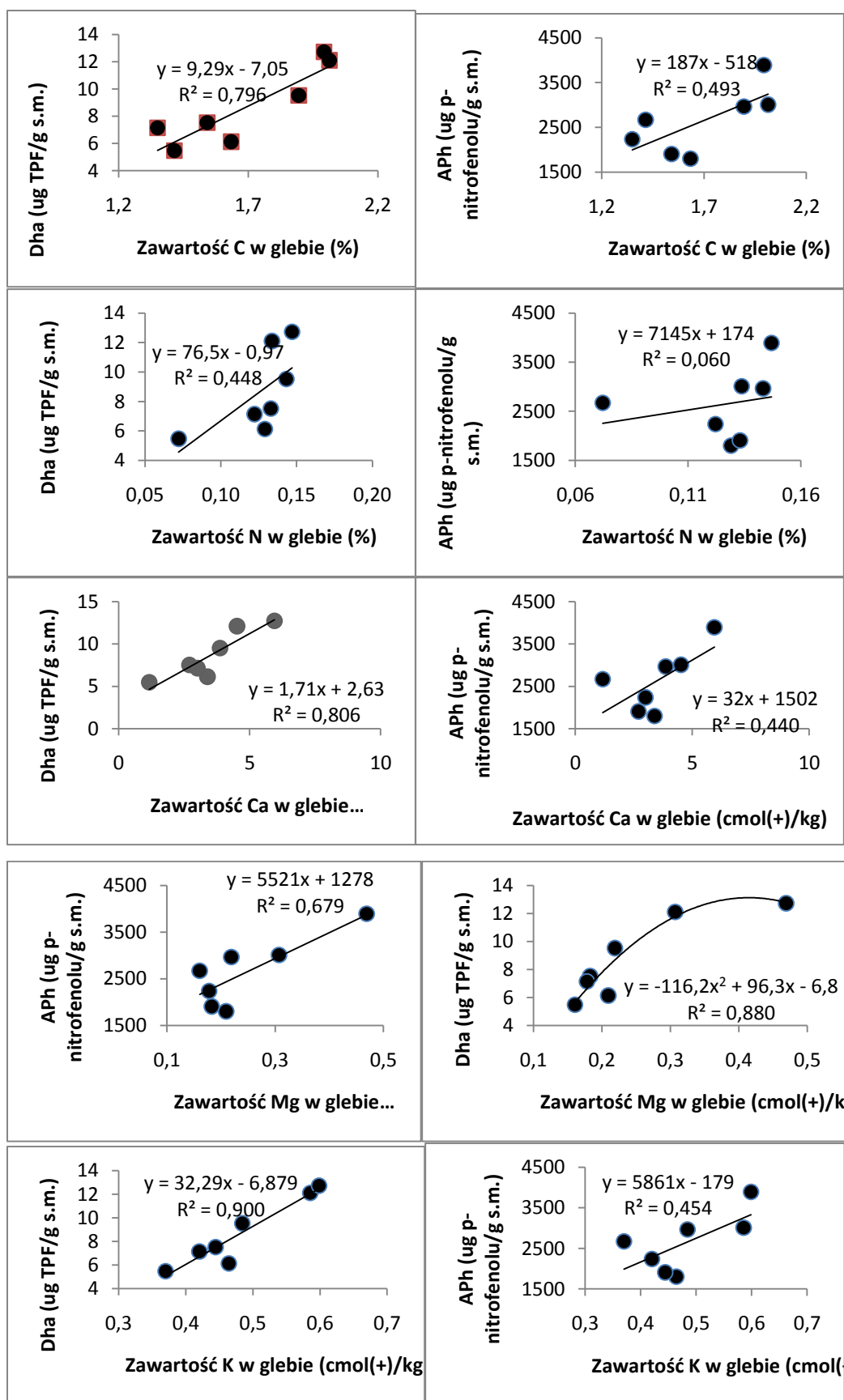
Tabela 2. Proporcje składników pokarmowych w żywych igłach sosny badanych wariantów

Powierzchnia	C:N	N:Ca	N:Mg	N:K
Las	26,1	9,5	2,1	10,1
Kontrola	23,3	9,4	2,3	10,4
Fauna	24,0	9,5	2,0	11,0
Łubin	21,6	8,9	2,0	9,9
Kora+Trociny	21,8	10,2	1,9	9,9
Łubin+Fauna	22,4	9,1	2,0	10,3
Kora+Trociny+Fauna	22,9	10,4	2,2	10,9

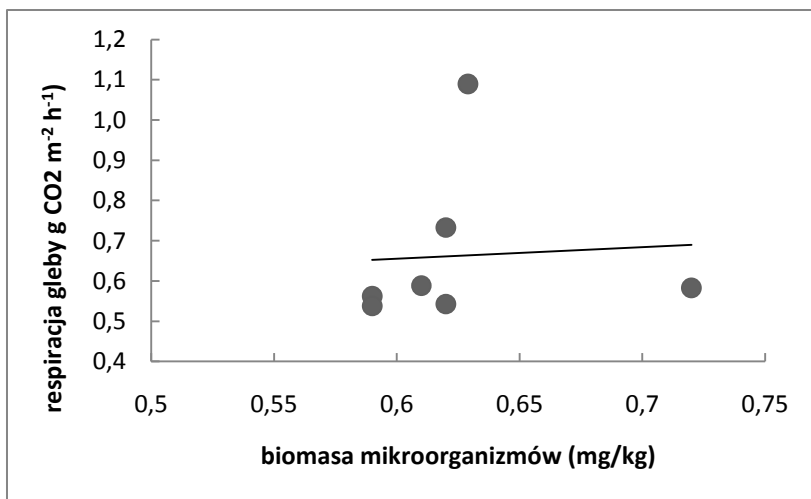
4.2. Stan mikoryz oraz aktywności oddechowej i enzymatycznej gleb

Zgodnie z uzyskanymi wynikami należało oczekiwać, że zwiększona zawartość materii organicznej na powierzchniach nawożonych korą i trocinami powinna zainicjować większą aktywność biologiczną gleby. Taką tendencję wykazano zresztą w kilku latach po rozpoczęciu doświadczenia. Obecne badania potwierdzają tę tezę tylko częściowo. Jawnym dowodem takiej prawidłowości jest istotny wzrost tempa oddychania gleby w wariancie z korą, trocinami i wijem, a także częściowo potwierdzony statystycznie wzrost aktywności enzymatycznej – większej aktywności dehydrogenaz, a w szczególności – kwaśnej fosfatazy. Są to enzymy, których zwiększona obecność w glebie świadczy o większej sprawności biologicznej gleb. Są one odpowiedzialne za rozkład materii organicznej (dehydrogenazy) i mineralizację związków fosforowych (fosfataza). Ich większą aktywność wiąże się często z zawartością związków organicznych węgla oraz azotu ogólnego (Bielińska i Hury 2009, Mocek-Płóćiniak 2010). W niniejszym opracowaniu również stwierdzono podobną zależność – głównie w odniesieniu do aktywności dehydrogenazy, która była szczególnie mocno związana z zawartością organicznych związków węgla (Ryc. 2). Ponadto okazało się, że aktywność obu grup enzymów koreluje istotnie z zawartością kationów zasadowych Ca, Mg i K w glebie (Ryc 2.). Jest to szczególnie silna zależność dla dehydrogenazy. Można zatem stwierdzić, że im gleba jest bardziej zasobna w próchnicę, azot i kationy zasadowe, tym większa jest jej aktywność enzymatyczna, czyli również aktywność biologiczna. W przeprowadzonym doświadczeniu aktywność ta była największa na obydwu wariantach zasilanych korą i trocinami.

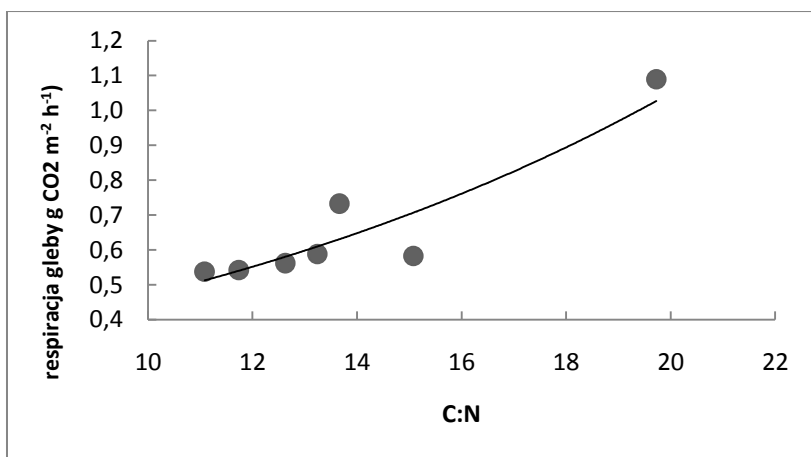
Na podstawie otrzymanych wyników można się było spodziewać, że skoro w glebie nawożonej korą i trocinami aktywność enzymatyczna i oddechowa były większe niż na innych poletkach porolnych, to większa powinna być również biomasa mikroorganizmów i/lub masa korzeni. Tymczasem okazało się, że ani masa mikroorganizmów (micC), ani masa korzeni na powierzchniach z korą i trocinami nie była większa niż na powierzchni kontrolnej. Co więcej, masa i długość korzeni na tej powierzchni należały wręcz do najniższych w całym doświadczeniu! Biomasa mikroorganizmów oszacowana w badaniach na podstawie C micelarnego nie była też istotnie związana z respiracją gleby (Ryc.3.)



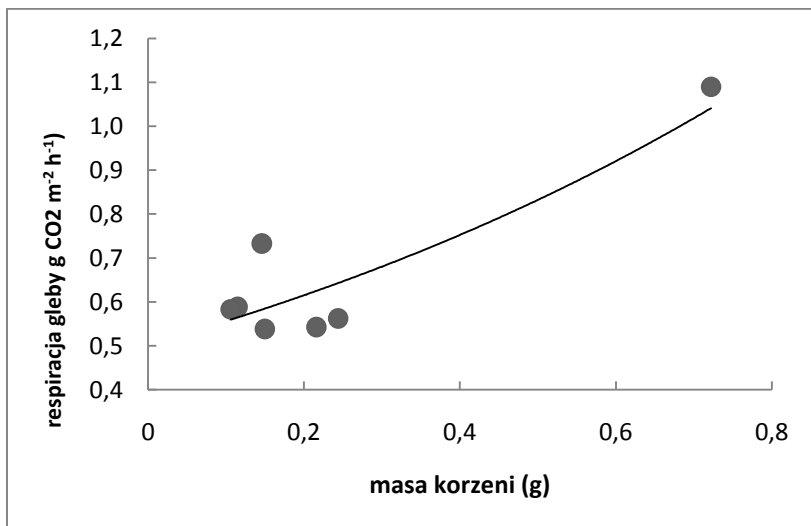
Ryc. 2. Wpływ zasobności gleby w różne pierwiastki na aktywność enzymatyczną dehydrogenazy i kwaśnej fosfatazy



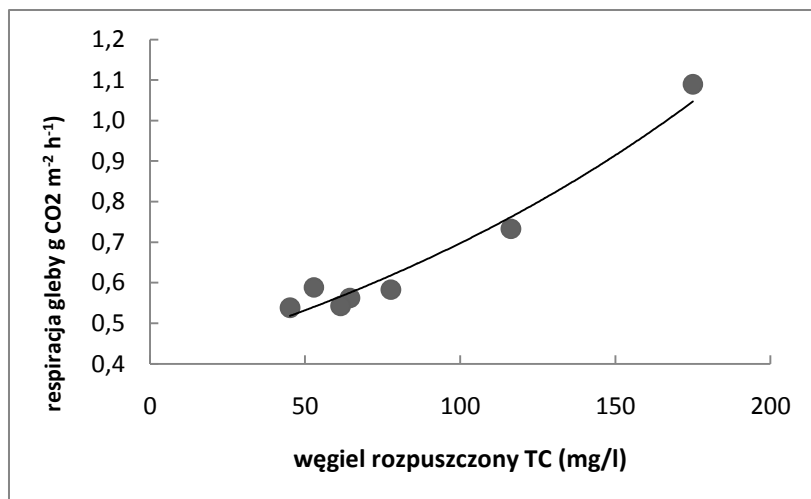
Ryc. 3. Wpływ micelarnego C (biomasa mikroorganizmów) na tempo respiracji badanych gleb.



Ryc. 4. Wpływ stosunku C:N na tempo respiracji badanych gleb.



Ryc. 5. Wpływ masy korzeni na tempo respiracji badanych gleb.



Ryc. 6. Wpływ zawartości rozpuszczonych związków węgla na tempo respiracji badanych gleb.

Sprawdzono więc, jakie czynniki, poza biomasą mikroorganizmów, mogły mieć wpływ na respirację. Okazało się, że wśród nich znalazła się masa korzeni (korelacja dodatnia – im większa masa korzeni, tym większa respiracja gleby), stosunek C:N (korelacja dodatnia - im szerszy stosunek C:N, tym szybsza respiracja) oraz zawartość związków rozpuszczonych C (korelacja dodatnia – im więcej TC, tym szybsza respiracja) (Ryc. 4-6). Wynikałoby stąd, że aktywność gleby (mierzona tempem respiracji) była większa tam, gdzie mniej było związków azotowych w stosunku do węgla, gdzie w związku z tym większa była masa korzeni i większa produkcja rozpuszczonych związków C (np. kwasów organicznych, czy węglowodanów, które mogą być następstwem ich wydzielania do gleby przez korzenie drzew, aby „zachęcić” do zasiedlenia grzyby mikoryzowe). Największe wartości respiracji gleby uzyskano na powierzchni typowo leśnej, nieco mniejsze – na powierzchni Kora+Trociny+Fauna, najmniejsze zaś – w wariancie Łubin+Fauna oraz Fauna.

Dociekania na temat przyczyn większej aktywności gleby porolnej zaopatrzonej w korę i trociny należałoby poszerzyć o analizę taksonów grzybów mikoryzowych. Wszystkie powierzchnie porolne cechowały się częstym i obfitym występowaniem grzyba *Cenococcum geophilum*, który był praktycznie nieobecny w glebie leśnej. Z kolei w warunkach zwiększonej ilości materii organicznej w postaci kory i trocin zaobserwowano znacznie powiększoną frekwencję i względną obfitość grzyba *Telephora terrestris* w porównaniu z innymi wariantami doświadczenia. O ile pierwszy z wymienionych gatunków jest charakterystyczny dla środowisk zaburzonych, to drugi bywa częstym dominantem w

szkółkach leśnych i młodych drzewostanach. Wykazano, że gatunek ten cechuje się wyjątkowo wysoką aktywnością enzymatyczną, m.in. kwaśnej fosfatazy, niż wiele innych symbiontów mikoryzowych. Być może to właśnie tłumaczy najlepiej obserwowaną sytuację, tj. podwyższoną aktywność kwaśnej fosfatazy i szybszą respirację gleby nawożonej korą i trocinami. Można by zatem pokusić się o stwierdzenie, że większa aktywność glebowa tych powierzchni była nie tyle skutkiem większej biomasy mikroorganizmów, co raczej zmiany ich struktury dominacji w kierunku zwiększonej obecności wyjątkowo aktywnego enzymatycznie grzyba *T. terrestris* (Hilszczańska i in. 2008). Choć gatunek ten nie należy do specjalnie konkurencyjnych, jego wysoka frekwencja i względna obfitość mewają miejsce w sytuacji, gdy brak jest innych symbiontów grzybowych (Jansen 1991). Sytuacja taka może mieć miejsce wówczas, gdy glebę nawozi się trocinami. Ma to skutek w postaci zwiększonej obecności grzybów z rodzaju *Trichoderma*, które zwykle ogranicza ją rozwój mykoryz (Summerbell 1986). Z drugiej strony, obecność grzybów z rodzaju *Trichoderma* może mieć pozytywne konotacje z uwagi na to, że stanowi on jedno z podstawowych źródeł pokarmu krocionoga wprowadzonego na niektóre powierzchnie badawcze, w tym na powierzchnię z korą i trocinami. Można zatem wnioskować pośrednio, że wprowadzenie kory i trocin do gleby porolnej poskutkowało większą aktywnością fauny glebowej wskutek pojawienia się mikroorganizmów będących źródłem pokarmu tych gatunków. Dopóki baza pokarmowa jest dostępna, można się spodziewać większej aktywności biologicznej nawożonej w ten sposób gleby. Jak widać, po upływie 30-40 lat od zaaplikowania tych zabiegów, wciąż widać większą aktywność w wariancie z korą, trocinami i wijem, a także w wariancie z łubinowaniem i wijem. Jest to tym samym jeden z ciekawszych wątków, który zarysował się podczas przeprowadzonych badań. Otrzymane efekty były znacznie mniej wyraźne przy zastosowaniu pojedynczych zabiegów (np. łubinowanie, czy nawożenie korą i trocinami), aniżeli w przypadku kombinacji tych zabiegów z introdukcją fauny glebowej krocionogów (*Proteroiulus fuscus*). Zarówno łubinowanie w połączeniu z introdukcją fauny, jak i wprowadzenie kory i trocin wraz z dodatkiem fauny glebowej miało znacznie większy wpływ na właściwości gleby, aniżeli te same zabiegi bez wprowadzenia krocionoga. Również introdukcja samego wija bez innych zabiegów nie wykazuje żadnego zauważalnego wpływu na właściwości gleby. Wiele zatem wskazuje na to, że nie tyle pojedyncze zabiegi, co ich kombinacje stanowią o sukcesie prowadzonych działań, ze względu na możliwość synergicznego działania różnych czynników. W przypadku badanego eksperymentu, najważniejszym tego typu oddziaływaniem był wpływ kory i trocin w powiązaniu z introdukcją fauny.

Powyższa analiza pozwala na następujące uogólnienia:

1. Mimo różnorodnych zabiegów fito- i zoomelioracyjnych, gleby porolne po ponad 30 latach od ich zalesienia cechują się wciąż istotnie lepszym zaopatrzeniem w azot oraz pierwiastki zasadowe, głównie Ca, a także wyższym pH roztworu glebowego
2. Dostarczenie do gleby materiału organicznego w postaci kory i trocin powoduje reakcję długotrwałą, wieloletnią, polegającą na poprawie zaopatrzenia gleby porolnej w substancje próchniczne, a także lepsze zaopatrzenie w N i w pierwiastki zasadowe, zwłaszcza w Ca, którego jest szczególnie dużo w tkankach zdrewniałych. Jednocześnie wzrasta aktywność oddechowa i enzymatyczna gleby, czyli jej aktywność biologiczna. Nie dochodzi tu jednak do oczekiwanego zakwaszenia gleby.
3. Oddziaływanie różnych zabiegów melioracyjnych na gleby porolne jest synergicznie wzmocnione w sposób istotny statystycznie poprzez introdukcję fauny glebowej (krocionogi).
4. Zróżnicowanie warunków glebowych poprzez zastosowanie różnych zabiegów nie powoduje istotnych zmian w zaopatrzeniu sosny w składniki pokarmowe. Zarówno stężenia, jak i proporcje między biogenami pozostają na niemal stałym poziomie, niezależnie od zastosowanego zabiegu.
5. Aktywność enzymatyczna gleb jest dodatnio skorelowana z zaopatrzeniem w organiczne związki węgla i kationy zasadowe, a w mniejszym stopniu z zawartością N w glebach. Silniejsze związki tego typu wykazują dehydrogenazy, a mniej istotne – kwaśna fosfataza
6. Jeśli można mówić o kryzysie troficznym w drzewostanach sosnowych na gruntach porolnych w wieku 20-40 lat, to kryzys ten z pewnością nie dotyczy azotu, a raczej magnezu i być może również potasu.
7. Azot jest pierwiastkiem wydajnie retencjonowanym w ekosystemach i jego wprowadzenie do gleby w trakcie uprawy rolniczej sprawia, że pozostaje on w obiegu nawet po kilkudziesięciu latach od zalesienia. W tym kontekście wprowadzanie dodatkowej puli azotu na gleby porolne nie wydaje się zasadne. Dotyczy to przede wszystkim zabiegu łubinowania.
8. Wydaje się, że w ramach przywracania sprawności glebom porolnym, zasadne jest wprowadzanie zdrewniałych części roślinnej materii organicznej (kora, trociny, resztki

pożrębowe) wraz z ewentualnym dodatkowym zakwaszeniem gleby i wprowadzeniem fauny glebowej uczestniczącej w procesach rozkładu.

Literatura

- Bielińska E.J., Hury G. 2009 – Zastosowanie testów enzymatycznych do oceny jakości gleb porolnych zalesionych sosną zwyczajną. W: Tereny zdegradowane i rekultywacyjne – możliwości ich zagospodarowania (Red: S. Stankowski, K. Pacewicz), Szczecin 2009
- Hilszczańska D., Ciesielska A, Sierota Z. 2008 – Enzymatic activity of *Telephora terrestris* and *Hebeloma crustuliniforme* in cultures and mycorrhizal association with Scots pine seedlings. Polish J. of Environ. Stud. 17 (6): 881-886
- Ingestad T. 1979 – Mineral Nutrient requirements of *Pinus silvestris* and *Picea abies* seedlings. Physiol. Plant. 45: 373-380
- Jansen A.E. 1991 – The mycorrhizal status of Douglas fir in the Netherlands: its relation with stand age, regional factors, atmospheric pollutants and tree vitality. Agric. Ecosyst. Environ. 35: 191-208.
- Kwaśna H., Sierota Z., Bateman G.L. 2000 – Fungal communities in fallow soil before and after amending with pine sawdust. Applied Soil Ecology 14: 177-182
- Mocek-Płóćiniak A. 2010 – Wykorzystanie aktywności enzymatycznej do oceny wpływu antropogenicznych zmian wywołanych przez metale ciężkie w środowisku glebowym. Nauka Przyroda Technologie Tom 4 Zeszyt 6, Wyd. Uniw. Przyr. w Poznaniu: 1-10
- Prosiński S. 1969. Chemia drewna. PWRiL Warszawa, 487pp
- Szujecki A. i in. 1986 – Badania nad zoomelioracją gleb porolnych. Sprawozdanie końcowe merytoryczne za lata 1981-1985 z zadania badawczego IBL. Maszynopis
- Tarabula T. 1999 – Sukcesyjne zmiany chemizmu gleby i mineralizacji pierwaistków w drzewostanach sosnowych na gruntach leśnych i porolnych. W: Zmiany w strukturze i różnorodności fauny borów sosnowych świeżych na terenach Puszczy Czulchowskiej w ciągu ostatnich 20 lat, (Red.: S. Mazur, H. Tracz), Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa 1999: 23-33

4.3. Aktywność lignocelulolityczna

Badania aktywności lignocelulolitycznej gleby na podstawie ubytków ciężaru próbek drewna na powierzchni Z I nie przyniosły tak jednoznacznych wyników jak po pierwszym okresie doświadczenia zoomeioracyjnego. Porównywane wyniki ubytku ciężaru próbek są nie wielkie i dostrzeżone różnice należy traktować tylko jako istotne tendencje. Na powierzchni I warianty jednorodne pod względem zabiegu rekultywacji leśnej, z introdukowanym krocionogiem lub bez niego, wykazywały duże różnice intensywności lignocelulolitycznej, przy czym w wariantach bez krocionoga procesy te przebiegały intensywniej {większa utrata ciężaru całych próbek drewna – (średnio 20) } niż w wariantach z krocionogiem (16). Połączone warianty o tym samym substracie z krocionogiem i bez niego wskazały na wariant korowy jako charakteryzujący się największą aktywnością mikroorganizmów, nieco tylko większą od kontroli. Na powierzchni Z II największe ubytki ciężaru próbek drewna stwierdzono w wariantach z łubinem. Zarówno wariant kontrolny, jak i gleba w drzewostanie referencyjnym na gruncie leśnym wykazały nieco mniejszą aktywność lignocelulolityczną. Wskazując na wniesioną korę jako najkorzystniejszą dla intensywności procesów lignocelulolitycznych należy zauważyć, że przed ponad 30 laty takim wariantem był wariant korowo trocinowy. Obecnie na pow. I znalazł się on pod względem badanej cechy I między wariantem korowym a kontrolą (ubytek 19,11), gdy na pow. Z II, za kontrolą (ubytek 14,21), co można tłumaczyć innym sposobem uprawy gleby: orka tradycyjna na Z I orka pełna na Z II. Na powierzchni Z I najintensywniej przebiegał rozkład próbek drewna na głębokości 10-25 cm, ale na tej głębokości jednak nieco słabiej niż w drzewostanie referencyjnym, gdy na pow. Z II proces ten był w wariantach kontrolnym i z łubinem najsilniejszy na głębokości do 10 cm (tab. 1)

Tabela 1. Średnie tempo ubytku ciężaru próbek drewna na badanych powierzchniach

Wariant	Seksja			Całość próbek
	górną	środkowa	dolna	
Kontrola	13,4	26,0	20,3	18,6
Kora+Trocin	10,8	23,9	18,2	17,5
Trocin	10,8	24,0	17,0	16,7
Kora	13,0	25,5	21,1	19,7
Łubin	15,6	31,0	31,9	24,4

Las	13,0	28,5	18,4	19,3
-----	------	------	------	------

Reasumując należy wskazać na rekultywację leśną gleb porolnych korą lub łubinem jako najbardziej sprzyjającą w długim okresie czasu intensywności procesów lignocelulolitycznych. Obydwa te zabiegi doprowadziły do większego wzrostu ubytków ciężaru próbek drewna niż wykazała to kontrola i stan gleby w drzewostanie referencyjnym na gruncie leśnym.

4.4. Runo i jego reakcje na zabiegi leśnej rekultywacji

W porównaniu z powierzchnią referencyjną reprezentującą 36 letni drzewostan sosnowy na gruncie leśnym, gdzie występują gatunki związane z borami, a nawet lasami stanowiąc 80% składu florystycznego na wariantach rekultywacji leśnej gruntu porolnego liczne są gatunki roślin właściwych mineralnym łąkom, porębom, murawom, wrzosowiskom, gdy gatunki borowe nie przekraczają 37%. Szczególnie zauważalny był brak lub śladowa obecność takich gatunków jak wrzos, chrobotek, borówka brusznica, borówka czernica, widłoząb kędzierzawy, rokit Schrebera, a ogólnie warstwa mchów była słabo wykształcona (Z II) lub miała charakter śladowy (Z I),

Nie wielki udział gatunków borowych na wariantach powierzchni Z I i Z II uniemożliwił statystyczną ocenę skutków rekultywacji. Z oczywistych względów nie zauważono też reakcji roślin terenów otwartych, które okazały się nie wrażliwe na obecność rozkładających się lub rozłożonych odpadów tartacznych, jak i na różnice w chemii gleb.

Mimo tych zastrzeżeń porównanie składu runa w wariantach rekultywacji leśnej z wariantami kontrolnymi wskazało, że wniesienie odpadów tartacznych, a głównie mieszaniny kory i trocin, w mniejszym stopniu i samej kory najlepiej poprawia restytucję fitocenozy borowej na gruncie porolnym. Tendencja ta wraz z upływem czasu będzie postępować gdyż zwiększenie masy martwej materii organicznej w ściółce, a zwłaszcza w glebie przyspiesza odtworzenie struktury i funkcji odtwarzanego ekosystemu leśnego

4.5. Fauna i jej reakcje na zabiegi leśnej rekultywacji

Objęcie badaniami przedstawicieli fauny glebowej krocionogów i niektórych rodzin owadów miało na celu:

- 1 - sprawdzenie skuteczności introdukcji krocionoga *Proteroiulus fuscus* Am. Stein jako potencjalnego, głównego użytkownika wniesionej eksperymentalnie na grunty porolne rozdrobnionej kory sosnowej i trocin;
- 2 - poznanie relacji przedstawicieli 3 rodzin owadów oraz Diplopoda i Chilopoda na zastosowane zabiegi rekultywacyjne a zwłaszcza wyjaśnienie, jak na naniesione odpady tartaczne reagują różne grupy troficzne tych zwierząt;
- 3 - wyjaśnienie, czy wymienione zwierzęta mogą być indykatorami stanu środowiska - charakteru przebiegających procesów glebotwórczych i tempa osiągania przez leśny ekosystem na glebach porolnych cech właściwych ekosystemom boru sosnowego na gruntach nie podlegających w przeszłości użytkowaniu rolniczemu.

Jako organizmy testowe wybrano z grupy saprofagów i mikrosaprofagów krocionogi (Diplopoda), skoczogonki (Collembola), sprężykowate (Elateridae częściowo); jako drapieżce - kusakowate (Staphylinidae, Col.), sprężykowate (częściowo), a jako fitofagi glebowe - sprężykowate (Elateridae, częściowo)

Krocionogi badane były w 3 etapach - po założeniu doświadczenia, po 7 latach w 1982 roku oraz w latach 2011-2012, a kusakowate w 4 etapach tj. ponadto jeszcze w 1992 roku. Skoczogonki i sprężykowate badano w latach 2011-2012 i to tylko na powierzchni Z-II i w referencyjnym drzewostanie sosnowym na gruntach leśnych.

Introdukcja *Proteroiulus fuscus* w liczbie 7200 osobników na pow. Z-I i 9000 na pow. Z-II była całkowicie udana. Krocionogi klimatyzowały się i wyprowadziły nowe generacje, co zaobserwowano tak w 1976 jak i 1982 roku. W tym też okresie najintensywniej zasiedlany przez *P. fuscus* był wariant rekultywacyjny z kora i trocinami (rys.). Wraz z biegiem lat wprowadzone kora i trociny uległy rozpadowi i znacznemu rozkładowi, zatem w glebie porolnej rekultywowanej zabrakło materiałów niezbędnych do życia krocionogów. Dlatego też w latach 2011-2012 jego zagęszczenie w próbach glebowych było bardzo małe -

pojedyncze okazy w niektórych próbach. Populacja *P. fuscus* utrzymała się jednak w środowisku, opanowując powstałe już, zwykle w wyniku działalności huby korzeniowej, próchniejące pniaki sosnowe, gdzie liczba krocionogów dochodziła do kilkudziesięciu w próbie.

Wyniki badań terenowych zarówno w roku 1982 jak i obecnie wykazały poprawę warunków fizykochemicznych gleb pod wpływem zabiegów rekultywacyjnych szczególnie tam, gdzie wprowadzano rozdrobnioną korę z trocinami. Rola krocionoga *P. fuscus* w rozpadzie i rozkładzie kory nie mogła być skwantyfikowana, ale wcześniejsze badania laboratoryjne nie pozostawiły wątpliwości, że gatunek ten odgrywa znaczącą rolę w procesach glebotwórczych (Tracz 1978, 1984, 1993). Można zatem uznać, że introdukcja tego gatunku - elementu brakującego w zalesionych glebach porolnych, połączona z wniesieniem podstawy jego bazy pokarmowej, również brakującej w tym środowisku zakończyła się sukcesem potwierdzając założenia zabiegu z zakresu inżynierii ekologicznej.

Badane grupy stawonogów - Collembola, Elateridae i Staphylinidae z uwagi na różne wymagania życiowe, różnie zareagowały na podjęte zabiegi rekultywacyjne. W stosunku tylko do jednego czynnika - wprowadzonego krocionoga nie wykazały relacji zależnych bezpośrednio, gdy pośrednio korzystały z jego działalności uzyskując lepsze warunki życiowe w rekultywowanej odpadami tartacznymi glebie.

Skoczogonki (Collembola) w zalesionych glebach porolnych występują w znacząco mniejszym zagęszczeniu (kilka - kilkanaście tys. osobników/m²), gdy w lasach w liczbie kilkunastu - kilkudziesięciu tysięcy. Tak też kształtował się ich poziom ilościowy na działkach rekultywowanych powierzchni Z-II w latach 2011-2012. Niespodziewanie, nie udało się określić wiarygodnie statystycznie różnic między strukturą ich zgrupowań na działkach rekultywowanych i na działkach kontrolnych. Nie zauważono też wpływu sposobu przygotowania gleby pod zalesienie na zagęszczenie tych owadów.

Skoczogonki są głównie mikrofagami, ich pokarmem są przede wszystkim grzyby mikoryzowe, których z uwagi na warunki fizykochemiczne gleb porolnych jak i źle wykształcające się korzenie sosny jest jak się wydaje mniej, niż w glebach leśnych. Szczególnym jednak czynnikiem ograniczającym skoczogonki jest w tych warunkach niedobór wilgoci. Poprawa warunków wilgotnościowych gleb pod wpływem zastosowania rekultywacji nie przyniosła jednak spodziewanego efektu stymulacyjnego wobec występowania Collembola. Nie można też nie podkreślić, że opanowanie zalesionych gleb porolnych przez Collembola wiązać się może z ich ograniczoną mobilnością (brak skrzydeł). W tym aspekcie można jedynie domniemywać, że na obecny ich skład gatunkowy miał

wpływ nie odległy las ale i introdukcja krocionoga, dla którego tworzone warunki wprowadzając w miejsce introdukcji materiał organiczny pozyskany z lasu, w którym mogły znajdować się skoczogonki

Sprężykowate (Elateridae) są chrząszczami stanowiącymi stały i licznie występujący składnik gleb, przy czym ich skład gatunkowy na glebach porolnych jest zasadniczo różny od składu w glebach leśnych, co szczególnie odnosi się do gatunków saprofagicznych. Zasiedlanie zalesionych gruntów porolnych przez gatunki leśne sprężyków jest ułatwione ich zdolnością lotu, co jest procesem nasilającym się w czasie. Dlatego też w początkowym okresie zoomelioracji na powierzchniach Z-I i Z-II udział roślinożernych i drapieżnych larw sprężyków był tam wyraźnie większy niż saprofagicznych, gdy w ostatnim okresie badań stwierdzono zależność odwrotną - dominantem zgrupowań stał się typowy leśny fakultatywno-saprofagiczny gatunek *Athous subfuscus*, podobnie jak w drzewostanach sosnowych na glebach leśnych, któremu towarzyszył *Dalopius marginatus*, z tej samej grupy funkcjonalnej. Zagęszczenie tych gatunków było zdecydowanie zależne od obecności wprowadzonej kory sosnowej lub kory z trocinami, zatem największe w wariantach B i G oraz C i D na pow. Z-I i wariantcie C na pow. Z-II. Korzystny też był wpływ łubinowania. Pełna orka głęboka była korzystniejsza od płytkiej na działkach rekultywowanych (zarówno odpadami tartacznymi jak i łubinem), płytka korzystniejsza na działkach kontrolnych. Gatunki fakultatywno - saprofagiczne sprężykowatych odgrywają zatem ważną rolę w procesach rozdrabniania materii organicznej wniesionej na gleby porolne w ramach ich leśnej rekultywacji.

Roślinożerne larwy sprężyków reagują inaczej na zabiegi rekultywacyjne - preferują orkę płytką na wariantach rekultywowanych, głęboką na kontroli.

Największe zagęszczenie zoofagicznych larw sprężyków stwierdzono na działkach bez zabiegów zoomelioracyjnych.

Kusakowate (Staphylinidae) należą w większości do organizmów drapieżnych i na ogół mobilnych, latających lub szybko poruszających się ruchem nóg. Opanowanie nowych środowisk zależy już tylko od zaistnienia w nich sprzyjających warunków i od odległości od matecznika. Dlatego też sukcesja zgrupowań kusakowatych na powierzchniach Z-I i Z-II przebiegała zgodnie z prawidłowością obserwowaną w warunkach, gdzie zachodzi ona samorzutnie, tylko w wyniku wprowadzenia uprawy leśnej. Na działkach poszczególnych wariantów mniej lub bardziej odmiennie, by w drzewostanie 36 letnim osiągnąć strukturę bardziej wartościową niż w drzewostanach referencyjnych, a to dzięki dominacji *Geostiba*

circellaris i *Lathrobium brunnipes* - gatunkom wskazującym na korzystne procesy humifikacji i korzystne warunki fizyczne (próchnica, wilgotność gleby}.

Zabieg zoomelioracyjny wskazał we wszystkich kolejnych etapach (prawie 40-letnich) badań - w uprawie 1-roczej, 7-letniej, młodniku 16-letnim, drągowinie 36-letniej na mieszaninę rozdrobnionej kory z trocinami jako skutecznie aktywizującej epigeiczno-glebową faunę reprezentowaną przez omawianą rodzinę chrząszczy. Negatywnym następstwem tego zabiegu był zwiększony w stosunku do lasu udział gatunków nieleśnych, co ograniczyło wskaźnik naturalności tych zgrupowań szczególnie na działkach z łubinem bądź z samymi trocinami.

Zastosowanie 6 wskaźników biocenotycznych waloryzujących różne warianty zoomelioracji wskazało na wariant z kora i trocinami oraz orkę głęboką jako wykazujący najwięcej cech pozytywnych z wyjątkiem wskaźnika naturalności oraz liczby gatunków leśnych. Wiarygodność wyników jest potwierdzona ich zgodnością zarówno w porównaniu danych z powierzchni Z-I i Z-II, jak i danych z lat 1992 i 2011-2012.

Indykatorami stanu i zmian w środowisku mogą być zarówno pojedyncze gatunki bezkręgowców glebowych jak i ich zespoły - zgrupowania. Rolę taką mogą spełniać gatunki o wąskiej tolerancji ekologicznej, wymagające bardzo specyficznych warunków życiowych, ale także gatunki o szerokiej skali tolerancji środowiskowej wskazujące na stopień synantropizacji danego ekosystemu. Zoomelioracja wykorzystująca cechy zgrupowań bezkręgowców glebowych wydaje się mieć większe możliwości zastosowania przy waloryzacji stanu lasu i zachodzących zmian niż oparta na występowaniu pojedynczych gatunków.

Skoczogonki - Collembola okazały się doskonałymi indykatorami zmian zachodzących w środowisku glebowym. Gatunki będące stenotopami niezwykle silnie reagują na jakiegokolwiek odkształcenia gleb w stosunku do ich stanu naturalnego. Reakcje obejmują wszystkie ważniejsze parametry biocenotyczne, jak zagęszczenie, udział form epedaficznych, hemiedaficznych, euedaficznych, form eurytopowych, stenotopowych, politopowych i politopowych leśnych, form o różnej relacji wobec warunków wilgotnościowych. Analiza wartości tych form w warunkach leśnej rekultywacji gleb porolnych po 36 latach jej zastosowania, wskazała na zasadniczą, ujemną różnicę zagęszczenia skoczogonków w porównaniu do stanu w drzewostanie sosnowym na gruncie leśnym, ale też zwróciła uwagę na korzystne różnice stosunków ilościowych między fauną wierzchnich i głębszych poziomów gleby w wariantach kora + trociny + fauna, łubinowanych i kontrolnych oraz z zastosowaniem orki płytkiej.

O niezwykle silnych i trwałych odkształceniach gleb porolnych, nawet poddanych podjętej rekultywacji leśnej świadczy przeważający udział wśród skoczogonków form politopowych i eurytopowych sięgających łącznie 95%. Tylko 5% to formy leśne. Przy tej strukturze zgrupowań trudno było się spodziewać by były one zdolne być indykatorami stanu gleby w różnych wariantach doświadczenia rekultywacyjnego na powierzchni Z-II. Istotnym w tym aspekcie osiągnięciem tej indykacji jest to, że nawet gatunki eurytopowe reagowały negatywnie na każde działanie człowieka wnikające w ten system. System gleb porolnych wymaga bowiem nawet kilkuset lat lub znacznie liczniejszych (więcej różnych elementów wnoszonych), silniejszych i rozłożonych sekwencyjnie w czasie zabiegów restytucyjnych, szczególnie obecności tu liściastych drzew i rozwoju runa leśnego właściwego borom sosnowym, w tym borówki czernicy. Dalszemu ukierunkowaniu należałoby też poddać faunę glebową kształtując stosunki konkurencyjne między jej elementami..

Możliwości zooindykacyjne larw sprząkowiaków w odniesieniu do oceny zabiegów rekultywacyjnych dotyczą przede wszystkim oceny relacji ilościowych między formami roślinożernymi, drapieżnymi, saprofagicznymi, przy czym dominujący udział tych ostatnich, zwłaszcza *Athous subfuscus*, wskazuje na pozytywną reakcję systemu glebowego na podjęte działania.

Zdolność zgrupowań kusakowatych do spełniania roli indykatorów została po raz pierwszy zauważona i wykorzystana przy badaniach roli zrębów zupełnych w trwałości zagospodarowanych ekosystemów borów sosnowych (Szujewski 1966, 1971), a następnie rozwinięta i sprowadzona do modelu "sukcesyjnej waloryzacji środowisk leśnych" na przykładzie lasów Puszczy Białowieskiej (Smoleński i inni, 2004).

Zastosowanie sześciu wskaźników ekologicznych do waloryzacji dokonanych zabiegów rekultywacyjnych i ich zwartościowania metodą punktową przyniosło istotny rezultat z zakresu metodyki zooindykacyjnej określając wskaźnik jakości ekologicznej

$$Q = \sqrt{dx F3 (R + 1)}$$

jako całkowicie zgodny z sumą wartości wszystkich sześciu zastosowanych wskaźników użytych w procesie waloryzacji efektów rekultywacyjnych, wskazujących na wariant korowo trocinowy jako optymalny dla opisanego procesu. Wskaźnik Q obok wskaźników ustalonych poprzednio: stosunku ilościowego między fauną wierzchnią i głębszej warstwy gleby/ wskaźnika sukcesyjnej waloryzacji zespołów leśnych wydaje się być szczególnie przydatny do oceny jakości zachodzących przekształceń środowiska glebowego..

Reasumując można stwierdzić, że zabieg zoomelioracyjny został pomyślnie wykonany, a rekultywacja leśna sprzyja formowaniu się zespołów fauny glebowej i odwrotnie - uaktywnienie fauny sprzyja procesom glebotwórczym.

Literatura

- Smoleński M., Szujecki A., Kwiatkowski W. 2004. The successional model of forest landscapes valorisation. *Baltic J. Coleopterol.*, 4(2): 89-116.
- Szujewski A. 1966. Kształtowanie się stosunków ilościowych i jakościowych kusakowatych (*Col.*, *Staphylinidae*) borów sosnowych świeżych pod wpływem zrębów zupełnych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Szujewski A. 1971. Wpływ rębni zupełnej na zgrupowanie ściółkowych kusakowatych (*Col.*, *Staphylinidae*) borów sosnowych świeżych. *Folia Forest. Pol. ser. A.*, 18, 5-45.
- Tracz H. 1978. Studia nad ekologią *Nopoiulus fuscus* (*Diplopoda*, *Blaniulidae*) w aspekcie problemów rehabilitacji gleb zalesionych. (Doctor's thesis, typescript). Katedra Ochrony Lasu i Ekologii AGGW-AR, 133 s.
- Tracz H. 1984: Studies on the ecology of *Proteroiulus fuscus* (Am Stein 1857) (*Diplopoda*, *Blaniulidae*). *Acta Zool. Cracov.*, 21: 519-576.
- Tracz H. 1993. Problemy udziału *Diplopoda* w dekompozycji materii organicznej borów świeżych. Rozprawy Naukowe i Monografie. Rozprawa habilitacyjna.

4.6. Ocena hodowlana drzewostanu sosnowego po leśnej rekultywacji gruntu porolnego z uwzględnieniem roli korzeniowca wieloletniego i szkodników owadzych w kształtowaniu jego struktury.

Ocena hodowlana efektów zabiegów rekultywacji leśnej gruntów porolnych po 36 latach ich zastosowania objęła następujące charakterystyki drzewostanu:

- pierśnicę
- jakość techniczną sosny
- klasy biosocjalne Krafra
- typy rozwojowe koron sosny
- miąższość drzewostanów.

Wyniki liczbowe poddano analizie statystycznej (nieparametryczna analiza wariancji tj. test rang Kruskala - Wallisa lub U.Manna - Whitneya).

Wyniki opracowano wykorzystując oprogramowanie Statistica 9 Stat. Soft. Inc.

Dokonano także wizualizacji przestrzennej i symulacji dalszego rozwoju drzewostanu.

Wyniki uzyskane na powierzchniach Z-I i Z-II porównano z pomierzonymi w analogicznym pod względem wieku drzewostanie sosnowym na gruncie leśnym.

Badania wykazały, że zabiegi rekultywacyjne miały istotny wpływ stymulacyjny na wielkość pierśnicy drzew, która była istotnie większa niż w drzewostanie na gruncie leśnym.

W odniesieniu do pozostałych badanych charakterystyk drzewostanów nie zauważono istotnego wpływu zabiegów na poprawę zależnych od środowiska gleb porolnych charakterystyk wzrostu drzew (gorsza jakość techniczna, szczególnie gdy drzewa były najgrubsze a więc tam, gdzie wprowadzono trociny lub korę z trocinami; gorsza struktura biosocjalna drzewostanu - klasy Krafra, gorsze typy rozwojowe koron sosny). Aczkolwiek miąższość drzewostanów na powierzchniach Z-I i Z-II była zdecydowanie większa niż w drzewostanie referencyjnym na gruncie leśnym, to było to powodowane intensywnością zabiegów pielęgnacyjnych a nie zależało od warunków rekultywacji.

W tej sytuacji szczegółowego objaśnienia wymaga kształtowanie się zależności wielkości pierśnicy od rodzaju zabiegu rekultywacyjnego.

Na powierzchni Z-I na wszystkich działkach z wniesionymi odpadami tartacznymi wielkość przeciętnej pierśnicy była większa niż na działkach kontrolnych (i jeszcze większa w stosunku do powierzchni referencyjnej). Najwyższe wielkości pierśnicy stwierdzono w wariantcie trocinowym (bez *Proteroiulus fuscus*) oraz korowo-trocinowym.

(rys. 1, rozdz.3.6.1)

Na powierzchni Z-II przy małych różnicach wielkości pierśnic między wariantami rekultywacji zwraca uwagę najmniejszy rozmiar pierśnic w wariantcie z łubinem na orce płytkiej (bez fauny).

(rys. 2, rozdz. 3.6.1)

Szczegółowa analiza kształtowania się omawianej wielkości rozpatrywanej jako reakcja na zabiegi rekultywacyjne, prowadzi do **wniosku, że największe średnie pierśnic uzyskano w kombinacji czynników doświadczenia obejmującej zastosowanie kory i trocin, wykonania orki głębokiej oraz zabieg zoomelioracyjny w postaci introdukcji wija *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 środowiskowe zalesianych gruntów porolnych.**

(rys. 6.2, 6.14, 6.15, rozdz. 3.6)

Zatem wprowadzenie na grunt porolny substratu lignocelulozowego charakterystycznego dla gleb leśnych wpłynęło na tworzenie trwałej próchnicy i mogło mieć wpływ na powstanie symbiozy grzybów mikoryzowych z drzewami, a to przełożyło się na większy przyrost grubości drzew w przeciągu 36 lat jakie upłynęły od zainicjowania leśnej rekultywacji gruntu porolnego. Zabieg zoomelioracyjny, który miał wspierać efekt melioracyjny wniesionych trocin i kory okazał się trudny do identyfikacji. Nie można jednak negować jego pozytywnego efektu na przebieg procesów glebotwórczych a pośrednio na kształtowanie się przyrostu drzew i innych cech drzewostanu.

Z hodowlanego punktu widzenia drzewostany ogólnie na gruntach porolnych jak i na pow. Z-I i Z-II charakteryzują się umiarkowaną jakością i obniżoną żywotnością, także w związku z obecnością huby korzeniowej. W przyszłości fakt ten może być głównym czynnikiem determinującym rozwój drzewostanu i postępowanie hodowlane.

Występowanie i rozprzestrzenianie się korzeniowca wieloletniego (huby korzeniowej) na powierzchniach Z-I i Z-II ma charakter ogniskowy i nie pozostaje w zależności od zabiegu rekultywacyjnego. Jest ono silniejsze na pow. Z-II - 40% działek (A₁ A₄ A₆, B₅ B₆, C₅ C₆) niż

na pow. Z-I - 25% działek (A_2 , B_1 , D_2 , F_1 , F_2 , G_1 mimo, że na pow. Z-II w 1998 roku w trakcie wykonywania zabiegów hodowlanych zastosowano biopreparat Pg IBL wprowadzając antagonistyczny wobec korzeniowca gatunek grzyba - *Phanerochaete gigantea* (żylica olbrzymia, flebia"). Owocniki i grzybnie żylicy stwierdzono na wszystkich działkach z wyjątkiem A_5 , B_5 , B_6 , a więc tam gdzie znajduje się ognisko korzeniowca. Obok tych dwóch antagonistycznych gatunków na pow. Z-II stwierdzono jeszcze 24 inne gatunki grzybów rozwijających się kosztem martwego drewna i biorących udział w jego rozkładzie. Na wszystkich działkach był obecny *Stereum sanguinolentum* - skórnik krwisty, *Tremella encephala* - trzęsak mózgowaty. Najwięcej gatunków stwierdzono w wariancie po łubinie (16), z korą i trocinami (15, w tym tylko na C_2 - 14) oraz na kontroli 13. Wszystkie te gatunki występują na drewnie iglastym (sosna).

Na pow. Z-I najczęściej występującym był *Gymnopilus penetrans* - łysak plamistoblaszkowy na pniakach i leżaninie sosnowej na działkach A_1 B_2 C_1 , D_1 E_1 , F_1 H_1 , a ponadto 9 gatunków na sośnie (również występujących na pow. Z-II) i 7 na brzozie, których z uwagi na brak brzozy na pow. Z-II tam nie wykazano.

Obecność korzeniowca komplikowała wizualizację struktury przestrzennej i symulacje dalszego rozwoju badanych drzewostanów, prowadząc do powstania dwóch wariantów: "optymistycznego" i "pesymistycznego". Właśnie z uwagi na obecność patogena bardziej prawdopodobny jest wariant "pesymistyczny", w myśl którego na powierzchni Z-I przyrost miąższości na koniec okresu symulacji (rok 2022) wyniesie tylko $20 \text{ m}^3/\text{ha}$ osiągając 263 m^3 . W wariancie "optymistycznym" przyrost ten osiągnąłby 340 m^3 . Analogicznie na pow. Z-II, zakładając prawidłowość zabiegów pielęgnacyjnych uzyskano by po 10 latach w wariancie optymistycznym przyrost miąższości o $140 \text{ m}^3/\text{ha}$. Wariant pesymistyczny, wobec silnego rozprzestrzenienia się korzeniowca zakłada możliwość albo utrzymania się miąższości na poziomie wyjściowym albo nawet obniżenie się miąższości poniżej tego poziomu.

Utrzymanie stabilności tych drzewostanów i odpowiedniej zdrowotności jest bardzo trudne, a przeprowadzony zabieg zoomelioracyjny i rekultywacyjny jak się wydaje nie miał wpływu na proces chorobowy badanych drzewostanów, ani na stan ilościowy szkodników pierwotnych i wtórnych ze świata owadów..

5. Podsumowanie

Porównanie właściwości gleb porolnych z glebą leśną, jak i struktury zespołów organizmów zasiedlających ją lub jej powierzchnię wykazało ogromne różnice ilościowe i jakościowe (Szujewski i inni, 1977, 1986). Zainspirowało to do podjęcia szeregu działań rekultywacyjno- restytucyjnych opartych na zasadach inżynierii ekologicznej, z których priorytet uzyskał zabieg zoomelioracyjny zmierzający do uaktywnienia biologicznej frakcji gleb porolnych, poprzez stworzenie warunków do występowania i funkcjonowania fauny leśnej.

Obecne badania w pełni potwierdziły występujące różnice strukturalno-funkcjonalne między porównywanymi ekosystemami leśnymi na gruntach leśnych i porolnych. Z powyższych przyczyn trudno było przypuszczać, że zainicjowane przed 36 laty zabiegi rekultywacji leśnej gruntów porolnych przywrócą stan sprzed kilkuset lat, kiedy uprawy rolne wyparły formację leśną. Opinie na temat długości czasu potrzebnego na pełną restytucję ekosystemu leśnego lub jego części składowej na gruntach porolnych są bardzo rozbieżne z uwagi na warunki geograficzne miejsc gdzie proces ten ma miejsce, długość użytkowania nieleśnego i inne okoliczności: od 75 lat dla struktury gatunkowej zgrupowań niektórych niektórych epigeicznych chrząszczy (Szujewski i inni, 1983), 140 lat dla kompozycji florystycznej (Faliński, 1986), więcej niż 230 lat (Matuszkiewicz i inni 2013) aż do kilkuset i więcej lat (Duponey, 2003). (literatura z rozdz. 3 i 4).

W powyższym kontekście każdy efekt rekultywacji leśnej należy oceniać jako sukces koncepcyjno – metodyczny.

Spośród zastosowanych zabiegów o charakterze pseudo nawożeniowym (wniesienie przed posadzeniem drzew trocin, kory, trocin z korą, 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* Am Stein.

W tych warunkach nastąpiło:

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

Zatem nastąpiła ogólna poprawa warunków glebowych, co nie wyraziło się jednak w wielkości masy i długości korzeni sosny, ani w większej biomasy mikroorganizmów. Okazało się, że aktywność gleby mierzona tempem respiracji była większa tam, gdzie mniej było związków azotowych w stosunku do węgla, gdzie w związku z tym większa była masa korzeni i większa produkcja rozpuszczalnych związków węgla, w tym wydzielanych przez korzenie i stymulujących mikoryzę drzew.

Spośród 18 taksonów grzybów mikoryzowych stwierdzonych na pow. Z II najwięcej (12) stwierdzono w wiancie z korą i trocinami oraz introdukowanym wijem. Obecność *Telephora terrestris* i *Cenococcum geophilum* wskazała na silne zaburzenia ekosystemu porolnego, niemniej 100% korzeni sosny, mimo ich ograniczonego rozwoju, było zmikoryzowanych. Nie zauważono wpływu zabiegów rekultywacyjnych na długość korzeni krótkich i zbiorowiska grzybów mikoryzowych.

W pewnej sprzeczności z tym stwierdzeniem pozostają wyniki badań aktywności lignocelulolitycznej na podstawie ubytku ciężaru próbek drewna na różnej głębokości gleby.

- najwyższa aktywność lignocelulolityczna w porównaniu z kontrolą (a nawet drzewostanem referencyjnym na gruncie leśnym), większa w wiancie z łubinem a następnie wiancie trocinowo korowym przed 30 laty niż na wiancie korowym obecnie, co wskazywałoby, że kora dłużej utrzymuje się w glebie, dłużej sprzyja mikroorganizmom, zwłaszcza w głębszej (10-25 cm) warstwie gleby.

Wariant trocinowo korowy i nieco mniej wariant korowy zabiegu rekultywacji leśnej okazał się także stymulujący bardziej niż inne warianty wobec: restytucji fitocenozy borowej restytucji glebowej fauny leśnej, wija *Proteroiulus fuscus*, jego introdukcji i aklimatyzacji, saprofagicznych gatunków sprężkowatych 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, płytki, a zwłaszcza głęboka orka gleby wpływały na wzbogacenie gleb 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 doświadczenie obejmującej zastosowanie kory i trocin, wykonania orki głębokiej oraz zabiegu zoomelioracyjnego w postaci introdukcji wija *Proteroiulus fuscus* Am. Stein, 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 gruntów porolnych.

Należy przy tym zauważyć, że często niekwestionowane korzystne reakcje organizmów nie znajdują uzasadnienia w wynikach analizy fizyczno-chemicznej gleb.

- Występowanie korzeniowca wieloletniego miało charakter ogniskowy i nie pozostawało w zależności od zabiegu rekultywacyjnego, ale od obecności brzozy ograniczającej jego rozprzestrzenianie się.

- obecność korzeniowca w drzewostanie, w którym pniaki inokulowano żylicą olbrzymią gdzie występuje 24 innych gatunków grzybów rozkładających drewno, określa przypuszczalną przyszłość badanego drzewostanu (powstałego w warunkach rekultywacji) pesymistycznie – utrzymania się miąższości na poziomie wyjściowym (obecnym) albo nawet obniżenia się miąższości poniżej tego poziomu. Wariant optymistyczny określający przyrost miąższości o 140 m³/ha jest mało prawdopodobny.

Azot jest pierwiastkiem wydajnie retencjonowanym w ekosystemach i jego wprowadzenie do gleby w trakcie uprawy rolniczej sprawia, że pozostaje on w obiegu nawet po kilkudziesięciu latach od zalesienia. W tym kontekście wprowadzanie dodatkowej puli azotu na gleby porolne nie wydaje się zasadne. Dotyczy to przede wszystkim zabiegu łubinowania.

Reasumując stwierdza się, że główna hipoteza robocza omawianego doświadczenia z zakresu leśnej rekultywacji gruntów porolnych nie sprawdziła się:

- nie zauważono kryzysu troficznego w drzewostanie w wieku 20-25 lat (brak badań), nie wystąpił on jednak w drzewostanie 36 letnim

- mimo dobrych warunków troficznych i obecności wniesionych a brakujących tu elementów (odpady drzewne, wij) sosna okazała się wrażliwa na chorobę korzeni powodowana przez korzeniowca wieloletniego i to w tym drzewostanie , w którym inokulowano żylicę olbrzymią

Przesłanka naukowa, która legła u podstaw wymienionej hipotezy została w obecnych badaniach zweryfikowana, co znacznie rozszerzyło naszą wiedzę o procesach zachodzących w środowisku zalesień. W tym kontekście wyniki wielokierunkowych badań uzyskanych w ramach projektu należy ocenić pozytywnie, gdyż w stosunku do hipotezy roboczej wniosły wiele nieznanych dotąd faktów, a przede wszystkim umożliwiają zarysowanie drogi przydatnej restytucji lasu po jego utracie, bez względu na jej przyczynę sprawczą.

Literatura uzupełniająca

- Buraczyk W.; 2013. Struktura i wartość hodowlana samosiewów gatunków drzewiastych w początkowej fazie sukcesji wtórnej na gruntach porolnych niżowej części Polski. Rozprawa habilitacyjna, Wydawnictwo SGGW: ss. 154.
- Fonder W.; 2002. Organizacyjne i ekonomiczne aspekty zwiększania lesistości w Polsce. Post. Nauk. Rol. Vol.: 49/54, nr 3.
- GUS Leśnictwo; 2013. Warszawa.
- Karczewski J.; 1962. Znaczenie borówki czernicy (*Vaccinium myrtillus* L.) dla entomocenozy leśnej. Folia forest. Pol., A., 9; 3-200.
- Olejarski I.; 2005. Wykorzystanie pozostałości zrębowych do nawożenia organicznego runtów porolnych. Postępy techniki w leśnictwie; 92: 20-24
- Oszako T., Olejarski J.; 2003. Inicjowanie procesów przekształcania gleb porolnych w gleby leśne poprzez wykorzystanie pozostałości zrębowych, kompostów i trocin. Prace IBL; seria A.1: 76-79.
- Sierota Z.; 2011. Zmiany w środowisku drzewostanów sosnowych na gruntach porolnych w warunkach przebudowy częściowej oraz obecności grzyba *Phlebiopsis gigantea*. Prace IBL; Rozprawy i monografie 17. Praca zbiorowa pod red. Z. Sieroty; ss. 279.
- Smoleński M., Szujecki A., Kwiatkowski W.; 2004. The successional model of forest landscapes valorisation. Baltic Journal of Coleopterology Vol. 4; Nr 2, ss. 89-116.
- Smykała J.; 1990. Historia, rozmiar i rozmieszczenie zalesień gruntów porolnych w Polsce w latach 1943-1987. Sylwan 3-12, 1-7.
- Szujewski A.; 1966. Kształtowanie się stosunków ilościowych i jakościowych wśród ściółkowych kusakowatych (*Coleoptera, Staphylinidae*) borów sosnowych świeżych pod wpływem zrębów zupełnych. Wydawnictwo SGGW Warszawa.

Szujecki A.; 1971. Wpływ rębni zupełnej na zgrupowanie ściółkowych kusakowatych (*Coleoptera, Staphylinidae*) borów sosnowych świeżych. Folia forest. Pol., A., 18; 5-45.