EKTOMIKORYZY

Nowe biotechnologie w polskim szkółkarstwie leśnym

Pod redakcją Stefana Kowalskiego

CENTRUM INFORMACYJNE
LASÓW PAŃSTWOWYCH

Wydano na zlecenie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych
Warszawa 2007

© Centrum Informacyjne Lasów Państwowych
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 r. nr 3
02-362 Warszawa
tel. (0-22) 822 49 31, fax (0-22) 823 96 79
e-mail:cilp@cilp.lasy.gov.pl
www.lp.gov.pl

Wyniki badań częściowo sfinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na zamówienie ministra środowiska

Zdjęcia (pierwsza liczba, rzymska, oznacza numer rozdziału, druga, arabska, podrozdziału, a kolejna zdjęcia): **archiwum LP** (VIII.1.1, VIII.1.4, VIII.1.5, VIII.1.6, VIII.1.7, IX.15.2, IX.15.5), **Kornelia Arent** (VIII.1.3, od VIII.1.8 do VIII.1.19, od VIII.2.1 do VIII.2.7, od VIII.4.1 do VIII.4.7, VIII.4.9, VIII.4.10, VIII.4.12, od XI.22.1 do XI.22.3, XII.1), **Mieczysław Kolasiński** (VIII.12.1, VIII.12.3, VIII.12.5, VIII.12.7, VIII.12.9, VIII.12.11, X.21.3, X.21.4), **Bernard Konca** (VIII.1.2), **Stefan Kowalski** (IV.1, IV.2, IV.3, VI.1, VI.2, VIII.4.8, VIII.4.11, VIII.4.13, VIII.4.14, od VIII.8.1 do VIII.8.4, VIII.12.2, VIII.12.4, VIII.12.6, VIII.12.8, VIII.12.10, VIII.12.12, IX.15.1, IX.15.3, IX.15.4, od IX.15.6 do IX.15.9, X.21.1, X.21.2, od X.21.5 do X.21.7), **Wojciech Ochał** (od XI.23.4 do XI.23.11), **Stanisław Orzeł** (od XI.23.1 do XI.23.3), **Robert Pabian** (XII.2 i XII.3), **Józef Walczyk** (od IX.13.1 do IX.13.5, od IX.14.1 do IX.14.16, od X.19.1 do X.19.4, X.20.1, X.20.2).

Recenzje
prof. dr hab. Zbigniew Sierota i dr inż. Grzegorz Pawłowski

Redakcja
mgr inż. Zbigniew Święcicki

Projekt okładki i redakcja techniczna
Bożena Widłaszewska

Korekta
Elżbieta Kijewska

ISBN 978-83-89744-35-7

Skład i łamanie
ANTER s.c., Warszawa, Tamka 4

Druk
DRUK-INTRO SA, ul. Świętokrzyska 32, 88-100 Inowrocław

Spis treści

I. Wstęp 9

SYMBIOZY MIKORYZOWE W TEORII I PRAKTYCE LEŚNEJ

II. Grzyby ektomikoryzowe 11
III. Doświadczenia światowe w praktycznym stosowaniu mikoryzacji sadzonek drzew leśnych – historia i współczesność 17
IV. Ekologiczne aspekty ektomikoryz – od badań podstawowych do praktycznego zastosowania w polskim leśnictwie 28
V. Potrzeby w zakresie produkcji sadzonek drzew leśnych szczepionych grzybami ektomikoryzowymi 38
VI. Polski model szkółkarstwa leśnego 48
VII. Strategia Lasów Państwowych we wdrażaniu technologii mikoryzacji sadzonek drzew leśnych 59

MIKORYZACJA STEROWANA

VIII. Sterowana mikoryzacja sadzonek różnych gatunków drzew leśnych hodowanych techniką kontenerową 73
1. Przyrodnicze uwarunkowania i postęp w hodowli sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym 73
2. Określenie cyklu hodowlanego wybranych gatunków drzew i wybór pojemnika 92
3. Zasady postępowania technologicznego przy stosowaniu polskiego biopreparatu z grzybem *Hebeloma crustuliniforme* w zabiegu sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych 101
4. Warunki hodowli i rozwoju sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* w szkółce kontenerowej 104

5. Wpływ rodzaju substratu hodowlanego i nawożenia mineralnego na wzrost i rozwój oraz skuteczność zabiegu sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor* sadzonek sosny zwyczajnej i świerka pospolitego 128
6. Zabiegi chemicznej ochrony roślin, a technologie sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych 145
7. Wpływ środków chemicznych stosowanych w szkółkach leśnych w ochronie różnych gatunków drzew na mikoryzy tworzone przez grzyb *Hebeloma crustuliniforme*, pochodzący ze sterowanej mikoryzacji 152
8. Wpływ wybranych zapraw nasiennych na skuteczność zabiegu sterowanej mikoryzacji siewek sosny zwyczajnej i dębu szypułkowego grzybem *Hebeloma crustuliniforme* 160
9. Wpływ genotypu na efekt wzrostowy mikoryzowanych jednolatek świerka – markery fenolowe 176
10. Dynamika zawartości barwników fotosyntetycznych w siewkach sosny zwyczajnej, szczepionych i nieszczepionych grzybami ektomikoryzowymi 187
11. Aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy zewnętrznej powierzchni korzeni siewek sosny zwyczajnej, szczepionych i nieszczepionych grzybami ektomikoryzowymi 198
12. Charakterystyka morfologiczno-anatomiczna ektomikoryz sadzonek różnych gatunków drzew leśnych, szczepionych biopreparatem z grzybem *Hebeloma crustuliniforme* 203

IX. Sterowana mikoryzacja grzybem *Hebeloma crustuliniforme* sadzonek różnych gatunków drzew leśnych z odkrytym systemem korzeniowym, hodowanych na substracie torfowym w korytach i w inspektach 212
13. Przygotowanie podłoża hodowlanego i biopreparatu do zabiegu sterowanej mikoryzacji 212
14. Siew punktowy nowym rozwiązaniem technologicznym w szkółkach leśnych 217
15. Warunki hodowli i rozwoju sadzonek różnych gatunków drzew leśnych, poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji 235
16. Metody molekularne w monitorowaniu skuteczności zabiegu sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych 245
17. Wpływ okresu użytkowania substratu hodowlanego szczepionego biopreparatem z grzybem *Hebeloma crustuliniforme* na stan ilościowy i jakościowy ektomikoryzy sosny zwyczajnej w kolejnych sezonach wegetacyjnych 252

X. Możliwości poprawy jakości hodowlanej sadzonek sosny zwyczajnej z odkrytym systemem korzeniowym w szkółkach gruntowych z wykorzystaniem technologii sterowanej mikoryzacji 258
18. Wykorzystanie zarodników *Scleroderma citrinum* Pers. do mikoryzacji sadzonek sosny zwyczajnej 258
19. Mechanizacja procesu technologicznego zabiegu wprowadzania do gleby inokulum z grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i siew punktowy nasion 263
20. Wpływ zabiegu siewu punktowego i sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* na obsadę powierzchniową sadzonek sosny zwyczajnej 271
21. Charakterystyka ilościowa i jakościowa mikoryz sadzonek sosny zwyczajnej, poddanej i niepoddanej zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* 276

XI. Różnicowanie się w uprawach leśnych parametrów wzrostowych, żywotności i biomasy sadzonek drzew leśnych, poddanych i niepoddanych w szkółce kontenerowej zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor* 289
22. Cechy morfologiczno-rozwojowe oraz przeżywalność sadzonek różnych gatunków drzew leśnych w uprawach doświadczalnych na gruntach nieleśnych i leśnych o różnym stopniu degradacji 289
23. Biomasa sadzonek sosny zwyczajnej w uprawie doświadczalnej na rekultywowanym wyrobisku piasku i w terenie silnie skażonym imisjami przemysłowymi 336
24. Aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy zewnętrznej powierzchni korzeni mikoryzowych sadzonek sosny zwyczajnej, jak też fosfataz w glebie strefy ryzosferowej oraz pozaryzosferowej w uprawach na rekultywowanym wyrobisku piasku i w terenie silnie skażonym imisjami przemysłowymi 358

XII. Ekonomiczne uwarunkowania hodowli sadzonek różnych gatunków drzew leśnych, poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji 370

Literatura 382

I. Wstęp

Postęp techniczny w szkółkarstwie leśnym, zmierzający do hodowli wysokiej jakości materiału sadzeniowego sprawia, że coraz częściej zwraca się uwagę na znaczenie mikoryz dla optymalnego wzrostu i rozwoju sadzonek drzew leśnych, zwłaszcza tych, które mają być sadzone na glebach w różny sposób zdegradowanych (Pachlewski 1988, Kowalski 1997, Rudawska 2000, Szabla i Pabian 2003). Uwzględniając fakt, że wszystkie nasze drzewa leśne są mikotroficzne, należy zadbać, aby sadzonki wyhodowane w szkółce były wyposażone w mikoryzy właściwe dla danego gatunku drzewa. Drzewa rosnące w środowisku pozbawionym partnerów grzybowych, zdolnych do nawiązania właściwego kontaktu mikoryzowego, wykazują zakłócenia fizjologiczno-rozwojowe, chorują, a nawet giną.

Początkowo za najważniejszą funkcję mikoryzy uważano zwiększenie powierzchni chłonnej korzeni. Mufka grzybniowa bowiem ma duże znaczenie dla właściwego zaopatrzenia roślin w sole mineralne, gdyż często stanowi magazyn tych związków. Strzępki grzyba, wyrastające z powierzchni ektomikoryzy, mają stały kontakt ze środowiskiem glebowym i za pomocą sieci strzępek dostarczają roślinie wodę wraz z substancjami pokarmowymi ze stosunkowo dużej odległości, większej niż penetracja systemu korzeniowego (Chalot i in., 1988). Obecnie chyba większą wagę przywiązuje się do roli mikoryz w łagodzeniu różnego rodzaju stresów, którym poddawane są rośliny, w tym również podkreśla się ich funkcje ochronne przed organizmami chorobotwórczymi, szczególnie tymi, które atakują systemy korzeniowe. Funkcje ochronne mikoryz w kontakcie rośliny z patogenem, w warunkach środowiska glebowego, są złożone i wielopłaszczyznowe.

Powszechność występowania w warunkach naturalnych ektomikoryzy u drzew leśnych oraz ich niezbędna obecność dla optymalnego wzrostu i rozwoju drzew od dawna kierowała uwagę badaczy i leśników na praktyczne wykorzystanie tego zjawiska. Chodziło zwłaszcza o wprowadzanie grzybów mikoryzowych do gleb, na których drzewa nigdy przedtem nie rosły lub do zdegradowanych mikrobiologicznie, w których nie ma grzybów zdolnych do nawiązania związków mikoryzowych, właściwych dla gatunków drzew użytych do planowanego zalesiania takich obszarów.

Stosunkowo duże nadzieje wiązano z praktycznym wykorzystaniem inokulum zawierającym zarodniki grzybów tworzących ektomikoryzy. Zdaniem Marxa i Kenney'a (1982) takie inokulacje były stosowane wcześniej, nim wyjaśniono prawdziwy charakter związków ektomikoryzowych. Do praktycznego wykorzystania tej techniki mikoryzacji sadzonek drzew leśnych nadają się jednak tylko grzyby wytwarzające olbrzymie masy zarodników, łatwych do pozyskania. Chodzi głównie o grzyby z rodzaju *Rhizopogon*, *Scleroderma* czy *Pisolithus*.

Obecnie na skalę gospodarczą stosuje się zwykle biopreparaty zawierające inokulum wegetatywne wyselekcjonowanych grzybów ektomikoryzowych i zróżnicowane techniki wprowadzania go w obręb ryzosfery mikoryzowanych sadzonek. Dzięki takiemu sposobowi postępowania można skutecznie wykluczyć wpływ szkodliwych mikroorganizmów na intensywną hodowlę materiału sadzeniowego. Użycie wegetatywnej grzybni stwarza możliwość selekcji grzybów o udowodnionym, niezwykle korzystnym działaniu, które dobrze adaptują się do poszczególnych miejsc upraw.

W sytuacjach, w których w miejscu hodowli materiału sadzeniowego nie można spodziewać się naturalnej mikoryzacji sadzonek, należy wprowadzić mikoryzację kontrolowaną, przy użyciu wyselekcjonowanych w laboratoriach grzybów ektomikoryzowych. W świetle zadań stojących przed polskim leśnictwem w zakresie efektywnego odnawiania i zalesiania gruntów leśnych zdegradowanych imisjami przemysłowymi, powierzchni pożarzysk, gruntów porolnych, nieużytków oraz terenów wzdłuż autostrad zagadnienie hodowli materiału sadzeniowego zaopatrzonego we właściwe dla danego gatunku drzewa ektomikoryzy stało się jednym z priorytetów w szkółkarstwie leśnym.

Opracowana w Polsce metoda wytwarzania biopreparatu na bazie aktywnego szczepu W40 grzyba *Hebeloma crustuliniforme*, umożliwia wykonanie zabiegu sterowanej mikoryzacji, głównie sadzonek hodowanych metodą kontenerową oraz na substratach torfowych w inspektach lub skrzyniach (Kowalski 2004). W tych technologiach hodowli materiału sadzeniowego substrat hodowlany jest najczęściej pozbawiony grzybów symbiotycznych, właściwych dla danego gatunku hodowanej rośliny drzewiastej.

Obecnie w Lasach Państwowych funkcjonują trzy laboratoria mikoryzowe, produkujące rocznie ponad 50 tysięcy litrów biopreparatów z grzybami ektomikoryzowymi. W programie wdrażania sterowanej mikoryzacji uczestniczą wybrane nadleśnictwa z terenu całej Polski, a grzybami ektomikoryzowymi, głównie polskim biopreparatem opartym na grzybie *H. crustuliniforme*, szczepi się co roku blisko 10 milionów sztuk sadzonek.

Dalszy rozwój sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych winien uwzględniać aktualną strukturę i kierunki rozwoju szkółkarstwa leśnego w Polsce oraz efekty hodowlane, uzyskiwane w uprawach leśnych. Pierwsze wyniki doświadczeń wydają się wskazywać na znacznie lepszy rozwój sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji.

Prof. dr hab. Stefan Kowalski

SYMBIOZY MIKORYZOWE W TEORII I PRAKTYCE LEŚNEJ

II. Grzyby ektomikoryzowe

Prof. dr hab. Andrzej Grzywacz, Katedra Ochrony Lasu i Ekologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Grzyby stanowią grupę organizmów jądrowych, zaliczanych dawniej do królestwa roślin niższych lub roślin zarodnikowych. Obecnie, po stwierdzeniu zasadniczych różnic między komórkami grzybów i roślin, są traktowane jako odrębne królestwo organizmów, w randze systematycznej równej roślinom i zwierzętom. W szerokim pojęciu grzyby są umieszczane w trzech podkrólestwach: grzyborośla (*Mycoprotoctista*), grzybopływki (*Chromista*) i grzyby właściwe (*Fungi*). Do grzybów właściwych należą cztery typy (gromady): skoczkowe (*Chytridiomycota*), sprzężniakowe (*Zygomycota*), workowe (*Ascomycota*) oraz podstawkowe (*Basidiomycota*), a także dołączono sztuczny „typ" grzybów mitosporowych, niedoskonałych („*Deuteromycota*", *Fungi imperfecti*), niebędących formalną grupą systematyczną, a łączącą gatunki grzybów podobne morfologicznie, o bezpłciowym rozmnażaniu (Grzywacz 2002). Grzyby tworzące ektomikoryzy należą głównie do podstawkowych, znacznie rzadziej do workowych lub mitosporowych.

Grzyby są jedną z najbogatszych w gatunki grup organizmów. Dokładna ich liczba nie jest jednak znana. Szacuje się, że może wynosić w świecie 1,2–1,5 mln. Do tej pory opisano ponad 320 tys. gatunków z licznymi synonimami oraz różnymi stadiami rozmnażania. Część grzybów jest pleomorficzna, czyli wytwarza stadium płciowe (doskonałe), głównie workowe oraz bezpłciowe (niedoskonałe, konidialne). Dlatego grzyb jako całość, w pojęciu wszystkich jego form i możliwości rozwojowych, nazywamy holomorfą. Stadium płciowe jest zwane teleomorfą, a bezpłciowe anamorfą. U niektórych grzybów mogą występować np. 2, 3 anamorfy. Wszystkie stadia mają odrębne nazwy łacińskie i często były opisane niezależnie przez różnych autorów, dlatego wśród grzybów panuje taki pozorny „chaos" nazewnictwa. Nazwa holomorfy jest typowana przez formę płciową. Sposób rozmnażania u grzybów jest

ważną cechą diagnostyczną. Dlatego realnych gatunków, tzw. „dobrych", po licznych rewizjach i krytycznych opracowaniach jest obecnie ponad 82 tys. (Kirk i in. 2001).

W Polsce potencjalnie może występować około 12–14 tys. gatunków grzybów, z czego do tej pory zarejestrowano tylko blisko 8 tys., w tym ponad 4 tys. grzybów wielkoowocnikowych, 1,6 tys. grzybów lichenizowanych (porostów) i ok. 2 tys. grzybów mikroskopijnych (Grzywacz 1999). Najsłabiej rozpoznane są grzyby mikroskopijne. W zależności od źródła substancji organicznych, z których grzyby pobierają składniki pokarmowe, co często związane jest z określonym sposobem życia, dzieli się je na cztery grupy ekologiczne: saprobionty (saprotrofy, roztocza), pasożyty, nadpasożyty i symbionty.

Grzyby symbiontyczne najczęściej współżyją z sinicami, glonami, wątrobowcami, paprotnikami, roślinami nasiennymi i owadami. Współżycie grzybów z korzeniami krótkimi roślin nasiennych, przedroślami paprotników i ryzoidami wątrobowców nazywamy mikoryzą (grzybokorzeń), co jest powszechnym i starym ewolucyjnie zjawiskiem przyrodniczym, występującym u blisko 90% roślin nasiennych. Do powstania współżycia w formie mikoryzy jest potrzebne wzajemne oddziaływanie warunkujących je genów obu partnerów, a także wiele innych czynników biotycznych i abiotycznych, w tym określonych gatunków bakterii, tzw. helperów. Jak wiemy, rośliny tworzące mikoryzy uzyskują większą powierzchnię chłonną i dostęp do substancji pokarmowych, rozkładanych przez grzybnię enzymatycznie na zewnątrz i następnie wchłanianych osmotycznie do wnętrza strzępek grzybów. Dzięki temu są bardziej odżywione, zaopatrzone w wodę i chronione przed grzybami chorobotwórczymi, lepiej też tolerują różnego typu stresy, pojawiające się podczas całego okresu wegetacji. Grzyby od roślin uzyskują produkty asymilacji, substancje wzrostowe i witaminy.

W przyrodzie występuje różnorodność form morfologicznych i anatomicznych mikoryz, stąd powstało wiele propozycji ich podziałów na typy i podtypy. Szczegółową charakterystykę w stosunku do drzew leśnych mikoryz endotroficznych, ektendotroficznych, ektotroficznych, perytroficznych i pseudomikoryz można znaleźć w opracowaniu Kowalskiego (1998), a w monografii Smitha i Read (1997) opisy funkcji, roli i znaczenia mikoryz w świecie roślin. Ektomikoryzy i ich znaczenie oraz zastosowanie w leśnictwie szczegółowo opisano w zbiorowej monografii pod redakcją M. Rudawskiej (2000).

W Niemczech na zarejestrowanych 4385 gatunków grzybów wielkoowocnikowych (czyli podstawczaków i workowców wytwarzających owocniki o umownych wymiarach powyżej 5 mm), za tworzące ektomikoryzy uznaje się ponad 1400 gatunków, czyli 32% (Daten zur Natur 1997). W Polsce sytuacja jest podobna. Wojewoda (2003) w „Krytycznej liście wielkoowocnikowych grzybów podstawkowych Polski" wymienia 2550 gatunków, dotychczas stwierdzonych w naszym kraju i krytycznie, szczegółowo opracowanych. W tabeli II.1. wymieniono 55 rodzajów i 875 gatunków grzybów ektomikoryzowych, co oznacza, że aż 34% wielkoowocnikowych grzybów podstawkowych jest zdolnych do tworzenia tego typu mikoryz. Większość rodzajów ma w swoim zestawie wyłącznie gatunki mikoryzowe, inne rodzaje składają się także z gatunków o saprotroficznym lub pasożytniczym trybie życia. Wiedza o uzdolnieniach mikoryzowych grzybów nie jest pełna. Często nie wiemy, czy

są obligatoryjnie mikoryzowe, czy też mikoryzy tworzą fakultatywnie, albo są wyłącznie roztoczami, ale występującymi w dość określonych miejscach, pod konkretnymi gatunkami drzew, przez co sprawiają wrażenie gatunków mikoryzowych. Dziesięć najbogatszych w gatunki rodzajów grzybów ektomikoryzowych: gąska, gołąbek, mleczaj, muchomor, łysiczka, strzępiak, wieruszka, włośnianka, wodnicha, zasłonak – skupia ponad 84% wszystkich gatunków tego typu grzybów. Oczywiście wśród analizowanych grzybów ektomikoryzowych są gatunki bardzo pospolite, częste i rzadkie oraz bardzo rzadkie, znajdujące się pod ochroną ścisłą.

Tabela II.1.
Rodzaje grzybów podstawkowych tworzących w Polsce ektomikoryzy z drzewami leśnymi

Lp.	Nazwa łacińska	Nazwa polska	Liczba występujących u nas gatunków mikoryzowych
1	2	3	4
1	*Albatrellus*	bielaczek (nazimek)	5
2	*Amanita*	muchomor	23
3	*Amphinema*	strzępkobłonka	2
4	*Astraeus*	promieniak	1
5	*Boletinus*	borowiczek	1
6	*Boletus*	borowik	15
7	*Byssoporia*	włóknoporka	1
8	*Cantharellus*	pieprznik (kurka)	6
9	*Catathelasma*	dwupierścieniak	1
10	*Chalciporus*	maślaczek	1
11	*Chamonixia*	borowiczka	1
12	*Chroogomphus*	klejek	2
13	*Coltricia*	stułka	2
14	*Cortinarius*	zasłonak	ok. 200
15	*Craterellus*	lejkowiec	1
16	*Entoloma*	wieruszka (dzwonkówka)	ok. 50
17	*Geastrum*	gwiazdosz	ok. 15
18	*Gomphidius*	klejówka	3
19	*Gyrodon*	lejkoporek (zębiak)	1
20	*Gyroporus*	piaskowiec	2
21	*Hebeloma*	włośnianka	ok. 30
22	*Hydnangium*	piestróweczka	2
23	*Hydnum*	kolczak	2
24	*Hygrocybe*	wilgotnica	ok. 12

Tabela II.1. cd.

Lp.	Nazwa łacińska	Nazwa polska	Liczba występujących u nas gatunków mikoryzowych
1	2	3	4
25	*Hygrophorus*	wodnicha	ok. 35
26	*Hymenogaster*	podziemniczek	4
27	*Inocybe*	strzępiak (włókniak)	90
28	*Laccaria*	lakówka	9
29	*Lactarius*	mleczaj (rydz)	ok. 75
30	*Leccinum*	koźlarz	12
31	*Leucocortinarius*	białozasłonak	1
32	*Leucogaster*	białobrzuszek	1
33	*Melanogaster*	czarnobrzuszek	3
34	*Naucoria*	olszóweczka	14
35	*Octavianina*	podziemka	1
36	*Paxillus*	krowiak	2
37	*Phylloporus*	poroblaszek	1
38	*Piloderma*	włososkórka	2
39	*Pisolithus*	purchatnica	1
40	*Porphyrellus*	grzybiec	1
41	*Pseudocraterellus*	lejkowniczek	1
42	*Psilocybe*	łysiczka	ok. 25
43	*Pulveroboletus*	złotak	1
44	*Ramaria*	koralówka (gałęziak)	ok. 15
45	*Rhizopogon*	piestrówka	4
46	*Rozites*	płachetka	1
47	*Russula*	gołąbek (surojadka)	ok. 110
48	*Scleroderma*	tęgoskór	7
49	*Sclerogaster*	piestrownik	1
50	*Strobilomyces*	szyszkowiec	1
51	*Suillus*	maślak	12
52	*Thelephora*	chropiatka (otocznica)	8
53	*Tricholoma*	gąska	ok. 50
54	*Tylopilus*	goryczak	1
55	*Xerocomus*	podgrzybek	7

Zestawiono na podstawie opracowania Wojewody (2003).

Tabela II.2.
Rodzaje grzybów workowych tworzących w Polsce ektomikoryzy z drzewami leśnymi

Lp.	Nazwa łacińska	Nazwa polska	Liczba występujących u nas gatunków mikoryzowych
1	*Choiromyces*	piestrak	1
2	*Elaphomyces*	jeleniak	8
3	*Hydnobolites*	hydnobolites	1
4	*Tuber*	trufla	8
5	*Cenococcum**	czarniak*	1
* Grzyb niedoskonały będący anamorfą, stadium bezpłciowym gatunku z rodzaju *Elaphomyces*.			

Zestawiono na podstawie opracowania Ławrynowicz (1988).

Znacznie skromniejszą wiedzę posiadamy o ektomikoryzowych uzdolnieniach grzybów workowych. W tabeli II.2. przedstawiono cztery rodzaje z 18 gatunkami oraz dodatkowo, np. u korzeni sosny, dość częsty czarniak, który jest anamorfą jeleniaka (ale ze względu na bezpłciowe rozmnażanie zaliczany do grzybów mitosporowych). Wydaje się, że wśród workowców nie tylko podziemne grzyby wielkoowocnikowe mogą tworzyć ektomikoryzy, ale potwierdzenie tych przypuszczeń wymaga dalszych badań mikologicznych. Bardziej znane wielkoowocnikowe grzyby workowe są saprotroficzne, nie tworzą mikoryz, np. czarki (*Sarcoscypha*), dzieżki (*Aleuria*), koronica (*Sarcosphaera*), piestrzenice (*Gyromitra*), piestrzyce (*Helvella*), smardze (*Morchella*), uchówka (*Otidea*).

Jak z przedstawionych wykazów wynika, w polskich warunkach przyrodniczo-leśnych prawie 900 gatunków grzybów może tworzyć ektomikoryzy. W leśnictwie europejskim do sztucznej mikoryzacji stosuje się zazwyczaj niektóre z 12 gatunków grzybów (tab. II.3.). W polskim leśnictwie do tych celów używamy praktycznie tylko 2 lub 3 gatunki, głównie włośniankę i lakówkę.

Spośród gatunków grzybów ektomikoryzowych do sztucznej mikoryzacji sadzonek wybiera się te, które są charakterystyczne w naturze dla młodego wieku drzew, głównie towarzyszące sadzonkom, występujące w uprawach i młodnikach. Nie stosuje się natomiast grzybów współżyjących z drzewami w starszym wieku – tyczkowiny, drągowiny, drzewostanu dojrzałego. Dotyczy to, na przykład, bardzo pospolitych: podgrzybka brunatnego (*Xerocomus badius*) i goryczaka żółciowego (*Tylopilus felleus*), tworzących mikoryzy dopiero z drzewami w starszym wieku, podobnie jak płachetka kołpakowata (*Rozites caperata*), pospolita w niektórych częściach Polski, a w innych rzadko lub niewystępująca wcale. Do mikoryzacji stosuje się takie gatunki, które dość łatwo wchodzą w kontakty mikoryzowe z różnymi rodzajami drzew, nie używa się natomiast grzybów pod tym względem wąsko wyspecjalizowanych, tworzących ektomikoryzy tylko z jednym rodzajem lub gatunkiem drzew. Na przykład koźlarz grabowy (*Leccinum grisem*), współżyjący z grabami, koźlarz czerwony (*L. rufum*) z osikami, koźlarz babka (*L. scabrum*) z brzozami, maślak limbowy (*Suillus plorans*) i maślak syberyjski (*S. sibiricus*) tylko z sosną limbą, maślak wejmutkowy (*S. placidus*) z sosną wejmutką, maślak

Tabela II.3.
Gatunki grzybów częściej stosowane w leśnictwie europejskim do sztucznej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych

Nazwa łacińska	Nazwa polska
Basidiomycetes	**Podstawczaki**
Amanita muscaria (L.: Fr.) Hook	muchomor czerwony
Hebeloma crustuliniforme (Bull.) Qúel.	włośnianka rosista
Hebeloma mesophaeum (Pers.) Qúel.	włośnianka brunatna
Laccaria bicolor (Maire) P. D. Orton	lakówka dwubarwna
Laccaria laccata (Scop.: Fr.) Berk. et Broome	lakówka pospolita
Pisolithus arrhizus (Scop.: Pers) S. Rauschert = *P. tinctorius* (Pers.) Coker et Couch	purchatnica piaskowa
Rhizopogon roseolus (Corda) Th. M. Fries = *R. rubescens* (Tul. et Tul.) Tul.	piestrówka różowawa
Scleroderma citrinum Pers.	tęgoskór cytrynowy (pospolity)
Suillus bovinus (L.: Fr.) Roussel	maślak sitarz
Suillus collinitus (Fr.) O. Kuntze	maślak rdzawobrązowy
Thelephora terrestris Ehr. ex Willd.: Fr.	chropiatka pospolita
„Deuteromycota"	**Grzyby niedoskonałe**
Cenococcum geophilum Fr.*	czarniak pospolity*
* Anamorfa, stadium bezpłciowe *Elaphomyces* – jeleniaka, podziemnego grzyba workowego (*Ascomycota*).	

Nazwy grzybów według opracowania Wojewody (2003).

trydencki (*S. tridentinus*) z modrzewiami. W odróżnieniu od podanych przykładów, krowiak podwinięty (*Paxillus involutus*) tworzy ektomikoryzy z różnymi gatunkami dębów, brzóz, olsz, sosen, świerków oraz innych drzew liściastych i iglastych. Muchomor czerwony (*Amanita muscaria*) tworzy często mikoryzy zarówno z sosnami jak i brzozami.

Należy przypuszczać, że w miarę postępu wiedzy o mikoryzach drzew leśnych lista wykorzystywanych gatunków grzybów, z zastosowaniem coraz bardziej wyspecjalizowanych, będzie się rozszerzać. Być może w przyszłości, obok mikoryzacji sadzonek w szkółkach, będziemy domikoryzowywać drzewa starsze lub sędziwe drzewa pomnikowe w celu poprawienia ich stanu zdrowotnego, a także drzewa rosnące na obszarach zurbanizowanych, w szczególnie niekorzystnych warunkach środowiskowych. W naszym kraju początki takich zabiegów mają już praktycznie miejsce w stosunku do drzew parkowych, przydrożnych i ozdobnych (Kubiak 2006).

III. Doświadczenia światowe w praktycznym stosowaniu mikoryzacji sadzonek drzew leśnych – historia i współczesność

Prof. dr hab. Maria Rudawska, dr Tomasz Leski,
Pracownia Badania Mikoryz, Instytut Dendrologii PAN,
ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik

Wstęp

Biologiczna zależność większości gatunków drzew leśnych od symbiotycznych związków ektomikoryzowych zauważona została niemal z chwilą odkrycia i opisania zjawiska mikoryzy przez pierwszych badaczy – Franciszka Kamieńskiego i Alberta Bernharda Franka jeszcze pod koniec XIX wieku. Praktycznie przekonano się o nieodzowności grzybów mikoryzowych do wzrostu i rozwoju drzew na początku XX wieku, podczas prób wprowadzania egzotycznych sosen na tereny, gdzie gatunki te dotąd nie występowały, w: zachodniej Australii, Filipinach, południowej i środkowej Afryce, na Jawie, Sumatrze, a także wyspach Ameryki Środkowej – Portoryko, Trynidad, Jamajka, Kostaryka. Z powodu braku w glebie odpowiednich symbiontów mikoryzowych uprawy się tam nie udawały. Po wprowadzeniu do podłoża grzybów mikoryzowych wraz z glebą pobraną z terenów naturalnego występowania drzew, zaczynały się one rozwijać prawidłowo. Od tego momentu w wielu krajach na świecie rozpoczęto badania nad zastosowaniem szczepionki mikoryzowej, która poprawiłaby wzrost drzew oraz przeżywalność siewek i sadzonek na plantacjach, zakładanych przede wszystkim na terenach trudnych i zdegradowanych, takich jak: nieużytki poprzemysłowe, a szczególnie hałdy pokopalniane, poligony, pożarzyska, grunty porolne itp. Większość badań poświęconych praktycznemu stosowaniu mikoryzacji sadzonek drzew leśnych opiera się na założeniu, że jakakolwiek mikoryza na siewkach oraz sadzonkach przeznaczonych do zalesień i nasadzeń jest dużo lepsza niż żadna, jak też że pewne gatunki grzybów ektomikoryzowych są w określonych warunkach bardziej efektywnymi symbiontami drzew niż inne (Marx 1991). Przyjęcie obu tych założeń zmusiło badaczy do podjęcia prac nad selekcją grzybów ektomikoryzowych o szczególnie pożądanym działaniu na wzrost siewek i sadzonek.

Szczepionka naturalna zawierająca zarodniki, grzybnię i mikoryzy

Najwcześniejszą formą szczepienia (inokulacji) gleb grzybami mikoryzowymi było stosowanie naturalnego podłoża pochodzącego z lasu, plantacji czy szkółki, gdzie z reguły znajdują się tzw. propagule grzybów mikoryzowych, czyli: zarodniki, grzybnia, sznury grzybniowe, sklerocja i mikoryzy.

Jedne z pierwszych opublikowanych danych na temat korzystnego wpływu inokulacji naturalną szczepionką mikoryzową pochodzą z Australii i zostały podsumowane przez Bowena (1966). Zalesienia na wielką skalę sosnami *Pinus pinaster* i *P. radiata* w zachodniej Australii rozpoczęto w roku 1920 od założenia 14 nowych szkółek leśnych. Jakość produkowanych w nich siewek i sadzonek była bardzo słaba, nie miały mikoryz, były karłowate. Ani nawożenie, ani nawadnianie nie poprawiało jakości siewek dopóty, dopóki do podłoża szkółkowego nie domieszano gleby spod sosny ze starych szkółek lub plantacji sosnowych. Na tej podstawie wysnuto jednoznaczny wniosek, że przyczyną złej jakości sadzonek jest brak mikoryz, a metodą uzyskania dobrej jakości sadzonek egzotycznych iglaków w nowych szkółkach zachodniej Australii jest inokulacja podłoża glebą ze starych, dobrze zmikoryzowanych szkółek lub plantacji (Kessel 1927).

Podobnie próby wprowadzania sosny na kontynent afrykański, rozpoczęte w Afryce Południowej w połowie XIX wieku, nie udawały się dopóty, dopóki do podłoża nie domieszano gleby pobranej ze szkółki w Holandii, zawierającej bez wątpienia propagule grzybów mikoryzowych. Odtąd, za namową pracowników Ogrodu Botanicznego „Kew Gardens" w Wielkiej Brytanii, stosowanie takiej naturalnej „szczepionki glebowej" stało się powszechną praktyką w Afryce, co umożliwiło założenie plantacji sosnowych *Pinus radiata* i *P. patula* w: Kenii, Tanzanii, Ugandzie, Rodezji, Malawii, Zambii, Nigerii, Gambii, Senegalu, Sierra Leone czy Wybrzeżu Kości Słoniowej. Palmer i Pitman (1961) podają, że nabywcy z Kongo, kupując nasiona sosny w Afryce Południowej, by założyć nową plantację, na ogół żądali odpowiedniej ilości gleby ze starej, w celu przeprowadzenia naturalnej inokulacji (Gibson 1963, Le Tacon i wsp. 1987, Mikola 1970).

Europa należy do umiarkowanej i chłodnej strefy klimatycznej, zdominowanej przez lasy, w których najliczniejsze są drzewa ektomikoryzowe. W takich warunkach niemal wszystkie naturalne gleby zawierają propagule różnych gatunków grzybów mikoryzowych i stąd przy odnowieniach oraz zalesianiu dodatkowa mikoryzacja, do jakiej musieli uciekać się leśnicy w Australii czy Afryce, na ogół nie jest potrzebna. Jeśli jednak była stosowana, to dawała niewielki lub żaden efekt. Istniały jednak w Europie obszary bezleśne, jak np. stepy południowej Rosji, na których nie było naturalnych populacji grzybów mikoryzowych. W latach czterdziestych i pięćdziesiątych XX wieku, w ówczesnym Związku Radzieckim, wiele badań poświęcono inokulacji mikoryzowej dębów i jej praktycznemu zastosowaniu do tworzenia pasów ochronnych na stepach. W roku 1949 ukazała się praca Vanina pt.: „Mikoryza i jej znaczenie w zalesianiu stepów", będąca przeglądem prac, głównie badaczy rosyjskich. Autor podkreśla w niej potrzebę szczepienia plantacji dębowych, zakładanych na stepach, przy użyciu gleby ze starych, dobrze zmikoryzowa-

nych drzewostanów. Doświadczenia inokulacji siewek dębu przeznaczonych na pasy ochronne w okolicach Stavropola prowadziła Fedotova (1956). Były to jedne z pierwszych badań, które wykazały, że siewki wyhodowane z żołędzi traktowanych glebą pobraną ze stanowisk dębu lub czystymi kulturami grzybów mikoryzowych lepiej rosły i rozwijały bogato rozgałęziony, zmikoryzowany system korzeniowy. Gleba pobrana z miejsc, gdzie dęby wykazywały obfite, a przy tym zróżnicowane mikoryzy i zastosowana w trakcie siewu lub kiełkowania żołędzi (jako podsypka w miedzyrzędzia lub domieszka do substratu, w którym kiełkowały żołędzie po stratyfikacji), wpływała stymulująco na wzrost siewek dębu *Q. robur* (Mojko 1966). Mishustin i Shemakhanova (1964) podkreślają, że pozytywne działanie takiej naturalnej inokulacji mikoryzowej, wykonanej zarówno na etapie wzrostu w szkółce leśnej jak i na uprawie, może trwać wiele lat. Najlepsze wyniki uzyskano na terenach suchych stepów lub w regionach półpustynnych. Zastosowanie gleby zawierającej propagule grzybów mikoryzowych obniżało znacznie śmiertelność siewek. Autorzy podają, że na każdą siewkę dębu należałoby zastosować na czarnoziemach 30 g podsypki z gleby zawierającej grzybnię mikoryzową, a 50 g na glebach uboższych (to jest odpowiednio 100 i 170 kg/ha). Pushkinskaja i Mishustin (1963) podkreślają, że jednoczesne dodanie nawozów wzmagało proces kolonizacji mikoryzowej i wzrost dębów.

Problem braku w glebie przeznaczonej do zalesień naturalnych populacji grzybów mikoryzowych dotyczył także terenów w rejonie Morza Śródziemnego, które zostały wylesione setki, a nawet tysiące lat temu. Tam jednakże (Hiszpania, Włochy), na skutek stosunkowo łatwego przenoszenia zarodników grzybów mikoryzowych przez wiatr, setki tysięcy hektarów zostało obsadzonych i naturalna szczepionka glebowa nigdy nie była praktykowana. Jednak badania porównawcze wyraźnie wykazały, że zarówno przeżywalność jak i początkowe tempo wzrostu siewek można było znacznie poprawić poprzez inokulację, szczególnie gdy plantacje zakładane były z dala od dużych kompleksów leśnych. Pokazały to np. doświadczenia z *P. radiata* na Sardynii, gdzie sosna ta przedtem nie była uprawiana (Eccher, Rambelli 1966). Choć siewki wykazywały przejawy pewnego zmikoryzowania, to dodanie gleby ze starych plantacji sosnowych znacznie zwiększyło różnorodność mikoryz, a oprócz wyraźnych przejawów stymulacji wzrostu, naturalna mikoryzacja spowodowała masowe pojawienie się wokół sosen owocników *Suillus granulatus*. Doświadczenia te wykazały, że naturalna szczepionka glebowa jest doskonałym źródłem nowych i bardziej skutecznych symbiontów mikoryzowych, a jej zastosowanie może być proste, a przy tym korzystne dla wzrostu siewek nawet w glebach zawierających pewne gatunki grzybów mikoryzowych.

Idea inokulacji mikoryzowej została wprowadzona stosunkowo wcześnie także w Polsce, gdzie prof. Tadeusz Dominik już na początku lat 50. XX wieku sugerował konieczność wprowadzania na tereny przez wiele lat uprawiane rolniczo, a przeznaczone do zalesień, mikrobiocenoz drzew leśnych (1958, 1961a, b). Podkreślał przy tym, że choć w bardzo długo uprawianych lub odłogowanych gruntach porolnych znajdują się inokula grzybów mikoryzowych, to jest ich niewiele i należą one do symbiontów mniej korzystnych dla wczesnych stadiów wzrostu i rozwoju siewek. Jako najlepszą metodę inokulacji gleb porolnych zalecał wysadzanie bardzo dobrze

zmikoryzowanych siewek pochodzących ze szkółek leśnych, a ponadto aplikację gleby leśnej w celu poprawy aktywności biologicznej gleby porolnej (Dominik 1961b).

Zastosowanie, jako sposobu mikoryzacji, siewek z dobrze ukształtowaną mikoryzą wypróbowane zostało po raz pierwszy w Indonezji i jest tam nadal wykorzystywane, nosząc nazwę metody indonezyjskiej (Mikola 1970). Technika ta nie różni się wiele od metody, w której jako źródło inokulum stosuje się glebę pochodzącą spod drzew z obfitą mikoryzą. Do dziś glebowa szczepionka naturalna bywa stosowana, gdy istnieje konieczność wprowadzenia populacji leśnych mikroorganizmów glebowych na tereny, które są ich pozbawione (gleby porolne, nieużytki poprzemysłowe, stepy, prerie). Głównym zastrzeżeniem do tej metody jest ryzyko mimowolnego wprowadzenia różnych patogenów lub grzybów trujących. W ten sposób zawleczony został z Europy do południowej Afryki i Ameryki śmiertelnie trujący muchomor sromotnikowy – *Amanita phalloides* (Mikola 1970). Ponadto w przypadku szczepionki glebowej inokulum pochodziło na ogół z dorosłych plantacji, gdzie skład gatunkowy grzybów ektomikoryzowych był niekontrolowany, a inokulum było często zakażone patogenami wywołującymi pasożytniczą zgorzel siewek (*Pythium* sp., *Rhizoctonia* sp., *Fusarium* sp., *Phytophthora* sp.), a także zawierało nasiona chwastów.

Stąd szczepionkę naturalną opartą na inokulum glebowym stopniowo zastępowano szczepionkami na bazie owocników, zarodników grzybowych i czystych kultur grzybów mikoryzowych, hodowanych na różnych podłożach. Zastosowanie owocników pewnych grzybów mikoryzowych okazało się skutecznym i stosunkowo prostym sposobem mikoryzacji, możliwej do zastosowania nawet na małą skalę w szkółkach leśnych czy niewielkich uprawach. Owocniki grzyba piestrówka żółtawa (*Rhizopogon luteolus*) wykorzystywano z powodzeniem do inokulacji gleby w szkółkach zachodniej Australii już od roku 1920 (Kessel, Stoate 1938). Podobna praktyka stosowana była także na Filipinach (Lamb 1966), a korzystny wpływ inokulacji eukaliptusa owocnikami grzyba *Pisolithus tinctorius* został opisany w południowej Afryce (Palmer, Pitman 1961). W Europie po raz pierwszy użyto owocników określonych gatunków grzybów mikoryzowych do inokulacji gleby w szkółce Wareham Heath w Anglii. Owocniki grzyba *Rhizopogon luteolus* wprowadzano do gleby naturalnie zakażonej innym grzybem mikoryzowym *Suillus bovinus*, z którym jednak siewki nie wchodziły w mikoryzę. Zaszczepienie to spowodowało poprawę wzrostu wielu gatunków drzew, w tym *Pinus nigra* (Levisohn 1956). W ramach zakładania pasów ochronnych na stepach dawnego Związku Radzieckiego Veselkov (1975) zalecał do inokulacji siewek dębu owocniki prawdziwka (*Boletus edulis*). Część hymenoforu zawierającą zarodniki należy odciąć od reszty owocnika, pociąć na kawałki wielkości 1–2 cm^3 i lekko przesuszyć przez około 1,5 godziny. Następnie podsuszone kawałki grzybni trzeba zmieszać z glebą i umieścić na głębokości 1,5 cm. Według autora tej metody jest to bardzo skuteczny sposób na zwiększenie produktywności siewek dębu w szkółkach leśnych, czy też wprowadzenie odpowiednich symbiontów na stanowiska, na których dotąd nie było dębu.

Stosowanie szczepionki zarodnikowej jest łatwe i stosunkowo niedrogie. Zarodniki nie wymagają hodowli w warunkach sterylnych, jednakże szczepionka zarod-

nikowa ma wiele wad. Przede wszystkim wymaga bardzo dużych ilości zarodników (1–2 mg na jedną siewkę). Można więc tą metodą wprowadzać do szkółek tylko nieliczne gatunki grzybów, które produkują dużo owocników z licznymi zarodnikami, jak *Pisolithus tinctotius*, *Scleroderma* czy gatunki z rodzaju *Rhizopogon*. W niektórych sezonach wegetacyjnych brak owocników uniemożliwia zbiór zarodników. Ponadto mikoryzy, które tworzą się z kiełkujących zarodników, rozwijają się na ogół 3–4 tygodnie dłużej niż mikoryzy powstałe ze szczepionki wegetatywnej tego samego gatunku. Wreszcie różnorodność genetyczna i fizjologiczna szczepionki zarodnikowej może być olbrzymia, szczególnie jeżeli zarodniki są zbierane z różnych obszarów geograficznych oraz spod różnych gatunków drzew – gospodarzy i łączone w jedną szczepionkę.

Zanim jednak opracowano do inokulacji preparaty oparte na czystych kulturach grzybów mikoryzowych, szczepionki zarodnikowe *P. tinctorius*, *Rhizopogon vinicolor* i *R. colossus* były stosowane na świecie na skalę doświadczalną lub produkcyjną do inokulacji różnych gatunków drzew iglastych. W Australii, w celu intensyfikacji tworzenia mikoryz oraz poprawy wzrostu siewek, mieszano nasiona *P. radiata* z zarodnikami grzybów z rodzaju *Rhizopogon* i *Suillus* (Lamb, Richards 1974, Theodorou 1971, Theodorou, Bowen 1973). Najwięcej prac zastosowania zarodników do szczepienia gleb leśnych wykonano w Instytucie Badań Mikoryzowych w Athens w USA. Większość uwagi poświęcono jednemu gatunkowi grzyba – *P. tinctorius*, ze względu na jego znaczny zasięg geograficzny, niespecyficzność względem gospodarzy i tolerancję na stresy środowiska. Szczepionki zarodnikowe były skuteczne w różnych formach (Marx i wsp. 1984, Marx, Bell 1985):

a) mieszane z piaskiem, gliną lub wermikulitem przed dodaniem do gleby;
b) zawieszane w wodzie, którą zraszano glebę;
c) rozpylane w postaci pyłu lub aerozolu;
d) zamykane w kapsułkach z substancji koloidalnych i rozsiewane;
e) umieszczane w formie otoczki na powierzchni nasion.

Metodę rozsiewania przy użyciu systemu nawadniającego stosuje się do aplikacji zarodników w szkółkach, gdzie hoduje się sadzonki z odkrytym systemem korzeniowym. W tym wypadku konieczne są przynajmniej dwie inokulacje. W ich wyniku *Rhizopogon vinicolor* i *R. colossus* tworzyły obfite ektomikoryzy z daglezją (*Pseudotsuga menziesii*). Dwa lata po wysadzeniu na stałe miejsce, siewki z ektomikoryzą *R. vinicolor* miały znacznie większą przeżywalność, wysokość części nadziemnej, średnicę szyjki korzeniowej i biomasę niż siewki niepoddane sztucznej inokulacji. W USA w 1990 roku inokulowano zarodnikami 18 milionów siewek daglezji i sosny w szkółkach z zakrytym systemem korzeniowym (85%) i w szkółkach z odkrytym systemem korzeniowym (15%).

Wydaje się, że w polskim leśnictwie zastosowanie szczepionki zarodnikowej na większą skalę jest mało realne, gdyż tę metodę będzie zawsze ograniczać dostępność owocników. Na małą natomiast skalę gospodarczą w szkółkach, gdzie obniżona została populacja grzybów mikoryzowych, każdy leśniczy szkółkarz może pokusić się o wzbogacenie populacji grzybów symbiotycznych przez zastosowanie szczepionki zarodnikowej szczególnie tam, gdzie w pobliżu szkółki występują grzyby tworzące znaczne ilości zarodników, jak *Rhizopogon* czy *Scleroderma*.

W Polsce wpływ szczepionki zarodnikowej z grzyba *S. citrinum* na wzrost siewek sosny badali Hilszczańska i Sierota (1998). Uzyskali oni pozytywny wpływ szczepionki na liczbę i zróżnicowanie morfotypów mikoryzowych przypadających na jedną siewkę, szczególnie w jednym z wariantów doświadczenia, kiedy inokulacja miała miejsce wiosną i była połączona z dodatkowym nawiezieniem kwatery kompostem.

Szczepionka wegetatywna, oparta na czystych kulturach grzybów mikoryzowych

Szczepionka wegetatywna, oparta na grzybni wyizolowanej z owocników grzybów ektomikoryzowych lub ektomikoryz, jest zalecana jako najbardziej trafny biologicznie materiał do inokulacji. Szczepionka taka, w odróżnieniu od szczepionki zarodnikowej, może być dostępna w ilościach nieograniczonych, pod warunkiem rozwinięcia technologii produkcji inokulum grzybniowego. Inokulum wegetatywne może być zastosowane do mikoryzacji siewek hodowanych w szkółkach z zakrytym i odkrytym systemem korzeniowym. Wynik inokulacji można uznać za pozytywny wówczas, gdy ektomikoryzy z oczekiwanym grzybem tworzy 50% korzeni drobnych siewek. Do uzyskania takiego wyniku jest jednak konieczna sterylizacja podłoża.

Jednym z prekursorów nowoczesnej mikoryzacji był badacz węgierski R. Bokor. Spośród 23 gatunków grzybów mikoryzowych uzyskanych ze skiełkowanych zarodników i testowanych na sterylnych siewkach, efektywne mikoryzy uzyskał aż z 15 gatunkami. Jako najbardziej polecane w inokulacji siewek dębu Bokor (1958) uznał gatunki *Boletus edulis* (borowik szlachetny, prawdziwek), *B. scaber*, *B. subtomentosus* = *Xerocomus subtomentosus* (podgrzybek zajączek), *Amanita vaginata* (muchomor mglejarka), *Russula cyanoxantha* (gołąbek modrożółty), *R. alutacea* (gołąbek cukrówka), *R. fragilis* (gołąbek kruchy), *Scleroderma vulgare* = *S. citrinum* (tęgoskór pospolity) i *H. crustuliniforme* (włośnianka rosista). Siewki dębu inokulowane wymienionymi gatunkami grzybów wykazywały jesienią, po dwóch latach wzrostu w szkółce, niemal czterokrotny wzrost suchej masy. Do inokulacji siewek dębu Bokor (1958) zalecał 20 g inokulum (w formie podłoża torfowego przerośniętego grzybnią odpowiedniego symbionta mikoryzowego) w połączeniu z niewielką ilością sproszkowanej kory lub taniny w celu ograniczenia rozwoju bakterii i stymulowania rozwoju grzybni mikoryzowej.

Shemakhanova (1961) także prowadziła doświadczenia nad wpływem czystych kultur grzybów mikoryzowych na wzrost siewek dębu. Kultury grzybów *A. rubescens* (muchomor czerwonawy), *A. muscaria* (muchomor czerwony), *B. subtomentosus* (podgrzybek zajączek) i niezidentyfikowany grzyb wyizolowany z mikoryzy dębu wywierały pozytywny wpływ na rozwój siewek tego gatunku. Autorka wykonywała swoje doświadczenia z myślą o zastosowaniu wyselekcjonowanych grzybów mikoryzowych w produkcji szczepionki mikoryzowej i wykazała, że grzybnia dodana do sterylnej gleby z dodatkiem glukozy i witaminy B_1 przeżywa w niej do 20 miesięcy. Prace Shemakhanovej nie były, niestety, kontynuowane, ale w owych czasach reprezentowały bardzo wysoki poziom i do dziś są podwaliną wiedzy o produkcji szczepionek mikoryzowych (Shemakhanova 1962, Mishustin, Shemakhanova 1964).

Szeroko zakrojone prace nad sterowaną mikoryzacją siewek dębu i ich zastosowaniem w leśnictwie kontynuowano we Francji, gdzie – podobnie jak w Polsce – *Q. petraea* i *Q. robur* są powszechnie sadzone i mają duży udział siewek hodowanych w szkółkach leśnych. Garbaye (1984) wykazał, że do inokulacji siewek dębu najbardziej nadają się takie symbionty jak *H. crustuliniforme* (włośnianka rosista), *H. cylindrosporum*, *S. aurantium* = *S. citrinum* (tęgoskór pospolity), *P. involutus* (krowiak podwinięty) i *P. tinctorius* oraz kilka innych niezidentyfikowanych grzybów mikoryzowych. Badania wykazały, że mikoryzy *S. aurantium* są najbardziej konkurencyjne w porównaniu z innymi symbiontami i powodują ograniczenie rozwoju innych naturalnych mikoryz, a nawet całkowicie je wypierają. Z kolei mikoryzy *H. crustuliniforme* mają właściwość jednoczesnego rozwoju obok innych symbiontów.

Francuskie doświadczenia kontrolowanej mikoryzacji dębu mają już dość długą tradycję i pozwalają ocenić jej efekty z perspektywy kilkunastu lat. Wysadzone w północno-wschodniej Francji siewki *Q. robur*, inokulowane grzybnią *P. involutus*, jeszcze po 16 latach wykazywały istotne różnice w stosunku do drzew nieinokulowanych. Były zdecydowanie wyższe, choć miały tendencje do tworzenia większej liczby pędów świętojańskich, które jednak były niewielkie i stosunkowo szybko zamierały. Autorzy konkludują, że przyspieszony wzrost części nadziemnej badanych dębów, jako efekt mikoryzacji kilkumiesięcznych siewek, nie przekłada się na żadne uboczne skutki w dalszych etapach wzrostu drzew (Fournier i wsp. 2003). W szkółkach południowych stanów USA każdego roku hoduje się, przy użyciu szczepionki wegetatywnej, 25–30 milionów siewek drzew z ektomikoryzą. W licznych badaniach sztucznej inokulacji siewek drzew przy użyciu szczepionki wegetatywnej zastosowano 66 gatunków grzybów ektomikoryzowych do szczepienia 49 gatunków drzew. Grzyb *P. tinctorius* tworzył ektomikoryzy z 29 gatunkami drzew, a każdy z gatunków: *Cenococcum geophilum*, *H. crustuliniforme, L. bicolor, L. laccata, S. granulatus, S. luteus, T. terrestris* przynajmniej z sześcioma gatunkami drzew.

Selekcja grzybów ektomikoryzowych do sztucznych inokulacji

W programie sztucznej inokulacji pierwszym i najważniejszym krokiem jest selekcja grzybów. Nie wszystkie bowiem gatunki grzybów tworzą mikoryzy jednakowo korzystne dla gospodarza. W wyborze grzybów należy wziąć pod uwagę zarówno kryteria ekofizjologiczne jak i techniczne. Podstawowym kryterium, które musi spełniać grzyb, to zdolność tworzenia obfitych ektomikoryz na siewkach możliwie wielu gatunków drzew, w możliwie niewielkim czasie, skoro tylko siewki wytworzą krótkie korzenie. Takie możliwości mają grzyby wczesnego stadium rozwojowego drzew (*Hebeloma* sp., *Laccaria* sp., *Suillus* sp., *Rhizopogon* sp., *Paxillus* sp., itp.), które w warunkach naturalnych tworzą mikoryzy z młodymi osobnikami drzew. W ramach wstępnych testów należy porównać wiele izolatów z różnych gatunków drzew i różnych regionów geograficznych.

Wybrany grzyb powinien cechować się zdolnością szybkiego wzrostu w czystych kulturach i dobrze znosić różne zabiegi fizyczne, chemiczne i biologiczne. In-

okulum grzybowe musi być zdolne do przeżywania w glebie 4–6 tygodni bez kontaktu z korzeniami symbionta roślinnego. Ten czas jest potrzebny na inokulację gleby w szkółce, wysianie nasion, ich skiełkowanie i wytworzenie przez siewkę krótkich korzeni, na których mogą rozwinąć się ektomikoryzy. Cechą korzystną dla funkcjonowania symbiozy ektomikoryzowej jest produkcja grzybni absorpcyjnej, sznurów grzybniowych i sklerocjów, które zwiększają absorpcję związków mineralnych i wody oraz możliwość przetrwania grzybni w podłożu. Atrakcyjność grzyba zwiększa jego zdolność do utrzymania aktywności życiowej i mikoryzogennej przez kilka tygodni – od wyprodukowania szczepionki do zastosowania jej w szkółce. W szkółkach leśnych ponadto grzyb musi być odporny na antagonistyczne działanie innych organizmów glebowych, w tym także innych grzybów ektomikoryzowych. Powinien mieć także zdolność zdominowania grzybów naturalnie występujących w szkółkach, np. *T. terrestris*. Wybrany grzyb musi również dobrze tolerować stosowane w szkółkach środki chemiczne, jak: fungicydy, herbicydy, nematocydy, nawozy azotowe, wapnowanie oraz zabiegi techniczne – spulchnianie gleby lub podcinanie korzeni.

Bardzo ważnym kryterium jest adaptacja ekologiczna wybranych grzybów do typu środowiska, w którym zostanie posadzona większość siewek. Grzyb musi być przystosowany do skrajnych warunków glebowych oraz klimatycznych i pomóc przetrwać siewkom szok związany z przesadzeniem z dobrze nawadnianej i nawożonej gleby szkółkowej do nieuprawianych gleb leśnych o małej zawartości nieorganicznych związków pokarmowych. Wpływ grzyba wprowadzonego drogą sztucznej inokulacji na siewki może trwać tylko przez krótki czas po przeniesieniu ich na uprawę, jednakże korzyści, jakie dają siewkom ektomikoryzy z odpowiednio wybranym grzybem, mogą zadecydować o ich życiu i początkowym wzroście.

Większość badaczy związanych z hodowlą siewek ektomikoryzowych jest zdania, że najlepsze dla danego stanowiska to grzyby miejscowe. Gruntowne badania mogą wskazać idealne kombinacje symbiotyczne grzyb–drzewo dla każdego zespołu warunków ekologicznych. Jednakże ze względów praktycznych szuka się raczej grzybów o szerokim zastosowaniu, tak aby ograniczyć do niezbędnego minimum liczbę symbiontów grzybowych wprowadzanych w praktyce.

Dobrym przykładem jest grzyb *P. tinctorius*, produkowany od lat w formie wegetatywnej szczepionki ektomikoryzowej w USA. Gatunek ten, o dużych zdolnościach adaptacyjnych do różnych warunków glebowych i wyjątkowo tolerancyjny na podwyższoną temperaturę gleby, okazał się bardzo korzystny dla siewek wielu gatunków drzew sadzonych na stanowiskach w południowych stanach USA. Do produkcji szczepionki ektomikoryzowej w laboratoriach USDA Forest Service i Laboratorium Abbott w Chicago wybrano jeden szczep tego gatunku, wyizolowany ponad 30 lat temu z owocnika rosnącego pod *Pinus taeda* w północno-wschodniej Georgii, określany jako „superszczep", który był testowany w szkółkach kontenerowych i z odkrytym systemem korzeniowym. Po inokulacjach roślin–gospodarzy i ponownych izolacjach wegetatywnych szczep ten stał się jeszcze bardziej agresywny i zdolny do tworzenia większej liczby ektomikoryz, niż szczep macierzysty lub inne izolaty tego gatunku. Izolat superszczepu jest odnawiany każdego roku z ektomikoryz lub owocników produkowanych w szkółkach, gdzie szczepiono

nim siewki. Superszczep tworzył ektomikoryzy na korzeniach 29 gatunków drzew z rodzajów: *Abies, Carya, Picea, Pinus, Pseudotsuga, Quercus, Castanea, Fagus, Eucalyptus* i *Salix* w: USA, Brazylii, Kanadzie, Chinach, Kongo, Francji, Ghanie, Indiach, Meksyku, Nigerii, Korei Południowej, Tajlandii i Wenezueli.

W Polsce próby opracowania i wdrożenia szczepionki mikoryzowej do inokulacji sosny w szkółkach i na plantacjach podjął w latach 80. ub.w. profesor Roman Pachlewski. Sztucznie inokulował siewki sosny w doświadczeniach wazonowych z glebą leśną i w szkółce. Do inokulacji wazonowych używał szczepionek przygotowanych ze sterylnej grzybni hodowanej na:

1) pożywce agarowej,
2) torfie ogrodniczym z dodatkiem pożywki płynnej,
3) pożywce płynnej.

Ta ostatnia metoda, tj. hodowla kultur na pożywce płynnej w postaci wodnej zawiesiny grzybni wegetatywnej, dała najlepsze wyniki. Pachlewski wykonał też próby inokulacji gleby grzybnią mikoryzową w szkółce. Stosunkowo dobre efekty uzyskał z grzybami *H. crustuliniforme, L. rufus* i *L. laccata*. Kolonizacja mikoryzowa istotnie stymulowała wzrost siewek po trzech latach od wysadzenia na uprawę. Prace nad ideą szczepionki mikoryzowej kontynuował profesor Stefan Kowalski z Katedry Fitopatologii Leśnej AR w Krakowie, opracowując własną szczepionkę opartą na szczepie grzyba *H. crustuliniforme*. Grzyby mikoryzowe pod kątem wykorzystania ich do produkcji szczepionki mikoryzowej selekcjonuje się także w Instytucie Dendrologii PAN w Kórniku.

Wyniki doświadczeń w szkółkach i na plantacjach

Z badań amerykańskich wynika, że ektomikoryzy utworzone przez *P. tinctorius* zwiększają przeżywalność i przyspieszają wzrost siewek, szczególnie na gorących i suchych stanowiskach oraz obszarach o małej żyzności gleby. Badania w Liberii z siewkami *Pinus caribaea* udowodniły, że ektomikoryzy *P. tinctorius* mogą poprawiać tolerancję drzew na suszę w warunkach regularnie następujących po sobie okresów suchych i deszczowych. Tolerancja na suszę jest prawdopodobnie wynikiem działania sieci grzybni ekstramatrykalnej, która wykorzystuje znaczną objętość gleby.

Program badań grzyba *P. tinctorius* doprowadził do skutecznego i dającego efekty finansowe zastosowania szczepionki ektomikoryzowej w szkółkach kontenerowych i z odkrytym systemem korzeniowym. Wieloletnie badania szczepionki wegetatywnej w USA doprowadziły do znacznego uproszczenia procedury hodowlanej i aplikacyjnej. Poza szczepionką wegetatywną *P. tinctorius*, w ciągłej produkcji są także szczepionki *H. crustuliniforme* i *L. laccata*, zaś szczepionki innych gatunków produkuje się w miarę potrzeby. Dla szkółek z odkrytym systemem korzeniowym opracowano także rodzaj siewnika, który umieszcza szczepionkę w dołkach, tuż przed wysianiem nasion. Zastosowanie siewnika zmniejszyło ilość potrzebnej szczepionki o 75%, a więc obniżyło koszty prac laboratoryjnych i czas produkcji.

Korzyści wynikające ze stosowania szczepionki wegetatywnej to znaczący wzrost jakości siewek w szkółkach, zmniejszenie wypadów oraz wzrost przeżywal-

ności i przyrostu po wysadzeniu na stałe miejsce. Przeżywalność siewek sosny *P. palustris* po dwóch latach hodowli w szkółkach zwiększyła się z 50–60% do 85%, a *P. taeda* z 70–80% do 90%. Stosowanie szczepionki *P. tinctorius* zwiększało biomasę sosny i dębu na niektórych stanowiskach o ponad 250%, a na terenach pokopalnianych i poddanych silnej erozji nawet o 1100%. Koszt produkcji inokulum wegetatywnego w USA w 1991 roku stanowił 5% ogólnych kosztów prowadzenia szkółki.

W Kanadzie sadzonki mikoryzowane gatunków z rodzajów *Pinus, Picea* i *Larix* hoduje się głównie w szkółkach z zakrytym systemem korzeniowym. Inokulację mikoryzową prowadzi się szczepionką wegetatywną w postaci płynnej lub na podłożu stałym z zastosowaniem szczepów grzybów *L. laccata, H. cylindrosporum, C. geophilum, T. terrestris* i *P. tinctorius*.

We Francji, podobnie jak w USA, 95% siewek przeznaczonych do zalesień hoduje się w szkółkach z odkrytym systemem korzeniowym. W szkółkach centralnej Francji z powodzeniem stosuje się szczepienie sosny zwyczajnej, świerka pospolitego i daglezji szczepionką wegetatywną grzybów *L. laccata, L. bicolor, H. cylindrosporum* i *H. crustuliniforme*. Inokulacja tymi grzybami w porównaniu z naturalną inokulacją grzybem *T. terrestris* poprawia wzrost siewek w okresie dwóch lat od wysiewu. Szczepienie drzew grzybami ektomikoryzowymi we Francji ma na celu nie tylko poprawienie hodowli siewek, ale także zwiększenie populacji grzybów jadalnych. Siewki dębów szczepione grzybnią *Tuber melanosporum* lub *T. uncinatum* hoduje się w celu uzyskania tak poszukiwanych we Francji trufli. Owocniki trufli pojawiają się 7–8 lat po przesadzeniu inokulowanych siewek na stałe miejsce. Sosnę *P. pinaster* natomiast szczepi się grzybem *S. granulatus* i hoduje w celu uzyskania owocników maślaków. We Francji rozpoczęto także szeroko zakrojone badania nad zwiększeniem produkcji owocników borowika i rydza, a w Szwecji osiągnięto już pierwsze sukcesy w stymulacji produkcji owocników pieprznika jadalnego, czyli kurki (*Cantharellus cibarius*).

W Czechach szczepionka *L. laccata* była stosowana na skalę doświadczalną do szczepienia siewek przeznaczonych do zalesienia terenów silnie zniszczonych zanieczyszczeniami przemysłowymi.

Szczepionki wieloskładnikowe – koinokulacja

Dotychczasowe badania metod sztucznej inokulacji dotyczyły kierunku uzyskania efektywnej szczepionki opartej na jednym gatunku grzyba. W naturalnych ekosystemach natomiast powszechnym zjawiskiem jest obecność na jednym systemie korzeniowym mikoryz tworzonych przez kilka gatunków grzybów. Wysunięto hipotezę, że różne grzyby symbiotyczne, obecne na tym samym systemie korzeniowym, spełniają różne funkcje, zależnie od fazy rozwojowej rośliny oraz warunków środowiska. Zjawisko to prawdopodobnie powoduje wzrost zdolności adaptacyjnej roślin do zmian środowiska. Jak dotąd niewiele jest badań dotyczących tzw. koinokulacji, czyli szczepienia sadzonek w warunkach kontrolowanych dwoma i więcej gatunkami grzybów.

Parlade i Alvarez (1993) zaszczepiali sadzonki daglezji parami grzybów ektomikoryzowych *Pisolithus arhizus* + *Rhizopogon subareolatus*, *P. arhizus* + *R. rose-*

olus, *Laccaria bicolo*r + *P. arhizus* i *L. bicolor* + *R. subareolatus*, aby określić możliwości kolonizacji korzenia przez dwa grzyby jednocześnie. Doświadczenie to wykazało, że całkowita biomasa roślin oraz ilość krótkich korzeni była zawsze większa przy zaszczepieniu którąkolwiek z kombinacji grzybów. Zwrócili oni także uwagę na konieczność odpowiedniego doboru grzybów do szczepień. Gdy zdolność kolonizacji korzeni przez jednego z partnerów grzybowych jest bardzo duża, tworzenie mikoryz przez drugi grzyb może zostać zahamowane.

Reddy i Natarajan (1997) porównywali skuteczność koinokulacji grzybami ektomikoryzowymi *L. laccata* i *T. terrestris* w stosunku do pojedynczych szczepień tymi grzybami w szkółkach. W doświadczeniach koinokulacja przyczyniła się do wzrostu całkowitej liczby zmikoryzowanych korzeni krótkich oraz znacząco polepszyła wzrost i rozwój mikoryz na sadzonkach *Pinus patula* w porównaniu z pojedynczą inokulacją. Wykazano także, że zdolności kolonizacji przez grzyby zależą głównie od ich agresywności bez względu na to, czy inokulacja jest pojedyncza czy podwójna. Parlade, Alvarez i Pera (1999) prowadzili inokulację sadzonek daglezji *P. menziesii* oraz sosny *P. pinaster* grzybnią *L. bicolor* i zarodnikami *Rhizopogon* spp. Celem tych doświadczeń było zbadanie możliwości mieszanego inokulum (zarodniki + grzybnia) do produkcji podwójnie skolonizowanych sadzonek. W wypadku obu gatunków drzew ilość podwójnie skolonizowanych sadzonek prawie nigdy nie przekroczyła 50%.

Obecnie sztuczną inokulację mikoryzową stosuje się głównie do poprawy jakości sadzonek rosnących na stanowiskach trudnych, nieużytkach poprzemysłowych, glebach porolnych itp. W ciągu kilku lat możliwe jest rozpoczęcie badań takich kierunków mikoryzacji, które pozwolą zwiększyć liczbę symbiontów wchodzących w skład szczepionki mikoryzowej (koinokulacja).

IV. Ekologiczne aspekty ektomikoryz – od badań podstawowych do praktycznego zastosowania w polskim leśnictwie

Prof. dr hab. Stefan Kowalski, Katedra Fitopatologii Leśnej Akademii Rolniczej w Krakowie, Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Mikoryzy są powszechnie uznane jako jeden z przejawów symbiozy w świecie roślin. Badania mikoryzy od końca lat 80. XIX wieku pozwoliły odkryć i opisać różne typy współżycia o charakterze mutualistycznym pomiędzy roślinami i grzybami, w dużym stopniu uzależnione od rodzaju rośliny gospodarza i gatunku grzyba wchodzącego w związki mikoryzowe. W minionych latach formułowano różne koncepcje podziału mikoryz. Obecnie przyjmuje się i dość powszechnie akceptuje ich podział na siedem typów: endomikoryzy (VAM), ektomikoryzy (ECM), ektendomikoryzy, mikoryzy arbutoidalne, monotropoidalne, erikoidalne i mikoryzy storczykowatych (Brundrett i in. 1996). Problematyka mikotrofizmu roślin była i jest podejmowana na szerokiej płaszczyźnie podstawowych badań ekologicznych, fizjologicznych, biochemicznych i genetycznych, jak też badań aplikacyjnych. Powodem tak wszechstronnego traktowania tego zjawiska jest fakt, że mikoryzy są niezbędne do optymalnego wzrostu i rozwoju roślin w warunkach naturalnych. Jeżeli ich brak lub funkcje są zakłócone, rośliny chorują, a nawet zamierają.

W naszej strefie klimatycznej do optymalnego rozwoju drzew leśnych niezbędne są ektomikoryzy, które w niezakłóconych ekosystemach są dominującą formą symbiozy mutualistycznej. Ektomikoryza dotyczy tych korzeni, które nie przyrastają na grubość. Odznacza się wnikaniem strzępek grzyba pomiędzy ściany komórek miękiszu kory pierwotnej korzeni ostatniego rzędu, tworząc tak zwaną sieć Hartiga, która może występować w różnych warstwach komórek miękiszu kory pierwotnej, ale nigdy strzępki nie przerastają przez komórki endodermy i nie wnikają do komórek walca osiowego. Komórki miękiszu kory pierwotnej ulegają mniej lub bardziej wyraźnej hipertrofii, następuje zanik włośników, a powierzchnia miko-

ryzy pokryta jest mufką grzybniową. Strzępki grzyba wyrastające z powierzchni ektomikoryzy mają stały kontakt ze środowiskiem glebowym. Za pomocą sieci strzępek mogą dostarczać roślinie wodę i sole mineralne ze stosunkowo dużej odległości – większej niż penetracja systemu korzeniowego. Zależnie od gatunku grzyba i rośliny gospodarza ektomikoryzy mogą być pojedyncze oraz rozgałęzione: monopodialnie, dychotomicznie, wielokrotnie dychotomicznie lub bulwkowate, a mufka grzybniowa ma różną strukturę i barwę. Z uwagi na wymienione cechy ektomikoryzy różnią się morfologicznie od korzeni autotroficznych, co z łatwością można zauważyć przy użyciu zwykłej lupy [fot. IV.1(a–d)].

Drzewa leśne wchodzą w związki ektomikoryzowe przy względnym ubóstwie pokarmowym, odpowiednim dostępie światła i współudziale hormonów syntetyzowanych przez grzyby. Drzewa z ektomikoryzą pobierają więcej soli mineralnych niż drzewa bez mikoryzy. Przyjmuje się, że rośliny drzewiaste z ektomikoryzą absorbują około dwukrotnie więcej azotu i potasu oraz ponad trzykrotnie więcej fosforu niż drzewa bez mikoryzy. Ektomikoryzy zwiększają również pobieranie wapnia, magnezu, żelaza i innych pierwiastków. Substancje te mogą być magazynowane w mufce grzybniowej i przekazywane roślinie w ilościach niezbędnych do jej normalnego fizjologicznego rozwoju. Jednocześnie natężenie asymilacji u nich jest zwiększone, część bowiem jej produktów wykorzystuje grzyb mikoryzowy (Vodnik, Gogala 1994). Współżycie to daje więc wzajemne korzyści. Dzięki systemowi strzępek w glebie, a zwłaszcza sznurów grzybniowych, grzyby za pośrednictwem ektomikoryzy zaopatrują obficie korzenie drzewa w wodę, łagodząc do pewnego stopnia stres rośliny spowodowany suszą (Dominik 1961, Rudawska 2000).

Ektomikoryzy, oprócz funkcji fizjologiczno-żywieniowych, chronią drzewa leśne przed atakiem grzybów patogenicznych, zwłaszcza tych, które bezpośrednio zakażają system korzeniowy. Ochrona ta może być wielopłaszczyznowa. Na płaszczyźnie mechanicznej ektomikoryzy o odpowiednio grubej mufce grzybniowej mogą być zaporą nie do pokonania dla strzępki infekcyjnej grzyba patogenicznego. W konkurencji o substancje pokarmowe, zwłaszcza o wydzieliny korzeniowe w ryzosferze, większą szansę mają grzyby ektomikoryzowe, które są w anatomicznej łączności z rośliną, niż grzyby patogeniczne próbujące się do niej dostać z gleby. Mikoryzy mogą również zwiększać odporność roślin na drodze biochemicznej, stymulując syntetyzowanie przez roślinę substancji chemicznych, odpowiedzialnych za kształtowanie odporności roślin na choroby. Na płaszczyźnie fizjologiczno-żywieniowej ta odporność może być większa u roślin lepiej odżywionych i zaopatrzonych w wodę, niż u roślin cierpiących na niedobór substancji pokarmowych. Te właściwości grzybów ektomikoryzowych w dużym stopniu związane są jednak z gatunkiem, a nawet szczepem grzyba i środowiskiem, w którym te ektomikoryzy się tworzą. Stąd mikoryza nie jest równa mikoryzie ani pod względem właściwości fizjologiczno-żywieniowych, ani ochronnych systemu korzeniowego przed patogenami.

Podwaliny pod rozwój ekologii ektomikoryz położyli, między innymi, badacze: Frank (1885), Melin (1921), Hatch (1936), Harley (1937) i Björkman (1940), których nazwać by można klasykami tej dyscypliny naukowej. W Polsce natomiast badania mikotrofizmu drzew leśnych, chociaż również miały miejsce jeszcze przed wybuchem drugiej wojny światowej, dynamizmu nabrały jednak dopiero w dru-

a

b

giej połowie minionego stulecia. Prekursorem badań nad ekologią ektomikoryz drzew leśnych, w których mieściło się również rozumienie potrzeby mikoryzacji sadzonek przeznaczonych do zalesiania nieużytków i gruntów porolnych, był profesor Tadeusz Dominik. Należy zaznaczyć, że początkowo na czoło wysunęły się badania ekologiczne, zmierzające do poznania i opisania bioróżnorodności mikoryz w naturalnych zespołach leśnych oraz dokumentujące zmiany zachodzące w mikotrofizmie różnych gatunków drzew leśnych pod wpływem czynników antropopresji. Ten kierunek jest nadal obecny w różnych polskich ośrodkach naukowych, chociaż w ograniczonym już zakresie. W pierwszym okresie były to przede wszystkim prace profesorów: T. Dominika, R. Pachlewskiego i jego żony Jadwigi, W. Truszkowskiej, A. Nespiaka, T. Madeja, Z. Twarowskiego, J. Gągalskiej, czy H. Wojciechowskiej. Polski dorobek naukowy z tego okresu dokumentuje różnorodność morfologiczno-anatomiczną ektomikoryz nie tylko różnych gatunków drzew leśnych, ale przedstawiając tę różnorodność na tle określonych zespołów roślinnych poszukuje też związków pomiędzy dynamiką rozwoju drzewostanów,

c

d

Fot. IV.1(a–d). Różne typy morfologiczne ektomikoryzy: *a*) pojedyncze, *b*) dychotomiczne, *c*) wielokrotne, *d*) bulwkowate

zdrowotnością drzew i ich mikotrofizmem (Dominik 1961, Pachlewski 1953, Pachlewski, Pachlewska 1960). Dysponując bogatym materiałem w postaci zbioru ektomikoryz różnych gatunków drzew w zróżnicowanych środowiskach roślinnych, na podstawie cech morfologiczno-anatomicznych mikoryz Dominik (1956, 1969) opracował klucz do ich identyfikacji. Przedstawiona przez niego koncepcja była w tamtym czasie znacznym postępem w badaniach ekologii ektomikoryz. Pozwoliła bardziej precyzyjnie badać i ustalać podobieństwa oraz różnice spektrum mikoryzowego poszczególnych gatunków drzew w zróżnicowanych środowiskach. Mogła też w pewnym stopniu być użytecznym narzędziem przy określaniu stopnia zaburzeń mikotrofizmu drzew w środowiskach zniekształconych wpływem szeroko pojętych czynników antropopresji. Na podstawie tego klucza nie można było jednak identyfikować grzybowych komponentów ektomikoryz. Obecnie postęp w tym zakresie jest ogromny, a do identyfikacji ektomikoryz i ich grzybowych komponentów coraz powszechniej stosowane są metody molekularne. Aby jednak badania z zakresu mikotrofizmu drzew leśnych, a zwłaszcza ich funkcji fizjologicz-

nych i fitopatologicznych, jak też ekologicznych mogły być pogłębione i uzyskać nową jakość, rozwiązania wymagały podstawowe problemy związane z izolacją i selekcją czystych kultur grzybów ektomikoryzowych oraz technik syntezy mikoryzowej. W Polsce, w początkach drugiej połowy minionego stulecia, techniki te nie były jeszcze stosowane, chociaż w świecie w tym zakresie dokonał się już znaczący postęp, a drogę do nich utorował szwedzki badacz Melin (1922). Takiego przełomu w Polsce dokonał R. Pachlewski wraz z żoną Jadwigą, opracowując nową metodę syntez mikoryzowych w czystych kulturach na agarze (Pachlewska 1968, Pachlewski, Pachlewska 1974). Umiejętności w zakresie izolowania i otrzymywania czystych kultur grzybów ektomikoryzowych oraz sprawdzania w warunkach kontrolowanych ich aktywności mikoryzogennej pozwoliły na znaczne poszerzenie problematyki badawczej z zakresu fizjologii mikoryz, jak też otworzyły nowe możliwości w praktycznym wykorzystaniu syntez mikoryzowych (Kowalski 1974). Stały się również bodźcem do większego zainteresowania tą dyscypliną naukową w Polsce.

Obecnie problematyka ektomikoryz i ich grzybowych komponentów podejmowana jest w różnych polskich ośrodkach naukowych, ale szczególnie w sposób ciągły w: Instytucie Dendrologii PAN w Kórniku, Instytucie Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, Instytucie Badawczym Leśnictwa w Warszawie, na Wydziale Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, na Wydziale Biologii Uniwersytetu Śląskiego, a także na wydziałach leśnych – SGGW w Warszawie i Akademii Rolniczej w Krakowie. W ośrodkach tych badania w większości wypadków koncentrują się na fizjologii mikoryz i ich grzybowych komponentów, czynnikach inicjujących proces mikoryzogenezy oraz mikroorganizmach go wspomagających, morfologii, anatomii, a także stosunkach ilościowych mikoryz w różnych środowiskach – począwszy od szkółek do złożonych zbiorowisk leśnych. Bardzo mocno akcentowane są również badania dotyczące wpływu polutantów na mikoryzy i ich grzybowych partnerów. Uzyskiwane wyniki dociekań nie tylko wnoszą swój teoretyczny wkład w rozwój tej dyscypliny naukowej, ale mają również duże znaczenie z punktu widzenia ich praktycznego wykorzystania w problematyce sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych.

Powszechność występowania w warunkach naturalnych ektomikoryz u drzew leśnych oraz wielokrotnie i na różne sposoby udowodniona ich niezbędna obecność dla optymalnego wzrostu i rozwoju drzew od dawna kierowała uwagę badaczy i leśników, nie tylko w Polsce, na praktyczne wykorzystanie tego zjawiska. Te oczekiwania praktyki leśnej nasilały się, zwłaszcza począwszy od drugiej połowy minionego stulecia, a ich powodem była coraz bardziej postępująca degradacja środowiska naturalnego oraz potrzeba zalesiania gruntów, które były nieużytkami lub zagospodarowywano je w inny niż leśny sposób. Syntetyczne ujęcie tej problematyki znajduje się przede wszystkim w pracach Marxa i Kenneya (1982), Mikoli (1970, 1973), zaś z polskich autorów u Dominika (1961), a głównie w monografii pt.: „Ektomikoryza, jej znaczenie i zastosowanie w leśnictwie", napisanej pod redakcją M. Rudawskiej (2000).

Znanych jest wiele praktycznych sposobów mikoryzacji sadzonek drzew leśnych. Stosunkowo chyba najstarszym, ale do dziś stosowanym, to wprowadzanie

inokulum w postaci gleby lub humusu pobranego z drzewostanów, w których drzewa były zaopatrzone w różnorodne i liczne mikoryzy, do gleby ich pozbawionej (Mikola 1973). Wadą jednak tej metody jest brak kontroli gatunków grzybów ektomikoryzowych, jak też możliwość wprowadzenia przy tym zabiegu do gleby różnych organizmów pasożytniczych. W Polsce metoda ta była propagowana przez Dominika (1958, 1961). Alternatywą miało być wykorzystanie inokulum zawierającego zarodniki grzybów ektomikoryzowych. Do praktycznego wykorzystania tej techniki mikoryzacji nadają się jednak tylko te grzyby, z których stosunkowo łatwo można pozyskać olbrzymie masy zarodników. Chodzi więc głównie o grzyby z rodzaju *Rhizopogon, Scleroderma, Pisolithus*. Z tym ostatnim grzybem najwięcej doświadczeń praktycznych wykonano w Stanach Zjednoczonych (Marx 1976, Marx i in. 1979). W Polsce zarodniki grzyba *S. citrinum* do szczepienia siewek w szkółkach leśnych wykorzystywali Hilszczańska i Sierota (1998), a wyniki wskazywały na korzystny efekt tak wykonanej mikoryzacji. Stosowanie zarodników jako inokulum mikoryzowego ma niewątpliwie wiele zalet, ale – jak się wydaje – najważniejszą wadą jest brak standardowych testów laboratoryjnych, umożliwiających określenie żywotności zarodników oraz uzależnienie pozyskania zarodników od obfitości owocnikowania tych grzybów. Z wielu praktycznych sposobów mikoryzacji sadzonek drzew leśnych obecnie na skalę gospodarczą stosuje się zwykle biopreparaty zawierające inokulum wegetatywne wyselekcjonowanych grzybów ektomikoryzowych i zróżnicowane techniki wprowadzania go w obręb ryzosfery mikoryzowanych sadzonek.

Znaczący postęp w praktycznym zastosowaniu wegetatywnego inokulum grzybów ektomikoryzowych w praktyce leśnej rozpoczął się w latach 50. ubiegłego stulecia, kiedy Moser (1958) w Austrii opracował metodę inokulacji siewek *Pinus cembra* szczepami *Suillus plorans* w szkółce, co miało umożliwić poprawę udatności zalesień blisko górnej granicy lasów w Alpach. Wyselekcjonowany przez niego szczep okazał się niezwykle korzystny dla siewek używanych do zalesiania zimniejszych, wyżej położonych stanowisk, co umożliwiło znaczne podniesienie górnej granicy lasu. Opracowaną przez Mosera metodę modyfikowano i stosowano w różnych krajach. Szczególnie dużo badań z praktycznym wykorzystaniem szczepień mikoryzowych wykonano w Stanach Zjednoczonych Ameryki, wykorzystując inokulum grzyba *P. tinctorius* do mikoryzacji siewek z odkrytym systemem korzeniowym, jak też hodowanych w pojemnikach (Marx i in. 1982, 1984). Jako podłoże do masowej hodowli inokulum mikoryzowego wykorzystywano głównie wermikulit wymieszany z torfem.

W Europie stosunkowo największy postęp w wytwarzaniu komercyjnych szczepionek z grzybami mikoryzowymi obserwuje się we Francji. Tam, głównie dzięki osiągnięciom w utrzymywaniu żywych komórek grzybów w alginatach, rozwinęła się produkcja inokulum mikoryzowego w postaci mikrogranulek. Grzybnia hodowana jest początkowo w pożywkach płynnych, a następnie formowana w niewielkie granulki, które otaczane są substancją żelującą (Le Tacon i in. 1985, Mauperin i in. 1987). Wytworzona w ten sposób szczepionka jest bardzo skuteczna.

W Polsce pierwsze doświadczenia mikoryzacji siewek sosny w szkółce leśnej czystymi kulturami grzybów ektomikoryzowych przeprowadził Pachlewski (1983).

Do szczepienia siewek sosny wybrał inokulum grzybów wytworzone na pożywce płynnej. Sosnę wysiał w rzędy, a szczepienia wykonał 55–65 dni po wysiewie nasion, w fazie rozwoju u sosny pierwszych pojedynczych igieł oraz korzeni bocznych pierwszego rzędu. Autor ten wykopywał wzdłuż rzędów siewnych rowki inokulacyjne o głębokości około 5 cm i wlewał w nie wodną zawiesinę określonego gatunku grzyba. Po zabiegu rowki zasypywano glebą. Udatność tych szczepień była zróżnicowana. Stosunkowo dobre efekty uzyskał z grzybami *H. crustuliniforme, L. rufus* i *L. laccata*. Metoda ta w leśnictwie nie znalazła praktycznego zastosowania. Autor ten jednakże stale zwracał uwagę na konieczność intensyfikacji w naszym kraju badań dotyczących szczepień mikoryzowych, upatrując w tym zabiegu możliwość ulepszenia technologii hodowli materiału sadzeniowego nie tylko w szkółkach gruntowych, ale i na różnych substratach hodowlanych. Tę intensyfikację badań nad szczepieniem sadzonek drzew leśnych biopreparatami z grzybami ektomikoryzowymi stymulował w Polsce z jednej strony rozwój szkółkarstwa kontenerowego, a z drugiej postępująca degradacja gleb leśnych w wyniku imisji przemysłowych, potrzeba zalesiania gruntów poprzemysłowych i porolnych, stosunkowo duża co roku powierzchnia pożarów oraz problemy z przeżywalnością w tych warunkach upraw leśnych.

Zasadniczym punktem zwrotnym, który w konsekwencji doprowadził do wytworzenia komercyjnego biopreparatu mikoryzowego i opracowania polskiej technologii sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych, był rok 1992, w którym w Polsce miały miejsce pożary lasów na skalę niespotykaną do tej pory w Europie. W Nadleśnictwie Rudy Raciborskie spłonęło wtedy około 10 tysięcy hektarów lasu. W celu zalesienia tego pożarzyska i rekultywacji biologicznie zniszczonej gleby, kierownictwo Lasów Państwowych podjęło decyzję o budowie nowoczesnej szkółki kontenerowej, produkującej sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym oraz sztucznej mikoryzacji produkowanego tam materiału sadzeniowego.

Pierwszy, komercyjny polski biopreparat z grzybem *H. crustuliniforme* oraz technologię jego wytwarzania i stosowania opracowano w roku 2000, co było efektem współpracy Katedry Fitopatologii Leśnej Akademii Rolniczej w Krakowie z Dyrekcją Generalną Lasów Państwowych w Warszawie. Obecnie oryginalny biopreparat wytwarzany jest w dwóch laboratoriach Lasów Państwowych – w Leśnym Banku Genów Kostrzyca i Nadleśnictwie Rudy Raciborskie. Zawiera on żywą, wegetatywną grzybnię *H. crustuliniforme* (włośnianka rosista). Grzyb ten występuje w Polsce pospolicie w lasach iglastych i liściastych. Jego owocniki można spotkać w lesie od późnego lata do późnej jesieni (fot. IV.2.). Szczep, na którym opiera się produkcja biopreparatu, cechuje bardzo duża aktywność mikoryzogenna. Został on wyizolowany i wyselekcjonowany w laboratorium Katedry Fitopatologii Leśnej Akademii Rolniczej w Krakowie, a jego autentyczność w produkcji biopreparatu jest stale monitorowana przez to laboratorium. Nośnikami tej grzybni w biopreparacie są wermikulit i torf kwaśny.

W laboratorium szkółki kontenerowej w Rudach Raciborskich, oprócz wyżej wymienionego, wytwarzany jest również biopreparat na bazie grzyba *L. bicolor*, według technologii szkółki ROBIN (Francja). Z badań wynika, że opracowany w Polsce biopreparat na bazie grzyba *H. crustuliniforme* może być wprowadzony

Fot. IV.2. Owocniki grzyba *Hebeloma crustuliniforme*

na skalę gospodarczą do praktyki leśnej, głównie w szkółkach kontenerowych, ale również w technologii produkcji materiału sadzeniowego na substracie torfowym w inspektach, skrzyniach itp. Jest przy tym stosunkowo prosty w użyciu. Można bowiem mieszać go w odpowiednich proporcjach objętościowych z substratem hodowlanym przed napełnieniem kaset lub formowaniem inspektu. Nadaje się do mikoryzacji zarówno sadzonek iglastych (sosna, świerk, modrzew) jak i liściastych (dąb, buk, grab, brzoza, lipa). Z równie pozytywnym skutkiem może być wprowadzony do substratu hodowlanego torfowo-perlitowego sterylizowanego i niesterylizowanego. Możliwość przechowywania biopreparatu przez dłuższy czas w niskiej temperaturze (10°) umożliwia jego magazynowanie i dostarczenie w odpowiednim czasie do miejsca siewu (fot. IV.3.).

Biopreparat w workach foliowych przygotowany jest na podłożu wermikulitowo-torfowym i zawiera żywe strzępki aktywnego szczepu W40 grzyba ektomikoryzowego *H. crustuliniforme*. Jego stosowanie w praktyce leśnej uwarunkowane jest przestrzeganiem określonych norm technologicznych (Kowalski 2005). Kilkuletnie doświadczenia z wdrażaniem do praktyki leśnej zabiegu sterowanej mikoryzacji pozwoliły na wypracowanie takiego postępowania technologicznego, które wskazuje dość jednoznacznie na uzyskiwanie wymiernych efektów hodowlanych w szkółkach leśnych i uprawach (Szabla 2004). Rozwój wdrażanej w Lasach Państwowych technologii sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych grzybem *H. crustuliniforme* w ostatnich trzech latach ilustrują tabele IV.1. i IV.2.

Fot. IV.3. Biopreparat z grzybem *Hebeloma crustuliniforme* przechowywany w chłodni Leśnego Banku Genów Kostrzyca

Tabela IV.1.
Ilościowe zestawienie wytworzonego biopreparatu i wyhodowanych sadzonek różnych gatunków drzew leśnych poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* w pojemnikach i w inspektach (korytach) w latach 2004–2006

Rok wdrażania technologii sterowanej mikoryzacji	2004	2005	2006	Razem 2004–2006
Ilość wytworzonego biopreparatu (litry)	47 600	52 500	50 666	150 766
Liczba szkółek, w których sadzonki hodowano w: a) pojemnikach b) inspektach (korytach)	 22 16	 28 24	 20 23	 28 38
Liczba sadzonek wyhodowanych w pojemnikach	6 706 912	5 307 764	5 506 914	17 521 590
Liczba sadzonek wyhodowanych w inspektach (korytach)	1 926 576	1 950 415	2 219 315	6 096 306
Ogólna liczba sadzonek	**8 633 488**	**7 258 179**	**7 715 229**	**23 617 896**

Tabela IV.2.
Ilościowe zestawienie gatunków drzew poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* w latach 2004–2006, hodowanych w pojemnikach i w inspektach (korytach)

Gatunek drzewa	Liczba sadzonek w latach wdrażania technologii (tys.):							
	2004		2005		2006		Razem 2004–2006	
	K[1]	I[2]	K[1]	I[2]	K[1]	I[2]	K[1]	I[2]
Sosna zwyczajna	3853,2	1419,4	3422,8	1465,1	3346,5	1533,4	10622,5	4417,9
Sosna czarna					6,7		6,7	
Świerk pospolity	1288,0	329,0	649,1	252,7	615,4	369,3	2552,5	951,0
Modrzew europejski	429,8	98,5	317,1	111,7	156,3	49,7	903,2	259,9
Jodła pospolita	44,9		21,4		6,2		72,5	
Daglezja zielona	8,4	15,0					8,4	15,0
Dąb szypułkowy	714,3		323,9		687,8	9,5	1726,0	9,5
Dąb bezszypułkowy					102,1	20,0	102,1	20,0
Dąb czerwony					9,4		9,4	
Buk pospolity	343,3	64,7	550,5	121,0	531,8	237,4	1425,6	423,1
Brzoza brodawkowata	12,3						12,3	
Lipa drobnolistna	12,7		23,0		44,7		80,4	
Ogółem	**6706,9**	**1926,6**	**5307,8**	**1950,5**	**5506,9**	**2219,3**	**17521,6**	**6096,4**

[1] Sadzonki hodowane w pojemnikach.
[2] Sadzonki hodowane w inspektach i korytach.

Korzyści, jakie wynikają ze stosowania w praktyce szkółkarskiej biopreparatu z grzybem *H. crustuliniforme*, to głównie poprawa wzrostu i rozwoju sadzonek, w szczególności biopreparat:
- zwiększa liczbę korzeni bocznych, zwłaszcza krótkich, obficie wyposażonych w ektomikoryzy;
- zwiększa powierzchnię chłonną korzeni dzięki obfitości grzybni ekstramatrykalnej, przerastającej substrat hodowlany;
- poprawia zaopatrzenie sadzonek w wodę i zwiększa tolerancję na suszę;
- poprawia bilans wykorzystania składników pokarmowych z nawożenia mineralnego;
- poprawia jakość handlową sadzonek, zwłaszcza ich wybarwienie;
- zwiększa odporność sadzonek na choroby korzeniowe;
- w hodowli kontenerowej poprawia zwięzłość bryłki korzeniowej;
- zmniejsza ryzyko zamierania korzeni drobnych przy przesadzaniu;
- zwiększa przeżywalność sadzonek w uprawach.

V. Potrzeby w zakresie produkcji sadzonek drzew leśnych szczepionych grzybami ektomikoryzowymi

Prof. dr hab. Andrzej Grzywacz, Katedra Ochrony Lasu i Ekologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Problemy zalesień i odnowień tak zwanych gruntów trudnych

Niektóre tereny znajdujące się obecnie w administracji Lasów Państwowych (LP), a także planowane do przekazania leśnictwu, to gleby zdegradowane pod względem fizycznym, chemicznym i biologicznym wskutek długotrwałego działania różnych czynników, co w bardzo znacznym stopniu obniża udatność sadzenia, zakłóca prawidłowy wzrost i rozwój sadzonek oraz zdrowotność wyrastających z nich młodych drzew. Do tzw. gruntów trudnych należą tereny: leśne oraz porolne w rejonach przemysłowych o dużych i podwyższonych koncentracjach zanieczyszczeń powietrza, rekultywowane, jak też przekazywane na cele leśne (hałdy, wysypiska, wyrobiska kopalń odkrywkowych, a także materiału podsadzkowego, niektóre obszary szkód górniczych itp.). Są to również byłe poligony wojskowe (w tym długookresowo użytkowane przez wojska radzieckie), leśne po pożarach (głównie wielkoobszarowych, całkowitych), różnego typu nieużytki poprzemysłowe, grunty porolne do zalesień oraz już zalesione na gruntach porolnych, jak też w bardzo silnym stopniu porażone przez patogeny korzeniowe tereny leśne i przeznaczone do zalesień wzdłuż istniejących oraz budowanych autostrad, a także dróg szybkiego ruchu.

W Polsce w 1998 r. planowano w pierwszej kolejności wybudowanie pięciu odcinków autostrad – o numeracji A-1, 2, 3, 4, 12 – o łącznej długości 2315 km. Oszacowano wówczas, że wymagać to będzie wycięcia drzewostanów na długości 381 km, o powierzchni 2667 ha. Bareja (1999) podaje, że na 1 km autostrady wycina się u nas przeciętnie 7 ha lasu, a degradacji ulega 20 ha (łącznie z węzłami drogowymi i miejscami obsługi pasażerów, tzw. MOP-ami). W związku z budową autostrad szacowany obszar degradacji lasów może wystąpić na powierzchni 9 tysięcy hektarów, w 78 nadleśnictwach. Do zalesień i odnowień tych terenów powinien być użyty materiał mikoryzowany, w tym przede wszystkim sadzonki gatunków drzew liściastych. Po okresie zastoju w realizacji programu budowy autostrad, spowodowanego głównie brakiem środków finansowych oraz przedłużającymi się procedurami związanymi z wykupem gruntów, można ostatnio zauważyć ożywienie prac. Na przykład

w 2006 r. oddano do eksploatacji odcinek Konin–Stryków na trasie A-2 oraz niektóre odcinki autostrady A-4, co umożliwiło swobodny przejazd na łącznym odcinku Krzywa k. Bolesławca – Kraków. W związku z przekazaniem znacznych środków z funduszy Unii Europejskiej na ten cel wydaje się, że jest szansa na zrealizowanie I etapu budowy autostrad, co przewiduje się na lata 2007–2013.

Powierzchnia gruntów leśnych będących w administracji LP, wyłączonych na cele nieleśne w latach 1947–1997, wyniosła około 50 tysięcy hektarów, czyli średnio w roku 980 ha (Krzaklewski 1998). W latach 2000–2004 przekazywano średnio w roku na takie cele 600 ha, z czego z zasobów LP – 413 ha, co oznacza obecnie pewne zmniejszenie tempa przekazywania gruntów leśnych. Wyłączenia najczęściej dotyczyły zapotrzebowania na użytki kopalne, terenów przeznaczonych na cele komunikacyjne, przemysłowe, pod rozbudowę miast i osiedli, budowę zbiorników i urządzeń wodnych, a także innych potrzeb publicznych (GUS 2005). W latach 1947–1997 około połowa takich powierzchni została zrekultywowana i ponownie przekazana na potrzeby gospodarki leśnej. Średnio w roku wynosiło to 451 ha, łącznie zaś przekazano 23 tys. ha. Można przyjąć, że obecnie i w najbliższej przyszłości proporcje oraz tempo wyłączania na cele nieleśne obszarów lasu oraz ponowne ich włączenie po rekultywacji do leśnictwa może być podobne, czyli takie, jakie miało miejsce w ostatnich latach, a więc około 200–300 ha rocznie. Mimo stosowania różnych typów i form rekultywacji gleb, na przekazywanych Lasom Państwowym terenach pokopalnianych oraz poprzemysłowych jest ona zdegradowana, uboga w florę, faunę, jak też mikroorganizmy, w tym szczególnie grzyby glebowe i mikoryzowe. Pewną formą złagodzenia skutków „zaburzeń glebowych" na takich obszarach jest stosowanie do zalesień sadzonek sztucznie mikoryzowanych.

Największy obszar zdegradowanych siedlisk, w tym gleb, występuje w lasach uszkodzonych przez emisje zanieczyszczeń powietrza (gazy i pyły). Niestety, ogólna powierzchnia drzewostanów uszkodzonych przez oddziaływanie zanieczyszczeń pochodzenia przemysłowego, komunalnego i komunikacyjnego stale rośnie, począwszy od 1971 r., gdy dokonano pierwszej w całym kraju inwentaryzacji tego typu. W 1990 r. powierzchnia uszkodzonych drzewostanów wynosiła 1,1 mln ha, w 2000 r. już 4,0 mln ha, w ostatnich natomiast latach obserwuje się lekką tendencję spadkową wskutek zmniejszenia emisji zanieczyszczeń. W 2004 r. powierzchnia drzewostanów uszkodzonych oddziaływaniem gazów i pyłów w LP wyniosła 3,9 mln ha, z czego w strefie uszkodzeń słabych 3230 tys. ha, średnich 662 tys. ha i silnych (katastrofalnych) 18 tys. ha (GUS 2005). Powierzchnia drzewostanów uszkodzonych stanowi 55,8% ogólnej powierzchni administrowanej przez Lasy Państwowe. Najpoważniejsze problemy ze stanem zdrowotnym i sanitarnym uszkodzonych drzewostanów występują w strefie uszkodzeń średnich oraz silnych (II i III strefa), a tym samym pojawiają się tam problemy odnowieniowe, hodowlane i ochronne. Największy udział drzewostanów uszkodzonych przez zanieczyszczenie powietrza występują na terenie RDLP: Radom, Wrocław, Katowice i Poznań (ponad 90%). Najwięcej drzewostanów uszkodzonych w stopniu średnim i silnym znajduje się na terenie RDLP (w tys. ha): Katowice – 323, Wrocław – 145, Łódź – 83, Radom – 39, Krosno – 38 (GUS 2005). Uszkodzenia lasów przez przemysłowe zanieczyszczenia powietrza, mimo zanotowania w ostatnich latach stopniowej po-

prawy sytuacji, jest nadal jednym z najpoważniejszych problemów współczesnego leśnictwa w Polsce (jak też w wielu krajach uprzemysłowionych), prowadzące do klęsk ekologicznych, deforestacji stałej lub przejściowej, co miało miejsce w Karkonoszach, Górach Izerskich, a także wielu nadleśnictwach Górnośląskiego, Krakowskiego, Lubińsko-Głogowskiego Okręgu Przemysłowego oraz innych regionach kraju. Stosowanie na takich terenach zmikoryzowanego materiału sadzeniowego tylko częściowo może zmniejszyć stresy i zaburzenia fizjologiczne we wzroście sadzonek na glebach zakwaszonych, zdegradowanych i zmienionych pod względem mikrobiologicznym (co do struktury, ilości i liczebności populacji bakterii, grzybów oraz innych organizmów bytujących w glebach, o znaczącej roli w prawidłowym wzroście drzew).

Część drzewostanów – znajdujących się pod wpływem emisji zanieczyszczeń powietrza, uszkodzonych na skutek klęsk żywiołowych (powodzie, wiatrowały i wiatrołomy), zniszczonych przez choroby oraz szkodniki (grzyby, owady), o niezgodnym z siedliskiem składzie gatunkowym – jest przebudowywana. Przebudowa drzewostanów znajdujących się pod wpływem emisji i klęsk żywiołowych miała miejsce na powierzchni (w tys. ha) w: 1998 r. – 7,6; 2000 r. – 8,6; 2002 r. – 5,4; 2004 r. – 8,4 tys. W 2004 roku miało to miejsce głównie w regionalnych dyrekcjach LP: Katowice, Wrocław, Białystok i Łódź. W ramach przebudowy odnowiono sztucznie 4,9 tys. ha zrębów zupełnych, 2,9 tys. ha drzewostanów w rębniach złożonych, 485 ha halizn oraz płazowin, dolesiono luki i przerzedzenia na 457 ha, a także wprowadzono II piętro na 1214 ha drzewostanów (GUS 2005).

Szkody górnicze na obszarach leśnych w zarządzie Lasów Państwowych nie zmniejszają się w stosunku do lat dawniejszych, mimo ograniczenia ostatnio eksploatacji kopalin (głównie wydobycia węgla kamiennego). Na przykład w 1998 r. wystąpiły na powierzchni około 30 tys. ha, w tym osiadanie terenu – 12 tys. ha, zawodnienie terenu – 2 tys. ha, jak też osuszenie terenów leśnych – 16 tys. ha. Natomiast w 2004 roku powierzchnia lasów, na których wystąpiły szkody spowodowane przez działalność górnictwa, miała obszar 37,9 tys. ha, z czego osiadanie terenu odnotowano na 17,5 tys. ha, zawadnianie – 2 tys. ha, osuszanie – 18,4 tys. ha (GUS 2005).

Tereny zniszczone przez pożary lasów również należą do obszarów trudnych do odnowienia. Powierzchnia i liczba pożarów lasów nadal utrzymują się na znacznym poziomie. W 1992 roku, rekordowym pod względem liczby powierzchni objętej pożarami, było 9305 pożarów, w tym 26 bardzo dużych (największy w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie – ponad 9 tys. ha). Łączna powierzchnia dotknięta wówczas pożarami obejmowała ponad 33 tys. ha. W dziesięcioleciu 1995–2004 liczba pożarów oscylowała w granicach od 4480 (w 2001 r.) do 17 088 (w 2003 r.), łączna zaś powierzchnia lasów dotknięta pożarami objęła od 4019 ha (w 1998 r.) do 21 500 ha (w 2003 r.). Przeciętna powierzchnia jednego pożaru wynosiła od 0,51 ha (w 2002 r.) do 1,88 ha (w 1996 r.). Pożary drzewostanów na obszarach będących w zarządzie Lasów Państwowych w tym samym okresie zawierały się co do liczby w granicach 2044 (2001 r.) – 8209 (2003 r.), a powierzchnia dotknięta pożarami wyniosła w 2001 r. 685 ha, zwiększając się do 4182 ha w 2003 r. (GUS 2005).

Bezpośrednio po drugiej wojnie światowej lasy w nowych granicach Polski zajmowały 6470 tys. ha, co stanowiło 20,8% ogólnej powierzchni geograficznej kraju

i było najmniejszą lesistością w tysiącletniej historii naszego państwa. W latach 1946–2005 obszar lasów powiększono do 8990 tys. ha, czyli o 38,9%, co oznacza, że lesistość powiększono o 8%, to jest do 28,8% (GUS 2005, GDLP 2006). Powierzchnia leśna w ostatnim sześćdziesięcioleciu powiększyła się o ponad 2,5 mln ha, czyli o ponad połowę areału, dzięki intensywnemu zalesianiu gruntów rolnych, najczęściej o niskiej jakości (bonitacji) gleby, nieużytków właściwych, a także poprzez przejmowanie terenów zadrzewionych i zakrzewionych drogą naturalnej sukcesji leśnej oraz porządkowanie stanu ewidencji gruntów. W latach 1946–2005 zalesiono grunty o powierzchni 1416 tys. ha, czyli przeciętnie w jednym roku 23,2 tys. ha, w tym 57% na gruntach stanowiących własność skarbu państwa (tabela V.1.). W omawianym okresie zalesienia miały zróżnicowane tempo, najintensywniejsze były w latach sześćdziesiątych ub. w. (po ponad 60 tys. ha rocznie), najsłabsze na początku lat osiemdziesiątych minionego wieku – przeciętnie tylko po 6 tys. ha rocznie (GUS 2005). Największe powierzchnie (państwowe oraz niepaństwowe) zalesiono w Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych: Olsztyn, Białystok, Poznań i Toruń, a także Lublin, Szczecinek, Szczecin i Łódź.

Leśnictwo polskie ma duże osiągnięcia w zwiększaniu lesistości kraju, jak też konkretne plany na przyszłość dzięki wykreowanej polityce leśnej państwa, przyjętej przez rząd i parlament. Potrzebna jest nadal żywa akceptacja społeczna dla tej idei, jej sprzymierzeńcy, zrozumienie roli lasów i leśnictwa w regionalnym rozwoju obszarów wiejskich oraz – co jest oczywiste – odpowiednie środki finansowe (Grzywacz 2002a). Ten ogromny, bezprecedensowy w historii kraju zalesieniowy wysiłek leśników i całego społeczeństwa, nie jest – niestety – doceniony. Słyszy się nawet, w całkowitej niezgodzie z prawdą, że lasów w Polsce ostatnio ubywa. Łącznie z przedwojennymi zalesieniami ponad 40% lasów rośnie na gruntach użytkowanych uprzednio przez rolnictwo (grunty orne, łąki, pastwiska), co ma wielorakie, negatywne konsekwencje biologiczne i ekologiczne, zwłaszcza dla zdrowotności tych drzewostanów.

Mimo znacznego przyrostu lesistości, odbiega ona od optymalnej, określonej dla naszych warunków przyrodniczoleśnych i ekonomicznych na około 34%.

Tabela V.1.
Zalesienia gruntów w latach 1946–2005

Lata	Grunty zalesione w tys. ha		Procentowy udział zalesień na gruntach Skarbu Państwa
	ogółem	przeciętnie w roku	
1946–1949	67	13,4	87
1950–1955	186	30,9	50
1956–1960	227	45,3	51
1961–1965	278	55,5	55
1966–1970	177	33,3	60
1971–1975	94	18,8	59
1976–1980	79	15,7	61
1981–1985	32	6,3	67
1986–1990	36	7,2	60
1991–1995	53	10,7	66
1996–2000	96	19,1	61
2001–2005	93	18,6	53
1946–2005	**1416**	**23,2**	**57**

Dane wg GUS.

Dlatego w założeniach „Polityki leśnej państwa" przyjętej przez rząd w 1997 r. uznano potrzebę dalszego zwiększenia powierzchni leśnej do 30% terytorium kraju w roku 2020 i 33% w roku 2050. Założenia te przyjęto na podstawie „Polskiej polityki kompleksowej ochrony zasobów leśnych" (1994), „Krajowego programu zwiększenia lesistości" (1995) oraz innych opracowań szczegółowych. Na temat założeń oraz problemów z realizacją zwiększania lesistości istnieje bogata literatura, na przykład autorów: Fonder i inni (1999), Gorzelak (1999), Tomaszewski, Fonder (1999), Puchniarski (2000), Rudawska (2000), Grzywacz (2002a), a także „Krajowy program zwiększania lesistości" (MOŚZNiL 1995) oraz materiały Rady Leśnictwa przy MOŚZNiL „Zalesienia gruntów porolnych" (1999).

Część byłych terenów rolniczych już zalesionych oraz gruntów porolnych przeznaczonych do zalesienia w przyszłości należą do tzw. gruntów trudnych, gdzie materiał sadzeniowy powinien być mikoryzowany. Główne założenia „Krajowego programu zwiększenia lesistości na lata 1995–2020" przedstawiono w tabeli V.2.

Tabela V.2.
Główne założenia Krajowego Programu Zwiększania Lesistości (na lata 1995–2020)

Okres zadania	Jednostka miary	Grunty		
		państwowe	prywatne	razem
1995–2000 Zalesienia Zalesienia Prace przygotowawcze	 tys. ha mln zł mln zł	 50,0 75,0 15,0	 50,0 37,5 15,0	 100,0 112,5 30,0
Ogółem	**mln zł**	**90,0**	**52,5**	**142,5**
średnio 23,7 mln zł rocznie 16,6 tys. ha rocznie, w tym LP 8,3 tys. ha rocznie				
2001–2010 Zalesienia Zalesienia Prace przygotowawcze	 tys. ha mln zł mln zł	 100,0 150,0 12,0	 140,0 105,0 18,0	 240,0 255,0 30,0
Ogółem	**mln zł**	**162,0**	**123,0**	**285,0**
średnio 28,5 mln zł rocznie 24 tys. ha rocznie, w tym LP 10 tys. ha rocznie				
2011–2020 Zalesienia Zalesienia Prace przygotowawcze	 tys. ha mln zł mln zł	 100,0 150,0 11,0	 160,0 120,0 19,0	 260,0 270,0 30,0
Ogółem	**mln zł**	**161,0**	**139,0**	**300,0**
średnio 30 mln zł rocznie 26 tys. ha rocznie, w tym LP 10 tys. ha rocznie				
Łącznie	**tys. ha**	**250,0**	**350,0**	**600,0**
	mln zł	**413,0**	**314,5**	**727,5**

Wg Tomaszewskiego i Fondera (1999).

Możliwości hodowli mikoryzowanych sadzonek drzew leśnych

Szkółkarstwo i szkółki leśne Lasów Państwowych podlegały w ostatnim sześćdziesięcioleciu (od zakończenia drugiej wojny światowej) zasadniczym przemianom pod względem organizacyjnym, stosowanych technologii, zaplecza i wyposażenia oraz hodowanego asortymentu materiału sadzeniowego. Wielkość produkcji, co jest zrozumiałe, w zdecydowanym stopniu była i jest uzależniona od zmieniających się potrzeb na sadzonki do odnowień, wprowadzania podszytów, przebudowy drzewostanów, zalesień gruntów porolnych i nieużytków stanowiących własność Skarbu Państwa oraz zalesień gruntów osób prywatnych (tabela V.3.). W ostatnim dwudziestoleciu wzrosło zapotrzebowanie na sadzonki roślin ozdobnych, przeznaczonych do ogródków przydomowych, na działki pracownicze i tereny rekreacyjne. Hodowlą do tych celów zajmuje się głównie szkółkarstwo prywatne, ale swój udział mają również szkółki Lasów Państwowych.

Szkółkarstwo stało się oddzielnym przedmiotem wykładowym na wydziałach leśnych wyższych uczelni, dzięki czemu w większości nadleśnictw pracują wyspecjalizowani leśnicy-szkółkarze. Obowiązuje specjalistyczne ustawodawstwo i rejonizacja nasienna. Zorganizowano również stałe szkolenia i kursy w tym zakresie, na podstawie wyników badań naukowych wprowadzono nowe technologie pozyskiwania, przechowywania i przygotowywania nasion do siewu, stosuje się nowe urządzenia i sprzęt specjalistyczny. W coraz większym zakresie sadzonki pochodzą z tzw. produkcji specjalistycznej w warunkach kontrolowanych oraz z zakrytym systemem korzeniowym, wprowadzono mikoryzację sadzonek z przeznaczeniem

Tabela V.3.
Ogólna charakterystyka produkcji w szkółkach Lasów Państwowych w okresie ostatniego półwiecza (1955–2005)

Rok	Całkowita produkcja roczna			Powierzchnia produkcyjna (ha)
	ogółem (mld szt.)	procent gatunków iglastych	procent siewek jednorocznych	
1955	1,65	74	–	1521
1960	3,45	78	85	3851
1965	3,96	71	81	4371
1970	2,79	76	72	4068
1975	2,02	80	71	3903
1980	1,70	76	70	3645
1985	1,83	60	58	3440
1990	1,48	64	60	3231
1995	1,65	61	57	3505
2000	1,21	56	56	3382
2005	1,11	50	50	3095

Wg danych GDLP oraz GUS.

Tabela V.4.
Specjalistyczna produkcja materiału sadzeniowego w szkółkach Lasów Państwowych

Rok	Produkcja specjalistyczna siewek i sadzonek	
	mln szt.	procent produkcji ogółem
1995	72,6	4,4
1996	73,9	4,4
1997	92,8	6,6
1998	72,8	5,2
1999	85,9	6,1
2000	74,3	6,2
2001	74,0	5,2
2002	72,2	5,4
2003	63,9	5,6
2004	85,7	7,7

Dane wg GUS.

ich do zalesień i odnowień tzw. gruntów trudnych. Możemy zatem mówić o polskim modelu szkółkarstwa leśnego (Fonder 2007 L.c.).

W stosunku do ogólnej hodowli w szkółkach leśnych udział produkcji specjalistycznej materiału sadzeniowego systematycznie rośnie. Jak wyliczył Gorzelak (1993), w 1990 r. wynosiła ona około 3,4% całkowitej liczby sadzonek, w 1995 r. – 4,4%, w 2000 – 6,2%, a w 2004 – 7,7% (GUS 2005, tabela V.4.). Znacznie zróżnicowany w regionalnych dyrekcjach LP jest rozmiar produkcji specjalistycznej sadzonek w warunkach kontrolowanych (namioty foliowe, inspekty, szklarnie, metody Dünemanna) i z zakrytym systemem korzeniowym (baloty, doniczki, różnego typu pojemniki oraz kontenery). Udział tego typu produkcji sadzonek do hodowli ogólnej wynosił w 2004 r. w RDLP: Kraków 31%, Katowice 28,9%, Warszawa 16,4%, Radom 14,9%, natomiast Toruń 0%, Szczecin 0,7%, Olsztyn 0,8%, Lublin 1,0% i Szczecinek 1,2%. W 1998 r. prawie 80% produkcji sadzonek metodami specjalistycznymi miało miejsce w szkółkach produkcyjnych, głównie na potrzeby terenów lasów podgórskich i górskich (RDLP: Katowice, Kraków, Krosno i Wrocław). W 2004 r. szkółki tych dyrekcji wyprodukowały za pomocą metod specjalistycznych 61% sadzonek.

Sztuczną mikoryzację sadzonek drzew leśnych zaczęto wprowadzać w niektórych krajach na początku lat 70. ubiegłego wieku. Metody, szczegóły techniczne i problemy sztucznej mikoryzacji zostały opisane w licznych publikacjach, np.: Pachlewski (1993), Rudawska (1993, 1997, 2000), Kowalski (1998a), Szabla (2004) oraz w monograficznym podręczniku „Mycorrhizal symbiosis" (Smith, Read 1997) i wielu innych. W Polsce, jak do tej pory, sztucznie mikoryzuje się sadzonki dwoma metodami – według licencji francuskiej Robin Pepinieres (Saint Laurent du Cros) na bazie wyselekcjonowanego szczepu *Laccaria bicolor* oraz metody polskiej, zgodnie z propozycją prof. S. Kowalskiego, przy użyciu szczepionki z *Hebeloma crustuliniforme*. W 1999 r. wyprodukowano blisko 1 mln mikoryzowanych sadzonek różnych gatunków drzew (dwoma metodami mikoryzacji, w szkółce Nadleśnictwa Rudy Raciborskie w Nędzy). Był to pierwszy rok produkcji na większą skalę (Grzywacz 1999). Obecnie produkuje się około 10 mln sadzonek mikoryzowanych, co oznacza, że temu zabiegowi poddaje się mniej niż 1% wszystkich sadzonek drzew leśnych i 12–14% sadzonek wyprodukowanych metodami specjalistycznymi.

Zarówno hodowla sadzonek tradycyjnymi metodami, jak i metodami specjalistycznymi, w tym z zastosowaniem sztucznej mikoryzacji, zależy wyłącznie od po-

trzeb. Aktualnie szkółki Lasów Państwowych mają większe możliwości produkcyjne, nie są w pełni wykorzystywane, więc przy większym popycie na sadzonki mikoryzowane sprostają potrzebom rynku. W latach 2000–2005 całkowita produkcja roczna sadzonek w LP wynosiła nieco ponad 1 mld sztuk. W latach 60. ub.w., przy największym rozmiarze zalesień, wynosiła ona ponad 4 mld sztuk.

Przyszłe zadania w zakresie zwiększania lesistości kraju

Ogólna powierzchnia geograficzna Polski wynosi 31 268,5 tys. ha. Chcąc uzyskać 30% lesistości kraju, należy doprowadzić powierzchnie lasów do 9380 tys. ha w 2020 r. oraz do 10 319 tys. ha w 2050 r., co pozwoli uzyskać zakładaną lesistość na poziomie 33%. Dla osiągnięcia lesistości wynoszącej 30% w najbliższych piętnastu latach (2006–2020), należy zapewnić przyrost powierzchni leśnej o 390 tys. ha (wynik ten uzyskano poprzez odjęcie od 9380 tys. ha powierzchni leśnej zaplanowanej w 2020 r. od obecnej, wynoszącej pod koniec 2005 r. 8990 tys. ha). Oznacza to średniorocznie w całym okresie (przy założeniu równomiernego tempa) konieczność zalesiania 26 tys. ha gruntów państwowych i prywatnych. Mówić należy jednak o saldzie przyrostu powierzchni, uwzględniającym nieuchronne wyłączenia gruntów leśnych na cele nieleśne (tereny osiedlowe, przemysłowe, komunalne, komunikacyjne, zbiorniki retencyjne, użytki kopalń odkrywkowych oraz na inne przeznaczenie), która w ostatnich latach wynosi rocznie około 600 ha, z czego mniej niż połowa – po rekultywacji – wraca do gospodarki leśnej. Wobec tego należy przyjąć, że tempo tego typu wyłączeń może rosnąć ze względu na nasilenie urbanizacji oraz rozbudowę terenów komunikacyjnych i przemysłowych. Dlatego do analizy przyjęto na lata 2010–2020 ubytek około 800–1000 ha. W tej sytuacji potrzeby zalesieniowe należy zwiększyć do około 27 tys. ha rocznie.

Według „Krajowego programu zwiększania lesistości w latach 1995–2000" planowano zalesić średnio rocznie 16,6 tys. ha, w latach 2001–2010 około 24 tys. ha,

Tabela V.5.
Szacowany docelowy średnioroczny obszar wymagający prac nasadzeniowych w rozbiciu na 5-letnie okresy realizacyjne (w tys. ha)

Okresy	Zalesienia łącznie[1]	Zadania zagospodarowania w Lasach Państwowych[2]	Specjalne zadania nasadzeniowe[3]	Razem	
				tys. ha	proc.
2006–2010	26	85	4	115	100
2011–2015	27	90	5	122	106
2016–2020	27	95	7	129	112

[1] Zalesienia na gruntach stanowiących i niestanowiących własności Skarbu Państwa.
[2] Zadania zagospodarowania łącznie, czyli odnowienia sztuczne, w tym pożarzyska; poprawki i uzupełnienia; wprowadzanie podszytów; przebudowa drzewostanów (uszkodzonych przez emisje, klęski żywiołowe, zdegradowane przez czynniki biotyczne, zwłaszcza przez patogeny korzeniowe, o składzie gatunkowym niezgodnym z jakością siedlisk).
[3] Rekultywacja terenów przekazywanych leśnictwu (wyrobiska, hałdy, poligony wojskowe, nieużytki poprzemysłowe), dolesienia przy autostradach i terenach zdegradowanych przez komunikacyjne zanieczyszczenia powietrza, inne typy nasadzeń wymagających specjalnego materiału sadzeniowego.

a w latach 2011–2020 po 26 tys. ha. Jak wiadomo, w ostatnich latach nastąpiło zahamowanie zalesień, wynikające głównie z braku podaży odpowiednich gruntów, więc w celu wyrównania pewnych zaległości przyjęto dla najbliższego piętnostolecia jednakowe tempo zalesień po 27 tys. ha rocznie.

Ustawa o lasach z 1991 r. (wielokrotnie nowelizowana) daje podstawę prawną do dostarczania sadzonek na potrzeby zalesień na gruntach niestanowiących własności Skarbu Państwa. Takie rozwiązanie pozwala przypisać całość produkcji materiału sadzeniowego, potrzebnego do kontynuowania realizacji „Krajowego programu zwiększenia lesistości", w ciężar zadań Lasów Państwowych.

Potrzeby w zakresie mikoryzacji sadzonek drzew leśnych w Polsce do roku 2020

Gorzelak (1993) wyliczył, że wzrost zadań szkółkarstwa, w związku z realizacją programu zwiększania lesistości, odnowienia lasu w reglu dolnym i górnym, bieżących odnowień (wraz z zadaniami pochodnymi) oraz przebudową drzewostanów może skutkować wzrostem zapotrzebowania na sadzonki od 17 do 50% zależnie od tego, czy zalesienia będą wynosiły 10 czy 30 tys. ha rocznie. Z wyliczeń wynika, że w analizowanym okresie wzrost ten, w stosunku do 2006 r., może wynieść około 6–12%, a do sadzonek mikoryzowanych – wielokrotność bieżącej podaży.

W celu rozwiązania sytuacji Gorzelak (1993) proponował kilka przedsięwzięć: koncentrację produkcji sadzonek gatunków liściastych w szkółkach zadrzewieniowych, których powierzchnie nie były dostatecznie wykorzystywane, uruchomienie rezerwy powierzchni ugorowanych w szkółkach, zwiększenie powierzchni produkcyjnej przez zakładanie nowych szkółek, wykonanie części zadań zalesieniowych siewem (brzoza, dąb i inne), tworzenie tzw. szkółek satelitarnych przy szkółkach centralnych, stosowanie wydajniejszych metod hodowli sadzonek, jak też zwiększenie produkcji sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym.

Dość trudno jest określić i zaplanować poziom mikoryzacji sadzonek dla poszczególnych zadań nasadzeniowych, gdyż nie ma dobrych wzorców zagranicznych, ani własnych kryteriów i zasad. Do symulacji potrzeb mikoryzacji sadzonek drzew leśnych przyjęto więc następujące założenia:

- Sadzonki do zalesień, gdzie przeważają grunty porolne, mogłyby być mikoryzowane do 2010 r. w 20%, do 2015 r. w 25% oraz do 2020 r. w 30%. Nie ma potrzeby mikoryzowania sadzonek: brzozy, olszy, klonów, jarzębiny, topoli, wierzby oraz krzewów liściastych (stosowanych jako przedplon). Nie muszą być również mikoryzowane sadzonki do zalesień gruntów, które krótko, tylko przejściowo, były użytkowane rolniczo lub długo były ugorowane, dzięki czemu pojawiły się wstępne stadia sukcesji leśnej.
- Do zadań zagospodarowania sadzonki mikoryzowane należy stosować na pożarzyskach oraz w niektórych przebudowywanych drzewostanach (uporczywe opieńczyska, tereny silnie porażone przez hubę korzeni, rejony o silnym i średnim stopniu uszkodzenia przez emisje zanieczyszczeń powietrza, a także zdegradowane katastrofalnymi powodziami). Do odnowień zrębów, halizn i płazowin, a także poprawek oraz uzupełnień na gruntach leśnych sadzonki nie muszą

być mikoryzowane. Założono, że do 2010 r. należałoby mikoryzować 5%, do 2015 r. 7–8%, a do roku 2020 około 10% sadzonek.

- Do celów rekultywacji leśnej terenów poprzemysłowych i pokopalnianych, na obszarach przy autostradach, silnie zdegradowanych poligonach i innych terenach specjalnych nasadzeń należałoby preferować stosowanie prawie wyłącznie sadzonek mikoryzowanych sztucznie. Proponuje się, aby do 2010 roku było to 80% sadzonek przeznaczonych do tych celów, a w okresie do 2015 roku i 2020 roku – 90% sadzonek.

Propozycje rozmiaru powierzchni przewidywanych do sadzenia materiałem mikoryzowanym przedstawiono w tabeli V.6. Gdyby dla prostoty wyliczeń przyjąć, że na 1 ha nasadzeń (różnego typu) potrzeba około 10 tys. sadzonek (chociaż wiadomo, że do różnych celów stosujemy więźbę sadzenia wymagającą użycia na 1 ha od 4,5 do 13 tys. sadzonek, a niekiedy i więcej), to do roku 2010 potrzebne byłoby około 120 mln sadzonek mikoryzowanych rocznie, do 2015 r. około 170 mln, a w 2020 r. około 230 mln łącznie dla wszystkich zróżnicowanych potrzeb nasadzeniowych. Jest to oczywiście maksymalne założenie programu mikoryzacji w naszym kraju. Należy przypomnieć, że obecna produkcja wynosi tylko 10 mln sztuk, co oznacza w przyszłości potrzebę wielokrotnego zwiększenia produkcji tego typu sadzonek.

Przyjmując wielkość produkcji mikoryzowanych sadzonek w wytypowanej, specjalistycznej szkółce rocznie na poziomie około 3 mln sztuk, to do 2010 r. należałoby mieć przynajmniej dwie takie szkółki w każdej regionalnej dyrekcji Lasów Państwowych, a w niektórych, zależnie od potrzeb, nawet trzy. Do roku 2020 około 50–60 szkółek w całym kraju mogłoby zajmować się produkcją sadzonek mikoryzowanych, to znaczy – przeciętnie rzecz biorąc – po trzy (lub cztery) szkółki w każdej regionalnej dyrekcji LP.

Nie wykonano symulacji kosztów zaspokojenia potrzeb w zakresie mikoryzacji sadzonek. Należy jednak pamiętać, że w stosunku do produkcji sadzonek tradycyjnymi metodami koszty wyhodowania sadzonek mikoryzowanych są większe, a także trzeba się liczyć z kosztami budowy potrzebnych do tego celu urządzeń, łącznie z wytwórniami szczepionek grzybni (Szabla 2004).

Tabela V.6.
Wielkość powierzchni przewidywanych do sadzenia materiałem mikoryzowanym (w tys. ha)

Okresy	Zalesienia łącznie[1]	Zadania zagospodarowania w Lasach Państwowych[2]	Specjalne zadania nasadzeniowe[3]	Razem	
				tys. ha	proc.
2006–2010	5,2	4,2	3,2	12,6	100
2011–2015	6,7	6,7	4,0	17,4	138
2016–2020	8,1	9,5	5,6	23,2	184

Oznaczenia jak w tabeli V.5.

VI. Polski model szkółkarstwa leśnego

Mgr inż. Wojciech Fonder, Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, ul. Wawelska 52/54, 00-922 Warszawa

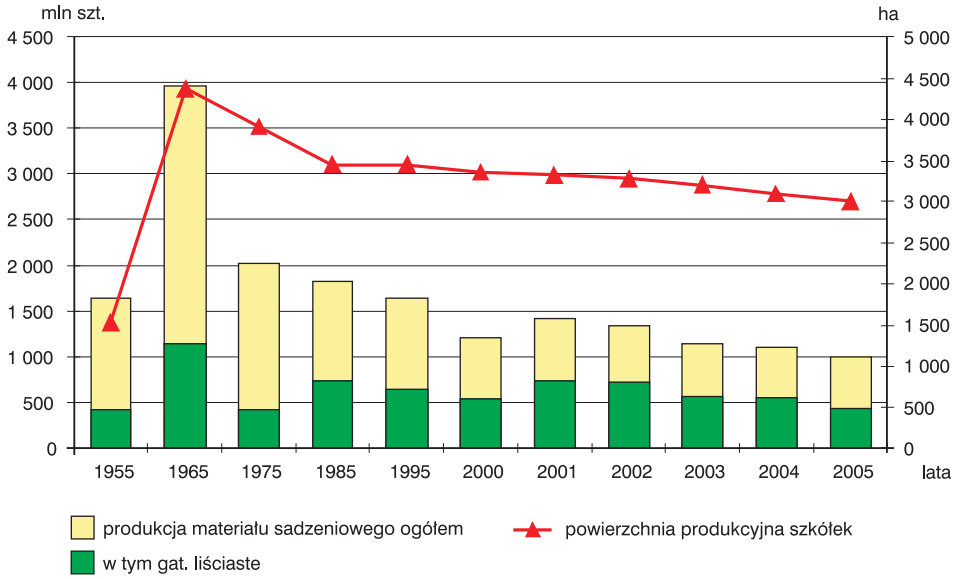
Historia

Nowoczesne nasiennictwo i szkółkarstwo, funkcjonujące w Lasach Państwowych, spełnia wiodącą, szczególną rolę w procesie kształtowania naszych lasów. Olbrzymi wysiłek organizacyjny i nakłady poniesione na stworzenie modelowego systemu szkółkarstwa leśnego pozwoliły na osiągnięcie poziomu, spełniającego wymagania trwale zrównoważonej gospodarki leśnej, który umożliwia zaliczenie polskiego leśnictwa do czołówki w środkowej Europie. Powstanie kompleksu nasienno-szkółkarskiego było możliwe dzięki konsekwentnej realizacji przyjętych kierunków działań we wszystkich jednostkach organizacyjnych Lasów Państwowych, przy odpowiednim wsparciu badaniami naukowymi. Wraz z rozbudową i modernizacją infrastruktury technicznej nastąpiła zmiana strategii w gospodarce nasiennej i szkółkarskiej oraz metodach ich prowadzenia. Obecnie nadleśnictwa Państwowego Gospodarstwa Leśnego Lasy Państwowe dysponują siecią szkółek leśnych pokrywających cały kraj oraz nowoczesnym zapleczem technicznym w postaci laboratoriów, przechowalni nasion i sadzonek. Model szkółkarstwa leśnego, którym tak się szczycimy (nazywany polskim modelem szkółkarstwa leśnego), powstawał przez wiele dziesięcioleci ubiegłego wieku.

Szkółkarstwo leśne po drugiej wojnie światowej, podobnie jak i inne działy leśnictwa w Lasach Państwowych, zostało odtworzone lub zbudowane od podstaw. Początkowo zakładano w leśnictwach niewielkie, czasowe szkółki gospodarcze, położone w pobliżu powierzchni odnowieniowych, mające za zadanie zaspokojenie potrzeb na materiał sadzeniowy do odnowienia powierzchni leśnych i zalesienia gruntów rolnych, ograniczone do zasięgu terytorialnego jednostki macierzystej. Takich małych, najczęściej kilkunastoarowych, szkółek znajdowało się w nadleśnictwie kilka lub kilkanaście. Uprawa gleby, siew i pielęgnacja materiału rozmnożeniowego była wykonywana ręcznie lub za pomocą sprzężaju konnego. W powszechnym użytkowaniu znajdowały się siewniki ręczne, znaczniki, opielacze i inne proste narzędzia. Szkół-

Tabela VI.1.
Produkcja szkółek leśnych w Lasach Państwowych w latach 1953–2005

Rok	Powierzchnia produkcyjna szkółek	Liczba szkółek	Przeciętna powierzchnia szkółki	Całkowita produkcja roczna szkółek				Przeciętna wydajność z 1 ara		Procentowy udział jednolatek w prod. polowej
				ogółem	z tego		w tym produkcja specjalist.	gat. iglaste	gat. liściaste	
					gat. iglaste i krzewy	gat. liściaste i krzewy				
	(ha)	(sztuk)	(ha)	(tys. sztuk)	(tys. sztuk)	(tys. sztuk)	(tys. sztuk)	(tys. sztuk)	(tys. sztuk)	(%)
1953	1 531,41	b.d.	b.d.	1 071 030	736 750	334 280		10,0	4,2	
1955	1 520,51	b.d.	b.d.	1 651 224	1 229 458	421 766		15,5	5,8	
1960	3 851,00	b.d.	b.d.	3 454 594	2 712 132	742 462		15,1	4,9	85
1965	4 371,17	b.d.	b.d.	3 958 237	2 814 048	1 144 189		15,1	6,9	81
1970	4 067,91	b.d.	b.d.	2 792 674	2 120 483	672 191		13,4	6,1	72
1975	3 903,43	b.d.	b.d.	2 023 681	1 611 827	411 854	2 015	12,5	5,4	71
1980	3 645,00	1 734	2,10	1 697 697	1 287 788	409 909	41 665	12,0	6,5	70
1985	3 439,87	1 435	2,40	1 829 336	1 101 581	727 755	46 653	11,9	7,0	58
1990	3 231,00	1 141	2,83	1 485 360	948 080	537 280	58 800	10,9	6,4	60
1995	3 439,87	1 390	2,52	1 645 579	996 144	649 435	72 645	10,0	6,0	57
1996	3 570,42	1 451	2,46	1 663 943	888 803	775 140	73 990	10,0	7,0	58
1997	3 550,02	1 408	2,52	1 401 928	748 669	653 259	92 799	10,4	6,0	48
1998	3 520,69	1 385	2,54	1 390 790	640 551	677 384	72 854	10,1	6,2	61
1999	3 429,73	1 290	2,66	1 407 107	711 104	696 003	85 953	10,3	6,5	56
2000	3 360,15	1 264	2,66	1 206 091	670 738	535 352	74 375	10,0	5,9	50
2001	3 317,22	1 231	2,69	1 410 445	674 339	736 106	74 016	10,2	6,5	68
2002	3 273,75	1 169	2,80	1 348 237	621 653	726 585	72 167	9,7	6,4	49
2003	3 202,53	1 136	2,82	1 148 445	583 584	564 861	63 953	9,9	5,9	45
2004	3 095,49	1 061	2,92	1 110 783	551 290	559 493	85 683	9,8	6,3	42
2005	**3 001,00**	**985**	**3,05**	**1 002 863**	**502 929**	**426 447**	**73 487**	**10,1**	**6,0**	**50**



Ryc. VI.1. Produkcja materiału sadzeniowego i powierzchnia produkcyjna szkółek leśnych w PGL LP w latach 1955–2005

ką zajmował się leśniczy, od którego wiedzy i doświadczenia zależał poziom oraz jakość hodowli sadzonek. Wachlarz gatunkowy sadzonek był skromny, z reguły przeważały gatunki iglaste, głównie sosna zwyczajna i świerk pospolity. Tak proste środki produkcji, oparte na pracy ręcznej, cechowała olbrzymia pracochłonność, jednak zapewniały one w ówczesnych czasach stosunkowo znaczną łączną hodowlę sadzonek, sięgającą blisko 4 miliardów sztuk rocznie (tab. VI.1., ryc. VI.1.).

Wielką zaletą tego typu hodowli sadzonek były, zbliżone do naturalnych, warunki wzrostu siewek, bardzo podobne do panujących w miejscach ich sadzenia. W latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku znacząco rozwinęły się nauki rolnicze i techniki stosowane w rolnictwie państwowym, od którego leśnictwo zapożyczyło wiele metod i technologii (uprawa gleby, nawożenie, szczepienia, maszyny). Zaczęły powstawać szkółki stałe, początkowo niewielkie, z biegiem czasu jednak coraz większe lub tzw. szkółki zespolone, składające się z kilku mniejszych, wspólnie zarządzane.

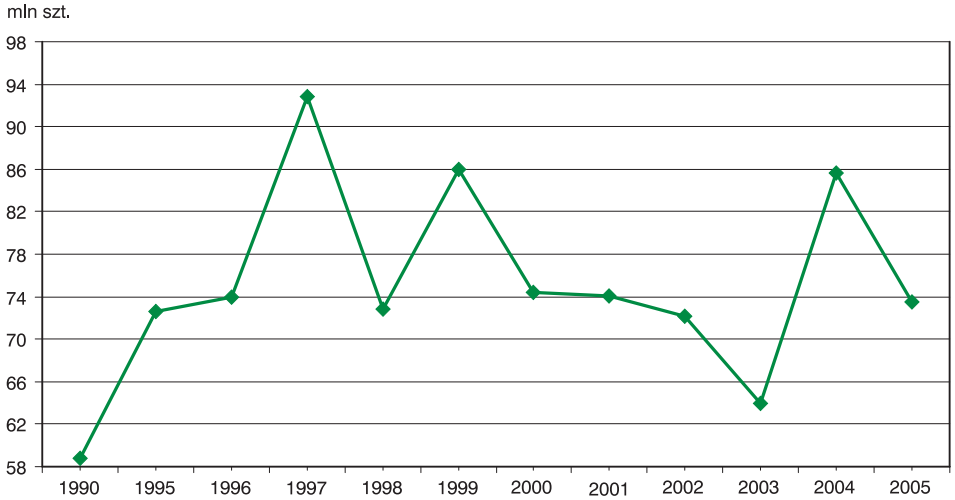
W latach sześćdziesiątych ub. w. zwiększający się stale rozmiar powierzchniowy zalesień i odnowień oraz późniejsza reorganizacja w Lasach Państwowych wymusiły i przyśpieszyły proces wdrażania w nadleśnictwach nowych rozwiązań organizacyjnych oraz technologicznych w szkółkarstwie leśnym. Połączenie kilku nadleśnictw w jedno duże gospodarstwo leśne, z pewną samodzielnością finansową, umożliwiło koncentrację produkcji szkółkarskiej i wymusiło jej mechanizację, a także specjalizację poprzez stałe podnoszenie poziomu wiedzy (teoretyczne i praktyczne przygotowanie szkółkarzy).

W latach siedemdziesiątych ub. w. nastąpił dalszy rozwój szkółkarstwa i ukształtowanie się modelu wielkopowierzchniowej, centralnej szkółki, składającej

się z kilku lub rzadko kilkunastu kwater, o przeciętnej powierzchni około 1 ha, rozdzielonych kulisami drzewostanu lub pasami przeciwwietrznymi. Hoduje się w nich różnorodny asortyment gatunków drzew i krzewów na potrzeby nadleśnictwa oraz nadzorowanych lasów niepaństwowych. Dopracowano się również technologii produkcji szkółkarskiej, opisanej w Zasadach Hodowli Lasu, która praktycznie obowiązuje do dzisiaj.

W latach osiemdziesiątych ub. w. rozwijała się głównie tylko wiedza związana ze szkółkarstwem. Wielkie zasługi w tym zakresie ma Instytut Badawczy Leśnictwa (prof. Andrzej Gorzelak). Jednak w porównaniu z nowoczesnym „Zachodem" pogłębiała się przepaść w uzbrojeniu technicznym i mechanizacji prac polowych na szkółkach oraz w infrastrukturze.

Dopiero po transformacji ustroju państwa i urealnieniu wartości polskiej waluty, od początku lat dziewięćdziesiątych ub. w. szkółki leśne w Lasach Państwowych zaczęto znacząco doinwestowywać. Główny strumień środków finansowych został skierowany na zakup maszyn i urządzeń dla szkółek otwartych, instalacje deszczowni, budowę lub modernizację zaplecza technicznego oraz socjalnego. Jednocześnie unowocześniano i modernizowano infrastrukturę nasiennictwa leśnego. Podjęto też na skalę gospodarczą wdrożenie technologii produkcji sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, w warunkach kontrolowanych. Pierwsza taka szkółka powstała w 1992 roku w Nadleśnictwie Śnieżka, a następna – w 1997 roku – w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie. W szkółkach tych zainstalowano importowane ze Szwecji maszyny, wykorzystano własne doświadczenia i polską technologię, zastosowaną w latach 70. ub. w. w Nadleśnictwie Nawojowa oraz technologię skandynawską. Wyróżnikiem tego typu produkcji jest nowoczesna technologia, polegająca na pełnej automatyzacji i sterowaniu kontrolowanymi warunkami wzrostu materiału sadzeniowego (wielkość produkcji sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym przedstawia ryc. VI.2.).



Ryc. VI.2. Rozwój specjalistycznej produkcji sadzonek w latach 1990–2005

Fot. VI.1. Buk pospolity w szkółce gruntowej w Nadleśnictwie Łobez

Fot. VI.2. Sosna w szkółce kontenerowej w Nadleśnictwie Jabłonna

Polski model szkółkarstwa leśnego

Ukształtowany od końca lat 80. ub. w. model szkółkarstwa leśnego – szkółki polowej wyposażonej w znakomite narzędzia, kompostownie, deszczownie i zaplecze techniczne z przechowalniami nasion oraz sadzonek – pozwala na całkowite pokrycie krajowego zapotrzebowania na dobrej jakości materiał sadzeniowy o znanym, odpowiednim pochodzeniu. W pierwszej dekadzie XXI wieku Lasy Państwowe dysponują szkółkami o powierzchni około 3000 ha, produkującymi łącznie 1 miliard sadzonek. Jest to prawie 1000 szkółek leśnych, o przeciętnej powierzchni 3 ha. W strukturze powierzchniowej dominują szkółki duże, o powierzchni powyżej 5 ha (tab. VI.2. i VI.3., ryc. VI.3. i VI.4.).

Warunki produkcji w szkółkach leśnych charakteryzują pewne wyróżniki, określające opisany model produkcji materiału sadzeniowego. Należą do nich:

- Państwowa własność.
- Naturalne warunki produkcji.
- Koncentracja i mechanizacja.
- Samowystarczalność nadleśnictw.
- Samokontrola jednostek organizacyjnych (system SON).
- Zadania naukowe.
- Konserwatyzm i nowoczesność:
  - produkcja w szkółkach otwartych i podokapowych,
  - szkółki kontenerowe,
  - mikoryzacja sadzonek,
  - stały rozwój wiedzy i technologii,
  - brak barier w przepływie wiedzy oraz niezdrowej konkurencji pomiędzy szkółkami (jawność technologii i metod postępowania z określonymi gatunkami).

Państwowa własność zapewnia ciągłość rozwoju i bezpieczeństwo produkcji szkółkarskiej eliminując wpływ wahań koniunktury, dopuszcza eksperymentowanie oraz ponoszenie ryzyka nowych doświadczeń. Państwowa własność nie przekreśla również prywatyzacji prac i usług szkółkarskich, zlecania ich wykonania prywatnym przedsiębiorcom. Naturalne warunki wzrostu zapewnia przestrzenny podział na kwatery i kulisy drzewostanowe, kształtujące właściwy mikroklimat dla sadzonek. Właściwe gospodarowanie materią organiczną zapobiega degradacji i zmęczeniu gleby, stwarzając odpowiednie warunki rozwoju dla pożytecznych mikroorganizmów oraz grzybów mikoryzowych. Koncentracja i mechanizacja prac poprawia efektywność szkółki, zwiększa wydajność z jednostki powierzchni, a także optymalizuje koszty zatrudnienia. Samowystarczalność i samodzielność nadleśnictw doprowadziła do wielkiej różnorodności przyjętych szczegółowych rozwiązań, przy jednoczesnym przepływie informacji pomiędzy jednostkami i jawności stosowanych metod oraz technologii.

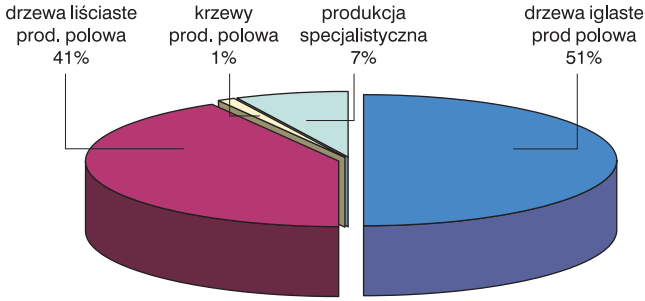
Stałe, kompleksowe badania naukowe gwarantują ciągłość rozwoju wiedzy i stosowanych technologii, które uwzględniają naturalne, przyrodnicze wymagania, niezbędne do wzrostu poszczególnych gatunków drzew i krzewów. Znakomita większość badań w zakresie szkółkarstwa leśnego, która znalazła zastosowanie praktyczne w gospodarce leśnej, prowadzona była w Instytucie Badawczym Le-

Tabela VI.2.
Produkcja materiału sadzeniowego w szkółkach leśnych w 2005 r. (wg RDLP)

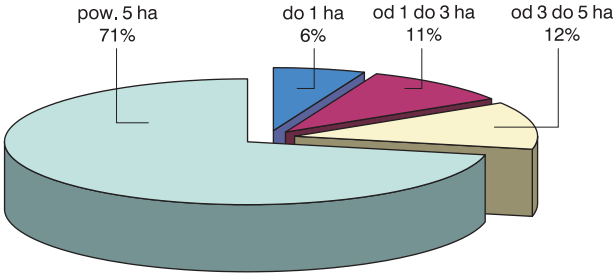
Lp.	RDLP	Produkcja polowa		w tym:						Produkcja specjalistyczna		Razem	
				drzewa iglaste		drzewa liściaste		krzewy					
		ar	tys. sztuk	ar	tys. sztuk	ar	tys. sztuk	ar	tys. sztuk	ar	tys. sztuk	ar	tys. sztuk
1	Białystok	**8 500**	**71 398**	4 275	44 990	3 918	25 246	307	1 162	72	753	**8 572**	**72 151**
2	Katowice	**9 848**	**56 150**	4 686	31 773	4 891	23 887	270	490	1 138	22 411	**10 985**	**78 561**
3	Kraków	**3 648**	**18 051**	1 706	11 784	1 913	6 227	29	40	464	9 425	**4 112**	**27 477**
4	Krosno	**8 125**	**55 249**	4 559	34 748	3 492	20 388	74	113	388	5 541	**8 513**	**60 790**
5	Lublin	**6 750**	**48 423**	2 377	24 866	4 256	23 169	117	388	24	1 009	**6 774**	**49 431**
6	Łódź	**5 613**	**44 187**	1 738	20 582	3 740	22 958	135	648	119	5 042	**5 732**	**49 229**
7	Olsztyn	**8 648**	**68 939**	4 156	39 590	4 254	27 972	238	1 378	16	525	**8 664**	**69 464**
8	Piła	**5 310**	**54 590**	2 721	35 610	2 554	18 791	35	189	33	1 411	**5 344**	**56 001**
9	Poznań	**6 648**	**53 364**	2 844	30 622	3 636	22 193	168	549	116	3 137	**6 764**	**56 501**
10	Szczecin	**10 822**	**96 108**	2 762	39 701	7 677	54 780	382	1 628	276	704	**11 098**	**96 812**
11	Szczecinek	**10 917**	**88 642**	4 527	50 930	6 178	36 827	211	885	604	6 373	**11 521**	**95 015**
12	Toruń	**8 719**	**67 812**	3 234	37 769	5 296	29 102	189	941	0	1	**8 719**	**67 813**
13	Wrocław	**7 454**	**55 037**	2 906	21 594	4 422	32 976	126	466	527	9 570	**7 981**	**64 607**
14	Zielona Góra	**6 431**	**56 909**	2 400	32 340	3 770	23 357	260	1 213	43	1 077	**6 473**	**57 987**
15	Gdańsk	**4 964**	**30 480**	1 506	13 109	3 263	16 818	195	553	64	1 078	**5 028**	**31 558**
16	Radom	**6 503**	**47 841**	2 340	25 070	4 074	22 511	89	260	106	2 246	**6 609**	**50 087**
17	Warszawa	**2 441**	**16 195**	725	7 192	1 620	8 622	96	380	90	3 184	**2 531**	**19 379**
Ogółem LP		**121 340**	**929 376**	**49 464**	**502 271**	**68 955**	**415 823**	**2 105**	**11 282**	**4 081**	**73 487**	**125 421**	**1 002 863**

Tabela VI.3.
Struktura powierzchniowa szkółek leśnych wg RDLP (stan na 31.12.2005 r.)

Lp.	RDLP	do 1 ha		od 1 do 3 ha		od 3 do 5 ha		powyżej 5 ha		Razem		Przeciętna pow. prod.
		sztuk	pow. prod.	sztuk	pow. prod.	sztuk	pow. prod.	sztuk	pow. prod.	sztuk	pow. prod.	
1	Białystok	21	1 164	35	6 050	11	4 127	15	9 628	**82**	**20 969**	**256**
2	Katowice	76	1 916	14	2 747	6	2 033	22	18 260	**118**	**24 955**	**211**
3	Kraków	66	1 821	11	1 731	4	1 510	4	3 321	**85**	**8 383**	**99**
4	Krosno	72	3 222	17	2 867	6	2 430	11	7 894	**106**	**16 412**	**155**
5	Lublin	47	2 289	11	2 170	11	4 445	12	10 024	**81**	**18 928**	**234**
6	Łódź	16	404	11	2 284	12	4 969	10	6 292	**49**	**13 949**	**285**
7	Olsztyn	24	1 133	19	2 947	6	2 568	23	15 835	**72**	**22 483**	**312**
8	Piła	3	132	1	211	1	418	19	14 200	**24**	**14 962**	**623**
9	Poznań	10	501	7	1 189	9	3 642	19	11 532	**45**	**16 864**	**375**
10	Szczecin	2	137	6	1 084	1	486	33	24 357	**42**	**26 064**	**621**
11	Szczecinek	6	338	3	501	0	0	24	23 526	**33**	**24 365**	**738**
12	Toruń	10	422	3	670	4	1 617	21	16 591	**38**	**19 300**	**508**
13	Wrocław	35	2 346	13	2 392	9	3 293	16	12 090	**73**	**20 122**	**276**
14	Zielona Góra	0	0	0	0	1	483	20	15 215	**21**	**15 698**	**748**
15	Gdańsk	12	485	6	1 341	3	1 466	11	9 624	**32**	**12 916**	**404**
16	Radom	17	520	8	1 331	6	2 376	14	12 396	**45**	**16 622**	**369**
17	Warszawa	25	1 244	6	912	2	823	6	4 116	**39**	**7 095**	**182**
Ogółem LP		**442**	**18 073**	**171**	**30 427**	**92**	**36 686**	**280**	**214 901**	**985**	**300 087**	**305**



Ryc. VI.3. Produkcja polowa i specjalistyczna sadzonek w Lasach Państwowych w 2005 r.



Ryc. VI.4. Struktura powierzchniowa szkółek leśnych w PGL LP w 2005 r.

śnictwa. Do głównych kierunków badań należy zaliczyć: przyrodnicze warunki produkcji dla gatunku, płodozmian, nawożenie organiczne, ochrona przed szkodnikami owadzimi, grzybowymi, a także poszukiwania biologicznych metod zwalczania chwastów i szkodników, jak też wzmaganie wzrostu oraz naturalnej odporności materiału produkowanego w szkółkach leśnych.

Zaletą polskiego modelu szkółkarstwa leśnego jest harmonijne połączenie konserwatyzmu i nowoczesności, przejawiające się zachowaniem modelu ukształtowanego prawie pół wieku temu, przy jednoczesnym wprowadzaniu najnowocześniejszych technologii, włącznie z rozmnażaniem w kulturach tkankowych. Obok siebie funkcjonują wielkie szkółki otwarte, produkujące materiał rozmnożeniowy z odkrytym systemem korzeniowym, a także supernowoczesne szkółki kontenerowe, obiekty produkujące na sztucznych podłożach i małe szkółki podokapowe dla jodły lub buka. Doskonałym przykładem połączenia konserwatyzmu (nawiązania do tradycji) z jednoczesnym otwarciem na nowoczesność jest szkółka w Nadleśnictwie Oleszyce.

W dalszym rozwoju polskiego modelu szkółkarstwa leśnego konieczne jest zwrócenie uwagi na stworzenie optymalnego, nowoczesnego systemu produkcji kompostów, budowę przechowalni sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym w warunkach kontrolowanych, logistykę i transport sadzonek od dostawcy do odbiorcy oraz poszukiwanie metod produkcji szkółkarskiej ograniczających koszty. Utrzymującą się tendencją na najbliższe dekady powinien być spadek łącznej powierzchni szkółek leśnych oraz ograniczenie ich liczby przy wzrastającej przeciętnej powierzchni szkółki (tab. VI.4.).

Tabela VI.4.
Zmiana struktury powierzchniowej szkółek leśnych w latach 1988–2005

Rok	do 1 ha		od 1 do 3 ha		od 3 do 5 ha		powyżej 5 ha		razem		Przeciętna pow. prod.
	sztuk	ha	sztuk	ha	sztuk	ha	sztuk	ha	sztuk	ha	
1988	587	266	221	379	80	322	278	2 230	**1 166**	**3 256**	**2,79**
1989	566	257	207	357	97	399	277	2 228	**1 147**	**3 241**	**2,83**
1990	580	260	193	335	85	344	283	2 292	**1 141**	**3 231**	**2,83**
1991	589	266	202	347	81	319	291	2 295	**1 163**	**3 227**	**2,77**
1992	599	277	207	380	75	301	285	2 290	**1 166**	**3 248**	**2,79**
1993	653	289	197	369	82	334	287	2 318	**1 219**	**3 310**	**2,72**
1994	799	307	201	360	82	339	298	2 418	**1 380**	**3 424**	**2,48**
1995	795	314	209	364	84	339	302	2 488	**1 390**	**3 505**	**2,52**
1996	841	335	221	399	88	344	301	2 492	**1 451**	**3 570**	**2,46**
1997	789	311	233	421	89	370	297	2 447	**1 408**	**3 550**	**2,52**
1998	765	307	230	408	94	371	296	2 434	**1 385**	**3 521**	**2,54**
1999	692	289	216	386	85	362	297	2 393	**1 290**	**3 430**	**2,66**
2000	674	271	207	373	87	361	296	2 355	**1 264**	**3 360**	**2,66**
2001	647	258	201	353	91	380	292	2 326	**1 231**	**3 317**	**2,69**
2002	591	238	201	364	86	356	291	2 317	**1 169**	**3 274**	**2,80**
2003	566	236	193	350	86	357	291	2 260	**1 136**	**3 203**	**2,82**
2004	492	199	181	336	107	385	281	2 175	**1 061**	**3 095**	**2,92**
2005	442	181	171	304	92	367	280	2 149	**985**	**3 001**	**3,05**

Kapitalne znaczenie w rozwoju szkółkarstwa odgrywają nauki leśne. Rozpoznaliśmy podstawowe wymagania hodowli sadzonek większości gatunków drzew i krzewów leśnych, warunki oraz szczegółowe sposoby wieloletniego przechowywania, stratyfikacji i przysposabiania nasion do siewu. Stosowane są oryginalne metody wieloletniego przechowywania nasion: dębów, buka pospolitego i jodły pospolitej, opracowane przez polskich naukowców. Niezbędnym warunkiem uzyskiwania takich efektów jest współdziałanie Lasów Państwowych z ośrodkami nauk leśnych. W ostatnich dziesięcioleciach intensyfikacja badań w szkółkarstwie pozwoliła na rozwiązanie niektórych problemów i wdrożenie praktycznych rozwiązań. Wzorcowym przykładem takich badań, zakończonych udanym wdrożeniem, jest sterowana mikoryzacja sadzonek, czyli szczepienie ich systemów korzeniowych biopreparatami zawierającymi grzyby ektomikoryzowe, opracowana od początku do końca w Akademii Rolniczej w Krakowie przez profesora Stefana Kowalskiego.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że nie byłoby to wszystko możliwe, gdyby Lasy Państwowe nie zachowały do dzisiaj struktury organizacyjnej, powstałej w 1924 roku oraz zasad gospodarki finansowej wyłączonej z budżetu państwa, opartej na samofinansowaniu jednostek organizacyjnych. Jednolite, nowoczesne zasady zarządzania gospodarką leśną, ciągłość działania struktur organizacyjnych Lasów Państwowych w połączeniu z ich samodzielnością, nowoczesnością oraz tradycyjnym konserwatyzmem leśników dają doskonałe efekty. Umiejętne łączenie celów ekonomicznych i ekologicznych pozwala na skuteczne rozwiązywanie problemów gospodarczych.

VII. Strategia Lasów Państwowych we wdrażaniu technologii mikoryzacji sadzonek drzew leśnych

Mgr inż. Marek Berft, Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, ul. Wawelska 52/54, 00-922 Warszawa

Problematykę współżycia grzybów mikoryzowych z drzewami leśnymi podejmowano w badaniach naukowych na świecie już w końcu XIX wieku, ale od drugiej połowy minionego stulecia poświęcono szczególnie dużo uwagi możliwości wykorzystania tego zjawiska w hodowli lasu. W Polsce prace badawcze nad wykorzystywaniem grzybów ektomikoryzowych w hodowli sadzonek drzew i krzewów leśnych, rozpoczęte w zaraniu lat pięćdziesiątych minionego stulecia, nasiliły się w latach 70. ub. w. Długoletnie badania, finansowane przez Lasy Państwowe, prowadzone były głównie pod kierownictwem profesora Romana Pachlewskiego przez Instytut Badawczy Leśnictwa. Pomimo jasno sprecyzowanego przez Dyrekcję Generalną Lasów Państwowych celu badań i znacznego stopnia zaawansowania prac nie osiągnięto etapu, który można by wykorzystać praktycznie do masowej, kontrolowanej mikoryzacji materiału sadzeniowego. Niezwykle istotnym efektem tych badań, jak też prowadzonych w innych ośrodkach naukowych w Polsce, było wykazanie i udowodnienie korzyści ekonomiczno-ekologicznych przy stosowaniu materiału sadzeniowego zaopatrzonego w ektomikoryzy oraz wskazanie potrzeb w tym zakresie, zwłaszcza przy pracach zalesieniowych, a także na innych gruntach pozbawionych grzybów, charakterystycznych dla środowiska leśnego. Autorzy zwracali uwagę na ważne dla roślin drzewiastych funkcje ektomikoryz: żywieniowe, ochronne oraz polegające na zwiększeniu możliwości adaptacji sadzonek drzew leśnych w trudnych warunkach środowiska.

W szerszym kontekście problem hodowli mikoryzowanych sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym należy postrzegać na tle ustawowych zadań stojących przed leśnictwem oraz dodatkowych, zapisanych w Krajowym Programie Zwięk-

szania Lesistości Kraju. Program ten, w ostatecznej formie, został przyjęty przez Radę Ministrów RP 24 czerwca 1995 roku i skierowany – jako program rządowy – do realizacji przez Lasy Państwowe. Zmiany ustrojowe w polityce rolnej państwa, polegające w pierwszym etapie na likwidacji Państwowych Gospodarstw Rolnych, a w drugim na stopniowym rugowaniu małych, nieefektywnych gospodarstw rolnych własności prywatnej, powodowały stopniowe wyłączanie coraz większej powierzchni gruntów z użytkowania rolniczego. Z tych powodów ponad 3 miliony hektarów gleb najniższych klas bonitacyjnych zakwalifikowano do zalesień. Należy także zauważyć, że intensyfikacja badań naukowych nad praktycznym wykorzystaniem szczepień mikoryzowych zbiegła się w czasie z ambitnymi projektami budowy w Polsce autostrad i dróg szybkiego ruchu, których autorzy dostrzegali konieczność tworzenia infrastruktury towarzyszącej, m.in. w postaci pasów zieleni. Potrzeby wynikające z tych programów i planów stały się zadaniem, zleconego w 1996 roku przez Departament Leśnictwa w ówczesnym Ministerstwie Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, projektu badawczego pt.: „Ogólnokrajowy program wdrożenia mikoryzacji siewek i sadzonek drzew leśnych w aspekcie zalesień wielkopowierzchniowych oraz budowy dróg i autostrad". Projekt sfinansowany przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej zaowocował monografią pod redakcją M. Rudawskiej, opublikowaną w 2000 roku.

Nowy, dodatkowy impuls do wdrożenia praktycznych zastosowań grzybów ektomikoryzowych w szkółkach leśnych, dały najnowsze inwestycje z zakresu szkółkarstwa, zrealizowane przez Lasy Państwowe w dwóch nadleśnictwach Polski południowej: w Śnieżce – szkółka kontenerowa w Kostrzycy oraz w Rudach Raciborskich – szkółka kontenerowa w Nędzy. Budowę szkółki w Kostrzycy rozpoczęto w roku 1992. W 1994 r. uruchomiono produkcję pilotażową sadzonek drzew leśnych w dwóch tunelach foliowych, a rok później miało miejsce oficjalne odebranie obiektu i inauguracja hodowli sadzonek na skalę gospodarczą. Koszt budowy szkółki wyniósł około 4,5 mln złotych. Dla porównania, cykl inwestycyjny szkółki w Nędzy trwał od roku 1993 do 1998, kiedy to nastąpił rozruch i uruchomienie produkcji sadzonek, a koszt inwestycji wyniósł około 12,4 mln zł. Inwestycje różniły się w sposób zasadniczy rozmiarami realizowanych prac budowlano-technicznych.

W trakcie budowy szkółki w Nędzy wykorzystano doświadczenia uzyskane po rozruchu Kostrzycy, co doprowadziło do wzbogacenia i udoskonalenia wyposażenia technicznego w nowo powstającym obiekcie. Poprawiono warunki wzrostu i rozwoju sadzonek, a także sposób monitorowania oraz rejestrowania czynników decydujących o tych warunkach, m.in. poprzez uruchomienie komputerowego systemu informacji i kontroli mikroklimatu. Wybudowano laboratorium nasienne i pierwsze w Polsce laboratorium do produkcji szczepionek mikoryzowych. Powstała hala produkcji substratu, bogato wyposażona w urządzenia techniczne, w tym w linię dezynfekcji na potrzeby produkcji sadzonek mikoryzowanych oraz dozowniki umożliwiające wprowadzanie do substratu różnego rodzaju niezbędnych składników, wpływających na jakość materiału sadzeniowego. Zakupiono i zainstalowano myjnię kaset, głównie z myślą o hodowli sadzonek mikoryzowanych oraz w celu ograniczenia rozwoju chwastów. Produkcję sadzonek w szkółce kontenerowej Nadle-

śnictwa Rudy Raciborskie oparto na nowych wzorach pojemników, z ażurowymi ściankami. W odróżnieniu od Kostrzycy, Nędza nie miała naturalnego zbiornika wodnego, co spowodowało konieczność wykonania lokalnego ujęcia oraz dwóch basenów magazynujących wodę ze studni głębinowej. Wymienione uwarunkowania i czynnik inflacji były przyczyną wydłużonego cyklu inwestycyjnego oraz zwiększonych, blisko trzykrotnie, kosztów budowy.

W kolejnych latach zbudowano dwie następne szkółki kontenerowe. W 1999 roku, w Nadleśnictwie Jabłonna, rozpoczęto budowę szkółki Skierdy, a w 2001 roku, w Nadleśnictwie Oleszyce, ruszyła budowa szkółki Kolonia. Podstawowe informacje o szkółkach kontenerowych Lasów Państwowych zawiera tabela VII.1.

W szkółkach kontenerowych w: Kostrzycy, Nędzy i Skierdach wykorzystano technologię wywodzącą się z krajów skandynawskich. Jej cechą charakterystyczną jest zastosowanie automatyki oraz komputeryzacji w procesie produkcji materiału sadzeniowego, która odbywa się według ściśle ustalonych receptur. Parametry mikroklimatu decydujące o wzroście oraz rozwoju sadzonek są bieżąco monitorowane i korygowane. Takie warunki sprzyjały możliwości zastosowania efektywnego programu mikoryzowego. Oryginalna technologia dotyczyła hodowli w cyklu jednorocznym świerka i sosny, a także w niewielkim zakresie brzozy. W Polsce wzbogacona została o hodowlę niezmiernie ważnych w naszych warunkach sadzonek gatunków liściastych, takich jak: dąb, buk, lipa i inne oraz materiału sadzeniowego wieloletniego. Związane to było ze znacznym ryzykiem hodowlanym choćby dlatego, że w tej technologii jedno niedopatrzenie jest powielane z szybkością pracy, niezwykle wydajnej, linii automatycznej do napełniania kaset substratem i siewu nasion. Wprowadzając zmianę do technologii skandynawskiej, a następnie dzięki szerokiemu zastosowaniu kontrolowanych szczepień mikoryzowych, uzyskaliśmy asortyment i jakość materiału sadzeniowego lepiej dostosowanego do polskich siedlisk, odpornego na niekorzystne warunki środowiska w miejscu sadzenia, przystosowanego do ekstremalnie trudnych warunków glebowych. Do zalet sadzonek z bryłką powszechnie zalicza się także następujące:

- lepsze, w porównaniu do tradycyjnego materiału sadzeniowego, zabezpieczenie systemów korzeniowych przed przesuszeniem lub uszkodzeniem w czasie transportu, czynności przeładunkowych oraz w czasie sadzenia;
- zwiększoną odporność systemów korzeniowych sadzonek na deformacje w trakcie sadzenia (brak możliwości podwijania korzenia);
- łagodzenie szoku przesadzeniowego w wyniku wykorzystywania przez sadzonkę zapasów substancji pokarmowych zgromadzonych w „bryłce", co gwarantuje lepszą udatność upraw;
- możliwość indywidualnego komponowania substratu poprzez dodawanie biopreparatów, agrożeli i środków ochrony uwzględniających wymagania gatunku oraz warunki miejsca sadzenia;
- szczególną przydatność do wysadzania w warunkach płytkich gleb, o dużym udziale frakcji kamienistych;
- łatwiejszą adaptację w terenach o znacznym stopniu zagrożenia środowiskowego;
- właściwości agromelioracyjne w zastosowaniu do gleb o niskim pH;

Tabela VII.1.
Szkółki kontenerowe w Polsce

Lp.	Wyszczególnienie	Kostrzyca	Nędza	Skierdy	Kolonia
1	RDLP	Wrocław	Katowice	Warszawa	Krosno
2	Nadleśnictwo	Śnieżka	Rudy Raciborskie	Jabłonna	Oleszyce
3	Leśniczy	Marek Rybak	Samuel Śliwa	Jan Dudewicz	Józef Maksymowicz
4	Rozpoczęcie budowy	1992	1993	1999	2001
5	Produkcja pilotażowa	1994	1998	2000	2002
6	Koszt budowy w roku zakończenia inwestycji (mln zł)	4,5	12,4	6,4	4,5
7	Udział dotacji zewnętrznych w kosztach inwestycji (%)	45	40	19	20
8	Technologia	szwedzka linia napełniania kaset substratem i siewu nasion, kasety z polietylenu			kasety styropianowe; urządzenia techniczne do napełniania kaset, szkółkowania sadzonek i siewu nasion zaprojektowane lokalnie
9	Rozmiar produkcji – możliwości (mln szt.)	3	6	3	1,3
10	Gatunki główne wg założeń projektowych*	Św, Md, Bk	So, Db, Św, Md	So, Db	Db, Jd
11	Rodzaje pojemników	Hico V370, V120, V50	Hico V120, V265	Hico V120, V265	Robin V300, V200
12	Cele produkcji sadzonek dla lokalizacji szkółki	odnowienie terenów poklęskowych Sudetów	odnowienie pożarzyska i rekultywacja terenów przemysłowych aglomeracji śląskiej	zalesianie gruntów porolnych	przebudowa drzewostanów na terenie RDLP Krosno

* Aktualnie wszystkie szkółki hodują znacznie bogatszy asortyment sadzonek.

– dobrą udatność i szybszy rozwój, co skraca okres pielęgnacji upraw i obniża koszty właściciela zalesianej powierzchni.

Poczynione inwestycje w szkółkach Lasów Państwowych i wynikające z nich nowe możliwości rozwoju technologicznego spowodowały, że w kwietniu 1996 roku została podjęta decyzja o konieczności poszukiwania technologii mikoryzowania sadzonek, którą można byłoby szybko oraz bezpiecznie wdrożyć w istniejących w tym okresie szkółkach kontenerowych. Chodziło o znalezienie technologii mikoryzacji sadzonek, wypróbowanej w praktyce i stosowanej na skalę gospodarczą oraz pozytywnie zweryfikowanej w uprawach leśnych, zakładanych w trudnych warunkach terenowych. W tym okresie nie było gotowych rozwiązań tej problematyki w krajowych ośrodkach naukowo-badawczych. Dobrą ku temu okazją była wystawa sadzonek mikoryzowanych, prezentowanych przez francuską firmę ROBIN PEPINIERES podczas pierwszych Międzynarodowych Targów Leśnych na warszawskim Mokotowie. W sierpniu 1996 roku rozpoczęły się długotrwałe i żmudne negocjacje z właścicielem tej firmy, które w maju 1997 roku uwieńczone zostały podpisaniem umowy typu know-how. Dzięki temu dla szkółki kontenerowej w Nędzy nabyto prawo korzystania z wiedzy, doświadczeń i kompletnej technologii w zakresie szczepienia siewek grzybem *Laccaria bicolor*, opracowanej i skutecznie wdrożonej przez firmę ROBIN. Dwa lata później, z inicjatywy kierownictwa Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych Wrocław, zakres stosowania francuskiej technologii mikoryzacji sadzonek drzew leśnych grzybem *L. bicolor* rozszerzony został na szkółkę kontenerową Nadleśnictwa Śnieżka. Począwszy od 2005 roku Lasy Państwowe uzyskały możliwość nieodpłatnego wykorzystywania tej metody na terenie innych, zainteresowanych nadleśnictw, gdyż z dniem 31 grudnia 2004 roku wygasła – obowiązująca stronę polską – klauzula o poufności i obowiązku zachowania tajemnicy. Za nabycie technologii francuskiej Lasy Państwowe zapłaciły kwotę, której równowartość stanowiła około 6,6% kosztów całej inwestycji, zrealizowanej w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie.

Niezależnie od decyzji wdrożenia w szkółce kontenerowej w Nędzy technologii mikoryzacji sadzonek firmy ROBIN PEPINIERES, Lasy Państwowe wspierały rozwój krajowych prac naukowo-badawczych nad mikoryzacją. Od roku 1998 skoncentrowano się głównie na badaniach prowadzonych w Katedrze Fitopatologii Leśnej Akademii Rolniczej w Krakowie. Znaczący stopień zaawansowania badań dawał podstawę do optymistycznych wniosków o możliwości produkcji – w nieodległym czasie – polskiego biopreparatu do mikoryzowania sadzonek drzew leśnych. W listopadzie 1999 roku, podczas sympozjum naukowego w Leśnym Banku Genów, zaprezentowano po raz pierwszy wstępną koncepcję polskiej technologii mikoryzacji, a w grudniu 2000 roku przekazano tę technologię Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych, zgodnie z warunkami umowy o realizacji tematu naukowo-badawczego. Był to początek tworzenia koncepcji programowej hodowli w Polsce sadzonek mikoryzowanych na skalę gospodarczą, według polskiej technologii (Kowalski, 2000). Pierwszym zadaniem „programu mikoryzowego" w Lasach Państwowych była budowa laboratoriów, zdolnych do namnażania dużej ilości biopreparatów.

Na potrzeby francuskiej, a następnie polskiej technologii mikoryzacji Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych uruchomiła niezbędne środki finansowe. We wrze-

Tabela VII. 2.
Udział dotacji Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w programie wdrażania sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych

Rok	Przedmiot dopłaty	Kwota (tys. zł)
2001	budowa laboratoriów mikoryzowych i zakup wyposażenia	1400
2002	szczepionka, substrat, sprzęt	239
2003	zakup sprzętu dla szkółek	1305
2004	zakup sprzętu dla szkółek	608
2005	zakup sprzętu dla szkółek	825
Razem		**4377**

śniu 1998 roku pierwsze polskie laboratorium przy szkółce kontenerowej Nadleśnictwa Rudy Raciborskie rozpoczęło wytwarzanie biopreparatu mikoryzowego na podłożu polisacharydowym według technologii francuskiej. Wcześniej pracownicy tego laboratorium uczestniczyli w szkoleniu praktycznym, w laboratorium mikoryzowym szkółki ROBIN we Francji. W drugiej połowie roku 2001 zakres rzeczowy polskiego laboratorium został poszerzony o oddział produkcji rodzimego biopreparatu na podłożu torfowym, na bazie grzyba *Hebeloma crustuliniforme*. W tym samym czasie w Leśnym Banku Genów Kostrzyca utworzono Zespół Produkcji Biopreparatu na potrzeby polskiej technologii mikoryzacji. Tworząc zaplecze laboratoryjne do realizacji programu wdrożenia sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych, Lasy Państwowe otrzymywały znaczące wsparcie finansowe ze strony Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (tab. VII.2.).

Kolejne problemy, które pojawiły się przed zespołem budującym program wdrażania polskiej technologii sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych, to:

- określenie ram czasowych projektu, stwarzających podstawę przejścia od programu sterowanego ze szczebla Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych do produkcji niesterowanej, stymulowanej wyłącznie potrzebami rynku,
- zabezpieczenie finansowe projektu w okresie wdrożenia, w kwotach niezbędnych do niwelowania dysproporcji kosztów między sadzonkami mikoryzowanymi i niemikoryzowanymi,
- stworzenie systemu szkoleń dla szkółkarzy, wchodzących po raz pierwszy do programu oraz systemu stałych konsultacji w zakresie technologii mikoryzacji i hodowli sadzonek na podłożach, w warunkach kontrolowanych,
- zorganizowanie stałego nadzoru nad jakością biopreparatów i przestrzeganiem procedur mikrobiologicznych przez laboratoria,
- stworzenie systemowych rozwiązań kontroli jakości substratów przeznaczonych do programu mikoryzowego.

Pierwszym dokumentem programowym obejmującym kompleks zagadnień związanych z wdrożeniem i wypromowaniem polskiej technologii sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych był „Program zwiększania lesistości kraju z wykorzystaniem sadzonek mikoryzowanych na lata 2003–2010”, zatwierdzony przez dyrektora generalnego Lasów Państwowych. Program ten przedstawia tabela VII.3.

Ten fundamentalny dla programu mikoryzowego dokument określał pięć etapów, realizowanych w rocznych cyklach, w latach obowiązywania programu. W zakresie prac badawczych – etap pierwszy – główny ciężar spoczywał na Katedrze Fi-

Tabela VII.3.
Program zwiększania lesistości kraju na lata 2003–2010 z wykorzystaniem sadzonek mikoryzowanych

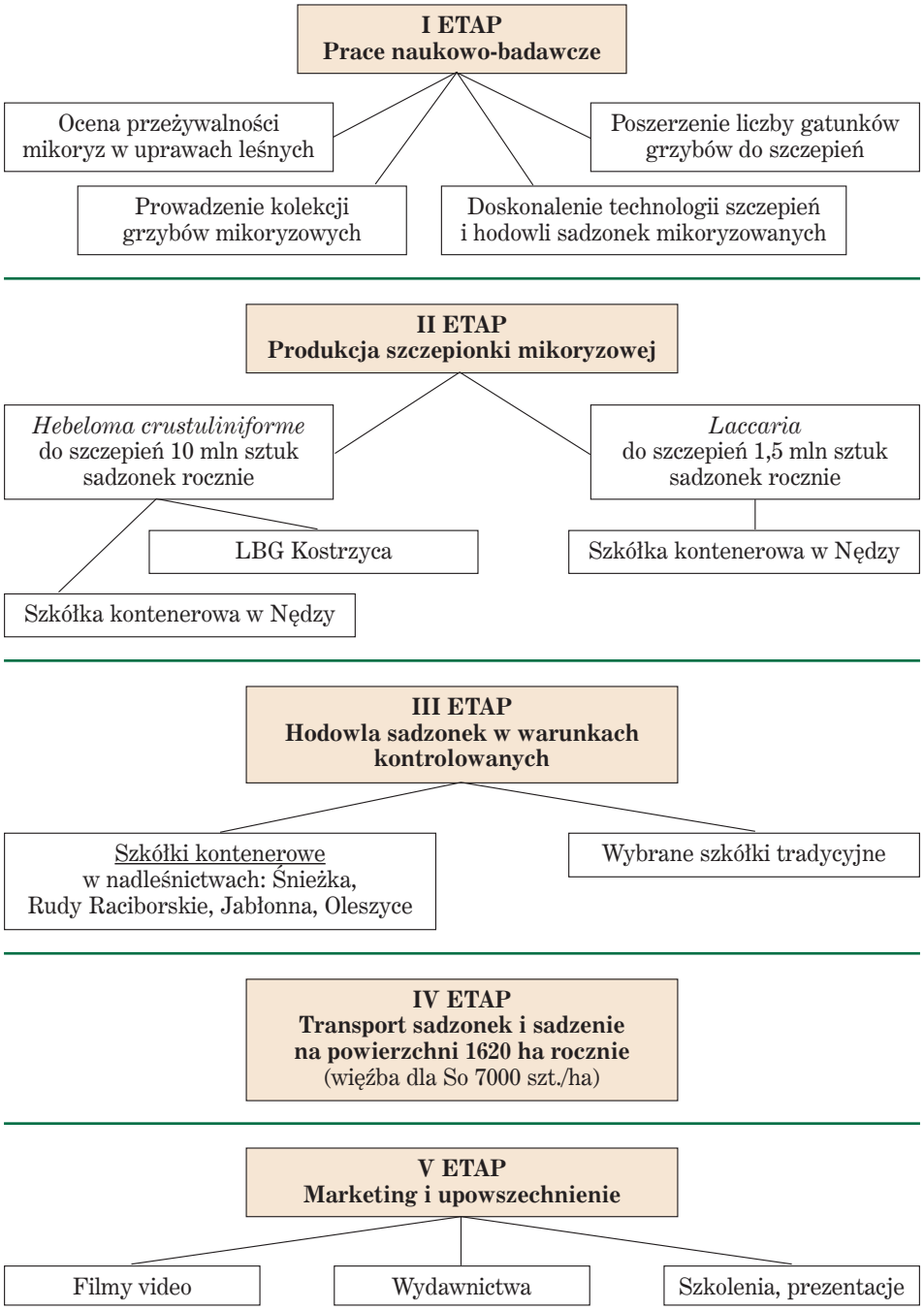


Tabela VII.4.
Efekty rzeczowe programu mikoryzacji sadzonek drzew leśnych za lata 2001–2006

Rok	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Razem
Liczba jednostek uczestniczących w programie	4	12	21	34	43	34	X
Ilość szczepionki zużytej (tys. litrów)*	4,6	16,1	51,0	47,6	42,3	53,8	215,4
Liczba sadzonek z zamierzoną mikoryzą (tys. szt.)**	970	2500	10 200	11 300	10 250	8500	43 720

* *Hebeloma* + *Laccaria*.
** Różnice w proporcjach liczby sadzonek wyhodowanych w stosunku do ilości inokulum wynikają ze zmian w:
– technologii polegających na zmniejszonej dawce szczepionki przypadającej na 1 sadzonkę,
– proporcji liczby sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym (pojemniki) do sadzonek z odkrytym systemem (koryta, inspekty).

topatologii Leśnej Akademii Rolniczej w Krakowie. Od roku 2005 do programu włączony został blok zagadnień technicznych, mający na celu oprzyrządowanie procesów technologicznych dla szkółek produkujących sadzonki mikoryzowane w warunkach kontrolowanych, w inspektach i korytach, a także szkółek polowych, z hodowlą mikoryzowanego materiału sadzeniowego w glebie. Badania te wykonali pracownicy Katedry Mechanizacji Prac Leśnych Akademii Rolniczej w Krakowie.

Drugi, trzeci i czwarty etap programu zwiększania lesistości kraju z wykorzystaniem sadzonek mikoryzowanych obejmował prace podstawowe, związane z produkcją biopreparatów według francuskiej i polskiej technologii, inokulacją sadzonek oraz ich hodowlą w warunkach kontrolowanych, a także zakładaniem upraw leśnych z wykorzystaniem materiału mikoryzowanego. Realizację programu w tym zakresie w latach 2001–2006 przedstawia tabela VII.4.

Pilotażową produkcję sadzonek mikoryzowanych rozpoczęto w szkółkach kontenerowych Lasów Państwowych w nadleśnictwach: Śnieżka, Rudy Raciborskie, Jabłonna i Oleszyce. Wysoki poziom technologii hodowli sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, poparty odpowiednim wyposażeniem technicznym tych obiektów oraz zaangażowanie pracowników wymienionych nadleśnictw gwarantowały uzyskanie oczekiwanych efektów w postaci wysokiego współczynnika liczby sadzonek z ektomikoryzą pochodzącą z infekcji zamierzonej. W latach następnych do programu mikoryzacji włączane były stopniowo szkółki produkujące sadzonki w różnego rodzaju pojemnikach, balotach oraz na substratach torfowych w hodowli korytowej i inspektowej. W Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych opracowywane były szczegółowe plany, umożliwiające wyprodukowanie odpowiedniej ilości biopreparatu i substratów dla powiększającej się z roku na rok liczby nadleśnictw zgłaszających chęć przystąpienia do programu. Plany te stanowiły także podstawę określania rozmiaru pomocy finansowej dla nadleśnictw ze strony funduszu leśnego lub zewnętrznych jednostek wspierających finansowo realizację programu, głównie Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

W ramach piątego etapu tworzono i rozpowszechniano filmy popularyzujące ideę zalesień gruntów porolnych sadzonkami zmikoryzowanymi oraz filmy eduka-

cyjne, których celem było przekazanie społeczeństwu wiedzy teoretycznej i praktycznej w omawianym zakresie. Artykuły oraz publikacje prezentujące program polskiej, sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych umieszczane były, z inicjatywy Dyrekcji Generalnej LP, w kwartalniku „Postępy Techniki w Leśnictwie", serii „Biblioteczki leśniczego" oraz w fachowych czasopismach leśnych. W wielu szkoleniach z zakresu hodowli lasu, organizowanych zarówno dla kadry technicznej Lasów Państwowych jak i prywatnych właścicieli lasów, przy omawianiu tematyki zalesień oraz odnowień na tzw. gruntach trudnych, podkreślano korzyści wynikające ze stosowania mikoryzowanego materiału sadzeniowego. Lasy Państwowe stworzyły także, w języku polskim, angielskim i rosyjskim, oddzielną ofertę z zakresu zagospodarowania lasu, skierowaną do kontrahentów zagranicznych, której zasadniczym elementem były kompleksowe technologie produkcji sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym i hodowli sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme*. W języku angielskim wydano cennik sadzonek drzew leśnych, w tym sadzonek mikoryzowanych, który wzbogacał ofertę eksportową polskiego leśnictwa. Program mikoryzowy zgłaszano do finansowania z dotacji unijnych, m.in. w ramach dyrektywy Rady Europy, w projektach duńskim i norweskim.

W listopadzie 2003 roku polska technologia sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych szczepionką na bazie grzyba *H. crustuliniforme* otrzymała nagrodę ministra środowiska i prezesa Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej dla najlepiej wdrożonych rozwiązań technologicznych, prezentowanych podczas Międzynarodowych Targów Ekologicznych POLEKO.

Każda nowa technologia oraz produkt muszą mieć okres wdrożenia. Jest to trudny etap, wymagający zaangażowania ze strony zespołu wdrożeniowego, wiążący się również z dodatkowymi nakładami finansowymi. Z tych względów kierownictwo Lasów Państwowych podjęło decyzję o zaangażowaniu środków finansowych funduszu leśnego – w formie dopłaty dla nadleśnictw uczestniczących we wdrożeniu – z przeznaczeniem na pokrycie dodatkowych kosztów, wynikających z wymagań technologicznych mikoryzacji sadzonek. Rozmiar dotacji funduszu leśnego w latach 2001–2006 oraz zakres rzeczowy dofinansowania przedstawia tabela VII.5.

Źródłem dodatkowych kosztów, w stosunku do sadzonki niemikoryzowanej, były: biopreparaty, konieczność sterylizacji substratów, stosowanie drogich dodatków

Tabela VII.5.
Zaangażowanie funduszu leśnego w program wdrażania technologii sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych w poszczególnych latach

Rok	Przedmiot finansowania	Kwoty dotacji (tys. zł)
2001	szczepionka mikoryzowa	250
2002	szczepionka mikoryzowa, substrat, kasety	881
2003	szczepionka mikoryzowa, substrat	879
2004	szczepionka mikoryzowa, substrat	1523
2005	szczepionka mikoryzowa	687

Tabela VII.6.
Porównanie kosztów jednostkowych sadzonek poddanych sterowanej mikoryzacji w latach 2001–2004

Lata	Wartość 1 litra szczepionki	Przeciętny koszt mikoryzacji 1 sadzonki
2001	32,00 zł	0,12 zł
2004	13,20 zł	0,04 zł – V 120* 0,07 zł – V 265*

* Objętości pojemników w cm^3, w hodowli kontenerowej.

do nich, takich jak perlit i wermikulit oraz wysokiej jakości nawozów Osmocote. W pierwszej fazie wdrożenia, to jest w roku 2001, przeciętny jednostkowy koszt produkcji sadzonki mikoryzowanej był większy o 0,12 zł od kosztu sadzonki niemikoryzowanej. Natomiast w czwartym roku wdrażania tej technologii wzrost kosztu jednostkowego wyniósł 0,04 zł dla sadzonki hodowanej w kasecie o pojemności 120 cm^3 i 0,07 zł przy kasecie V-265 cm^3. Obniżenie kosztów możliwe było dzięki bieżącym korektom technologii, wprowadzanym jako efekt realizacji stałego nadzoru autorskiego nad programem mikoryzowym. Korekty polegały na wyeliminowaniu procesu sterylizacji substratu w polskiej technologii mikoryzacji, skorygowaniu programu nawożeniowego oraz obniżeniu procentowego udziału biopreparatu w substracie hodowlanym. Porównanie kosztów w omawianym okresie zestawono w tabeli VII.6.

W ramach polityki kierownictwa Lasów Państwowych wspierania jednostek uczestniczących w programie „mikoryzowym", każdego roku pozyskiwano dotacje Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. W latach 2001–2005 laboratoria i szkółki uczestniczące w programie uzyskały pomoc finansową wartości 4 377 243 zł. Uzyskiwane dotacje w poszczególnych latach trwania programu zawiera tabela VII.2, zaś podział środków dotacji na regionalne dyrekcje Lasów Państwowych tabela VII.7.

W okresie wdrożenia przyjęto i realizowano zasadę szkolenia wszystkich szkółkarzy przystępujących do programu. Obejmowało ono zajęcia teoretyczne oraz ćwiczenia praktyczne, w ramach których każdy uczestnik osobiście wykonywał prace przewidziane w technologii mikoryzacji. Uczestnicy otrzymywali szczegółowe instrukcje, zawierające aktualny opis technologii produkcji mikoryzowanych sadzonek z zakrytym i odkrytym systemem korzeniowym. W każdym sezonie wegetacyjnym, w ramach nadzoru autorskiego, funkcjonował system bieżącej konsultacji w zakresie technologii mikoryzacji sadzonek drzew leśnych oraz hodowli sadzonek na podłożach. Jesienią w szkółkach uczestniczących w programie Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych organizowała lustracje, których celem była ocena skuteczności zabiegu sterowanej mikoryzacji. Obserwacje podczas wizyt na szkółkach, a także wzajemna wymiana doświadczeń dawały niezwykle bogaty materiał praktyczny, przydatny do korygowania błędów popełnianych przez szkółkarzy zarówno w technologii mikoryzacji jak i hodowli sadzonek na podłożach. Wyniki lustracji były podstawą udoskonalania technologii.

Wyniki sześcioletnich obserwacji upraw zakładanych z użyciem sadzonek mikoryzowanych dają podstawę do twierdzenia, że działania związane z promowaniem polskiej technologii sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych w szkółkach leśnych przynoszą istotne efekty ekologiczne i ekonomiczne. Wzmacniają skutecz-

Tabela VII.7.
Wysokość dotacji (tys. zł) NFOŚiGW z tytułu uczestniczenia szkółek regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych w programie wdrożenia sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych

Lp.	RDLP	2001	2002	2003	2004	2005	Razem
1	Białystok			4	200	230	434
2	Gdańsk			21	80		101
3	Katowice	889		581			1470
4	Kraków	18		25	168	50	261
5	Krosno	2		119			121
6	Lublin						0
7	Łódź						0
8	Olsztyn			46			46
9	Piła						0
10	Poznań			34		100	134
11	Radom			9	38	50	97
12	Szczecin			10	32	45	87
13	Szczecinek					105	105
14	Warszawa	33	239	318		100	690
15	Wrocław	21		123	90	100	334
16	Zielona Góra			15		45	60
17	LBG Kostrzyca	437					437
18	**Ogółem**	**1400**	**239**	**1305**	**608**	**825**	**4377**

ność działań leśników w hodowaniu drzewostanów o najlepszych walorach użytkowych. Dzięki programowi polskiej technologii sterowanej mikoryzacji, obecnie znacznie więcej nadleśnictw rozpoczyna produkcję sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym w warunkach kontrolowanych. Skala hodowli tych sadzonek jest znacznie mniejsza niż w szkółkach typu kontenerowego, ale na każdej ze szkółek produkowanych jest od kilkudziesięciu do kilkuset tysięcy sadzonek rocznie. Używa się coraz lepiej wyposażonych tuneli foliowych, z rampami deszczującymi, systemem grzewczym i wentylacyjnym. Jest to naturalne dążenie w poszukiwaniu nowych rozwiązań techniczno-technologicznych, umożliwiających sprawniejszą realizację zadań hodowlanych i uwzględniających zmieniające się warunki środowiska przyrodniczego. Należy przypuszczać, że u podstaw takiego postępowania leżą obserwacje dokonań szkółek kontenerowych Lasów Państwowych, a także doświadczenia uzyskiwane w ramach kontaktów nawiązywanych w trakcie wymiany doświadczeń pomiędzy leśnikami polskimi i szkółkarzami z innych krajów.

Problem doskonalenia metod produkcji szkółkarskiej, w czym tkwi również element szczepień mikoryzowych, dostrzega się i docenia na całym świecie, gdzie

w ramach ponad dwustu projektów intensywnie bada się praktyczne zastosowanie zjawiska mikoryzy. W Europie oraz w Stanach Zjednoczonych pojawiają się pierwsze, komercyjne efekty prac badawczych w postaci firm oferujących różnego rodzaju szczepionki mikoryzowo-nawozowe. Umiejętność hodowli sadzonek najwyższej jakości oraz odpowiedniej ich promocji będzie bardzo ważna w zderzeniu Polski z rynkami europejskimi. Dysponowanie dobrą metodą mikoryzacji sadzonek może stanowić tzw. języczek u wagi, przyciągający nabywców sadzonek drzew leśnych do polskich producentów, z chwilą ich wejścia na rynek opanowany przez konkurencyjne firmy niemieckie, holenderskie, belgijskie czy skandynawskie. Do Polski przyjeżdżają leśnicy z krajów sąsiadujących: Litwy, Ukrainy, Czech i Słowacji, obserwują nasze dokonania w dziedzinie szkółkarstwa oraz nasiennictwa, a przy tym często adaptują nasze rozwiązania techniczno-technologiczne do własnych potrzeb i swoich warunków. Polska uczestniczy aktywnie w staraniach o zdobycie kontraktu na budowę szkółki kontenerowej w Kazachstanie oraz sprzedaży polskiej technologii mikoryzacji sadzonek drzew leśnych. To głównie dzięki sprawdzonemu programowi mikoryzacji sadzonek drzew leśnych Lasy Państwowe mają szansę na szerszą obecność polskiej myśli technicznej w Europie, a także kontynencie azjatyckim, w ramach programu budowy pasa leśnego otaczającego Astanę, nową stolicę Kazachstanu, miasta położonego w stepach pozbawionych roślinności drzewiastej.

.

MIKORYZACJA STEROWANA

VIII. Sterowana mikoryzacja sadzonek różnych gatunków drzew leśnych hodowanych techniką kontenerową

1. Przyrodnicze uwarunkowania i postęp w hodowli sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym

Dr inż. Kazimierz Szabla, Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych Katowice, ul. Huberta 43/45, 40-952 Katowice

Jak wszystkie formacje roślinne na ziemi, tak i lasy odnawiały się same „od zawsze" lub powracały na dawne miejsca siłami natury wszędzie tam, gdzie na nowo zaistniały do tego warunki, głównie glebowe i klimatyczne. Dążenie do samoodnawiania jest naturalną cechą lasu. Ten naturalny proces został jednak zakłócony przez człowieka, który przygotowując miejsca pod pastwiska lub uprawy rolne przez kilka ostatnich tysiącleci z różną intensywnością wycinał lasy, a także coraz silniej je eksploatował. Rozwój cywilizacyjny prawie zawsze odbywał się kosztem wylesień o ogromnym rozmiarze i zasięgu geograficznym. Ostatnie 2500 lat to okres dynamicznego wylesiania Europy. Najwcześniej przetrzebiono lasy wokół basenu Morza Śródziemnego. W Anglii również już w pierwszych wiekach naszej ery trwało intensywne wycinanie lasów na potrzeby hutnictwa rud ołowiu, srebra i miedzi. W następnych wiekach w Europie Zachodniej dynamiczny rozwój miast, a także hutnictwa metali i szkła był powodem ogromnego wycinania lasów. Od XV wieku wielkie odkrycia geograficzne, co wiązało się z budową statków, spowodowały wzrost zapotrzebowania na drewno najlepszej jakości. W tym czasie w wielu krajach Europy Zachodniej lasy zostały już w znacznym stopniu wyeksploatowane, więc z upływem lat sięgano coraz intensywniej do zasobów leśnych krajów środkowej i północno-wschodniej Europy. Gwałtowny ponadto rozwój populacji ludzkiej w połowie XVII wieku (do tego czasu liczba ludności na świecie powiększała się bardzo powoli) spowodował dalszy, intensywny wzrost zapotrzebowania na żywność, a także drewno. W XIX wieku lesistość wielu krajów Europy oscylowała zaledwie od kilku do kilkunastu procent. Lesistość Polski w XVIII wieku wynosiła jeszcze ponad 40%, zaś na początku XX wieku była już mniejsza o prawie połowę.

Mimo wszystko jednak to i tak dużo ze względu na fakt, że w drugiej połowie XIX wieku zaczęto zalesiać grunty porolne. Po drugiej wojnie światowej lesistość Polski, a także Europy, zaczyna się zwiększać. Europa jest jedynym kontynentem na kuli ziemskiej, na którym od zakończenia drugiej wojny światowej rośnie powierzchnia lasów oraz ich zasobność. Bezprecedensowe w skali wylesienia powodowane są obecnie na wszystkich, poza Europą, kontynentach, przez co na Ziemi ubywa lasów w tempie kilkunastu milionów hektarów rocznie.

Historia ostatnich 3–4 tysięcy lat zna wiele przykładów dotyczących obszarów, na których po ich wylesieniu na tyle zmieniły się warunki środowiskowe, głównie glebowe, że powrót lasu siłami natury stał się bądź niemożliwy do dzisiaj, bądź trwa bardzo wolno. Przykładem z ostatnich wieków są słynne wrzosowiska w Wielkiej Brytanii. W Europie pod koniec XVIII i na początku XIX wieku lasy przestały odgrywać rolę dostarczyciela głównie surowca energetycznego i budulca. Wraz z rozwojem technicznym, technologicznym i cywilizacyjnym, a także gwałtownym wzrostem liczby ludności rosło zapotrzebowanie na drewno określonych gatunków, przy tym najczęściej już nie jako surowca energetycznego, gdyż drewno w dużym stopniu zastąpił węgiel. Górnictwo węgla kamiennego, co wydaje się być pewnym paradoksem, zużywało jednak znaczne masy drewna na obudowę chodników. Powstało też wiele nowych gałęzi przemysłu, których rozwój wymagał coraz większych ilości drewna określonych gatunków. Rozwój przemysłu celulozowo-papierniczego spowodował gwałtowny wzrost zapotrzebowania na określoną jakość surowca drzewnego. Zaspokojenie tych potrzeb wymagało nie tylko intensyfikacji produkcji drewna w lasach, ale i zmiany ich składu gatunkowego. Zalesiano więc pastwiska i grunty porolne, a także – by uzyskać pożądany surowiec – przekształcono istniejące lasy pod względem składu gatunkowego. W konsekwencji do lat 70. ubiegłego wieku w większości zakładano uprawy leśne o zubożonym lub całkowicie zmienionym składzie gatunkowym, niedostosowanym do siedliska – były to monokultury o cechach plantacji, złożone często z jednego gatunku drzewa. Nie przywiązywano także większej wagi do pochodzenia nasion, co z czasem okazało się zgubne i dopiero pod koniec XX wieku zdano sobie sprawę z potrzeby regionalizacji nasiennej.

Większość dzisiejszych lasów europejskich to zespoły roślinne ukształtowane w dużym stopniu przez człowieka. Najwcześniej lasy naturalne przekształcono na produkcyjne w Europie, gdzie od ponad dwustu lat na wielu obszarach leśnych zaczęły dominować monokultury. Nie mogły one, poza ograniczonymi przypadkami, odnawiać się samoistnie i na tyle intensywnie, aby sprostać potrzebom rozwijającej się gospodarki. Człowiek, dążąc do ich odnowienia i zalesienia pożądanymi gatunkami drzew, zaczął hodować ich sadzonki i tak narodziły się pierwsze szkółki gruntowe. Szczególnie w ostatnich kilku dziesięcioleciach szkółki gruntowe przeszły ewolucję w zakresie położenia, zajmowanej powierzchni i całej, rozbudowanej infrastruktury (Fonder, Berft 1988). Do dzisiaj w większości krajów europejskich szkółki gruntowe są podstawą szkółkarstwa leśnego, gdzie większość sadzonek (z tzw. odkrytym systemem korzeniowym) hodowana jest w gruncie, z wyjątkiem krajów skandynawskich, w których dominuje hodowla sadzonek w pojemnikach.

W drugiej połowie XX wieku, w ukształtowanych przez człowieka lasach, w wielu regionach Europy zaczęto obserwować negatywne skutki takiej gospodarki le-

śnej. Wystąpiły także inne problemy, objawiające się masowym pojawem chorób i szkodników, często ograniczających produkcyjne oraz pozaprodukcyjne funkcje lasów, a nawet zagrażające ich trwałości, jak też ciągłości istnienia. Wraz z rozwojem przemysłu, głównie energetycznego i hutniczego, pojawiło się nowe zagrożenie lasów w postaci imisji przemysłowych, o coraz większym nasileniu i na zwiększających się obszarach. Postępująca degradacja środowiska leśnego, przejawiająca się szczególnie zwiększaniem zakwaszenia oraz koncentracją toksycznych pierwiastków i ich związków w glebach, doprowadziła do znacznego zniszczenia w nich życia biologicznego. W następstwie dochodziło do drastycznego ograniczenia procesów rozkładu materii organicznej, a także zaniku wielu organizmów niezbędnych do niezakłóconego funkcjonowania ekosystemów leśnych, w tym grzybów mikoryzowych, „żywiących i broniących" drzewa leśne. Złe zaś odżywianie drzew i brak osłonowego oddziaływania mikoryz umożliwiły ich infekowanie przez organizmy patogeniczne, co w konsekwencji prowadziło do zamierania drzew, a nawet całych drzewostanów. Skutki imisji tlenków siarki, azotu, fluorowodoru oraz wielu metali ciężkich ze szczególną ostrością występowały i nadal trwają na Śląsku. Gromadząca się ponadto w lasach w coraz większej ilości nierozłożona ściółka, z roku na rok zwiększała zasoby łatwopalnej materii organicznej. Obok imisji przemysłowych i hodowli monokultur, często w cyklach kilkakrotnie następujących po sobie, do czynników degradujących gleby leśne dołączyły pożary, których liczba i rozmiar w istotnym stopniu nieprzerwanie rośnie od początku lat 70. ubiegłego wieku.

Następstwem degradacji gleb leśnych, między innymi, było masowe wypieranie tradycyjnego runa leśnego przez trawy, głównie trzcinnik, i w konsekwencji zadarnienie pokrywy gleb. Uniemożliwiło to niemal całkowicie naturalne odnowianie się drzew leśnych, a odbudowa lasu na takich terenach przy użyciu sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym, pochodzących ze szkółek gruntowych, coraz częściej przysparzała duże trudności i nie przynosiła pożądanych rezultatów hodowlanych. Sytuacja ta spowodowała zapotrzebowanie na sadzonki silne, dobrze adoptujące się do ekstremalnych warunków środowiskowych i wyposażone w odpowiednie symbionty. Wymaganiom tym sprostać mogą, w o wiele większym stopniu niż z odkrytym systemem korzeniowym, sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym, hodowane w specjalnej konstrukcji pojemnikach, szczepione odpowiednimi do fazy rozwoju gatunkami grzybów symbiotycznych (Berft 2000).

Historycznie, jako pierwsi, hodowlę sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym (czyli z bryłką) zaczęli stosować ogrodnicy. Początkowo ich doświadczenia w hodowli sadzonek drzew leśnych wykorzystywano w wielu krajach. Zastosowane tam rozwiązania i wzory próbowano adoptować do potrzeb szkółkarstwa leśnego. Zainteresowanie na większą skalę hodowlą sadzonek drzew leśnych z zakrytym systemem korzeniowym wywołało zwiększanie się zdegradowanych – w wyniku imisji przemysłowych i pożarów – powierzchni gleb leśnych, a także intensyfikacja planowej gospodarki leśnej, jak też wzrost powierzchni odnowień oraz zalesień w trudnych warunkach klimatycznych, glebowych i terenowych. Głównym powodem rozwoju hodowli sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, obok warunków przyrodniczych i klimatycznych, były również względy ekonomiczne. Najdłuższą tradycję hodowli takich sadzonek mają w Europie kraje skandynawskie, a tak-

że – ze względu na warunki alpejskie – Austria i Francja. Nieco później zastosowanie sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym zostało wdrożone do praktyki leśnej w Kanadzie, Stanach Zjednoczonych i stopniowo w innych państwach. Obecnie w ten sposób są hodowane sadzonki na całym świecie, a w wielu krajach ma on znaczący udział w hodowli sadzonek drzew leśnych ogółem. W Norwegii, Szwecji i Finlandii sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym to ponad 80% ogólnej liczby hodowanych tam sadzonek. W świecie corocznie rośnie ich udział w ogólnej liczbie produkowanego materiału odnowieniowego. Ciągle też doskonali się narzędzia, urządzenia i technologie służące do takiej hodowli.

Powstające od kilkunastu lat szkółki kontenerowe, to wysoce wyspecjalizowane obiekty, nowocześnie wyposażone, gdzie stosuje się wiele nowatorskich technologii. Istotną cechą hodowli sadzonek w szkółkach kontenerowych jest uniezależnienie w istotnym stopniu od panującego lokalnie klimatu i oderwanie od gleby, która po wielu latach jej użytkowania, a także przez stosowanie nawozów mineralnych i środków chemicznych ochrony roślin, w wielu szkółkach wykazuje objawy mikrobiologicznego „zmęczenia".

W Polsce, w Lasach Państwowych, hodowlę sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym na skalę gospodarczą rozpoczęto pod koniec lat 60. ubiegłego wieku (Gorzelak 1998). Pionierskie prace w tym zakresie zainicjowano w Nadleśnictwie Nawojowa (RDLP Kraków).

Doświadczenia te stosowano również w wielu innych szkółkach, z reguły jednak na niewielką skalę. W pierwszych takich szkółkach, ze skromną zazwyczaj infrastrukturą techniczną, korzystano przede wszystkim z pojemników wykonanych ręcznie z różnego rodzaju folii z tworzyw sztucznych. Pod koniec lat 80. XX w. do hodowli sadzonek zaczęto używać pojemników zblokowanych (tzw. kontenerów). Wszystkie prace, począwszy od przygotowania substratu do napełniania pojemników i obsiewu nasion, w zasadzie wykonywano ręcznie. Była to jednak hodowla niewielkiej liczby sadzonek, nieprzekraczającej w skali Lasów Państwowych kilkuset tysięcy sztuk rocznie, co przy ówczesnej produkcji około 1,5 mld sztuk stanowiło zaledwie ułamek procenta. Dopiero gwałtowny przyrost powierzchni zdegradowanych imisjami przemysłowymi, a także powierzchni leśnych po wielkich klęskach z lat 80. i początku 90. ubiegłego wieku oraz trudności z ich odnawianiem zdecydowały o podjęciu decyzji o budowie kilku nowoczesnych szkółek kontenerowych w Lasach Państwowych.

Pierwsza, nowocześnie wyposażona szkółka kontenerowa, o planowanej rocznej produkcji około 3 mln sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, powstała w Nadleśnictwie Śnieżka, w miejscowości Kostrzyca, obok Leśnego Banku Genów. Jej lokalizacja związana była z potrzebą zwiększenia efektywności odnowień powierzchni poklęskowych w Sudetach zachodnich. Trudności z odnowieniem kilkunastu tysięcy hektarów powierzchni po rozpadających się drzewostanach świerkowych, na glebach zdegradowanych imisjami przemysłowymi, a także z uwagi na surowy klimat górski wymagały sadzonek jak najbardziej odpornych na czynniki stresogenne, a przy tym umożliwiające wydłużenie okresu sadzenia. Szkółka ta, jako pierwsza w Polsce, została wyposażona w nowoczesną linię do automatycznego napełniania pojemników substratem i ich obsiewu nasionami gatunków iglastych.

Do hodowli sadzonek użyto zblokowanych pojemników z polietylenu typu Hico o pojemności 370 cm^3. Wyposażenie szkółki i technologia produkcji sadzonek pochodziła głównie z krajów skandynawskich.

Fot. VIII.1.1. Jedna z najstarszych szkółek w Polsce, hodująca sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym od połowy lat sześćdziesiątych (Nadleśnictwo Nawojowa)

Fot. VIII.1.2. Leśny Bank Genów w Kostrzycy, a obok niego szkółka kontenerowa (Nadleśnictwo Śnieżka)

Druga szkółka kontenerowa, także wzorowana na szkółkach skandynawskich, wybudowana została w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie (RDLP Katowice). O jej usytuowaniu zadecydowały nie tylko problemy z odnawianiem gruntów leśnych zdegradowanych imisjami przemysłowymi oraz potrzeby zalesień gruntów poprzemysłowych i rekultywowanych Górnego Śląska. Bezpośrednim powodem budowy szkółki kontenerowej i jej lokalizacji był katastrofalny pożar lasu, jaki miał miejsce w nadleśnictwach: Rudy Raciborskie, Kędzierzyn i Rudziniec w 1992 roku. W wyniku tego pożaru zaszła konieczność odbudowy lasu w ekstremalnych warunkach na powierzchni 9 tysięcy hektarów. Efektywność odnowień pożarzyska przy użyciu sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym, zwłaszcza w pierwszych latach po pożarze, była mała – często nie przekraczała 50%. W następnych latach postępujące zadarnienie istotnie przyczyniło się do słabych efektów hodowlanych w uprawach. W warunkach Górnego Śląska użycie do odnowień – nie tylko pożarzyska – sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, mikoryzowanych właściwymi grzybami symbiotycznymi stało się nie tylko uzasadnione, ale wręcz konieczne. Szkółka kontenerowa w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie to, jak do tej pory, największa i najlepiej wyposażona szkółka w Polsce, o rocznej produkcji 5–8 mln sadzonek. Zdolność napełniania pojemników substratem i ich obsiewu na zautomatyzowanej linii wynosi 200 tysięcy sztuk na dobę. W szkółce używa się kontenerów z polipropylenu o objętości pojedynczego pojemnika 50, 120, 265 i sporadycznie 370 cm^3, zależnie od gatunku i cyklu hodowli. Przy szkółce funkcjonują dwa laboratoria do produkcji biopreparatów z grzybami ektomikoryzowymi według dwu odmiennych technologii, a także Stacja Oceny Nasion (SON).

Fot. VIII.1.3. Szkółka kontenerowa w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie (RDLP Katowice)

Fot. VIII.1.4. Szkółka kontenerowa w Nadleśnictwie Jabłonna (RDLP Warszawa)

Trzecia szkółka kontenerowa, wzorowana na dwu poprzednich, uruchomiona została w 2000 roku w Nadleśnictwie Jabłonna (RDLP Warszawa). W szkółce tej hoduje się rocznie 3–3,5 miliona sadzonek, w znacznej części mikoryzowanych, przeznaczonych głównie do zalesień gruntów porolnych na szczególnie ubogich siedliskach województwa mazowieckiego. W szkółce stosuje się kontenery o objętości pojemnika 120 i 265 cm^3.

W 2002 roku hodowlę sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym zainicjowano również w szkółce kontenerowej w Nadleśnictwie Oleszyce (RDLP Krosno). Szkółka ta nastawiona jest głównie na hodowlę sadzonek jodły, a także dębu i buka. Sadzonki są przeznaczone do odnowień powierzchni trudnych, głównie w Bieszczadach. Do hodowli używa się kontenerów ze styropianu, o objętości pojedynczego pojemnika 200 i 300 cm^3. Roczna produkcja wynosi ponad 1 milion sadzonek. Z uwagi na specyficzne wymagania hodowanych gatunków, w szkółce świadomie zrezygnowano ze znacznej automatyzacji procesu hodowlanego i część prac wykonuje się ręcznie.

Dwie następne szkółki kontenerowe powstały w Nadleśnictwie Gidle i Bielsko (RDLP Katowice). Obie, podobnie jak szkółka w Nadleśnictwie Oleszyce, stosują kontenery ze styropianu i półautomatyczne linie do napełniania ich substratem. Szkółka w Nadleśnictwie Gidle produkuje rocznie ponad 1 milion sadzonek, głównie na potrzeby zalesień gruntów porolnych, a sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym hodowane w szkółce Nadleśnictwa Bielsko, w liczbie około 1 miliona sztuk rocznie, przeznaczone są w całości do odnowień powierzchni poklęskowych w Beskidzie Śląskim i Żywieckim.

W wielu nadleśnictwach hoduje się rocznie w szkółkach od kilku do kilkudziesięciu tysięcy sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, w różnych pojemnikach, z dużym udziałem pracy ręcznej i bez drogiej infrastruktury. W 2005 roku rozmiar tej hodowli to 50 milionów sztuk, tj. około 5% ogólnej liczby sadzonek drzew leśnych hodowanych w Lasach Państwowych. W związku z prognozowanym

Fot. VIII.1.5. Szkółka kontenerowa w Nadleśnictwie Oleszyce (RDLP Krosno)

Fot. VIII.1.6. Szkółka kontenerowa w Nadleśnictwie Bielsko (RDLP Katowice)

Fot. VIII.1.7. Szkółka kontenerowa w Nadleśnictwie Gidle (RDLP Katowice)

wzrostem powierzchni do odnowień w wyniku rozpadu drzewostanów świerkowych, a także przyjętej w planach urządzenia lasu intensyfikacji przebudowy drzewostanów o składzie niedostosowanym do siedliska, głównie litych świerczyn w kilku nadleśnictwach Beskidu Śląskiego i Żywieckiego, planuje się rozpoczęcie lub rozszerzenie hodowli sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym o 2–3 miliony sztuk, a także budowę szkółki o rocznej produkcji 1 miliona sadzonek jodły.

Rozwój hodowli sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym w szkółkach kontenerowych narzucił wiele wymagań i rygorów. Przede wszystkim dotyczą one podłoża produkcyjnego (substratu), rodzaju i budowy pojemnika, jakości i przygotowania nasion oraz wielu innych (Szabla, Pabian 2002, 2003; Wesoły 1998, Suszka 2000). Pierwotnie do hodowli sadzonek w pojemnikach podłoża komponowano z ziemi oraz kompostów. Z czasem zaczęto je wytwarzać także z udziałem kory sosnowej, piasku, ściółki leśnej, czy trocin. Cechowała je ogromna zmienność właściwości fizykochemicznych. Często też zawierały nasiona chwastów, a także materiał zakażony szkodliwymi organizmami (np. grzybami zgorzelowymi). Wraz z rozwojem szkółkarstwa w warunkach kontrolowanych rosło zapotrzebowanie na podłoża o ściśle określonych właściwościach, dobranych do potrzeb sadzonek. Podstawowym komponentem podłoży (substratów) stał się torf, najlepiej sfagnowy, wysoki. W latach 70. i 80. ub. w. najczęściej stosowane w szkółkach leśnych substraty były komponowane z torfu, trocin i ściółki, czy z torfu, kory i piasku, zazwyczaj w proporcji objętościowej 7 : 2 : 1. W miarę rozwoju w leśnictwie hodowli sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym jakość substratów była podstawowym warunkiem powodzenia lub przyczyną problemów. W szkółkach kontenerowych o wielomilionowej rocznej produkcji właściwości fizykochemiczne substratu mają szczególne

znaczenie i muszą być ściśle kontrolowane. Istotne właściwości substratów w hodowli sadzonek w szkółkach kontenerowych to:

- odpowiednia porowatość, nazywana pojemnością powietrzną, co oznacza, że pomimo nasączenia substratu wodą, musi pozostawać określona objętość zawsze wypełniona powietrzem;
- zdolność do gromadzenia odpowiedniej w stosunku do wagi substratu ilości wody, w większości łatwo dostępnej dla korzeni sadzonek;
- odpowiednie i możliwe do regulacji pH;
- nieobecność lub ograniczona obecność organizmów chorobotwórczych, zwłaszcza grzybów zgorzelowych;
- brak nasion chwastów i innych niepożądanych roślin;
- niewielka ilość lub brak składników pokarmowych, co w zależności od potrzeb umożliwia regulowanie nawożeniem – ma to szczególnie istotne znaczenie w procesie sterowanej mikoryzacji sadzonek.

Wymagane właściwości substratów używanych w szkółkach kontenerowych wynikają ze specyficznych uwarunkowań technologicznych, odmiennych od pozostałych sposobów hodowli sadzonek w pojemnikach. Uwarunkowania te to: mała objętość pojemnika, ażurowa budowa (niektórych) stosowanych pojemników, wzrost sadzonek – w większości w naturalnych warunkach atmosferycznych i jednoroczny cykl hodowlany w odniesieniu do większości gatunków. Dzięki kilkunastu już latom doświadczeń hodowli sadzonek w polskich szkółkach kontenerowych można stwierdzić, że zasadniczym warunkiem udanej hodowli sadzonek i ich efektywnej mikoryzacji w odniesieniu do substratu są jego właściwości powietrzno-wodne oraz skład chemiczny. Obecnie głównym komponentem substratu jest (w co najmniej 80%) torf wysoki sfagnowy o odpowiednim składzie granulometrycznym, w przedziale frakcji 0,5–6,0 mm. Innym składnikiem substratu najczęściej jest perlit o odpowiedniej granulacji, a w wypadku poddawania tak hodowanych sadzonek sterowanej mikoryzacji, również wermikulit (Szabla, Pabian 2003).

Nasiona muszą spełniać kryteria najlepszej jakości i są często wcześniej poddawane separacji oraz tak przedsiewnie przygotowane, aby ich użycie zapewniało uzyskanie – w określonym czasie oczekiwanych pod względem liczby i jakości – siewek. W tradycyjnym szkółkarstwie leśnym wymagania takie nie były formułowane. Normy wysiewu nasion do gruntu uwzględniały zarówno ich zdolność kiełkowania, siłę kiełkowania, jak i rozwlekłość. W szkółkarstwie kontenerowym, ze względu na reżim czasowy i koszty hodowli, technologia wymaga takiego przygotowania przedsiewnego nasion, które daje największą udatność siewek w pojemnikach. Nasiona należy więc tak przygotować, aby jak najkrótszy był czas wschodów, a one wyrównane w czasie i w maksymalnej liczbie pojemników. Każdy „pusty" pojemnik podraża wynikowy koszt sadzonki poprzez amortyzację, która w szkółkach kontenerowych stanowi około 50% wszystkich kosztów wyhodowania sadzonki.

Budowa szkółek kontenerowych w Lasach Państwowych stymulowała szybki rozwój badań w zakresie nasiennictwa leśnego, a szczególnie opracowanie technologii przechowalnictwa nasion gatunków lasotwórczych rodzimych drzew i krzewów, ich obróbki oraz przedsiewnego przygotowania w dostosowaniu do technologii hodowli sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym w szkółkach kontenerowych (Suszka 2000, Suszka i in. 1994).

Fot. VIII.1.8. Wnętrze tunelu foliowego

Fot. VIII.1.9. Linia do napełniania kaset substratem i wysiewu nasion

Siewkom należy zapewnić takie warunki wzrostu i rozwoju, aby w założonym w technologii czasie (zazwyczaj 2–3-krotnie krótszym niż w szkółkach polowych) wyhodować sadzonki o oczekiwanych parametrach i najlepszej jakości. Warunkiem powodzenia hodowli sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym w szkółkach kontenerowych jest uzyskanie maksymalnej efektywności hodowlanej, wyrażającej się liczbą sadzonek w kontenerze w stosunku do liczby pojedynczych pojemników kontenera.

Gama gatunków drzew leśnych hodowanych w polskich szkółkach kontenerowych sięga obecnie ponad czterdziestu gatunków drzew i krzewów leśnych, produkowanych z zakrytym systemem korzeniowym. Aby sprostać potrzebom, leśnicy praktycy przy pomocy pracowników ośrodków naukowych musieli rozwiązać wiele problemów, które dzisiaj stanowią wspólny dorobek (Gorzelak 1986, 2000, Sabor 1998). Można zatem stwierdzić, że rozwój szkółkarstwa kontenerowego w Polsce był i jest motorem postępu w całym szkółkarstwie leśnym, a także i innych dziedzinach leśnictwa. W Lasach Państwowych w Polsce szkółki kontenerowe dają możliwość:

- prowadzenia intensywnej, z reguły kilkumilionowej, hodowli sadzonek większości gatunków drzew leśnych;
- hodowlę sadzonek w warunkach zewnętrznych najbardziej zbliżonych do naturalnych;
- precyzyjnego zaplanowania rozmiaru hodowli z zaledwie kilkumiesięcznym wyprzedzeniem;
- wyhodowania sadzonek o oczekiwanych parametrach, zwykle w ciągu jednego sezonu wegetacyjnego;
- wyeliminowanie trwałej deformacji systemu korzeniowego, co przez wiele dziesięcioleci ograniczało rozwój sadzonek drzew leśnych w pojemnikach i ich stosowania w leśnictwie;
- zabezpieczenia korzeni sadzonek przed wysychaniem podczas transportu;
- ograniczenia deformacji korzeni w trakcie sadzenia.

Sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym, mikoryzowane, cechują się zwiększoną odpornością na czynniki stresogenne. Można je także sadzić na uprawach leśnych w zdecydowanie dłuższym okresie, co jest bardzo istotne np. w górach. Często, kiedy w wyższych partiach gór dopiero pojawiają się warunki do sadzenia, wegetacja w niżej z reguły położonych szkółkach jest już daleko posunięta. Na podstawie badań na wielu uprawach doświadczalnych, zakładanych na glebach leśnych i nieleśnych o różnym stopniu ich zdegradowania, mikoryzowane sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym zdecydowanie lepiej się przyjmują, a ich przeżywalność na szczególnie trudnych powierzchniach jest nawet o 40–50% większa niż sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym. Potwierdzono to w doświadczalnych uprawach porównawczych w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie, Świerklaniec i Chrzanów (Szabla 2004). Takie zalety tych sadzonek jak lepsza adaptacja w miejscu wysadzenia, większa żywotność i przeżywalność, a także dynamika wzrostu w uprawach decydują o coraz szerszym ich wykorzystaniu w gospodarce leśnej. Zastosowanie ich pozwala także na zmniejszenie liczby sadzonek w uprawach, a na glebach zachwaszczających się na skrócenie okresu pielęgnacji. W wypadku gruntów zdegradowanych pod względem mikrobiologicznym użycie sadzonek podda-

Fot. VIII.1.10. Właściwie dobrany pojemnik dobrze chroni przed deformacją system korzeniowy

Fot. VIII.1.11. System korzeniowy sosny po trzech latach na uprawie nie wykazuje deformacji

nych zabiegowi sterowanej mikoryzacji jest często warunkiem powodzenia hodowlanego.

W Polsce obecnie – i jak należy sądzić, także w najbliższych latach – podstawą szkółkarstwa leśnego będą szkółki gruntowe. Wszędzie jednak tam, gdzie użycie sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, „ulepszonych" w procesie sterowanej mikoryzacji jest uzasadnione przyrodniczo i ekonomicznie, powinny być one stosowane na szerszą skalę.

Opracowana w Polsce technologia hodowli sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym większości gatunków liściastych i krzewów oraz zaadoptowana z krajów skandynawskich w odniesieniu do sosny i świerka, oparta jest na optymalizacji warunków wilgotnościowo-nawożeniowych siewek podczas ich wzrostu w szkółce, a przede wszystkim na:

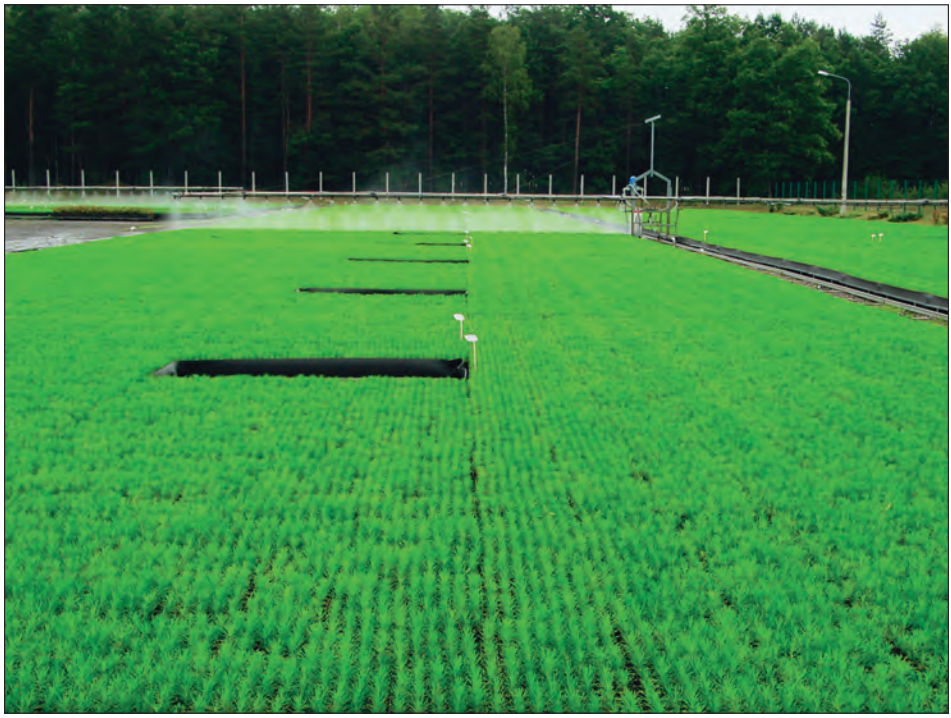
Fot. VIII.1.12. Jednoroczne sadzonki buka – mikoryzowane

– zapewnieniu kiełkującym nasionom optymalnych warunków termicznych i wilgotnościowych;
– stworzeniu rosnącym sadzonkom optymalnych warunków wilgotnościowo-nawożeniowych;
– zapewnieniu właściwego formowania się systemu korzeniowego w trakcie wzrostu sadzonek przez dobór do gatunku odpowiedniego pojemnika i cyklu hodowli;
– kontrolowaniu, inicjowaniu i przebiegu sterowanej mikoryzacji systemu korzeniowego z odpowiednimi, wyselekcjonowanymi szczepami grzybów;
– pozostawieniu sadzonki z bryłką korzeniową w pojemniku od siewu do jej wysadzenia w uprawę.

Proces kiełkowania nasion uwarunkowany jest przede wszystkim wypadkowym oddziaływaniem czynników – wilgotności podłoża i powietrza oraz temperatury podłoża i powietrza. Decydujące w tym wypadku znaczenie ma dostarczona nasionom – od chwili przerwania spoczynku – suma ciepła, wpływająca również na dynamikę kiełkowania. Technologia kontenerowa opiera się na zasadzie dostarczenia takiej ilości ciepła nasionom, aby zaspokoić potrzeby najbardziej wymagających gatunków. W przypadku niektórych gatunków drzew leśnych należy ponadto różnicować temperaturę dnia i nocy. Efektem jest szybkie i równomierne kiełkowanie wszystkich nasion. Proces kiełkowania zostaje przyspieszony do niezbędnego

Fot. VIII.1.13. Jednoroczne sadzonki sosny – mikoryzowane

Fot. VIII.1.14. Pierwsza faza hodowli sadzonek w namiotach foliowych



Fot. VIII.1.15. Otwarte pole z sadzonkami sosny

Fot. VIII.1.16. Otwarte pole z sadzonkami buka

minimum, np. w wypadku sosny do 6–8 dni. Znacznemu skróceniu ulega także pierwsza faza wzrostu siewek, do rozwoju liścieni. Faza kiełkowania i rozwoju liścieni przebiega w namiotach foliowych w ściśle kontrolowanych warunkach, które inicjuje się bardzo wczesną wiosną (początek marca), przez co znacząco przedłuża się okres wegetacyjny. Tym samym siewki większości gatunków lasotwórczych mają wystarczająco dużo czasu na osiągnięcie parametrów umożliwiających użycie ich jeszcze jesienią tego samego roku do prac odnowieniowych i zalesieniowych.

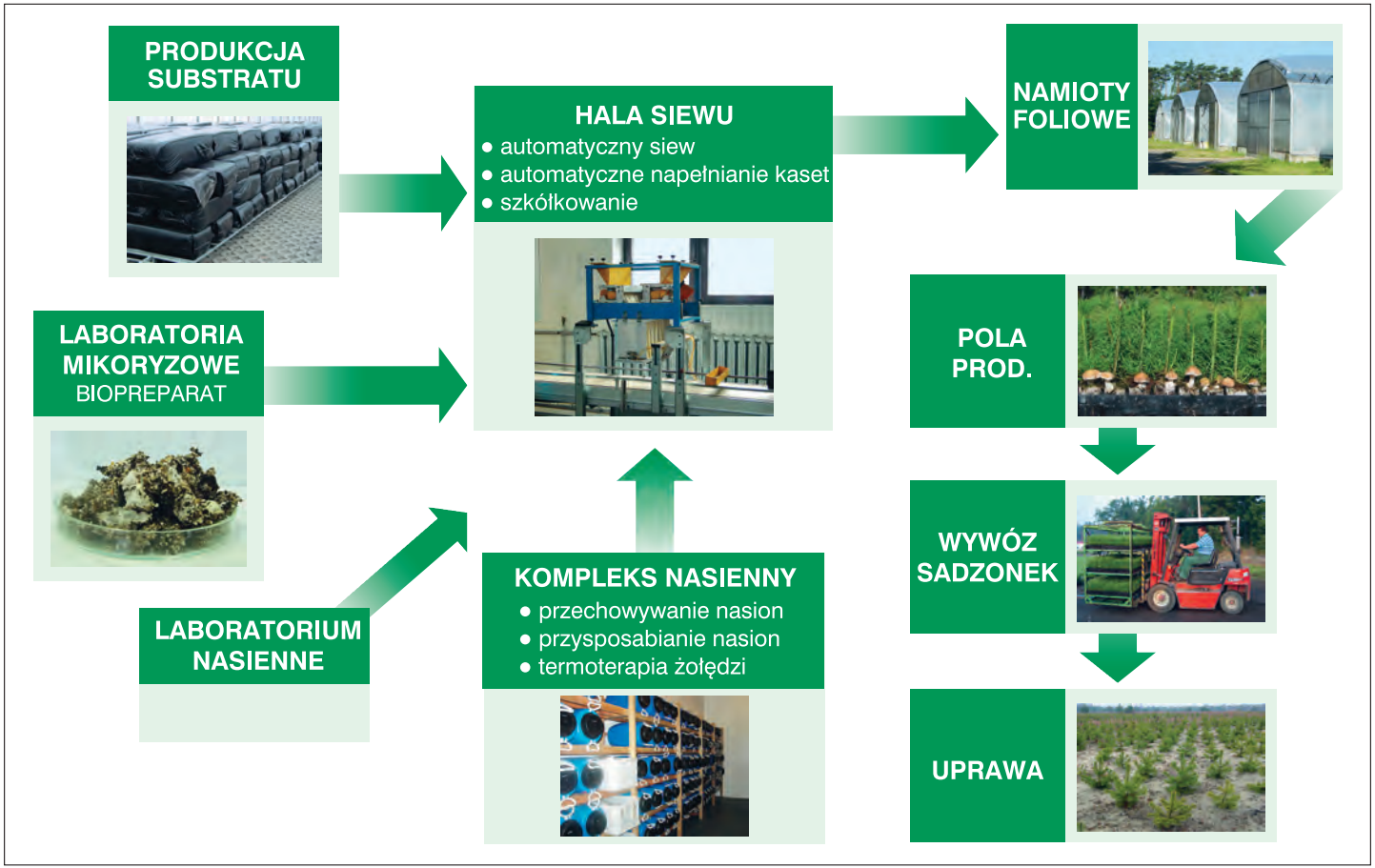
Siewki w fazie liścieni umieszcza się na powierzchni otwartej ze zmiennymi warunkami termicznymi, insolacyjnymi i wilgotnościowymi, by wykształciły normalne mechanizmy obronne i odpornościowe, dzięki czemu posadzone na uprawie leśnej są w pełni przygotowane do samodzielnego wzrostu. Znaczenie ma również umożliwienie siewkom fotosyntezy niezakłóconej zmienionym widmem światła i stężeniem dwutlenku węgla w powietrzu, co ma miejsce w namiocie foliowym. Siewki przez to tworzą substancje zapasowe: węglowodany, białka i tłuszcze, będące budulcem celulozy i ligniny.

Po krótkim pobycie w namiocie siewki przenosi się na otwartą powierzchnię dostarczając im odpowiednią ilość wody i nawozów, przeważnie dolistnie. Dawki nawozu i częstotliwość nawożenia są dostosowywane do potrzeb siewek, ustalanych podczas stałych badań. Dzięki optymalizacji warunków wilgotnościowych i troficznych oraz wydłużeniu okresu wegetacyjnego jednoroczne sadzonki osiągają zazwyczaj co najmniej rozmiary sadzonek dwuletnich, uprawianych sposobami tradycyjnymi.

Fot. VIII.1.17. Kontener z sadzonkami mikoryzowanymi grzybem *H. crustuliniforme*

Kontrolowany sposób hodowli sadzonek w szkółkach kontenerowych na ściśle określonych substratach stworzył możliwość wprowadzenia sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych na dużą skalę. Przyjęta technologia produkcji sadzonek w szkółkach kontenerowych w Lasach Państwowych uwzględniona została przy wyborze rodzaju biopreparatu mikoryzowego i opracowaniu technologii sterowanej mikoryzacji. W laboratorium przy szkółce kontenerowej w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie w 1997 roku rozpoczęto produkcję biopreparatu na podstawie technologii francuskiej firmy ROBIN PEPINIERES, opartej na grzybie *Laccaria bicolor* i *L. laccata* (szczepy początkowo północnoamerykańskie) oraz sterowaną mikoryzację sadzonek drzew iglastych i liściastych. Opracowany oryginalny polski biopre-

Fot. VIII.1.18. Jednoroczna sadzonka sosny poddana zabiegowi sterowanej mikoryzacji



Ryc. VIII.1.1. Opis cyklu produkcyjnego sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym

parat z grzybem *Hebeloma crustuliniforme* oraz technologia mikoryzacji różnych gatunków drzew leśnych tym biopreparatem wykorzystywane były na skalę doświadczalną w szkółce kontenerowej w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie od 1998 roku, natomiast od roku 2000 wdrożone są w polskim leśnictwie na szeroką skalę.

Dzisiejsze szkółki kontenerowe w Polsce to nowoczesne, dobrze wyposażone obiekty, składające się z kompleksów nasiennych, w skład których wchodzą: urządzenia i linie do obróbki nasion, separatory nasion, a często i linie termoterapii nasion dębu, chłodnie do wieloletniego przechowywania nasion, komory stratyfikacyjne, laboratoria dające możliwość szybkich, koniecznych analiz. Szkółki wyposażone są w linie do napełniania substratem kontenerów i ich obsiewu, a także mechanicznego szkółkowania, tunele foliowe wyposażone w klimatyzację i nowoczesne systemy nawadniania, nawożenia oraz ochrony chemicznej siewek.

Towarzyszy temu odpowiednia infrastruktura – drogi komunikacyjne, pola produkcyjne wyposażone w systemy nawadniania i nawożenia dolistnego oraz ochrony sadzonek, zbiorniki i sieci wodne. Ponadto specjalistyczny sprzęt jak: wózki widłowe, ciągniki i samochody, stelaże do transportu sadzonek do lasu, a także specjalnie skonstruowane kostury do sadzenia tak wyhodowanych sadzonek. Przy szkółce w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie znajduje się hala wyposażona w linię do produkcji substratów o rocznej wydajności 10 tys. m^3, zaspokajająca w 100% obecne potrzeby Lasów Państwowych.

Hodowla sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym w szkółkach kontenerowych jest już trwałym składnikiem szkółkarstwa leśnego. Sadzonki z tych szkółek znajdują coraz szersze zastosowanie nie tylko w leśnictwie. Wydaje się, że zapo-

Fot. VIII.1.19. Nie wszystkie gatunki lasotwórcze hodowane w jednorocznym cyklu wymagają pobytu w tunelu foliowym – pole produkcyjne z kontenerami obsianymi nasionami dębu szypułkowego, przykryte agrowłókniną

trzebowanie na nie, z uwagi na silną antropopresję na środowisko, w wielu regionach Polski będzie stale rosnąć. Zmieniają się bowiem nie tylko uwarunkowania przyrodnicze, ale także ekonomiczne. Budowa kilku szkółek kontenerowych w Lasach Państwowych i wdrożenie do praktyki leśnej hodowli sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym było zasadniczym impulsem postępu w nasiennictwie i szkółkarstwie leśnym. Stworzyło to także możliwości wdrożenia na szeroką skalę do praktyki leśnej technologii sterowanej mikoryzacji sadzonek.

2. Określenie cyklu hodowlanego wybranych gatunków drzew i wybór pojemnika

Dr inż. Kazimierz Szabla, Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych Katowice, ul. Huberta 43/45, 40-952 Katowice

Podstawowym założeniem technologicznym hodowli sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym w szkółkach kontenerowych jest jak najkrótszy czas przebywania sadzonki w pojemniku, nazywany cyklem hodowli. Wynika to ze świadomego dążenia do maksymalnie możliwego skrócenia czasu hodowli sadzonek drzew i niektórych krzewów leśnych w stosunku do czasu hodowli tych samych gatunków w szkółkach gruntowych, przy założeniu uzyskania oczekiwanych parametrów wysokości części nadziemnej sadzonki i grubości strzałki w szyi korzeniowej. Czyni to szkółki kontenerowe bardzo dyspozycyjnymi, mogącymi elastycznie i w krótkim czasie – od kilku do kilkunastu miesięcy – reagować na zapotrzebowanie gospodarki leśnej. Jest to niezwykle istotne w regionach, w których drzewostany wykazują dużą predyspozycję na zjawiska klęskowe, wywołane czynnikami biotycznymi i abiotycznymi, powodującymi zamieranie drzewostanów. Do regionów takich należy, między innymi, Górny Śląsk. Dążenie do jak najkrótszego okresu wzrostu sadzonki w pojemniku wynika zarówno ze względów ekonomicznych jak i zapobiegania zagrożeniu deformacją systemu korzeniowego. Im bowiem krótszy jest ten okres, tym zagrożenie deformacją mniejsze. Cykl hodowlany sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym ma także duży wpływ na jednostkowy koszt sadzonki. W szkółkarstwie kontenerowym dąży się do optymalizacji objętości pojemnika, gdyż substraty spełniające wymagania takiej hodowli są istotnym elementem kosztów. Sadzonki wyhodowane w szkółkach kontenerowych przeznaczone są do odnowień i zalesień w leśnictwie, zatem dąży się do wyhodowania sadzonek o parametrach części nadziemnej analogicznych do tych, jakie stawia się sadzonkom z tradycyjnych szkółek gruntowych. Szczegółowa technologia hodowli gatunków lasotwórczych metodą kontenerową, przy jej adaptacji ze szwedzkich rozwiązań do warunków polskich lub opracowania od podstaw dla niektórych gatunków liściastych, nie uwzględniała pierwotnie możliwości sterowanej mikoryzacji, co spowodowało konieczność dostosowania technologii sterowanej mikoryzacji sadzonek do przyjętych warunków hodowli. W cyklu jednorocznym, w naszych warunkach klimatycznych, można wyhodować sadzonki w szkółkach kontenerowych o kryteriach norm

Tabela VIII.2.1.
Przeciętne wymiary sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym uzyskane w hodowli w szkółce kontenerowej w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie

Lp.	Gatunek	Symbol produkcyjny	Objętość pojemnika (cm^3)	Wysokość (cm)	Grubość szyi korzeniowej (mm)
1	Sosna zwyczajna	1/0k	120	15	5
2	Modrzew europejski	1/0k 0,5/1k	120	25	6
3	Świerk pospolity	1/0k 0,5/1k	120 265	15 30	4 10
4	Dąb szypułkowy	1/0k	265	25	6
5	Buk pospolity	1/0k	265	25	7
6	Lipa drobnolistna	1/0k	120	23	6
7	Klon jawor	1/0k	265	40	10
8	Brzoza brodawkowata	1/0k	265	30	8
9	Olsza czarna	1/0k	265	35	7

i potrzeb gospodarki leśnej dla takich, między innymi, gatunków jak: sosny – zwyczajna, czarna, wejmutka, a także modrzew europejski, dąb – szypułkowy i bezszypułkowy, buk pospolity, brzoza – brodawkowata i omszona, olsza czarna, lipa drobnolistna, klony czy grab pospolity, a także większość gatunków krzewów.

W cyklu półtorarocznym zaleca się hodować świerk pospolity oraz daglezję zieloną. Jodła pospolita jest jedynym rodzimym gatunkiem drzewiastym, którego hodowli sadzonek nie można przyspieszyć. Bez względu na to czy hodowana jest w warunkach kontrolowanych czy szkółkach tradycyjnych, by osiągnąć wymiary wymagane normą, musi być hodowana minimum trzy lata. Dążąc jednak do skrócenia czasu jej wzrostu w pojemnikach proponuje się najpierw wysiewać nasiona do inspektów, koryt Dünemanna lub na podłoże z substratów w namiotach foliowych, a następnie – po drugim roku – przeszkółkować do pojemników o pojemności co najmniej 250–300 cm^3.

Szczegółowe warunki hodowli sadzonek poszczególnych gatunków drzew leśnych metodą kontenerową podają Szabla i Pabian (2003). Bazując na dotychczasowych doświadczeniach w tym zakresie można sformułować następujące zalecenia co do wyboru pojemnika o odpowiedniej objętości oraz cyklu hodowli głównych gatunków lasotwórczych, poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji.

Sosna zwyczajna. Powinna być hodowana wyłącznie w cyklu jednorocznym (1/0), w pojemniku o objętości 120–200 cm^3. Po jednym sezonie wegetacyjnym uzyskuje się sadzonki o przeciętnej wysokości 15–20 cm, grubości w szyi korzeniowej 5 mm i z dobrze rozwiniętym systemem korzeniowym.

Świerk pospolity. Gatunek ten można hodować w cyklu jednorocznym (1/0), w kasetach pojemności 120–200 cm^3. Po siewie w pierwszej połowie marca i 6–8 tygodniach pobytu w namiotach foliowych otrzymuje się na koniec okresu wegetacyj-

nego sadzonkę o wysokości 15–18 cm i około 4 mm grubości w szyi korzeniowej. Korzystniej hodować go w cyklu półtorarocznym (0,5/1), wysiewając nasiona pod koniec maja lub w czerwcu do pojemników objętości około 50 cm^3. Z chwilą dostatecznego przerośnięcia korzeniami bryłki, sadzonki zostają – najczęściej na półautomatycznej linii – przeszkółkowane do docelowych, większych pojemników o objętości 250–300 cm^3. Sadzonki w drugim roku osiągają wysokość 30–35 cm i 12–14 mm grubości w szyi korzeniowej.

Modrzew europejski. Hoduje się go zasadniczo w cyklu jednorocznym (1/0), wysiewając nasiona w marcu w kasetach 120–200 cm^3, które na 7–8 tygodni umieszcza się w namiocie foliowym. Po okresie wegetacyjnym sadzonki osiągają wysokość 25–30 cm i 6–7 mm grubości w szyi korzeniowej.

Jodła pospolita. Zaleca się ją hodować w cyklu 2/1, tj. dwa lata hodowli w gruncie, po czym szkółkować do kontenerów o objętości celi 250–300 cm^3. Inna, mniej zalecana metoda hodowli, to cykl 1/2. W tym wypadku szkółkuje się siewki jednoroczne, wyhodowane w inspektach, które przez następne dwa lata rosną w pojemnikach o objętości nie mniejszej niż 300 cm^3. Po trzech latach sadzonki osiągają wysokość 15–20 cm.

Daglezja zielona. Hoduje się ją zwykle w cyklu jednorocznym (1/0), w pojemnikach o objętości 250–300 cm^3 – początkowo w tunelu foliowym, a następnie na otwartej powierzchni. Daglezję można także hodować w cyklu 0,5/1 w podobnych warunkach jak świerk 0,5/1.

Dąb szypułkowy i bezszypułkowy. Gatunki te hoduje się w cyklu jednorocznym (1/0), w pojemnikach o objętości 250–400 cm^3. W wyniku jednorocznego cyklu uzyskuje się sadzonki o wysokości 25–40 cm (wyższe w przypadku siewu w tunelach foliowych) i 6–7 mm grubości w szyi korzeniowej.

Buk pospolity. Hodowany jest wyłącznie w cyklu jednorocznym, w kontenerach o objętości pojemnika 250–400 cm^3. Na koniec okresu wegetacyjnego uzyskujemy sadzonki o wysokości 25–30 cm i 7 mm grubości w szyi korzeniowej.

Brzoza brodawkowata. Hodowana jest wyłącznie w cyklu jednorocznym, w pojemnikach 250–300 cm^3. W końcu sezonu wegetacyjnego uzyskujemy sadzonki o wysokości około 30–35 cm i 7–8 mm grubości w szyi korzeniowej.

Lipy – drobnolistna i szerokolistna oraz **grab pospolity.** Hodowane są w szkółkach kontenerowych wyłącznie w cyklu jednorocznym, w kontenerach o objętości pojedynczego pojemnika 200 cm^3 i większej. Po zakończeniu wegetacji otrzymujemy sadzonki lipy o wysokości około 25 cm i 6 mm grubości w szyi korzeniowej, a grabu o wysokości 18–20 cm i 5 mm grubości w szyi korzeniowej.

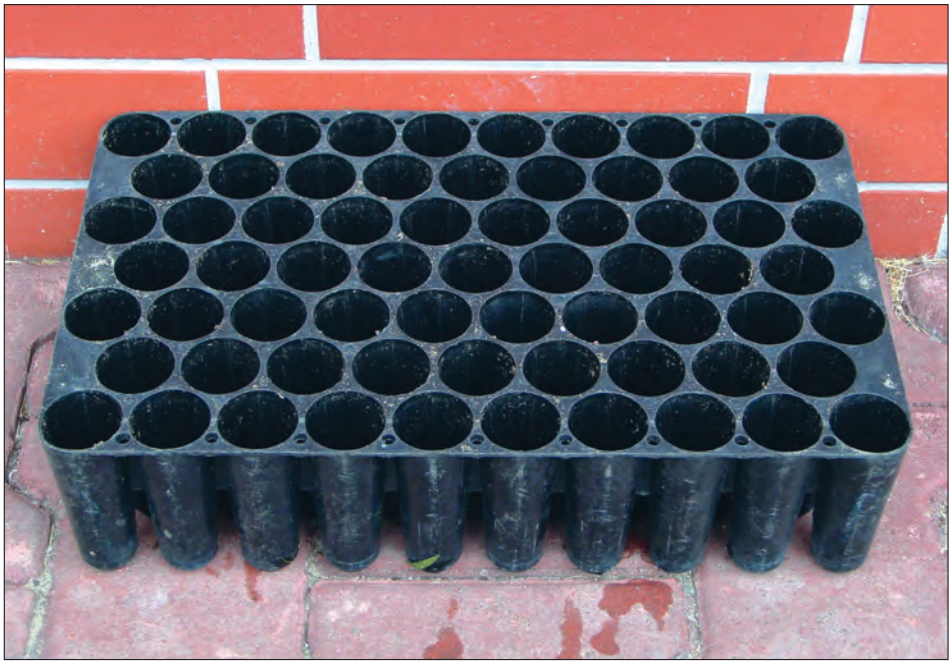
Po ustaleniu rozmiaru hodowli i struktury gatunkowej sadzonek, a także sprecyzowaniu wymagań co do ich wieku jak też wielkości, wybór rodzaju oraz kształtu pojemnika zblokowanego w kontener jest pierwszoplanową i podstawową decyzją. Główne zadania, jakie powinien spełniać pojemnik w szkółkarstwie leśnym, to umożliwienie wyhodowania sadzonki najwyższej jakości, z korzeniami otoczonymi substratem. Wielkość bryłki korzeniowej jest wypadkową cech fizjologicznych hodowanego gatunku, warunków klimatycznych, wzrostu, zakładanego okresu (cyklu) hodowli sadzonki w pojemniku oraz kosztów. Oprócz objętości pojedynczego pojemnika sprawą niezwykle istotną jest jego budowa, a zwłaszcza kształt, głębo-

Fot. VIII.2.1. Jednoroczna sadzonka sosny zwyczajnej mikoryzowana grzybem *L. bicolor*

Fot. VIII.2.2. Półtoraroczna sadzonka świerka pospolitego mikoryzowana grzybem *H. crustuliniforme*

Fot. VIII.2.3. Trzyletnia sadzonka jodły pospolitej jako dwulatka przeszkółkowana do pojemnika V-265

Fot. VIII.2.4. Jednoroczna sadzonka dębu szypułkowego mikoryzowana grzybem *H. crustuliniforme* w szkółce kontenerowej osiąga przeciętnie wysokość 30–40 cm



Fot. VIII.2.5. Zespół pojemników – kontener V-50 używany do hodowli siewek, które po 3–4 miesiącach przeszkółkowuje się do większych pojemników

kość, jak też inne elementy mające istotny wpływ na warunki wzrostu i formowania systemu korzeniowego tak, aby ograniczyć do minimum zagrożenie go deformacją. Pojemnik powinien mieć taki kształt, budowę i pojemność, aby jak najmniejszym kosztem wyhodować sadzonkę o oczekiwanych parametrach, z niezdeformowanym systemem korzeniowym. Musi być zatem bardzo dobrze dobrany do gatunku i cyklu hodowlanego. Rodzaj oraz budowę zespolonych w kontener pojemników determinuje również wyposażenie techniczne szkółek i określa szczegółowa technologia.

Sadzonki z pojemników po posadzeniu na miejscu przeznaczenia powinny szybko związać się korzeniami z glebą i wykazywać dynamikę wzrostu. Przy hodowli sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji w kontenerach ważne jest, aby budowa pojemnika i struktura podłoża, na którym hoduje się sadzonki, umożliwiały szybkie odprowadzenie nadmiaru wody z opadów lub deszczowania. Z tych względów w efektywności mikoryzacji budowa pojemnika ma istotne znaczenie.

Biorąc pod uwagę zalety sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, w całej historii rozwoju tej hodowli wiele uwagi zwracano na przeciwdziałanie deformacji systemu korzeniowego, co jest jednym z zagrożeń z nią związanych. Od lat wysiłki hodowców ukierunkowane są nie tylko na modyfikację budowy pojemnika, ale także doskonalenie technologii, która pozwoliłaby na maksymalne skrócenie czasu wzrostu w pojemniku. Stąd większość gatunków lasotwórczych w szkółkach kontenerowych hodowana jest obecnie w cyklu jednorocznym. Sama zaś budowa pojem-

nika dla szkółkarstwa leśnego w ciągu kilkudziesięciu już lat ich stosowania przeszła długą ewolucję, zanim zaczęły one być używane na dużą skalę.

Pierwsze pojemniki do hodowli różnego rodzaju sadzonek zaczęto stosować w ogrodnictwie. Od wieków surowcem do ich wytwarzania była glina. Ich przydatność w hodowli sadzonek drzew leśnych była niewielka. Okrągły kształt i pełne dno powodowało spiralny wzrost korzeni. Z czasem do budowy pojemników zaczęto używać także innych surowców naturalnych jak np. drewno, a nieco później prasowanego torfu i celulozy. Przykładem są nadal używane w ogrodnictwie pojemniki torfowo-celulozowe (75% torfu, 25% celulozy). Do tego surowca często dodawane są substancje wiążące oraz nawozy. Tego typu pojemniki wytwarza się jako pojedyncze lub zespolone po kilka lub kilkanaście sztuk. Produkowane są jako wytłoczki o przekroju kwadratowym, zwężające się ku dołowi. Są to pojemniki jednorazowego użytku. Korzenie dość szybko i swobodnie przerastają ścianki i dno takich pojemników, a te w krótkim czasie ulegają rozpadowi, często już po upływie 3–4 miesięcy, co ogranicza ich użycie w leśnictwie. Następnie do budowy pojemników zaczęto stosować odpowiednio impregnowany papier lub karton. Pojemniki takie, pojedyncze lub zespolone, najczęściej o przekroju kwadratu, są także jednorazowego użytku.

W szkółkach leśnych do hodowli sadzonek na wielką skalę zaczęto używać zdecydowanie bardziej trwałych pojemników z tworzyw sztucznych. One także przeszły kilkudziesięcioletnią już ewolucję. Większość obecnie stosowanych produkowana jest z polietylenu (PE) czy polipropylenu (PP) lub specjalnie utwardzanego, piankowego polichlorku winylu (styropianu). Z materiałów tych wykonywane są pojemniki pojedyncze i zespolone, zwane kontenerami. Stąd też nazwa szkółek, w których są używane do hodowli sadzonek. Pierwsze pojemniki nie miały w swej budowie właściwych zabezpieczeń przed np. spiralnym wzrostem korzeni, co w wypadku niektórych gatunków prowadziło do deformacji systemu korzeniowego. Z tego też względu budowę pojemników systematycznie doskonalono wprowadzając pojemniki o przekroju kwadratu, zwężające się ku dołowi, z ażurowym dnem i kilkumilimetrowymi listwami prowadzącymi na ściankach. Dla niektórych gatunków było to jednak niedostateczne zabezpieczenie przed deformacją korzeni. Pojemniki nadal więc doskonalono dodając w ich ściankach bocznych około dwumilimetrowej szerokości szczeliny, przez które korzenie mogą swobodnie przerastać, a dodatkowo – dla lepszej wentylacji – otwory w rogach pojemników. W pojemnikach takich hoduje się w Polsce głównie sosnę.

Ostatnio zaczęto używać kontenerów z pojemnikami w przekroju zbliżonych do ośmioramiennej gwiazdy, o stożkowym kształcie, z licznymi szczelinami bocznymi. Te konstrukcje nie są jednak pozbawione wad, szczególnie w naszym klimacie. Sprzyjają bowiem szybkiemu przesychaniu substratu, co przy małej ich objętości może ograniczyć zastosowanie. Objętość pojemnika, a także jego głębokość powinna też być odpowiednia nie tylko do cyklu hodowli, ale także gatunku. Z reguły dla gatunków liściastych, hodowanych w cyklu jednorocznym, wymagane są pojemniki o większej objętości i głębokości niż dla gatunków iglastych, z wyjątkiem modrzewia. Chodzi, między innymi, o zachowanie proporcji między wysokością części nadziemnej i długością bryłki korzeniowej. Z dotychczasowych doświadczeń w pro-

Fot. VIII.2.6. Kontener o objętości pojedynczego pojemnika 120 cm^3 z prowadnicami i szczelinami bocznymi, używany głównie do hodowli sosny, świerka, brzozy i olszy w cyklu jednorocznym

dukcji sadzonek drzew leśnych w warunkach klimatycznych Polski wynika, że przy hodowli sadzonek w cyklu jednorocznym pojemniki dla sosny i świerka powinny mieć objętość od 120 do 200 cm^3, przy głębokości nie mniejszej niż 11–12 cm. Dla pozostałych gatunków lasotwórczych objętość pojedynczego pojemnika nie powinna być mniejsza niż 250–300 cm^3, a ich głębokość nie mniejsza niż 15 cm – za optymalną należałoby przyjąć głębokość 18–20 cm.

Większość pojemników zblokowanych w kontenery, produkowanych przez różne firmy, ma zunifikowane wymiary zewnętrzne, dostosowane do zautomatyzowanych linii napełniających pojemniki substratem. W polskich szkółkach kontenerowych w wyborze pojemników wykorzystuje się doświadczenia wielu krajów oraz własne. Jednym z prekursorów w leśnictwie hodowli sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym i wprowadzania różnych pojemników, najczęściej własnej konstrukcji, był już w latach 60. ubiegłego wieku Jan Kosterkiewicz – nadleśniczy Nadleśnictwa Nawojowa (RDLP Kraków). Na szkółce leśnej w Łabowej pojemniki jego konstrukcji są używane do dzisiaj, a z wyhodowanych w nich sadzonek przez ponad 50 lat założono kilka tysięcy ha upraw.

W szkółkach kontenerowych Lasów Państwowych stosuje się obecnie, zblokowane w kontenery, dwie grupy pojemników nowej generacji, wykonane z polipropylenu lub styropianu. Te z polipropylenu lub polietylenu, w kształcie prostopadłościanu o przekroju kwadratu, zwężają się ku dołowi, mają ażurowe dno i na ścian-

kach bocznych kilkumilimetrowej wysokości listwy zapobiegające spiralnemu wzrostowi korzeni. Często ścianki boczne mają ponadto kilkumilimetrowej szerokości szczeliny, umożliwiające przerastanie korzeni poza pojemnik, gdzie są „cięte" powietrzem i zamierają, tak jak i przerastające przez dno pojemnika, gdyż ustawione są na stelażach. Pomiędzy bowiem gruntem i dnem pojemnika jest kilkunastocentymetrowa przestrzeń, zapewniająca swobodny przepływ powietrza.

W Polsce stosuje się najczęściej kontenery z polipropylenu, o wymiarach zewnętrznych 350 × 215 mm, wysokości od 50 do 200 mm i pojemności jednej celi od 50 do 500 cm^3. Są to głównie kontenery firm: Nordpass, BCC (Szwecja) oraz Tubus Rymařov (Czechy). Firma Lannen (Finlandia) produkuje kontenery o wymiarach 300 × 400 mm i głębokości od 6 do 9 cm.

W szkółkach kontenerowych w nadleśnictwie Śnieżka, Rudy Raciborskie i Jabłonna stosowane są najczęściej trzy typy kontenerów o jednakowej długości i szerokości, lecz różnej budowie. Rodzaje dobrano zgodnie z potrzebami gatunków hodowanych przez wymienione szkółki:

– dla sosny stosowane są kontenery z 40 pojemnikami, o objętości pojedynczego pojemnika 120 cm^3 i głębokości 110 mm, z dwoma szczelinami dwumilimetrowej szerokości na ściankach bocznych;
– dla pozostałych gatunków kontenery z 28 pojemnikami, o objętości pojedynczej celi 265 cm^3 i głębokości 150 mm;
– w Nadleśnictwie Śnieżka ponadto dla większości hodowanych tam gatunków (poza sosną) stosuje się kontenery piętnastopojemnikowe o objętości celi 350 cm^3 i głębokości 120 mm.

W wielu szkółkach do hodowli dwu-, trzy-, a nawet 4-letnich sadzonek używa się pojedynczych pojemników, o kształcie prostopadłościanów i objętości od 500 do 1000 cm^3 oraz wysokości 20 cm (np. francuskiej firmy ROBIN PEPINIERES). Nasiona gatunków liściastych są wysiewane wprost do pojemników, natomiast iglastych z reguły do mniejszych, po czym siewki szkółkuje się do większych. Pojedyncze pojemniki umieszczane są zazwyczaj w typowych skrzynkach plastykowych, jakich używa się w ogrodnictwie i warzywnictwie.

Pojemniki zblokowane (kontenery), w formie kaset z polipropylenu lub podobnego tworzywa, powinny cechować się następującymi właściwościami:

– zapewniać warunki najbardziej sprzyjające niezakłóconemu wzrostowi i rozwojowi systemu korzeniowego;
– mieć dużą wytrzymałość mechaniczną, umożliwiającą ich użytkowanie przez około 10 lat;
– być odporne na: działanie skrajnej temperatury w przedziale od –30°C do +80°C (kontenery używane do hodowli sadzonek mikoryzowanych muszą być sterylizowane w wysokiej temperaturze), środki chemiczne używane w hodowli sadzonek oraz dezynfekcji kontenerów, a także działanie promieni UV;
– umożliwiać takie składowanie, by zminimalizować przestrzeń składowo-transportową;
– zapewnić swobodne wyjmowanie bryłki korzeniowej z pojemnika.

Zaprezentowane pojemniki są szczególnie przydatne do szkółek o znacznym stopniu mechanizacji i automatyzacji prac oraz wielomilionowej hodowli rocznej.

Fot. VIII.2.7. Kontener styropianowy wykorzystywany na szkółkach o rocznej produkcji 1–1,5 mln sztuk sadzonek i większym nakładzie pracy ręcznej

Są one przed każdym użyciem myte, a następnie napełniane substratem, który już w pojemniku jest odpowiednio zagęszczany na automatycznych liniach, na których wysiewane są także nasiona niektórych gatunków.

Drugą grupą pojemników z tworzyw sztucznych, ze względu na surowiec, są pojemniki wykonane ze styropianu, z reguły także zespolone w kontenery. Produkuje się je i używa w krajach skandynawskich, Francji, Holandii oraz Danii, a obecnie także i w Polsce. Zasadniczą zaletą tych pojemników, w odróżnieniu od polipropylenowych, jest dobra ochrona systemu korzeniowego przed nadmiernym nagrzewaniem, przesychaniem substratu podczas długotrwałych upałów, a także przemarzaniem korzeni, zwłaszcza w bezśnieżne zimy. Styropian znacznie łagodzi skoki temperatury bryłki korzeniowej w okresie wegetacji. Skandynawskie kasety ze styropianu mają z reguły pojedyncze cele o przekroju kwadratu i prawie wyłącznie służą do hodowli jednorocznej sosny. Kasety francuskiej firmy ROBIN o wymiarach 650 × 312 mm i głębokości 18–20 cm, to luźno rozmieszczone w bloku styropianu cele – okrągłe, o średnicy zwężającej się ku dołowi, pojemności od 200 do 400 cm^3. Na ściankach pojemników znajdują się listwy prowadzące korzenie. Dzięki temu są lepiej przystosowane do hodowli gatunków liściastych oraz iglastych w wydłużonym cyklu produkcyjnym. W kontenerach styropianowych deformacji systemu korzeniowego przeciwdziałają również natryskiwane na ścianki pojemników związki miedzi, powodujące obumieranie stykających się z nimi stożków wzrostu korzeni. Kontenery tego typu stosuje się w szkółkach hodujących od kilkuset

tysięcy do około miliona sadzonek rocznie, gdyż w cyklu technologicznym część operacji wykonuje się ręcznie. W czasie hodowli sadzonek niepotrzebne są palety, gdyż kontenery układa się na drewnianych listwach grubości 3–5 cm.

3. Zasady postępowania technologicznego przy stosowaniu polskiego biopreparatu z grzybem *Hebeloma crustuliniforme* w zabiegu sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych

Prof. dr hab. Stefan Kowalski, Katedra Fitopatologii Leśnej Akademii Rolniczej w Krakowie, Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Szkółkarstwo leśne coraz częściej stosuje nowoczesne, intensywne metody i technologie produkcji materiału sadzeniowego z wykorzystaniem różnego rodzaju substratów hodowlanych, najczęściej pozbawionych grzybów symbiotycznych dla danego gatunku hodowanej rośliny drzewiastej. Szczególny problem w tym zakresie stanowi produkcja sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym w szkółkach kontenerowych, w których używany do produkcji sadzonek substrat pozbawiony jest grzybów ektomikoryzowych. Z drugiej jednak strony ten rodzaj produkcji stwarza największą szansę na udaną mikoryzację wyselekcjonowanymi w laboratoriach grzybami ektomikoryzowymi.

Różnice fizjologiczne grzybów ektomikoryzowych są znaczne i mogą być wykorzystane jako kryterium ich wyboru, przy czym swoistość w stosunku do rośliny gospodarza jest jedną z cech istotnych w procesie wyboru. Przygotowany biopreparat z grzybem *H. crustuliniforme* umieszcza się w ryzosferze siewki w taki sposób, aby korzenie mogły w to inokulum wrastać. Z chwilą nawiązania pierwszych kontaktów mikoryzowych następuje samozakażenie korzeni krótkich i szybko postępująca mikoryzacja całego systemu korzeniowego. Znanych jest wiele praktycznych sposobów mikoryzacji sadzonek drzew leśnych, jednak na skalę gospodarczą stosuje się zwykle biopreparaty zawierające inokulum wegetatywne wyselekcjonowanych grzybów mikoryzowych i zróżnicowane techniki wprowadzania tego inokulum w obręb ryzosfery mikoryzowanych sadzonek. Ten sposób mikoryzacji może być szczególnie skuteczny w szkółkach kontenerowych oraz tych, w których materiał sadzeniowy hoduje się na różnego rodzaju substratach.

Przygotowanie podłoża do hodowli sadzonek przeznaczonych do zabiegu sterowanej mikoryzacji

Substrat hodowlany (podłoże) powinien być sporządzony na bazie torfu sfagnowego wysokiego, charakteryzującego się:

– stopniem rozkładu tylko do 15%,
– pojemnością powietrzną powyżej 20%,
– stałym pH na poziomie około 4,5,
– pojemnością wodną powyżej 1100%.

Torf użyty jako podłoże do hodowli sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji powinien być sterylizowany parą wodną. Można również użyć torfu niesterylizowanego, wówczas jednak należy się liczyć z obniżeniem efektu sterowanej mikoryzacji o około 10–15%, co w przypadku sosny w praktyce oznacza uzyskanie 85–90% siewek z systemem korzeniowym zaopatrzonym w dobrze rozwiniętą ektomikoryzę z grzybem *H. crustuliniforme*. Użycie torfu niesterylizowanego wpływa w istotny sposób na obniżenie kosztów zabiegu.

Stałym składnikiem substratu do hodowli sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji powinien być wermikulit o frakcji oznaczonej w handlu nr 3–8. Udział wermikulitu w substracie hodowlanym powinien wynosić co najmniej 15%. Dodatek wermikulitu, dzięki jego strukturze i właściwościom, polepsza warunki rozwoju i życia grzybni. Przy tak stosunkowo małym (ze względów ekonomicznych) procentowym udziale wermikulitu parametry powietrzne substratu hodowlanego powinny być regulowane przez dodanie 10% perlitu. Pojemność powietrzną substratu hodowlanego należy utrzymać na poziomie nie mniejszym niż 20%.

Zależnie od wyjściowego pH torfu konieczna może okazać się regulacja kwasowości poprzez dodanie do substratu hodowlanego dolomitu, w dawce ustalonej doświadczalnie. Jeżeli wyjściowa kwasowość torfu byłaby na poziomie nie mniejszym niż pH 4,3–4,5, to odkwaszanie może okazać się zbędne, gdyż wermikulit mający pH około 7 i woda do podlewania – z reguły lekko alkaliczna – powodują w krótkim okresie wzrost wskaźnika pH o około 0,5 jednostki. Poziom kwasowości substratu hodowlanego jest jednak zagadnieniem pierwszej wagi i musi być systematycznie kontrolowany, także po wysiewie nasion oraz podczas wzrostu sadzonek. Kwasowość substratu hodowlanego w pierwszej kolejności powinna odpowiadać wymaganiom hodowlanym gatunku drzewa poddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji.

Ważnym zagadnieniem jest właściwe nawożenie sadzonek. Optymalnego rozwoju ektomikoryz nie zakłócają nawozy powoli i stopniowo uwalniające składniki odżywcze do substratu hodowlanego, o zmniejszonej zawartości azotu, a także nawożenie dolistne. W celu zapewnienia równomiernego uwalniania składników pokarmowych, przynajmniej w 2–3 pierwszych miesiącach po wschodach, należy dodać do substratu hodowlanego mieszankę nawozu Osmocote o okresie rozkładu 3–4 miesiące (0–4) i 5–6 miesięcy (0–6), w proporcjach 3 części pierwszego i 2 części drugiego nawozu. Na 1 m^3 substratu hodowlanego należy dodać 2,5–3,0 kg mieszanki nawozów, zależnie od wielkości stosowanego pojemnika, przyjmując zasadę, że im mniejszy pojemnik, tym większa dawka nawozu. Należy zwrócić szczególną uwagę na staranne wymieszanie nawozów o różnym okresie rozkładu. Nawozy powinny być wymieszane z substratem hodowlanym w możliwie najkrótszym czasie, jaki upływa od wykonania zabiegu do planowanego napełniania pojemników i siewu. Nie jest korzystne mieszanie nawozów z substratem hodowlanym na kilka miesięcy przed planowanym siewem.

Przygotowanie biopreparatu do zabiegu sterowanej mikoryzacji

Partię biopreparatu należy ręcznie rozdrobnić w czystym pojemniku z dodatkiem wermikulitu tak, aby otrzymać w miarę jednorodną, maksymalnie rozdrobnioną i sypką mieszaninę. Biopreparat należy przecierać przez czyste sito o średnicy oczek około 5 mm. Jeżeli przyjęto w 1 m^3 substratu hodowlanego 15% udział wermikulitu, to tę ilość należy tak podzielić, aby 10% objętościowo zmieszać bezpośrednio z substratem hodowlanym, a 5% użyć do przygotowania mieszaniny wermikulitu z biopreparatem. Ułatwi to równomierne dozowanie biopreparatu do substratu hodowlanego i zapewni odpowiednie środowisko do rozwoju grzyba. Biopreparat do substratu hodowlanego dozuje się bezpośrednio przed napełnieniem pojemników i siewem. Nie można dopuścić do wysuszenia biopreparatu. Należy go dobrze wymieszać z substratem hodowlanym (najlepiej w urządzeniu bębnowym), w celu uzyskania tej samej, stałej dawki biopreparatu dla każdej sadzonki w pojemniku. Jednorodność mieszaniny substratu hodowlanego z biopreparatem jest szczególnie ważna w wypadku hodowli sadzonek w małych pojemnikach.

Wymagana dawka biopreparatu z grzybem *H. crustuliniforme* w substracie hodowlanym jest zróżnicowana i zależy od wielkości pojemnika oraz gatunku drzewa poddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji. Przy obliczaniu objętościowej dawki biopreparatu należy uwzględnić około 20–25% zagęszczenie substratu hodowlanego w pojemniku. W pojemnikach małych, o pojemności V-50, dawka biopreparatu powinna być większa – dla świerka oraz modrzewia przeznaczonego do szkółkowania wynosi odpowiednio 3% i 5% ogólnej objętości zagęszczonego substratu hodowlanego. W pojemnikach dużych, o pojemności V-120, V-200, V-265, V-300 i większych, w których hoduje się w cyklu jednorocznym: sosnę, świerk, daglezję, dąb szypułkowy, buk, lipę i brzozę, dawka biopreparatu jest mniejsza i może wynosić od 2,0% do 2,5% objętości zagęszczonego substratu. Jednak w przypadku hodowli (w pojemnikach dużych), w cyklu jednorocznym, modrzewia lub dębu bezszypułkowego dawkę biopreparatu należy zwiększyć do 3%, a poddając zabiegowi sterowanej mikoryzacji szkółkowane sadzonki jodły nawet do 4%.

Pojemniki przeznaczone do hodowli sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji muszą być czyste i zdezynfekowane. W wypadku stosowania pojemników wcześniej nieużywanych w hodowli siewek, nie ma potrzeby ich odkażania. Do dezynfekcji można zalecić 5% roztwór podchlorynu sodu, w którym czyste, wymyte pojemniki powinny być moczone przez pół godziny. Można zrezygnować z dezynfekcji chemicznej pojemników, jeżeli będą myte w przeznaczonych do tego urządzeniach, w temperaturze wody około 70°C.

Pojemniki napełnione substratem hodowlanym zmieszanym z biopreparatem, powinny być niezwłocznie obsiane nasionami odpowiedniego gatunku drzewa i poddane dalszym procedurom hodowlanym.

4. Warunki hodowli i rozwoju sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* w szkółce kontenerowej

Mgr inż. Zenon Pietras i mgr inż. Samuel Śliwa,
Nadleśnictwo Rudy Raciborskie, ul. Rogera 1, 47-430 Rudy

Ogólne warunki hodowli i rozwoju sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji w szkółkach kontenerowych

Szkółka kontenerowa, wyposażona w urządzenia technologiczne zapewniające rosnącym sadzonkom optymalne warunki termiczne, wilgotnościowe i nawożeniowe, zarówno na etapie kiełkowania nasion, jak i dalszego wzrostu oraz rozwoju, umożliwia także poddawanie hodowanych sadzonek sterowanej mikoryzacji grzybami mikoryzowymi (Szabla i Pabian 2003). Technologie mikoryzacji sadzonek oparte na biopreparatach z żywą grzybnią wegetatywną zostały w pierwszej kolejności opracowane, wdrożone i dostosowane do technologii oraz cyklów hodowli sadzonek w szkółkach kontenerowych. Uzyskanie zamierzonych wyników sterowanej mikoryzacji, tj. odpowiedniego stopnia zmikoryzowania systemów korzeniowych oraz wysokiego procentu zmikoryzowanych sadzonek, wymaga uwzględnienia wielu czynników oraz wymagań warunkujących jej powodzenie (Kowalski 2006a).

Używanie odpowiedniej jakości substratu. Do 2004 roku torf używany do mikoryzacji sadzonek drzew leśnych w polskich szkółkach kontenerowych obligatoryjnie był sterylizowany gorącą parą wodną przez około półtorej godziny w specjalnej komorze sterylizacyjnej, która wraz z wytwornicą pary stanowi wyposażenie linii produkcyjnej substratu w szkółce Nadleśnictwa Rudy Raciborskie. Doświadczalnie stwierdzono, że torf wysoki z Estonii, używany do hodowli sadzonek mikoryzowanych, jest wolny od nasion chwastów oraz zarodników grzybów patogenicznych i może być użyty do sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* bez sterylizacji parą wodną. Pozwoliło to na obniżenie kosztów produkcji substratu o 25%, a sadzonek mikoryzowanych o 1/3.

Stosowanie odpowiedniego nawożenia. Wrażliwość grzybów w początkowym okresie inicjacji ektomikoryzowej na wysoką zawartość związków azotowych w podłożu wymaga specjalnego nawożenia nawozami wolno działającymi, o przedłużonym okresie rozkładu, np. typu Osmocote. Szczególnie ważny jest prawidłowy dobór proporcji kilku rodzajów nawozu o różnych okresach rozkładu, umożliwiający odpowiednie dawkowanie składników mineralnych przez cały okres wegetacji.

Warunki klimatyczne, optymalne zarówno dla wzrostu i rozwoju siewek oraz rozwoju grzybni w procesie sterowanej mikoryzacji, możliwe są do zapewnienia w namiocie foliowym przez 2 miesiące w okresie juwenilnym. Dalszy proces hodow-

Tabela VIII.4.1.
Temperatury średnie (stopnie C) i sumy opadów (mm) dla terenu Nadleśnictwa Rudy Raciborskie za lata 2002–2005 (dane ze stacji meteorologicznej Racibórz)

Rok	Miesiąc												Średnia temp. roczna	Średnia temp. IV–IX	Suma roczna opadów	Suma opadów IV–IX
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII				
2002	–1,1	4,6	5,1	9,0	17,2	16,8	20,1	19,7	12,9	7,8	6,0	–4,1	9,5	15,9	579	372
2003	–2,4	–3,9	6,5	8,0	15,9	19,2	19,0	20,1	14,3	6,1	6,3	1,1	8,9	16,1	495	365
2004	–4,0	0,5	3,3	9,7	12,7	16,2	18,0	18,8	13,8	11,0	4,5	1,2	8,8	14,9	503	271
2005	0,3	–3,5	0,9	9,6	13,7	15,6	19,2	17,1	14,9	10,4	2,9	–0,8	8,4	15,0	654	436

li sadzonek ma miejsce na zewnętrznym polu hodowlanym, na którym sadzonki i grzybnia do końca okresu wegetacji są zależne od warunków klimatycznych. Strefa klimatu przejściowego, która obejmuje teren Polski, charakteryzuje się znacznymi wahaniami opadów i temperatury, mającymi bardzo duży wpływ na uzyskanie sukcesu hodowlanego w szkółkach kontenerowych, a szczególnie hodowli sadzonek mikoryzowanych, wymagających specyficznego nawożenia.

W latach 2002–2005 suma opadów w okresie wegetacyjnym (IV–IX) wahała się od 271 mm w roku 2004 do 436 mm w roku 2005. W okresie, gdy sadzonki są poza namiotem, średnia temperatura miesiąca wahała się: maj od 12,7°C w roku 2004 do 17,2°C w roku 2002, czerwiec od 15,6°C w roku 2005 do 19,2°C w roku 2003, lipiec od 18,0°C w roku 2004 do 20,1°C w roku 2002, sierpień od 17,1°C w roku 2005 do 20,1°C w roku 2003. Tempo uwalniania składników mineralnych zależne jest od temperatury oraz wilgotności podłoża. Wysoka temperatura i intensywne nawadnianie, jak też opady deszczu (szczególnie deszcze nawalne) powodują szybki rozkład nawozu i jego niedobór.

Zaraz po stwierdzeniu niedoboru składników mineralnych, objawiającym się chlorozą aparatu asymilacyjnego (co ma miejsce po około 2–3 miesiącach po wysiewie), należy bezwzględnie dolistnie wykonać zabieg nawożenia uzupełniającego nawozem dolistno-glebowym, np. Ecorem. Przy nawożeniu uzupełniającym należy stosować małe koncentracje nawozu, z reguły nieprzekraczające 1,0 mS. Przy nawożeniu nawozem o konduktywności 0,6–0,8 mS zabieg powinien być powtarzany co 3–4 dni. Częstotliwość nawożenia zależy od stadium rozwojowego sadzonek i warunków pogody. Powinno trwać nie dłużej niż do końca sierpnia i być związane z osiągnięciem przez sadzonki zakładanych parametrów, a przy sośnie i dębie wykształceniem pączków szczytowych.

Zmienność warunków klimatycznych jest szczególnie widoczna w szkółkach kontenerowych położonych w strefie podgórskiej, wzdłuż południowej granicy kraju (Śnieżka, Rudy Raciborskie, Oleszyce). Charakterystyczne dla tego obszaru jest powstawanie przy cyrkulacji północnej zastoisk zimnego powietrza, skutkujące wystąpieniem ekstremalnych przymrozków, np. w szkółce w Rudach Raciborskich

do –6°C w maju, a nawet na początku czerwca –1°C! Ponadto na tym obszarze może dochodzić do gwałtownych spadków temperatury na początku zimy – z dużej temperatury dodatniej do ujemnej, poniżej –10°C, co przy braku pokrywy śnieżnej (patrz grudzień 2002) zagraża wymarznięciem sadzonek.

Utrzymywanie odpowiedniej wilgotności podłoża. Dobra jakość wody ma bardzo duże znaczenie w sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych i nie powinna zawierać nasion chwastów oraz zarodników grzybów patogenicznych. Powinna charakteryzować się następującymi kryteriami: mieć pH 6,0–7,0, twardość nie przekraczającą 10° dH oraz konduktywność poniżej 0,2 mS.

Zarówno nadmierne przesuszenie substratu hodowlanego, jak i utrzymująca się przez dłuższy okres wysoka jego wilgotność wpływają negatywnie na efektywność sterowanej mikoryzacji. Należy unikać podlewania siewek w tunelu foliowym w godzinach popołudniowych, gdyż stwarza to idealne warunki dla rozwoju szarej pleśni. W okresie wzrostu sadzonek na zewnętrznym polu hodowlanym szczególną uwagę należy zwrócić na intensywność nawadniania. Substrat hodowlany nie może nadmiernie przesychać, ani być nadmiernie uwodniony przez dłuższy czas. W praktyce oznacza to, że każde następne podlewanie powinno mieć miejsce po przeschnięciu na około 0,5 cm wierzchniej warstwy substratu hodowlanego, na co wskazuje nieznaczne jego odstawanie od brzegów cel (Szabla i Pabian 2003). W razie potrzeby, podczas wysokiej temperatury, można podlewać i nawozić dolistnie

Fot. VIII.4.1. Rampa deszczująca na zewnętrznym polu hodowlanym

sadzonki bez ryzyka ich uszkodzenia, pamiętając przy tym o odpowiednio długim czasie podlewania (minimum 2–3 godziny) oraz konieczności spłukania czystą wodą roztworu nawozu z liści. Konieczne jest także podlewanie sadzonek po zakończeniu wegetacji i opadnięciu liści w wypadku ciepłej, bezdeszczowej jesieni, nawet w listopadzie. Przeschnięty bowiem substrat w razie nadejścia suchych mrozów sprzyja szybkiemu przemarznięciu korzeni.

Przestrzeganie wysokich standardów czystości mikrobiologicznej

W początkowym okresie wzrostu i rozwoju grzybni wegetatywnej niezwykle ważne jest utrzymanie czystości mikrobiologicznej nie tylko substratu, ale także kontenerów, pomieszczeń i urządzeń, w których substrat hodowlany szczepi się biopreparatem. Należy również zadbać o czystość wnętrza namiotów foliowych. Nieprzestrzeganie tych zaleceń jest równoznaczne z nieuzyskaniem zamierzonych wyników mikoryzacji.

Mycie i dezynfekcja kontenerów. Nie wymagają tego zabiegu kontenery nowe. Używane zawierają resztki substratu z poprzedniej produkcji, co nie ma istotnego wpływu na hodowlę sadzonek bez mikoryzy. Kontenery do potrzeb mikoryzacji muszą być jednak bezwzględnie umyte i zdezynfekowane. Gdy myjnia kontene-

Fot. VIII.4.2. Dezynfekcja kontenerów gorącą wodą

rów jest wyposażona w gorącą wodę o temperaturze około 70°C, jednokrotne mycie nią kontenerów bezpośrednio przed obsiewem jest wystarczające. Gdy nie ma myjni z gorącą wodą, oprócz umycia kontenerów niezbędna jest również ich chemiczna dezynfekcja.

Dezynfekcja namiotów foliowych. Namiot foliowy po całorocznej produkcji i nagromadzeniu się w nim zarodników grzybów patogenicznych, nasion chwastów oraz szkodników owadzich należy zdezynfekować.

Utrzymanie i przestrzeganie wymagań technologicznych, opracowanych dla technologii sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych

Hodowla sadzonek mikoryzowanych w cyklu jednorocznym daje tym lepsze rezultaty, im wcześniej przystąpiono do siewu. Sadzonki hodowane w kontenerach powinny przez 5–8 tygodni przebywać w namiotach foliowych. Należy przyjąć zasadę, że im większy kontener, tym sadzonki muszą być dłużej w namiocie foliowym. Sadzonki poddane sterowanej mikoryzacji z reguły pochodzą z nasion wysiewanych w pierwszej kampanii siewnej, co należy ująć w opracowanym na dany rok harmonogramie pracy. Przy planowaniu zabiegu mikoryzacji sadzonek należy ponadto uwzględnić zwiększenie powierzchni produkcyjnej w namiotach foliowych (dłuższy okres przebywania w namiotach).

Ścisłe przestrzeganie wymagań oraz wytycznych technologicznych, zawartych w obowiązującej w Lasach Państwowych instrukcji pt.: „Znowelizowana technologia sterowanej mikoryzacji biopreparatem wermikulitowo-torfowym z grzybnią *H. crustuliniforme* sadzonek drzew leśnych hodowanych metodą kontenerową" gwarantuje uzyskanie sukcesu i zamierzonych wyników mikoryzacji. Dotychczasowe doświadczenia wskazują, że zlekceważenie nawet jednego elementu może spowodować całkowite niepowodzenie.

Ewidencjonowanie wszystkich czynności i zabiegów na sadzonkach mikoryzowanych wraz z monitoringiem warunków klimatycznych umożliwia ustalenie przyczyny ewentualnych niepowodzeń. Niezbędna jest stała kontrola stanu zdrowotnego oraz rozwoju sadzonek i odpowiednio wczesne reagowanie na zagrożenia. Prawidłowe zdiagnozowanie przyczyny pozwala na zastosowanie zabiegu ratowniczego w przypadku chorób lub wyeliminowanie nieprawidłowości hodowlanych. Dla przykładu, w początkowym etapie mikoryzacji (lata 2002–2003) w szkółce Nadleśnictwa Rudy Raciborskie obserwowano nieregularny wzrost sadzonek w kontenerach z produkcją mikoryzowaną, objawiający się zróżnicowaniem wysokości sadzonek w kontenerze. Na środku kontenera sadzonki były 1,5 razy wyższe niż na obrzeżach. Początkowo przyczynę upatrywano w nierównomiernym uwalnianiu się związków mineralnych z nawozu Osmocote, związanym z jakoby zwiększonym przesychaniem obrzeży kontenerów. Przyczyna była inna. Na linii napełniania kontenerów, wskutek różnicy ciężaru właściwego substratu hodowlanego i otoczek nawozu miało miejsce nierównomierne ich rozmieszczenie w celach kontenera. Przeliczenie otoczek Osmocote w poszczególnych celach wskazało przyczynę. W brzegowych celach było nawet 2–3 razy mniej otoczek niż w środku kontenera. W celu

wyeliminowania tego błędu przebudowano urządzenie napełniające, co pozwoliło na uniknięcie nierównomiernego rozkładu nawozu, a tym samym wyrównanie wzrostu sadzonek.

Zasady chemicznej ochrony sadzonek mikoryzowanych

Przy hodowli sadzonek mikoryzowanych należy rozważnie postępować ze stosowaniem pestycydów, a szczególnie fungicydów, które w pierwszych tygodniach hodowli mogą wpływać negatywnie na proces zawiązywania się mikoryz. Niewskazane jest zaprawianie nasion fungicydami. W wypadku, gdy nasiona nimi zabezpieczono, nieodzowne jest ich staranne wypłukanie przed siewem (Kowalski 2006a). Przestrzeganie wysokich standardów czystości mikrobiologicznej pozwala na częściowe ograniczenie zagrożeń ze strony chorób grzybowych, chwastów i szkodników owadzich. Niektóre zabiegi ochronne są jednak niezbędne, przykładowo przeciwko osutce sosny i mączniakowi dębu.

W szkółkach kontenerowych, funkcjonujących przez dłuższy okres, występują w znacznym nasileniu mchy i wątrobowce, wymagające regularnego ich zwalczania herbicydem. Ze szkodników owadzich natomiast najczęściej występują mszyce i owady liściożerne. W szkółce kontenerowej w Nędzy (Nadleśnictwo Rudy Raciborskie), w 2005 roku pojawił się masowo, wcześniej tam niewystępujący, szkodnik – komarnica (*Tipula* sp.), którego naturalnym środowiskiem są tereny bagienne. Larwa tego owada wyrządziła dotkliwe szkody w sadzonkach świerka. W szkółce kontenerowej, w okresie wegetacyjnym, komarnica znalazła pod paletami optymalne dla siebie środowisko, przy czym jej larwy nie przebywały w kontenerach, tylko w resztkach torfu wypłukanych z nich na polu hodowlanym. Larwa komarnicy żeruje w nocy, ogryzając sadzonkę w szyi korzeniowej, przy czym – podobnie jak szeliniak – może wychodzić na żer raz na tydzień i z tego powodu jest trudna do zidentyfikowania. Do zwalczania zalecane są insektycydy: 0,15% Marshal 250 CS, 0,05% Decis 2,5 EC lub 0,05% Karate 025 EC.

Fot. VIII.4.3. Sadzonka świerka pospolitego uszkodzona przez larwy komarnicy

Ocena stopnia zmikoryzowania systemu korzeniowego sadzonek

Stopień zmikoryzowania sadzonek grzybem *H. crustuliniforme* w czasie wegetacji kontroluje się okresowo (np. raz w miesiącu) oraz po zakończeniu sezonu wegetacyjnego (wrzesień–październik). Ocenia się go na podstawie obserwacji stopnia przerastania bryłki substratu białą grzybnią, struktur mikoryzowych oraz pojawiających się owocników.

Stopień zmikoryzowania sadzonek sosny hodowanej w namiotach foliowych we wszystkich szkółkach kontenerowych w tym okresie był bardzo duży. Udział sadzonek z mikoryzą w zasadzie przekraczał 95%, z wyjątkiem nieco mniejszego procentu zmikoryzowania sadzonek hodowanych w 2004 roku w Rudach Raciborskich, spowodowanego użyciem do szczepienia nie w pełni dojrzałego biopreparatu, z ostatniej produkcji laboratoryjnej. Stopień zmikoryzowania sadzonek sosny hodowanych z pominięciem namiotów był w większości wypadków bardziej zróżnicowany (od 49 do 100%) i spowodowany w dużej mierze warunkami pogodowymi w okresie wschodów i pierwszej fazy wzrostu. Niemniej osiągnięte wyniki są zachęcające do dalszego wdrażania tej metody. Wyniki mikoryzacji sadzonek za lata 2003–2005 w poszczególnych szkółkach kontenerowych zawiera tabela VIII.4.2.

Fot. VIII.4.4. Grzybnia i owocnik *H. crustuliniforme* na korzeniach sosny zwyczajnej

Tabela VIII.4.2.
Średnie parametry sadzonek hodowanych w szkółkach kontenerowych i procent sadzonek z mikoryzą zamierzoną z grzybem *Hebeloma crustuliniforme* w poszczególnych latach wdrażania programu sterowanej mikoryzacji

Nadleśnictwo (pojemnik V-cm³)	Rok 2003				Rok 2004				Rok 2005			
	data siewu	liczba sadzonek (tys.)	wysokość (cm) / średnica (mm)	proc. sadzonek z mikoryzą	data siewu	liczba sadzonek (tys.)	wysokość (cm) / średnica (mm)	proc. sadzonek z mikoryzą	data siewu	liczba sadzonek (tys.)	wysokość (cm) / średnica (mm)	proc. sadzonek z mikoryzą
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sosna zwyczajna 1/0												
Jabłonna (V-120)	1.IV.	1046,0	20,7/3,0	100	22.IV.	999,0	15,0/3,0	100	27.IV.–30.IV.	1062,0	14,5/3,0	100
	28.IV.	1036,0	16,1/2,5	100	28.IV.	35,0	12,0/2,7	100[1]	18.V.–21.V.	242,0	11,6/2,7	89[1]
	9.V.–23.V.	1386,0	12,6/2,2	100	19.V.	933,0	14,5/2,0	100				
Śnieżka (V-120)	14.IV.	140,0	16,0/ 4,4	100	13.V.	1,5	12,0/3,3	100	20.IV.–13.V.	1399,0	13,2/2,8	100[1]
	26.V.	184,7	7,6/2,6	100								
Rudy Raciborskie (V-120)	18.IV.–22.IV.	324,3	14,0/3,2	100	19.IV.–23.IV.	967,1	19,8/3,5	86,8	19.IV.–20.IV.	230,1	19,1/3,6	49[1]
Oleszyce (V-300) (V-200 w roku '05)	17.III.–24.III.	92,2	12,0/3,5	96	19.III.	158,1	16,0/3,2	98	21.III.–23.III.	119,6	11,3/3,1	95
	11.IV.–17.IV.	17,9	13,0/3,5	95	8.IV.	9,6	14,0/3,3	96				
Świerk pospolity 1/0												
Jabłonna (V-120)	4.IV.	33,0	22,4/2,4	100								
Świerk pospolity 0,5/1												
Rudy Raciborskie (V-50 # V-265)	15.V.–20.IX.[2]	17,5	40,2/4,8	98	22.V.–IX.03.[2]	65,0	54,1/5,5	100	14.V.–IX.–X.04.[2]	216,7	54,9/5,7	100
Śnieżka (V-50 # V-370)					9.VI.03.–IV.04.[2]	242,0	36,0/5,0	100	7.VI.04.–IX.04.[2]	123,0	34,0/5,0	76

Tabela VIII.4.2. cd.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Świerk pospolity 1/1 (szkółkowany z inspektu/gruntu)												
Oleszyce (V-300)					IV.03.[2]	11,5	35,0/5,3	90	4.IV.04.–IV.05.[2]	9,5	27,5/4,1	60
Jodła pospolita 2/1 (szkółkowana z inspektu/gruntu)												
Oleszyce (V-300)	31.III.–8.V.[2]	21,8	12,5/5,0	30	8.IV.[2]	42,3	15,0/5,1	30	4.IV.[2]	21,4	17,8/5,6	45
Modrzew europejski 1/0												
Jabłonna (V-120)	4.IV.	11,0	39,4/4,5	100	27.IV.	14,0	40,0/4,5	100	27.IV.	4,0[3]	35,9/5,3	93
Modrzew europejski 0,5/0,5												
Śnieżka (V-50 # V-370)	25.III.–5.VII.[2]	120,0	42,7/6,7	75	26.III.–VI.[2]	109,0	48,0/5,8	80	29.III.–4.VII.[2]	94,0	50,0/6,0	85
Modrzew europejski 1/1 (szkółkowany z inspektu/gruntu)												
Oleszyce (V-300)	15.IV.[2]	9,7	50,0/7,0	55	IV.[2]	14,3	67,0/5,8	65	31.III.[2]	9,6	53,2/5,4	75
Buk pospolity												
Rudy Raciborskie (V-265)	29.IV.. –12.V.	212,7	51,3/5,3	95	14.V.	101,5	43,7/6,0	90	30.III.	120,9	51,5/4,3	98
Śnieżka (V-370)	10.IV.	57,0	57,8/5,6	100								
	20.V.	40,0	35,5/5,3	86								
Oleszyce (V-300)	25.IV.	50,3	43,0/6,0	80	29.IV.	101,4	42,0/4,9	90	19.IV.	31,7	50,2/5,6	92
Dąb szypułkowy 1/0												
Jabłonna (V-265)					29.III.	75,0	35,0/3,0	100				
Rudy Raciborskie (V-265)	8.IV.	157,8	45,2/6,3	98	25.III. do 1.IV.	246,5	37,1/6,0	90				
Oleszyce (V-300)	15.III.	57,4	20,0/5,0	98	20.III.	125,9	31,0/5,0	90	16.III.	62,5	39,2/5,2	100
	23.IV.	9,3	22,0/5,0	95	26.IV.	123,5	29,0/4,7	94	14.IV.	87,5	35,4/4,9	100
	8–17.V.	167,3	32,3/4,7	84					30.IV.	78,4	39,8/5,6	100

[1] Siewy z pominięciem namiotów foliowych. [2] Data szkółkowania. [3] Modrzew polski.

Stopień zmikoryzowania sadzonek świerka hodowanego w namiotach foliowych, zarówno w cyklu 1/0 jak i 0,5/1, był bardzo duży (tabela VIII.4.2.). Liczba sadzonek z mikoryzą sięgała 100%. Nieco mniejszy stopień zmikoryzowania sadzonek w 2005 roku w szkółce w Śnieżce dotyczył świerka z siewu czerwcowego, przeszkółkowanego we wrześniu. W szkółce w Oleszycach dla świerka produkowanego w cyklu 1/1, z siewek wyhodowanych w inspekcie, stopień zmikoryzowania wynosił od 60% w 2005 roku do 90% w 2004 roku (tabela VIII.4.2.).

Stopień zmikoryzowania sadzonek jodły w szkółce w Oleszycach, hodowanej w cyklu 2/1, z siewek z inspektu i gruntu, szkółkowanych do pojemników V-300, wynosił od 30% w roku 2003 i 2004 do 45% w roku 2005. Jodła jest gatunkiem trudniej nawiązującym związki mikoryzowe w procesie sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*. Część siewek wyhodowanych w gruncie lub inspekcie już wcześniej nawiązała związki symbiotyczne z innymi grzybami, o czym świadczyły pojawiające się owocniki również innych grzybów kapeluszowych.

Stopień zmikoryzowania sadzonek modrzewia europejskiego, hodowanego w cyklu 1/0 w namiotach foliowych, wynosił od 93 do 100%. W szkółce Nadleśnictwa Śnieżka modrzew hodowany był w cyklu 0,5/0,5. Nasiona wysiewano w marcu do kontenerów V-50 i szkółkowano w czerwcu do kontenerów V-370. Modrzew wykazywał stopień zmikoryzowania od 75% w roku 2003 do 85% w roku 2005. W szkółce w Oleszycach mikoryzowany był modrzew hodowany w cyklu 1/1 z siewek wyrosłych w inspekcie lub gruncie, a następnie szkółkowanych do pojemników V-300. Wynik mikoryzacji wynosił od 55% w 2003 r. do 75% w 2005 r. Nieco mniejszy stopień zmikoryzowania tych sadzonek związany był prawdopodobnie ze specyfiką ich produkcji (tabela VIII.4.2.).

W wypadku buka pospolitego stopień zmikoryzowania sadzonek hodowanych w cyklu 1/0 w zasadzie przekraczał 90%. Nieco niższe, ale w pełni zadowalające wyniki osiągnięto w 2003 roku w szkółce w Oleszycach (80%) i Śnieżce (86%).

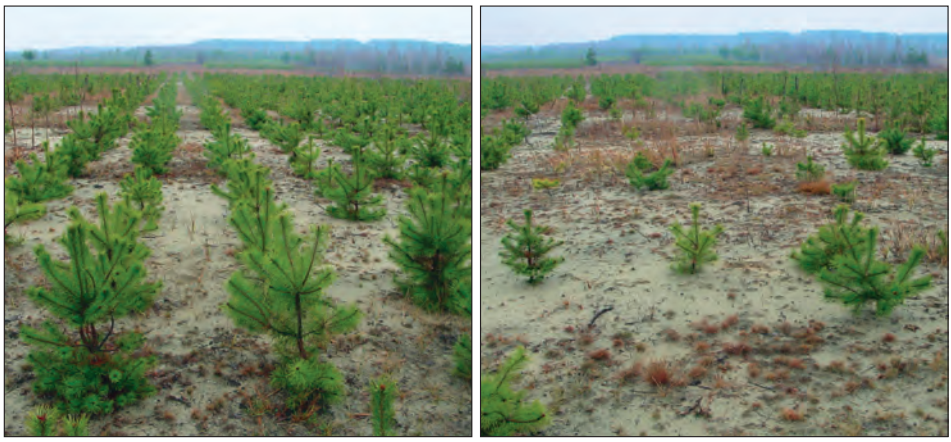
Stopień zmikoryzowania sadzonek dębu hodowanych w cyklu 1/0 w omawianym okresie we wszystkich szkółkach kontenerowych przekraczał 95%. Mniejszy stopień zmikoryzowania sadzonek dębu, który stwierdzono w 2003 roku w szkółce w Oleszycach – 84%, był, naszym zdaniem, spowodowany późniejszym terminem siewu (tab. VIII.4.2.).

Dystrybucja sadzonek, terminy i technika sadzenia

Dystrybucja sadzonek ze szkółki, ich transportowanie na miejsce wysadzenia oraz okresowe składowanie na uprawie to newralgiczne punkty, w których może dojść do uszkodzenia lub zamarcia żywej grzybni w bryłce korzeniowej.

Nie można dopuścić do przegrzania sadzonek, przesuszenia bryłki z grzybnią, otrząsania przerośniętego grzybnią substratu z korzeni sadzonek i deformacji korzeni. Nie należy wyjmować sadzonek z kontenerów przed ich wysadzeniem. Jedyne odstępstwo od tej zasady stanowi planowane przechowywanie sadzonek w kartonach lub workach papierowych w chłodni. Należy obligatoryjnie stosować specjalistyczne kostury do sadzenia, dostosowane do wielkości i kształtu bryłki korzeniowej. Rozwój grzybni ma miejsce również po zakończeniu wegetacji, aż do mro-

Fot. VIII.4.5. Załadunek sadzonek transportowanych do odbiorców



Fot. VIII.4.6. Porównanie upraw sosnowych założonych na terenie rekultywowanym (zdjęcie lewe – sadzonki kontenerowe mikoryzowane, prawe – sadzonki ze szkółki gruntowej)

zów. Z tego wynika, że bardzo dobrym okresem sadzenia sadzonek zmikoryzowanych jest jesień.

W wypadku pozostawienia sadzonek zmikoryzowanych w szkółce na czas zimy należy je zabezpieczyć przed szkodami od mrozów poprzez zdjęcie kontenerów – z palet lub podkładek – na ziemię i osłonięcie brzeżnych boków zblokowanych kon-

tenerów. W wypadku bezśnieżnej zimy szkółki kontenerowe wyposażone w armatki śnieżne mogą zabezpieczyć sadzonki sztucznym śniegiem o grubości minimum 5 cm.

Szczegółowe warunki hodowli sadzonek mikoryzowanych w szkółce kontenerowej

Dotychczasowe doświadczenia w polskich szkółkach kontenerowych, związane z hodowlą sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*, dotyczą: sosny zwyczajnej, modrzewia europejskiego, świerka pospolitego, jodły pospolitej, dębu szypułkowego, buka pospolitego, lipy drobnolistnej i brzozy brodawkowatej.

Sosna zwyczajna. Dla tego gatunku wymagana dawka biopreparatu z grzybem *H. crustuliniforme*, dodawana do substratu hodowlanego, jest zależna od wielkości użytego kontenera i wynosi od 2,0 do 2,5% dla kontenerów o pojemności cel od 120 do 300 cm^3, a 3,0% dla kontenerów o pojemności cel mniejszej niż 100 cm^3.

Po wyjęciu nasion z chłodni należy unikać przenoszenia ich do pomieszczeń o wysokiej temperaturze powietrza. Nasiona sosny nie wymagają przygotowania przedsiewnego, jednak celem przyspieszenia i wyrównania kiełkowania zaleca się moczyć je w zimnej wodzie przez jedną dobę. Po powierzchniowym osuszeniu należy je niezwłocznie wysiać. Niewskazane jest suszenie i ponowne przechowywanie tak przygotowanych nasion. Pomimo z reguły dużej zdolności kiełkowania, wysiewa się po 2 nasiona do celi kontenera. Przeprowadzona w szkółce w Nędzy (Nadleśnictwo Rudy Raciborskie) kalkulacja oparta na faktycznie poniesionych kosztach na przerywanie nadmiaru siewek wskazuje, że opłacalny jest siew pojedynczych nasion o zdolności kiełkowania powyżej 97%.

Mikoryzowane sadzonki sosny hodowane są w cyklu jednorocznym, w kontenerach o pojemności pojedynczych cel od 50 cm^3 (w Nadleśnictwie Śnieżka), z przeznaczeniem na sadzenie sierpniowe, do 300 cm^3 (w Nadleśnictwie Oleszyce). Nasiona wysiewane są od marca do końca maja. Przepływ powietrza pod kontenerami (poduszka powietrzna) ma pozytywny wpływ zarówno na prawidłowy rozwój systemów korzeniowych sadzonek jak i mikoryz.

Optymalna temperatura w tunelu w okresie kiełkowania i pierwszego etapu wzrostu powinna wynosić około 24°C w dzień i w nocy. Temperatury niższe powodują spowolnienie wzrostu. Podobnie negatywny wpływ wywierają temperatury przekraczające 28°C. Przez cały okres kiełkowania nasion i wschodzenia siewek wierzchnia warstwa substratu musi być utrzymywana w stanie wilgotnym i nie wolno dopuścić do jej nadmiernego przesychania. Zastosowanie sterylnego substratu eliminuje potrzebę profilaktycznych zabiegów ochronnych przeciwko grzybom zgorzelowym.

Mikoryzowane siewki sosny, po uprzednim ich hartowaniu trwającym 7–14 dni, można wywozić na zewnętrzne pola hodowlane już od połowy kwietnia. Pojawiające się przebarwienie siewek na kolor brunatno-fioletowy i zahamowanie wzrostu wskutek znacznie niższej temperatury niż w namiocie jest objawem fizjologicznym, który stopniowo zanika po około 4 tygodniach.

Fot. VIII.4.7. Mikoryzowana sadzonka sosny zwyczajnej z owocnikami grzyba *H. crustuliniforme*

W wypadku wysiewu dwóch nasion do celi nadmiar siewek należy usunąć dopiero po skiełkowaniu wszystkich nasion, w fazie siewki z pojedynczym korzeniem, to jest od 4 do 6 tygodni od wysiewu. Opóźnienie terminu przerywania powoduje, że siewka wykształca korzenie boczne, a jej wyjęcie jest wtedy bardziej pracochłonne. Po tym zabiegu kontenery należy obowiązkowo podlać, a wyrwane siewki usunąć.

Profilaktyczne zabiegi chemiczne przeciw osutce sosny powinny być zgodne z obowiązującym kalendarzem ochrony (połowa lipca). Jeżeli zachodzi konieczność pielenia chwastów, czynność tę należy rozpocząć jak najwcześniej, co pozwoli na uniknięcie zbytniego naruszenia bryłki korzeniowej siewek.

Hodowla sadzonek mikoryzowanych w cyklu jednorocznym możliwa jest także bez użycia namiotu foliowego – obsiane kontenery umieszcza się bezpośrednio na zewnętrznym polu hodowlanym. Przy tym sposobie nasiona wysiewa się do kontenerów od połowy kwietnia do połowy maja i obowiązkowo przykrywa agrowłókniną, którą zdejmuje się po około 3–4 tygodniach. Metoda ta pozwala na wygospodarowanie powierzchni w namiotach foliowych dla gatunków bezwzględnie wymagających hodowli w namiocie. W wypadku hodowli sosny z pominięciem namiotu, zwłaszcza w niesprzyjających warunkach pogodowych, trzeba liczyć się z mniejszym stopniem zmikoryzowania sadzonek niż w produkcji z wykorzystaniem namiotu.

Modrzew europejski. Dla sadzonek modrzewia europejskiego hodowanego w cyklu 1/0, w kontenerach V-120, V-265 i V-300 dawka biopreparatu do substratu hodowlanego wynosi 3% w stosunku do zagęszczonego substratu. Dla modrzewia hodowanego w kontenerach V-50, przeznaczonego do przeszkółkowania do kontenera docelowego, ilość potrzebnego biopreparatu należy zwiększyć do 5%.

Uwzględniając naturalną, małą zdolność kiełkowania nasion modrzewia (z reguły około 30%), przed wysiewem w szkółce kontenerowej nasiona muszą być poddane procesowi starannej separacji. Wysiewać należy po dwa nasiona do celi przy zdolności kiełkowania nasion powyżej 82%, a po trzy, gdy wartość ta jest mniejsza. Tylko w uzasadnionych wypadkach (np. wysiew nasion szczególnie cennych) możemy rozważyć wysiew pojedynczych nasion do cel.

Po wyjęciu nasion z chłodni należy unikać przenoszenia ich do pomieszczeń o wysokiej temperaturze powietrza. W celu przyspieszenia, jak też wyrównania,

Fot. VIII.4.8. Mikoryzowana sadzonka modrzewia europejskiego z widoczną grzybnią *H. crustuliniforme*, przerastającą bryłkę korzeniową

kiełkowania zaleca się zalać nasiona zimną wodą i moczyć przez 24 godziny. Po odcedzeniu oraz powierzchniowym osuszeniu nasiona należy niezwłocznie wysiać. Niewskazane jest ponowne przechowywanie tak przysposobionych nasion.

Nasiona modrzewia hodowanego w cyklu 1/0 w kontenerze o pojemności od 120 do 400 cm^3 powinny być wysiewane od połowy marca do końca kwietnia. W celu umożliwienia wystarczającego przerośnięcia substratu hodowlanego przez korzenie, w pierwszej kolejności należy wysiewać nasiona do kontenerów o większej pojemności cel. Dobre efekty hodowlane, jak i związane z technologią sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*, daje przyjęcie cyklu hodowlanego 0,5/05, w którym przez pierwsze trzy miesiące sadzonka rośnie w kontenerze V-50, a następnie jest przeszkółkowywana do docelowego kontenera, jak ma to miejsce w Nadleśnictwie Śnieżka. W tym wypadku istotne jest, aby nasiona były wysiane przed końcem marca, a szkółkowanie nastąpiło na przełomie czerwca i lipca. Innym efektywnym sposobem hodowli mikoryzowanych sadzonek modrzewia jest stosowany w szkółce kontenerowej Nadleśnictwa Oleszyce cykl hodowlany 1/1, w którym przez pierwszy sezon wegetacyjny sadzonki hodowane są w inspekcie lub w gruncie, a następnie szkółkowane maszynowo do kontenerów napełnianych substratem szczepionym biopreparatem z grzybem *H. crustuliniforme*. Ten sposób nie wymaga umieszczania sadzonek w namiocie i gwarantuje wyhodowanie sadzonek doskonałej jakości.

Mając na uwadze tworzenie optymalnych warunków rozwoju mikoryzy, obsiane kontenery należy umieścić w tunelu foliowym na 5–7 tygodni. Uwzględniając duże wymagania modrzewia względem światła, nie należy przetrzymywać sadzonek w namiocie dłużej niż 8 tygodni. Światło słoneczne docierające przez folię do wnętrza namiotu, przy zwiększonym zapotrzebowaniu spowodowanym wysoką temperaturą, jest niewystarczające dla światłożądnego gatunku, jakim jest modrzew. Efektem niedoboru światła są fizjologiczne zaburzenia, objawiające się zbyt małą grubością sadzonek w stosunku do ich wysokości, tzw. wyciągnięcie sadzonek. Skutkuje to zwykle ich późniejszym wyleganiem pod naporem śniegu.

Temperatura podczas kiełkowania, wschodzenia i pierwszego etapu wzrostu modrzewia powinna wynosić około 24°C w dzień i w nocy. Niższa temperatura powoduje wydłużenie poszczególnych faz kiełkowania i wschodzenia siewek oraz spowolnienie wzrostu. Przez cały okres kiełkowania i wschodzenia siewek wierzchnia warstwa substratu powinna być wilgotna, nie należy więc dopuszczać do jej nadmiernego przeschnięcia.

Mikoryzowane siewki modrzewia wyhodowane w namiotach, po uprzednim hartowaniu trwającym 7–14 dni, można wywozić na pola hodowlane od końca kwietnia. Pojawiające się na polu hodowlanym przebarwienie i zahamowanie wzrostu sadzonek jest objawem fizjologicznym, będącym efektem zmiany warunków klimatycznych. Objawy te ustępują po 3–4 tygodniach. Na polu hodowlanym należy zapewnić właściwy przepływ powietrza pod kontenerami, co zmniejsza ryzyko wystąpienia chorób korzeni i części nadziemnej, a przede wszystkim wpływa na prawidłowy rozwój systemu korzeniowego i mikoryzy.

Nadmiar siewek usuwa się po skiełkowaniu wszystkich nasion, w fazie siewki z pojedynczym korzeniem, to jest od 4. do 6. tygodnia od wysiewu. Jednocześnie z przerywaniem siewek trzeba po raz pierwszy wypielić chwasty w kontenerach. Po tym zabiegu siewki należy podlać.

Sadzonki modrzewia, szczególnie hodowane w kontenerach o dużym zagęszczeniu cel, są podatne na szarą pleśń i powinny być regularnie kontrolowane. W razie wystąpienia choroby, siewki porażone przez szarą pleśń należy usunąć poza otoczenie szkółki, rozluźnić kontenery, przez co poprawia się przepływ powietrza pomiędzy sadzonkami i jednocześnie zastosować ochronę chemiczną. Dzięki temu tworzy się warunki do ustąpienia choroby.

Świerk pospolity. Dla sadzonek świerka hodowanych w cyklu 1/0, wymagana dawka biopreparatu z grzybem *H. crustuliniforme* do substratu hodowlanego jest zależna od rozmiaru użytego kontenera i wynosi od 2,0 do 2,5% zagęszczonego substratu dla kontenerów o pojemności cel od 90 do 150 cm^3. Dla świerka hodowanego w pojemnikach V-50, przeznaczonego do szkółkowania do kontenera docelowego, ilość wymaganego biopreparatu wynosi 3%.

Wyjęte z chłodni nasiona świerka należy stopniowo ogrzać, unikając ich przenoszenia do pomieszczeń o dużej temperaturze powietrza. Nie wymagają przygotowania przedsiewnego, jednak zaleca się zalanie ich zimną wodą i moczenie przez jedną dobę. Tak przygotowane nasiona należy powierzchniowo osuszyć i niezwłocznie wysiać. Nie jest wskazane ponowne przechowywanie przysposobionych już do wysiewu nasion. Pomimo dużej zdolności kiełkowania nasion świerka, z reguły wy-

siewa się po dwa nasiona do jednej celi. Siew pojedynczych nasion jest opłacalny, gdy ich zdolność kiełkowania jest większa niż 97%. Należy unikać wysiewu nasion o zdolności kiełkowania poniżej 82%. W tym wypadku zwiększenie liczby wysiewanych nasion do trzech nie gwarantuje uniknięcia braku siewek w niektórych celach.

Fot. VIII.4.9. Hodowla sadzonek świerka pospolitego w cyklu półtorarocznym – początkowo w kontenerach V-50, a po przeszkółkowaniu w kontenerach V-265

Nasiona świerka, aby uzyskać zakładany efekt hodowlany w cyklu 1/0, należy wysiać jak najwcześniej, nie później jednak niż do końca marca. Tylko taki termin gwarantuje wyprodukowanie zmikoryzowanych sadzonek dobrej jakości. Od momentu pojawienia się pierwszych wschodów, do 16–25 kwietnia, siewki powinny być bezwzględnie doświetlane. W naturalnych warunkach w Polsce, zależnie od regionu pochodzenia nasion, odpowiednia dla świerka długość nocy ma miejsce na południu kraju dopiero koło 15 kwietnia i na północy 25 kwietnia. Zbyt długa noc stymuluje zawiązywanie pączków szczytowych u 1–2 cm siewek, wprowadzając je w stan spoczynku zimowego, który ustępuje dopiero po 2–3 miesiącach. Są to siewki już stracone dla hodowli. Doświetlanie ma na celu skrócenie długości nocy. Wystarcza w środku nocy krótki impuls świetlny (np. przejazd rampy deszczującej z zamontowanymi lampami lub przejście przez namiot z ręczną lampą) o natężeniu żarówki halogenowej 150 W, aby fotoreceptory świerka zinterpretowały to jako potrzebną do prawidłowego rozwoju odpowiednio krótką noc.

Świerk hodowany w cyklu półtorarocznym należy wysiewać do kontenerów V-50 na 3–4 miesiące przed planowanym szkółkowaniem do docelowego kontenera. Obsiane kontenery umieszcza się w namiotach na okres 6–8 tygodni. Optymalna temperatura w namiocie podczas kiełkowania i pierwszego etapu wzrostu powinna wynosić około 24°C w dzień i nocą. Niższa temperatura powoduje wydłużenie poszczególnych faz kiełkowania siewek oraz spowolnienie wzrostu. Podobnie niekorzystnie wpływa temperatura przekraczająca 28°C. Przez cały okres kiełkowania i wschodzenia siewek wierzchnią warstwę substratu w kontenerze należy utrzymywać w stanie wilgotnym, nie dopuszczając do jej nadmiernego przeschnięcia. Mikoryzowane siewki świerka można wywozić z namiotu na zewnętrzne pola hodowlane pod koniec kwietnia, uwzględniając założenie, że optymalny dla rozwoju mikoryz okres przebywania w namiocie to 6–8 tygodni. Wywożenie sadzonek z namiotu należy poprzedzić trwającym 7–14 dni hartowaniem. Przebarwienia i zahamowanie

Fot. VIII.4.10. Mikoryzowane sadzonki świerka pospolitego z owocnikiem *H. crustuliniforme*

wzrostu po przewiezieniu siewek na zewnętrzne pola hodowlane są przejściowe i ustępują po 3–4 tygodniach.

Do przerywania nadmiaru siewek trzeba przystąpić po skiełkowaniu wszystkich nasion, w fazie siewki z pojedynczym korzeniem, to jest około 4–6 tygodnia od wysiewu. Wówczas też należy wykonać pierwsze pielenie w zasiewach świerka, a kolejne rozpocząć w miarę potrzeb, w możliwie jak najwcześniejszym stadium rozwoju chwastów. Po zakończeniu przerywania nadmiaru siewek i pielenia chwastów pojemniki należy obficie podlać.

W szkółce kontenerowej Nadleśnictwa Oleszyce wypróbowanym sposobem produkcji mikoryzowanych sadzonek świerka jest hodowla w cyklu 1/1, w którym przez pierwszy sezon sadzonki hodowane są w inspekcie lub gruncie, a następnie szkółkowane mechanicznie w kontenerach napełnianych substratem szczepionym biopreparatem z grzybem *H. crustuliniforme*. Ten sposób nie wymaga umieszczania sadzonek w namiocie i gwarantuje wyhodowanie sadzonek o bardzo dobrych parametrach jakościowych.

Sadzonki świerka są względnie odporne na czynniki chorobowe. Mikoryzowane sadzonki należy chronić chemicznie tylko w wymagających tego wypadkach, np. po pojawieniu się żerów larw komarnicy.

Jodła pospolita. Mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* sadzonki jodły pospolitej są obecnie hodowane wyłącznie w szkółce kontenerowej Nadleśnictwa Oleszyce, w cyklu trzyletnim 2/1 i sporadycznie 2/2. Do szkółkowania przeznacza się dwuletnie sadzonki jodły ze szkółki gruntowej lub inspektu. Do prawidłowego przeszkółkowania siewek jodły niezbędne jest odpowiednie wyposażenie szkółki, w tym stół wibracyjny umożliwiający stopniowe – aż do całkowitego napełnienia pojemnika – obsypywanie systemów korzeniowych substratem hodowlanym, zaszczepionym biopreparatem z grzybem *H. crustuliniforme*. Sposób ten w pełni zabezpiecza sadzonki jodły przed deformacją systemu korzeniowego. Dawka biopreparatu mikoryzowego, dodawanego do substratu, w tym wypadku wynosi 4,0% w stosunku do zagęszczonego podłoża hodowlanego.

Do hodowli sadzonek jodły używany jest kontener styropianowy V-300 o głębokości celi 18,0 cm, która jest odpowiednia dla korzeni sadzonek jodły 2/1. Kontenery typu HIKO V-265 i V-370 są dla hodowli jodły w tym systemie za płytkie. Sadzonki tego gatunku szkółkowane są do kontenerów w kwietniu, w ograniczonym

Fot. VIII.4.11. Mikoryzowane sadzonki jodły pospolitej z widoczną grzybnią *H. crustuliniforme*, przerastającą bryłkę korzeniową

natomiast wymiarze stosuje się także szkółkowanie jesienne. Kontenery ze szkółkowanymi sadzonkami jodły wywożone są bezpośrednio na zewnętrzne pola hodowlane. Zaleca się, w miarę możliwości, ustawianie kontenerów w ocienieniu bocznym. W celu zapewnienia właściwego przepływu powietrza pod kontenerami, ustawia się je na drewnianych podkładkach o przekroju poprzecznym trójkąta równobocznego i wysokości około 5–6 cm. Uzupełniające nawożenie mikoryzowanych sadzonek jodły rozpoczyna się po około 2 miesiącach od ich szkółkowania do kontenerów.

Poważnym problemem jest zarastanie kontenerów przez wątrobowce, w związku z czym niezbędne są systematyczne zabiegi ochronne. Sadzonki jodły natomiast są odporne na czynniki chorobowe. Zarówno zasiewy jodły w inspektach jak i gruncie są zabezpieczane jedynie przed szkodami powodowanymi przez gryzonie, poprzez wyłożenie właściwych preparatów chemicznych. Sadzonki jodły są wrażliwe na przemarznięcie w czasie zimy, wymagają więc podobnego zabezpieczenia przed szkodami od mrozu jak sadzonki buka i dębu.

Dąb szypułkowy. Hodowany jest wyłącznie w cyklu jednorocznym, w pojemnikach o objętości cel od 200 do 400 cm^3. Dawka biopreparatu z grzybem *H. crustuliniforme* zależna jest od wielkości pojemnika i wynosi od 2,0 do 2,5% w stosunku do zagęszczonego substratu hodowlanego. Nasiona dębu, należące do grupy recalcitrant, nie mają okresu spoczynku. Charakterystyczną ich cechą jest długi i rozwlekły w czasie okres kiełkowania i wschodzenia, zależny od przepuszczalności

Fot. VIII.4.12. Mikoryzowana sadzonka dębu szypułkowego z owocnikiem *H. crustuliniforme*

wodnej łupiny nasiennej, która dla każdego nasiona jest inna. Żołędzie wyjęte z chłodni należy stopniowo ogrzewać przez 1–2 doby. Następnie spławia się je w zimnej wodzie, zwracając szczególną uwagę na staranne opłukanie z fungicydów, którymi były zaprawione. W celu ograniczenia skutków zróżnicowania przyswajania przez żołędzie wody, bezpośrednio przed siewem stosuje się zabieg sztucznego uszkadzania łupiny, polegający na odcięciu 1/3–1/4 nasiona od strony przeciwnej do zarodka. Po tym zabiegu żołędzie wysiewa się ręcznie, po jednym do każdej celi, umieszczając je pionowo obcięciem do dołu lub boku, wciskając jednocześnie na głębokość umożliwiającą przykrycie 1,0 cm warstwą otaczającego substratu. Wysiewać należy tylko nasiona bez widocznych w miejscu przecięcia śladów nekroz. Gdy jest niedobór nasion, albo przy wysiewie nasion cennych, dopuszcza się używanie tych z nekrozami stanowiącymi maksymalnie 1/3 powierzchni w miejscu przecięcia. Termin wysiewu żołędzi można przyjąć od połowy marca do połowy maja. Optymalna temperatura podczas ich kiełkowania, wschodzenia oraz pierwszego etapu wzrostu wynosi około 24°C w dzień i nocą. Niższa temperatura powoduje spowolnienie kiełkowania nasion i opóźnia wschodzenie siewek. Podobnie niekorzystnie wpływa temperatura wyższa, powodująca ponadto przyspieszone różnicowanie się siewek. Przez cały okres kiełkowania i wschodzenia siewek należy utrzymywać wierzchnią warstwę substratu hodowlanego w stanie wilgotnym, nie dopuszczając do jej nadmiernego przeschnięcia.

Dąb bardzo szybko rozwija system korzeniowy. Warunkiem prawidłowego rozwoju systemów korzeniowych oraz mikoryz jest zapewnienie przepływu powietrza pod kontenerami. Mikoryzowane siewki dębu możemy wywozić z namiotu na zewnętrzne pola hodowlane po 6–8 tygodniach od wysiewu nasion, najwcześniej w połowie maja, po ustaniu zagrożenia ze strony późnych przymrozków. Przed wywiezieniem z namiotu sadzonki należy poddać, trwającemu około 7–14 dni, hartowaniu.

W okresie zagrożenia przymrozkami należy śledzić prognozy pogody w środkach masowego przekazu i ponadto obserwować lokalne warunki za pomocą psychrometru oraz tablic psychrometrycznych. W razie wystąpienia przymrozku do około –5°C, skutecznym zabezpieczeniem jest uruchomienie deszczowni.

Siewki dębu są bardzo wrażliwe na chorobę mączniak prawdziwy dębu, wywoływaną przez grzyb *Microsphaera alphitoides*. Siewki powinny być poddane pro-

filaktycznym zabiegom ochrony w namiotach i na polach hodowlanych. Zlekceważenie tego patogena prowadzi do silnych nekroz młodych liści i pędów oraz utraty przez sadzonki monopoidalnego pokroju. Na liściach dębu mogą się pojawiać również mszyce i szkodniki liściożerne, przeciw którym niezbędna jest ochrona chemiczna zmikoryzowanych sadzonek. Należy do tego celu używać środków chemicznych nieszkodliwych dla mikoryzy.

W kontenerach typu HIKO, o dużym zagęszczeniu cel, wskutek rozwlekłego wschodzenia siewek i dużej dynamiki wzrostu, szybko dochodzi do zwarcia i silnego zróżnicowania wysokości siewek, a tym samym – w obrębie kontenera – do silnej konkurencji między sadzonkami. Efektem tego jest mała wydajność hodowli, czyli stosunkowo mały udział sadzonek spełniających wymagania normy, wynoszący zaledwie około 50%. Wykorzystując dwa aspekty fizjologiczne sadzonek dębu – mianowicie szybkie przerastanie bryłki korzeniowej i efekt tzw. przyrostu świętojańskiego – możliwe jest zwiększenie wydajności do około 70%, dzięki następującym zabiegom:

1. Koło połowy czerwca bryłka substratu hodowlanego sadzonek pochodzących z nasion wysianych w marcu jest na tyle przerośnięta przez korzenie, że umożliwia wyjęcie większości sadzonek z cel kontenera. Należy przełożyć w szachownicę około połowy najwyższych sadzonek do nowych kontenerów, zmniejszając zagęszczenie w kontenerze o połowę. Zabieg ten ma na celu zmniejszenie konkurencji pomiędzy sadzonkami.
2. Pod koniec czerwca, gdy namioty są już w większości puste, wkłada się do nich kontenery z małymi sadzonkami, w celu ich pobudzenia do wtórnego przyrostu (tzw. świętojańskiego), co z reguły daje pozytywne efekty.

Działanie takie daje wymierne korzyści finansowe. Z kalkulacji kosztów w szkółce kontenerowej Nadleśnictwa Rudy Raciborskie wynika, że korzyści finansowe uzyskane ze zwiększenia wydajności hodowli są dwukrotnie większe od poniesionych nakładów na przekładanie sadzonek. Sadzonki dębu hodowane w kontenerach, w których zagęszczenie jest znacznie mniejsze niż 300 sztuk na metr kwadratowy, nie wymagają stosowania takich zabiegów.

Hodowla mikoryzowanych sadzonek dębu jest możliwa także bez wykorzystania namiotu foliowego, co ma miejsce w szkółce kontenerowej Nadleśnictwa Jabłonna, w której obsiane kontenery umieszczane są bezpośrednio na zewnętrznym polu hodowlanym. Nasiona wysiewa się wówczas w pierwszej połowie kwietnia, a kontenery przykrywa agrowłókniną, zdejmowaną po ustąpieniu zagrożenia przymrozkami późnymi, tj. z reguły w drugiej połowie maja. W przypadku hodowli dębu bez namiotu stopień zmikoryzowania sadzonek jest jednak mniejszy.

Sadzonki dębu szypułkowego, jako bardzo wrażliwe na szkody powstałe wskutek silnych mrozów, powinny być wysadzane na uprawach wczesną jesienią. Kontenery z sadzonkami pozostawione w szkółce na czas zimy należy zdjąć z drewnianych podkładek lub palet i ściśle ustawić na gruncie, w miejscu osłoniętym, zabezpieczając dodatkowo styropianem kontenery brzegowe.

Zbliżone zasady hodowli należy stosować przy dębie bezszypułkowym, przy czym należy podkreślić, że jest to gatunek trudny w produkcji kontenerowej z uwagi na:

1. Naturalną skłonność nasion do wczesnego kiełkowania jesienią, zwłaszcza gdy jest mokro, deszczowo. Skiełkowane partie nasion nie nadają się do termoterapii i przechowywania w chłodni, powinny być więc wysiewane do gruntu. W sytuacjach, w których liczba skiełkowanych nasion nie przekracza 15%, można poddać je termoterapii i przechowywać w chłodni w temperaturze –2,5°C oraz użyć do produkcji sadzonek mikoryzowanych.
2. Słaby przyrost sadzonek dębu bezszypułkowego na wysokość w pierwszym roku, w porównaniu do dębu szypułkowego, a także ograniczona reakcja na warunki klimatyczne namiotu foliowego. W związku z tym należy się liczyć z efektem hodowlanym w postaci sadzonek krępych, o wysokości 20–30 cm.

Buk pospolity. W hodowli mikoryzowanych sadzonek buka wymagana dawka biopreparatu z grzybem *H. crustuliniforme*, dodawanego do substratu hodowlanego, wynosi od 2,0 do 2,5% objętości zagęszczonego substratu. Nasiona buka przed wysiewem wymagają stratyfikacji, co jest zresztą zgodne z obowiązującymi wytycznymi. Po okresie stratyfikacji przystępuje się do podkiełkowywania i wybierania nasion z kiełkiem. Podkiełkowuje się je w temperaturze 3°C, jednak znaczne przyspieszenie i wyrównanie kiełkowania można uzyskać przez codzienne umieszczanie stratyfikowanych nasion na 8 godzin w pomieszczeniu o temperaturze około 20°C i ponowne ich przenoszenie na 16 godzin do pomieszczenia o temperaturze 3°C. W razie potrzeby nasiona można dodatkowo moczyć w wodzie przez około 8 godzin, a następnie dokładnie odcedzić.

Należy dążyć, żeby wybrane ręcznie nasiona miały możliwie najkrótszy kiełek (najlepsze są z rozchylonymi okrywami i ledwo widocznym kiełkiem). Wybrane z całej partii podkiełkowane nasiona należy systematycznie zamrażać w temperaturze –3°C w skrzynkach lub innych pojemnikach, przykrywając dokładnie z wierzchu złożoną kilkukrotnie włókniną lub szczelną pokrywką. Tak zamrożone nasiona możemy przechowywać bez utraty jakości przez maksimum 8 tygodni. Do siewu należy przystąpić, gdy zgromadzi się odpowiednią liczbę nasion z kiełkiem. Nasiona przed wysiewem, po wyjęciu z chłodni, należy odmrażać stopniowo.

W celi umieszcza się jedno podkiełkowane nasiono. W przypadkach, gdy nasiona mają żywotność powyżej 90%, można wtedy zrezygnować ze żmudnego oraz kosztownego wybierania nasion z kiełkiem i wysiewać po dwa nieskiełkowane nasiona do celi. W tym wypadku istotne znaczenie ma termin wysiewu nasion i warunki pogodowe. Wysoka temperatura może wpływać negatywnie na nasiona buka, powodując ich spoczynek wtórny. Wysiew nasion z kiełkiem jest sposobem bardziej niezawodnym i niezależnym od temperatury.

Sadzonki buka hodowane są wyłącznie w cyklu jednorocznym, w kontenerach o pojemności celi powyżej 200 cm^3. Nasiona wysiewa się od połowy marca do połowy czerwca, ręcznie, do uprzednio napełnionych substratem hodowlanym kontenerów, delikatnie wkładając je w wyciśnięty dołek siewny o głębokości 10–20 mm, kiełkiem do dołu (nasiona z długim kiełkiem, powyżej 10 mm, należy wysiać w odpowiednio głębszy dołek siewny) i przykryć, zaciskając otaczający substrat, warstwą grubości 10–15 mm. Nasion z kiełkiem nie wolno wciskać do substratu! Obsiane kontenery należy umieścić w tunelu foliowym. Mikoryzowane siewki buka po wcześniejszym, trwającym 7–14 dni, hartowaniu, po około 6–8 tygodniach, naj-

wcześniej w połowie maja (po ustaniu zagrożenia od przymrozków późnych), wywozi się z tunelu na zewnętrzne pola hodowlane. Kontenery z siewkami korzystnie jest wywozić w dni pochmurne, deszczowe i ustawiać w miejscu zacienionym, np. w zasięgu kulis drzewostanu.

Optymalna temperatura w tunelu podczas wschodów siewek, w wypadku wysiewu nasion z kiełkiem, powinna wynosić około 15°C w dzień i w nocy. W wypadku natomiast wysiewu nasion bez kiełka około 20°C w dzień i 5°C w nocy. Po wzejściu siewek możemy zwiększyć temperaturę do 20°C w dzień i w nocy.

Fot. VIII.4.13. Mikoryzowana sadzonka buka pospolitego z widoczną grzybnią *H. crustuliniforme*, przerastającą bryłkę korzeniową

Mikoryzowane sadzonki buka należy chronić chemicznie zgodnie z obowiązującymi wytycznymi i przy użyciu – dopuszczonych do stosowania w leśnictwie – środków chemicznej ochrony roślin nieszkodliwych dla mikoryz. W namiocie foliowym należy zwracać uwagę na ewentualne wystąpienie szarej pleśni. Przy pierwszych objawach choroby trzeba natychmiast wykonać zabieg ratowniczy. Na zewnętrznym polu hodowlanym szczególną uwagę należy zwrócić na foliofagi i mszyce. W hodowli buka ma miejsce choroba objawiająca się zamieraniem pączków szczytowych i najmłodszych liści. Jej przyczyna nie jest do końca znana. Niezbędny jest program ochrony, polegający na stosowaniu od połowy maja, co 3 tygodnie, profilaktycznego zabiegu miedzianem i insektycydem. Zastosowanie tego programu eliminuje pojawienie się objawów chorobowych.

W okresie zagrożenia przez przymrozki, zwłaszcza bezpośrednio po wystawieniu siewek buka z tunelu na pole hodowlane, należy prognozować pojawienie się przymrozku. Użycie deszczowni pozwala na skuteczne zabezpieczenie siewek przed przymrozkiem do –5°C. Jest to równocześnie skuteczna ochrona deszczowni przed uszkodzeniem.

Sadzonki buka pospolitego są wrażliwe na szkody powodowane silnymi mrozami, powinny więc być sadzone na uprawach wczesną jesienią. Pozostawione w szkółce na czas zimy kontenery z sadzonkami należy zdjąć z drewnianych podkładek lub palet i ustawić ściśle na gruncie, w miejscu osłoniętym, zabezpieczając dodatkowo styropianem kontenery brzegowe.

Z uwagi na stosunkowo powolne przerastanie przez korzenie buka bryłki substratu hodowlanego, nie jest możliwe zmniejszenie zagęszczenia sadzonek buka ho-

dowanego w kontenerach V-265, w celu ograniczenia w obrębie kontenera konkurencji między zróżnicowanymi wzrostem sadzonkami. W efekcie uzyskane wydajności sadzonek pierwszej klasy jakości z reguły nie przekraczają 60%.

Lipa drobnolistna. W hodowli mikoryzowanych sadzonek lipy drobnolistnej wymagana dawka biopreparatu z grzybem *H. crustuliniforme*, dodawanego do substratu hodowlanego, wynosi od 2,0 do 2,5% objętości zagęszczonego substratu.

Nasiona lipy drobnolistnej wymagają, zgodnie z obowiązującymi wytycznymi, stratyfikacji przedsiewnej. Po jej zakończeniu nasiona lipy nadają się do wysiewu z chwilą, kiedy około 10% nasion ma widoczny kiełek. Tak przysposobione do wysiewu nasiona można przechowywać krótkookresowo, w temperaturze –3°C.

Sadzonki lipy hodowane są wyłącznie w cyklu jednorocznym, w kontenerach o pojemności pojedynczej celi powyżej 200 cm^3. Lipa drobnolistna należy do gatunków o szybkim wzroście systemu korzeniowego, w związku z czym pod kontenerami musi być zapewniony właściwy przepływ powietrza. Nasiona lipy można wysiewać do kontenerów od kwietnia do połowy maja. Należy to robić ręcznie, umieszczając 2–3 nasiona w każdej celi i przykryć je około 1 cm warstwą perlitu. Przez cały okres kiełkowania nasion i wschodzenia siewek wierzchnia warstwa substratu hodowlanego musi być wilgotna.

Optymalna temperatura kiełkowania to około 20°C w dzień i możliwie jak najniższa (około 5°C) w nocy. Zmienna temperatura dobowa wpływa pozytywnie na proces kiełkowania nasion. Dla nasion lipy drobnolistnej długotrwałe oddziaływanie wysokiej temperatury, znacznie powyżej 20°C, może skutkować wtórnym ich uśpieniem. Po wzejściu siewek można utrzymywać temperaturę 20°C w dzień i nocą.

Przerywanie nadmiaru siewek należy rozpocząć na możliwie wczesnym etapie rozwoju. Obsiane kontenery, w zależności od daty siewu, trzyma się w namiocie od 5 do 8 tygodni, a następnie, po 7–14 dniach hartowania siewek, najwcześniej około połowy maja, wywozi się je z namiotów na zewnętrzne pola hodowlane. Siewki lipy należy wywozić z namiotów po ustaniu zagrożenia przymrozkami późnymi, na które są wrażliwe. Kontenery z siewkami lipy drobnolistnej korzystnie jest wywozić z namiotu w dni pochmurne lub deszczowe.

Lipa drobnolistna jest gatunkiem ciepłolubnym, mającym duże wymaga-

Fot. VIII.4.14. Mikoryzowana sadzonka lipy drobnolistnej z widoczną grzybnią *H. crustuliniforme*, przerastającą bryłkę korzeniową

nia pokarmowe. W trakcie hodowli należy zwrócić szczególną uwagę na obecność mszyc i zwalczać je w razie zagrożenia. Lipa natomiast jest gatunkiem stosunkowo odpornym na choroby grzybowe.

Sadzonki lipy są wrażliwe na szkody powstałe wskutek silnych mrozów i powinny być sadzone na uprawach wczesną jesienią. Kontenery z sadzonkami, pozostające na czas zimy w szkółce, należy zdjąć z palet lub podkładek i ustawić ściśle na gruncie, najlepiej w miejscu osłoniętym, np. przy drzewostanie, zabezpieczając dodatkowo styropianem kontenery brzegowe.

Wykorzystując zdolność korzeni lipy drobnolistnej do szybkiego przerastania bryłek substratu hodowlanego, w wypadku produkcji w kontenerach typu HIKO o zagęszczeniu sadzonek powyżej 300 sztuk/m^2, można rozluźnić zagęszczenie przez przełożenie w czerwcu lub lipcu znacznej ich części do nowych kontenerów.

Zbliżone zasady hodowli można stosować do sadzonek **lipy szerokolistnej**.

Brzoza brodawkowata. Mikoryzowane sadzonki brzozy brodawkowatej hodowane są wyłącznie w cyklu jednorocznym, w kontenerach o pojemności cel powyżej 200 cm^3. Dawka biopreparatu z grzybem *H. crustuliniforme* zależna jest od rozmiaru kontenera i wynosi od 2,0 do 2,5% objętości zagęszczonego substratu hodowlanego.

Ze względu na bardzo duże wymagania względem światła, znacznie większe niż u modrzewia, siewek brzozy nie należy przetrzymywać w namiocie dłużej niż 2–3 tygodnie. Zlekceważenie tego warunku skutkuje fizjologicznym zaburzeniem wzrostu, co objawia się nadmiernym „wyciągnięciem" sadzonek, a w konsekwencji ich późniejszym wyleganiem pod naporem śniegu. Trzeba zaznaczyć przy tym, że brzoza jest gatunkiem, który odkształca się w sposób trwały, tzn. sadzonka podczas dalszej wegetacji już się nie wyprostuje i praktycznie jest stracona dla hodowli.

Z przyczyn technicznych nasiona brzozy najlepiej jest wysiewać ręcznie, kupkowo, po uprzednim namoczeniu i uzyskaniu jednorodnej masy o konsystencji papki. Zaleca się późny wysiew, najkorzystniejszy od połowy maja do końca czerwca. Nasion nie wolno przykrywać substratem, a jedynie obficie podlewać. Przez cały okres kiełkowania konieczne jest utrzymywanie wierzchniej warstwy substratu w stanie wilgotnym. Temperatura kiełkowania i początkowego wzrostu w namiocie to około 24°C w dzień i nocą.

Do przerywania nadmiaru siewek należy przystąpić jeszcze w namiocie, gdy siewki mają wysokość około 1 cm. Przy zbyt późnym rozpoczęciu tego zabiegu konieczne jest użycie do tego celu nożyczek, co niepotrzebnie utrudnia pracę oraz zwiększa jej koszt i wpływa na późniejsze wyleganie sadzonek. Po tym zabiegu kontenery z siewkami należy obficie podlać i wywieźć na zewnętrzne pola hodowlane, gdzie najkorzystniej jest ustawić je w nasłonecznionym miejscu.

Sadzonki brzozy są stosunkowo odporne na czynniki chorobotwórcze i z reguły nie wymagają stosowania środków chemicznej ochrony roślin.

Nawożenie uzupełniające sadzonek brzozy należy rozpocząć po 2–3 miesiącach od wysiewu nasion. Zabiegi te należy prowadzić w sposób kontrolowany, by nie dopuścić do nadmiernego wzrostu brzozy na wysokość. Celem bowiem hodowlanym jest uzyskanie sadzonek nie wyższych niż 30–35 cm, odpowiednio grubych i odpornych na zimowe wyleganie.

5. Wpływ rodzaju substratu hodowlanego i nawożenia mineralnego na wzrost i rozwój oraz skuteczność zabiegu sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor* sadzonek sosny zwyczajnej i świerka pospolitego

Dr inż. Kazimierz Szabla, Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych Katowice, ul. Huberta 43/45, 40-952 Katowice

Wprowadzenie

Produkcję biopreparatów z żywą grzybnią wegetatywną, a także mikoryzację sadzonek hodowanych z zakrytym systemem korzeniowym rozpoczęto na skalę gospodarczą w szkółce kontenerowej w Nędzy, w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie, od 1998 roku, najpierw według technologii francuskiej firmy Pepinieres (inokulum z grzybem *Laccaria bicolor*), a następnie według polskiej technologii sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych z grzybem *Hebeloma crustuliniforme*. Po kilku latach praktycznych doświadczeń w produkcji biopreparatów i sterowanej mikoryzacji sadzonek w szkółce kontenerowej Nadleśnictwa Rudy Raciborskie, w 2003 r., zbadano wpływ rodzaju substratu hodowlanego oraz nawożenia różnymi dawkami, a także rodzajami nawozów na wzrost oraz rozwój sadzonek sosny zwyczajnej i świerka pospolitego, hodowanych w pojemnikach techniką kontenerową oraz stopień zmikoryzowania ich systemów korzeniowych.

Materiał badawczy i metody

Sadzonki sosny zwyczajnej i świerka pospolitego były hodowane w zespolonych pojemnikach V-120, w cyklu jednorocznym, zgodnie z wariantami doświadczenia zestawionymi w tabeli VIII.5.1.

Substrat hodowlany niesterylizowany sporządzono na bazie torfu sfagnowego, standardowo używanego w szkółce kontenerowej. W skład substratu wchodził torf w ilości 85% objętości oraz perlit o najgrubszej frakcji (nr 3) w ilości 15%. Zadanie perlitu to zwiększenie pojemności powietrznej substratu. Kwasowość na poziomie pH około 4,5 uzyskiwano przez dodawanie dolomitu.

Substrat hodowlany sterylizowany sporządzono na bazie analogicznego torfu, ale poddanego uprzednio wyjałowieniu parą wodną o temp. 90°C, według opracowanej technologii, na specjalnej linii produkcyjnej szkółki kontenerowej w Rudach Raciborskich. W tym substracie torf stanowił 70% objętości, a pozostałe 30% wermikulit, który pełnił podobną rolę jak perlit, zaś jego większy udział wynikał z mniejszej pojemności powietrznej w stosunku do perlitu, a ponadto sprzyjał efektywności zabiegu sterowanej mikoryzacji.

Tabela VIII.5.1.
Warianty doświadczenia nad wpływem rodzaju substratu hodowlanego i zastosowanego nawożenia mineralnego na skuteczność zabiegu sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor* oraz rozwój w hodowli kontenerowej siewek sosny zwyczajnej i świerka pospolitego

Rodzaj zastosowanego biopreparatu z grzybem	Rodzaj zastosowanego nawożenia		
	Osmocote 3,5 kg	Osmocote 1,7 kg	Ecor
D1 sosna zwyczajna na podłożu: torf niesterylizowany 85% + perlit 15%			
H. crustuliniforme	D1W1	D1W2	D1W3
L. bicolor	D1W4	D1W5	D1W6
bez biopreparatu	D1W7	D1W8	D1W9
D2 sosna zwyczajna na podłożu: torf sterylizowany 70% + wermikulit 30%			
H. crustuliniforme	D2W1	D2W2	D2W3
L. bicolor	D2W4	D2W5	D2W6
bez biopreparatu	D2W7	D2W8	D2W9
D3 świerk pospolity na podłożu: torf niesterylizowany 85% + perlit 15%			
H. crustuliniforme	D3W1	D3W2	D3W3
L. bicolor	D3W4	D3W5	D3W6
bez biopreparatu	D3W7	D3W8	D3W9
D4 świerk pospolity na podłożu: torf sterylizowany 70% + wermikulit 30%			
H. crustuliniforme	D4W1	D4W2	D4W3
L. bicolor	D4W4	D4W5	D4W6
bez biopreparatu	D4W7	D4W8	D4W9

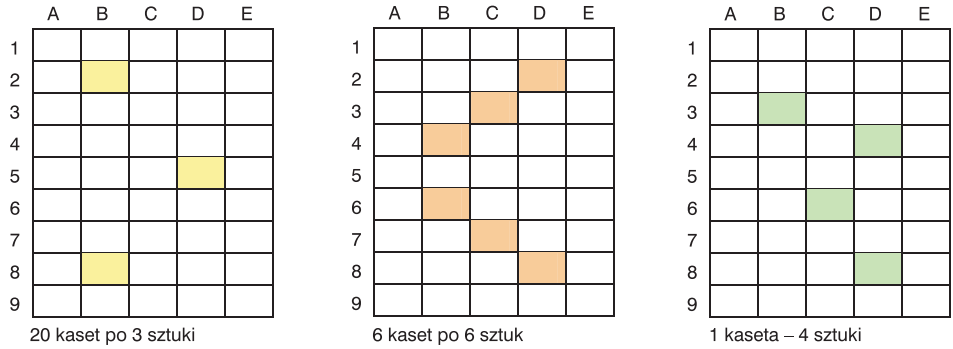
Do obydwu rodzajów substratu przed siewem dodano nawozy typu Osmocote w ilości 3,5 lub 1,7 kg/m^3. Nawóz Osmocote, w tym przypadku typ Exact, to nawóz otoczkowany, będący mieszanką o różnych okresach (od 3–9 miesięcy) uwalniania składników pokarmowych. Nawóz ten zawiera: 16% azotu, 8% fosforu, 11% potasu, 3% magnezu, 0,4% żelaza, 0,06% manganu, 0,05% miedzi, 0,02% boru, 0,02% molibdenu oraz 0,015% cynku.

W wariancie doświadczenia bez nawozów Osmocote siewki były nawożone dolistnie nawozami typu Ecor. Jest to nawóz płynny, wieloskładnikowy, podawany dolistnie przy konduktywności 0,6–0,8 mS. W skład nawozu wchodzi (w g/l): 100,0 azotu, 34,0 fosforu, 55,0 potasu, 0,2 boru, 0,04 miedzi, 0,8 żelaza, 0,4 manganu, 0,06 molibdenu, 0,04 cynku, 0,03 chloru, 9,0 siarki, 0,03 sodu. Nawożenie dolistne rozpoczynano dopiero po wykształceniu liścieni, a więc po około 4 tygodniach od wzejścia siewek.

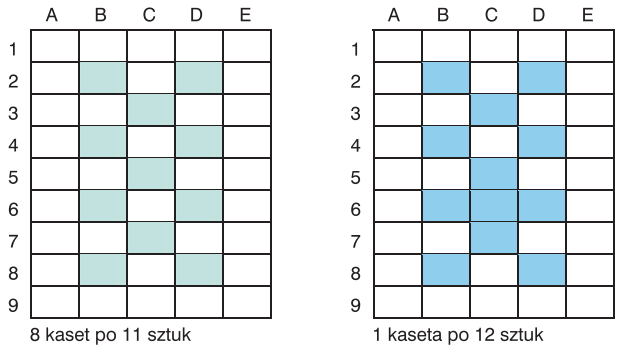
Tuż przed napełnieniem pojemników substratem hodowlanym i obsiewem według ustalonych wariantów, do poszczególnych rodzajów substratu dodawano biopreparat z grzybem *H. crustuliniforme* w ilości objętościowej 3% lub z grzybem *L. bicolor* w ilości 4,5 ml na sadzonkę, tj. 4% (tabela VIII.5.1). Po dokładnym wymieszaniu substratu napełniono nim zdezynfekowane pojemniki, a następnie obsiano

nasionami sosny lub świerka. Sadzonki hodowano zgodnie z opracowaną technologią oraz uwzględnieniem wymagań w stosunku do sadzonek mikoryzowanych. Każda kaseta została zaetykietowana, celem umożliwienia jednoznacznej identyfikacji wariantu doświadczenia według schematu, np.: D1W2 (numer doświadczenia, wariant doświadczenia). Ogółem doświadczenie przeprowadzono w 36 wariantach (tabela VIII.5.1), z których każdy obejmował po 1080 siewek sosny zwyczajnej i 760 siewek świerka pospolitego. Łącznie badania przeprowadzono z użyciem 19 440 siewek sosny i 6480 świerka. Wszystkie prace związane z przygotowaniem podłoża, napełnianiem kaset, etykietowaniem i siewem dla całości doświadczeń w ramach jednego gatunku drzewa wykonywano w tym samym dniu. Sadzonki przez cały sezon wegetacyjny hodowano w jednolitych warunkach mikroklimatycznych.

Po 6 tygodniach wzrostu siewek w namiotach foliowych przewieziono je na zewnętrzne pola, tzw. pola zraszania. Siewki hodowane na substracie zawierającym nawozy typu Osmocote w okresie wegetacji nie były nawożone dolistnie. Nawóz Ecor był aplikowany w 21 dawkach. Po upływie sezonu wegetacyjnego, w październiku, przygotowano sadzonki do pomiarów. Z każdego wariantu doświadczenia pobrano, według wcześniej ustalonego schematu, 100 sadzonek (ryc. VIII.5.1. i VIII.5.2.).



Ryc. VIII.5.1. Schemat rozmieszczenia sadzonek sosny zwyczajnej wziętych do pomiaru



Ryc. VIII.5.2. Schemat rozmieszczenia sadzonek świerka pospolitego wziętych do pomiaru

Mierzono wysokość sadzonek od szyi korzeniowej do pączka szczytowego, z dokładnością do 0,5 cm, a grubość w szyi korzeniowej z dokładnością do 0,1 mm. Następnie te same sadzonki oceniano pod względem stopnia pokrycia bryłki korzeniowej przez struktury mikoryzowe, biorąc pod uwagę zewnętrzne płaszczyzny bryłki. Była to ocena wzrokowa z użyciem lupy. Sadzonki kwalifikowano do trzech grup: bez widocznych mikoryz, do 50% pokrycia płaszczyzn bryłki korzeniowej strukturami mikoryzowymi oraz więcej niż 50%. Analizie statystycznej poddano parametry wzrostowe sadzonek, posługując się testem jednorodności wariancji Browne-Forsyth'a lub nieparametrycznym Kruskal'a-Wallis'a. Średnie wartości analizowanych parametrów porównano za pomocą analizy wariancji, a w kombinacjach doświadczalnych za pomocą testu RIR Tukey'a.

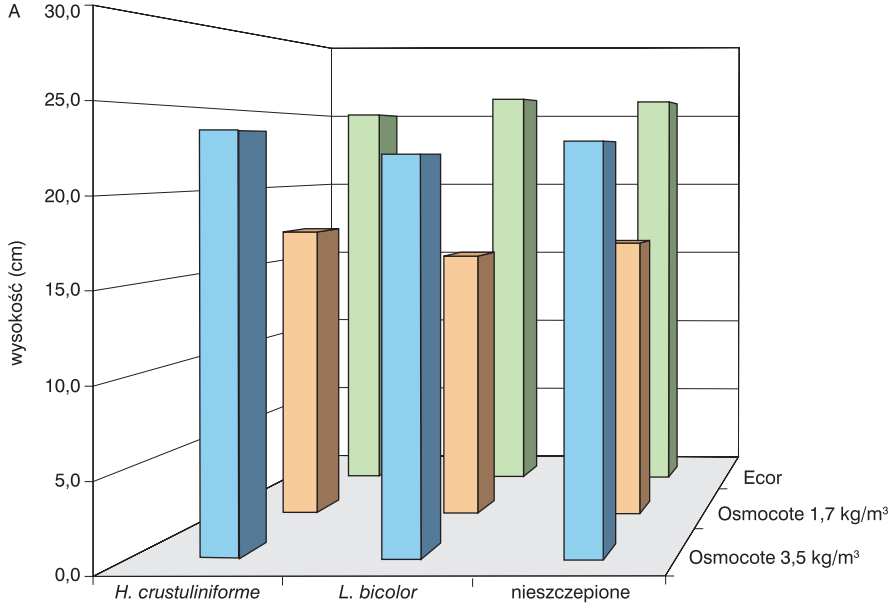
Istotą tego doświadczenia było zbadanie, czy stosując biopreparat z grzybem *H. crustuliniforme* można osiągnąć zadowalające efekty mikoryzacji nie sterylizując substratu i nawożąc siewki jak najmniejszymi dawkami nawozów wolno się rozkładających, a także czy można je zastąpić innymi, podawanymi siewkom dolistnie, a więc w sposób, w jaki nawozi się sadzonki w szkółkach kontenerowych.

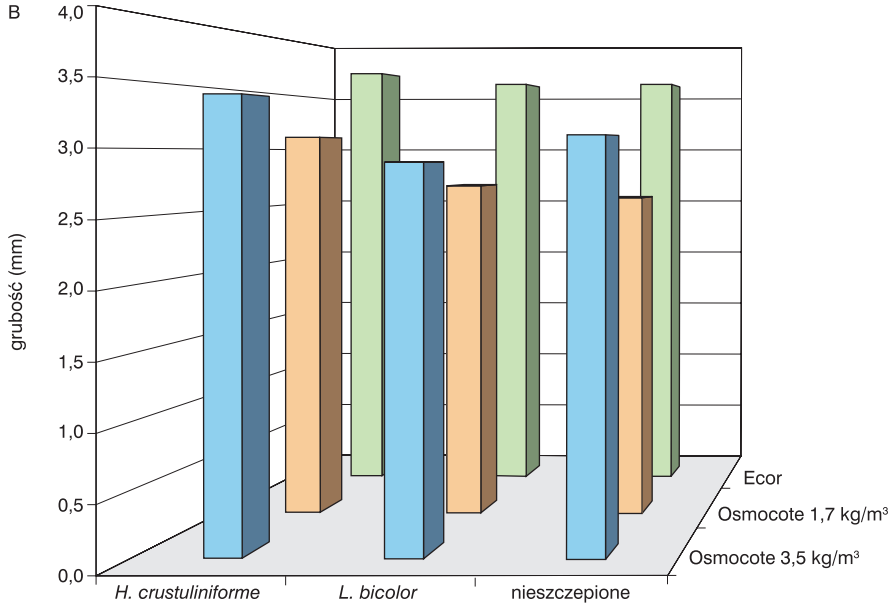
Omówienie wyników badań

Sosna zwyczajna. Badania wykazały, że statystycznie istotne różnice w wysokości sadzonek i ich grubości w szyi korzeniowej występowały tylko między grupami sadzonek nawożonych różnymi dawkami nawozów. Różnice pomiędzy sadzonkami nawożonymi Osmocote w dawce 3,5 kg/m^3 i nawożonymi Ecorem były niewielkie, a istotne stwierdzono w odniesieniu do sadzonek nawożonych Osmocote w dawce 1,7 kg/m^3. Różnice te były także nieistotne między sadzonkami poddanymi zabiegowi sterowanej mikoryzacji i niemikoryzowanymi, oraz hodowanymi na substracie sterylizowanym i niesterylizowanym, przy czym większą średnią wysokość osiągnęły sadzonki hodowane na substracie niesterylizowanym (ryc. VIII.5.3A. i VIII.5.4A.).

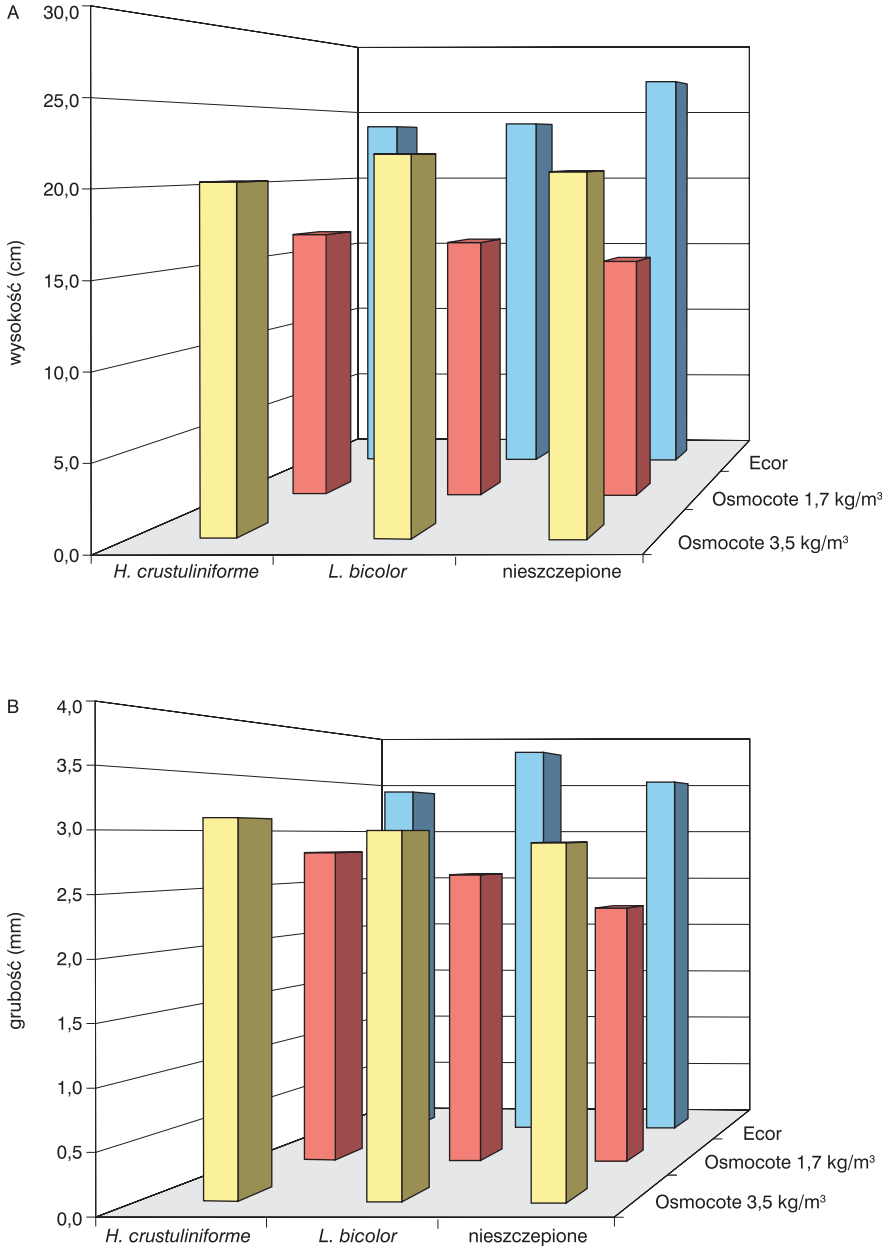
Średnia wysokość sadzonek nawożonych dolistnie nawozami mineralnymi typu Ecor na substracie niesterylizowanym była większa o 53% od sadzonek nawożonych nawozami Osmocote w dawce 1,7 kg/m^3 i tylko o 12% od sadzonek nawożonych nawozami Osmocote w dawce 3,5 kg/m^3 (ryc. VIII.5.3A.). Zbliżone wyniki uzyskano hodując sadzonki na substracie sterylizowanym – wynosiły one odpowiednio 50% i 13,8% (ryc. VIII.5.4A.).

Sam fakt szczepienia sadzonek grzybami mikoryzowymi nie miał statystycznie istotnego wpływu na różnicowanie się parametrów wysokości i grubości w szyi korzeniowej (ryc. VIII.5.3. i VIII.5.4.). W większości jednak wypadków sadzonki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* osiągały większe średnie wysokości i średnice w szyi korzeniowej w porównaniu z sadzonkami szczepionymi grzybem *L. bicolor*, bez względu na rodzaj substratu i dawki nawozów Osmocote. Przy nawożeniu Ecorem sadzonki szczepione *L. bicolor* osiągnęły relatywnie większe parametry wzrostu w porównaniu z sadzonkami szczepionymi *H. crustuliniforme* (ryc. VIII.5.3. i VIII.5.4.).





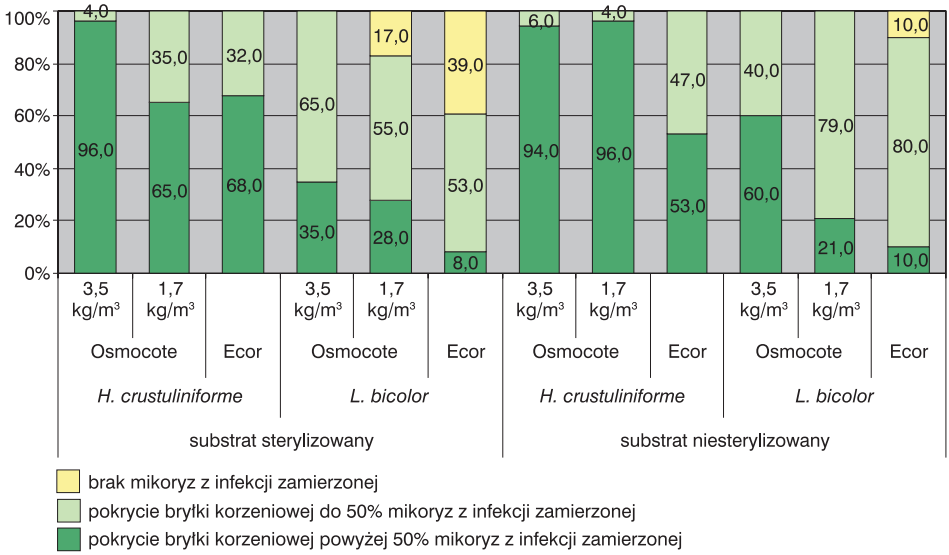
Ryc. VIII.5.3. Porównanie parametrów średnich wysokości (A) i średnich średnic w szyi korzeniowej (B) jednorocznych sadzonek sosny zwyczajnej poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji, hodowanych na substracie niesterylizowanym przy zróżnicowanym nawożeniu



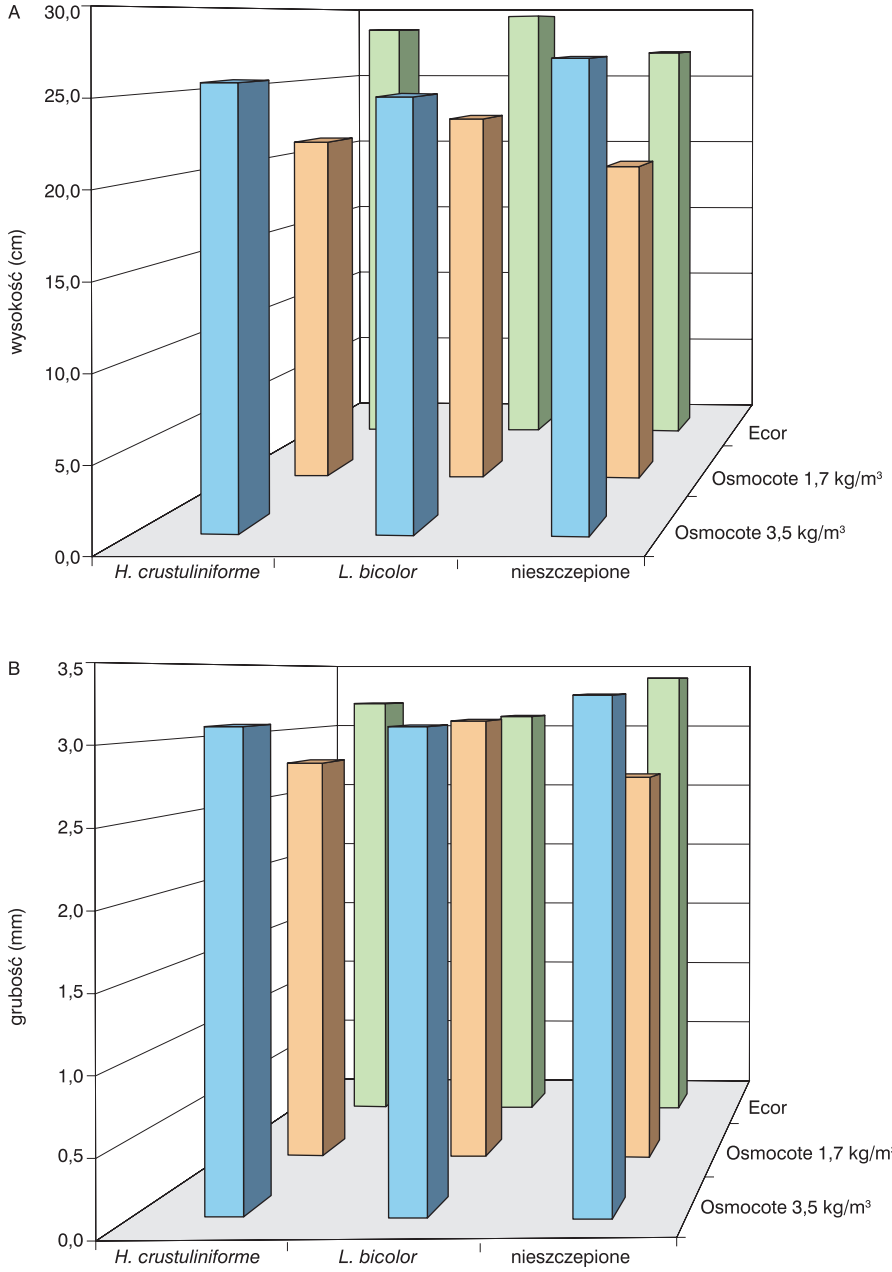
Ryc. VIII.5.4. Porównanie parametrów średnich wysokości (A) i średnich średnic w szyi korzeniowej (B) jednorocznych sadzonek sosny zwyczajnej poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji, hodowanych na substracie sterylizowanym przy zróżnicowanym nawożeniu

Stopień pokrycia bryłki korzeniowej przez struktury mikoryzowe z mikoryzacji zamierzonej (ryc. VIII.5.5.) był w dużo większym stopniu zależny od rodzaju nawozów i dawki nawożeniowej oraz gatunku grzyba mikoryzowego, niż od poddania lub niepoddania substratu zabiegowi sterylizacji. Największy stopień pokrycia bryłki korzeniowej strukturami mikoryzowymi stwierdzono u sadzonek szczepionych grzybem *H. crustuliniforme* i hodowanych na substracie niesterylizowanym (ryc. VIII.5.5.). Stwierdzono, że 100% sadzonek szczepionych grzybem *H. crustuliniforme* miało widoczne na bryłce korzeniowej mikoryzy z tym gatunkiem grzyba bez względu na rodzaj użytych nawozów i substratu. W wypadku sadzonek szczepionych grzybem *L. bicolor* i nawożonych nawozami Ecor na 39% bryłek korzeniowych sadzonek hodowanych na substracie sterylizowanym i 10% na substracie niesterylizowanym nie stwierdzono mikoryz z tym grzybem (ryc. VIII.5.5.). Generalnie mikoryzy z grzybem *L. bicolor* znacznie lepiej rozwijały się przy nawożeniu nawozami Osmocote w dawce 3,5 kg/m^3 niż w przypadku nawożenia Ecorem, co w przypadku grzyba *H. crustuliniforme* nie miało istotnego znaczenia (ryc. VIII.5.5.).

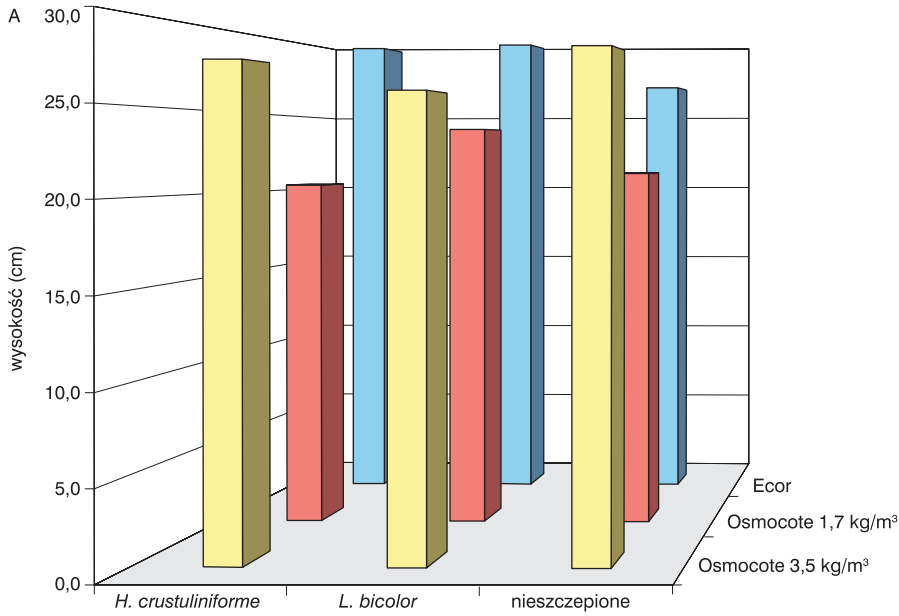
Świerk pospolity. Badania wykazały brak statystycznie istotnych różnic w wysokości i grubości szyi korzeniowej pomiędzy sadzonkami świerka pospolitego hodowanego na substracie sterylizowanym i niesterylizowanym (ryc. VIII.5.6. i VIII.5.7.). Największą przeciętną wysokość i grubość w szyi korzeniowej osiągnęły sadzonki nawożone Ecorem, niezależnie czy rosły na substracie poddanym lub niepoddanym zabiegowi sterylizacji (ryc. VIII.5.6. i VIII.5.7.). Spośród sadzonek świerka pospolitego, szczepionych zarówno grzybem *H. crustuliniforme* jak

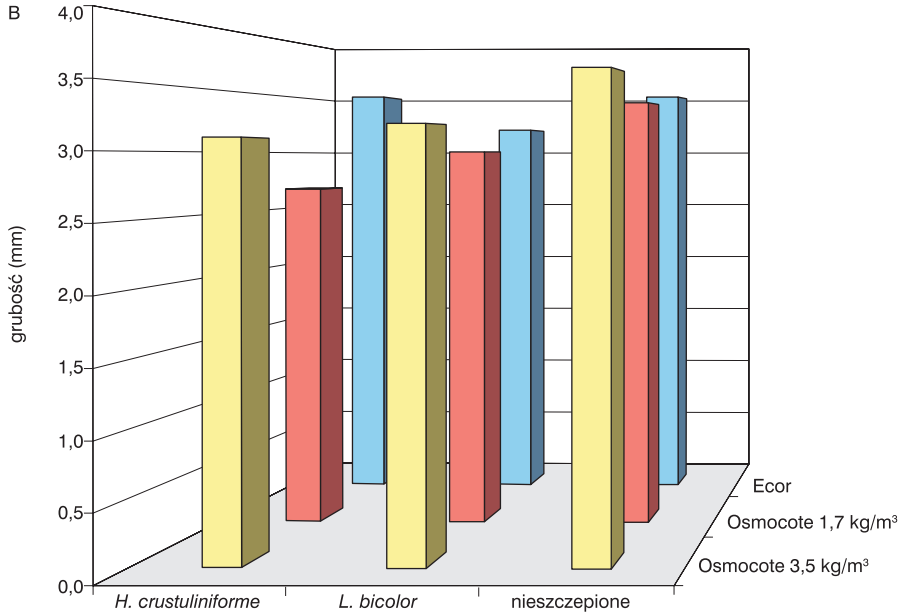


Ryc. VIII.5.5. Stopień pokrycia bryłki korzeniowej przez struktury mikoryzowe z mikoryzacji zamierzonej grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor* u jednorocznych sadzonek sosny zwyczajnej, hodowanych na substracie sterylizowanym i niesterylizowanym przy zróżnicowanym nawożeniu



Ryc. VIII.5.6. Porównanie parametrów średnich wysokości (A) i średnich średnic w szyi korzeniowej (B) jednorocznych sadzonek świerka pospolitego, poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji, hodowanych na substracie niesterylizowanym, przy zróżnicowanym nawożeniu





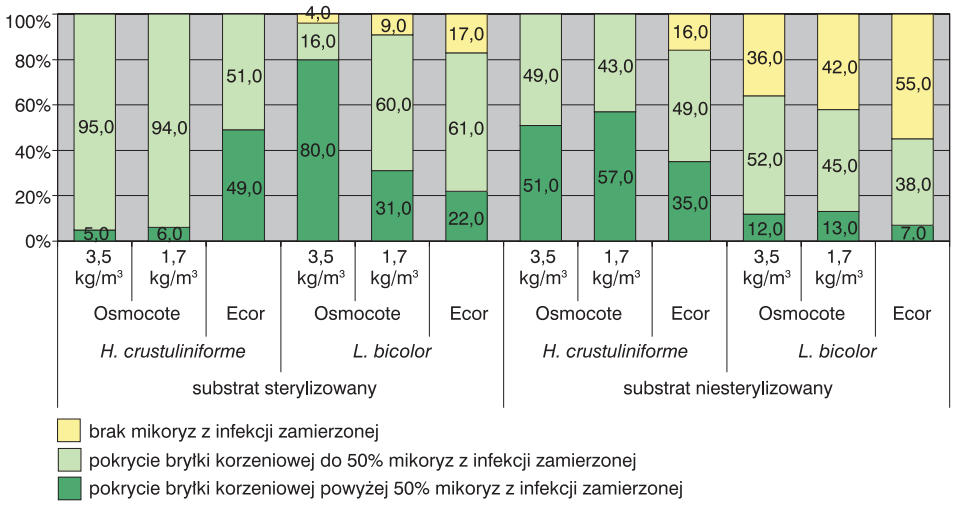
Ryc. VIII.5.7. Porównanie parametrów średnich wysokości (A) i średnich średnic w szyi korzeniowej (B) jednorocznych sadzonek świerka pospolitego, poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji, hodowanych na substracie sterylizowanym, przy zróżnicowanym nawożeniu

i *L. bicolor*, niezależnie od rodzaju substratu hodowlanego, największą średnią wysokość i średnicę w szyi korzeniowej osiągnęły sadzonki nawożone Ecorem, a następnie nawożone Osmocotem w dawce 3,5 kg/m³ (ryc. VIII.5.6. i VIII.5.7.). Zdecydowanie mniejsze parametry wysokości (nawet o 44%) osiągnęły sadzonki szczepione grzybami mikoryzowymi i hodowane na substracie sterylizowanym przy nawożeniu Osmocote w ilości 1,7 kg/m³.

Przeciętna wysokość sadzonek szczepionych grzybem *L. bicolor* na obu rodzajach substratu była największa – 26 cm, przy tym o 0,5 cm większa od sadzonek szczepionych grzybem *H. crustuliniforme* i o 1 cm od sadzonek niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji. Tak więc różnice te nie były istotne statystycznie.

Różnice pomiędzy średnią wysokością sadzonek świerka poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji (hodowanych na obu rodzajach substratu łącznie), nawożonych Osmocote w dawce 3,5 kg/m³ i Ecorem była nieistotna – zaledwie 0,4 cm, natomiast w średniej wysokości pomiędzy sadzonkami szczepionymi grzybami mikoryzowymi nawożonymi Osmocote 3,5 kg/m³ oraz 1,7 kg/m³ była bardzo duża i wynosiła 6,9 cm. Generalnie średnie wysokości i grubości w szyi korzeniowej sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji były mniejsze w porównaniu z sadzonkami niepoddanymi takiemu zabiegowi.

Największy stopień pokrycia bryłki korzeniowej przez struktury mikoryzowe stwierdzono u sadzonek świerka pospolitego szczepionych grzybem *H. crustuliniforme* na obu rodzajach substratu, przy czym w wypadku substratu sterylnego pokrycie bryłki korzeniowej przez *H. crustuliniforme* było największe przy nawożeniu nawozami Ecor, zaś na substracie niesterylizowanym przy nawożeniu nawozem Osmocote (ryc. VIII.5.8.).



Ryc. VIII.5.8. Stopień pokrycia bryłki korzeniowej przez struktury mikoryzowe z mikoryzacji zamierzonej grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor* jednorocznych sadzonek świerka pospolitego, hodowanych na substracie sterylizowanym i niesterylizowanym, przy zróżnicowanym nawożeniu

Biorąc pod uwagę rodzaj substratu hodowlanego i stopień pokrycia bryłki korzeniowej przez mikoryzy z grzybem *L. bicolor* był on zdecydowanie większy w wypadku sadzonek rosnących na substracie sterylizowanym, nawożonym nawozami Osmocote w dawce 3,5 kg/m^3 niż na substracie niesterylizowanym, na którym przy każdym rodzaju nawożenia u znacznej części sadzonek szczepionych grzybem *L. bicolor* nie stwierdzono na bryłce substratu hodowlanego mikoryz, a liczba sadzonek bez mikoryz charakterystycznych dla tego grzyba wynosiła od 36% przy nawożeniu Osmocote w dawce 3,5 kg/m^3, do 55% przy nawożeniu Ecorem (ryc. VIII.5.8.). Na substracie sterylizowanym liczba sadzonek szczepionych grzybem *L. bicolor* bez widocznej mikoryzy na bryłce korzeniowej była znacznie mniejsza i wynosiła odpowiednio od 4% przy nawożeniu Osmocote w dawce 3,5 kg/m^3 do 17% przy nawożeniu Ecorem (ryc. VIII.5.8.).

Stopień zmikoryzowania sadzonek sosny i świerka w zależności od rodzaju substratu hodowlanego oraz zróżnicowanego nawożenia mineralnego

Udatność sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych można określić posługując się ogólnie przyjętym wskaźnikiem procentowym. Zabieg można uznać za udany, gdy wskaźnik wynosi ponad 50. W wyniku badań sadzonek sosny zwyczajnej stwierdzono, że wskaźnik ten był zawsze duży – wahał się od 83,7 u sadzonek szczepionych grzybem *L. bicolor* i hodowanych na substracie sterylizowanym przy obniżonej dawce (1,7 kg/m^3) nawozu Osmocote, do 100,0 u sadzonek szczepionych grzybem *H. crustuliniforme* i hodowanych również na substracie sterylizowanym, ale nawożonych dolistnie Ecorem (tab.VIII.5.2.). Jedynie w wypadku sadzonek sosny szczepionych grzybem *L. bicolor*, hodowanych na substracie sterylizowanym i nawożonych dolistnie Ecorem, wskaźnik ten był stosunkowo mniejszy i wynosił 49,7 (tab.VIII.5.2.).

Tabela VIII.5.2.
Zestawienie wskaźników procentowych charakteryzujących stopień udatności zabiegu sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor* siewek sosny zwyczajnej i świerka pospolitego w hodowli kontenerowej, na substracie niesterylizowanym i sterylizowanym, przy zróżnicowanym nawożeniu mineralnym

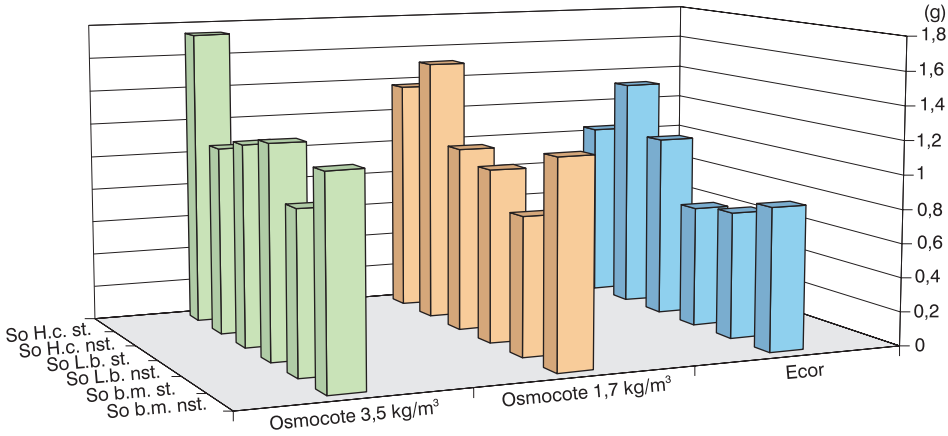
Rodzaj i dawka nawozu	Sosna zwyczajna				Świerk pospolity			
	substrat hodowlany				substrat hodowlany			
	niesterylizowany		sterylizowany		niesterylizowany		sterylizowany	
	H.c.	L.b.	H.c.	L.b.	H.c.	L.b	H.c.	L.b.
Osmocote 3,5 kg/m^3	93,0	96,6	98,7	93,9	97,7	86,5	99,4	67,8
Osmocote 1,7 kg/m^3	87,9	90,0	99,7	83,7	95,1	35,5	99,1	76,0
Ecor	99,5	97,7	100,0	49,7	97,3	63,2	98,9	84,8

Objaśnienia: H.c. – siewki szczepione biopreparatem z grzybem *Hebeloma crustuliniforme*.
L.b. – siewki szczepione biopreparatem z grzybem *Laccaria bicolor*.

W wypadku sadzonek świerka pospolitego poddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*, wskaźnik ten był zawsze bardzo duży i wahał się od 95,1 u sadzonek hodowanych na substracie niesterylizowanym i nawożonych obniżoną dawką Osmocote, do 99,4 u sadzonek hodowanych na substracie sterylizowanym i nawożonych standardową dawką Osmocote (tab.VIII.5.2.). U sadzonek świerka szczepionych grzybem *L. bicolor* i hodowanych na substracie sterylizowanym wskaźnik udatności zabiegu wahał się pomiędzy 67,8 i 84,8 zależnie od rodzaju zastosowanego nawożenia, zaś u sadzonek hodowanych na substracie niesterylizowanym i nawożonych obniżoną dawką Osmocote był bardzo mały i wynosił jedynie 35,5 (tab. VIII.5.2.). Stosunkowo duży wskaźnik stopnia udatności zabiegu sterowanej mikoryzacji, wynoszący 86,5, uzyskano w wypadku sadzonek świerka szczepionych grzybem *L. bicolor*, hodowanych na substracie niesterylizowanym przy standardowej dawce nawożenia Osmocote (tab. VIII.5.2.).

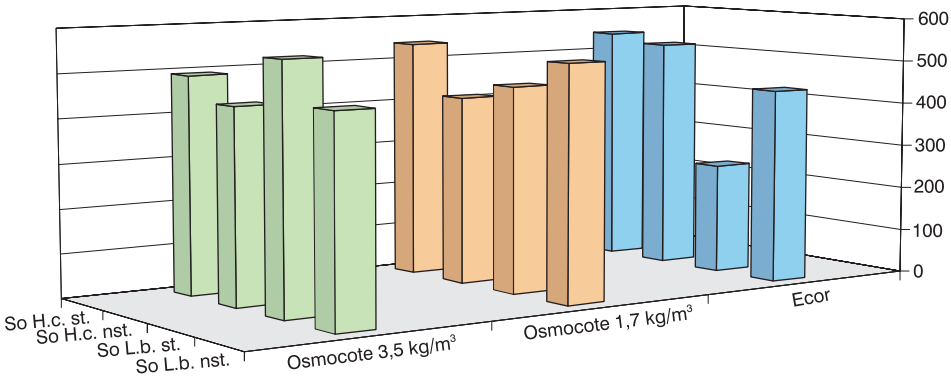
Parametry rozwojowe systemu korzeniowego

Sosna zwyczajna. Analizując rozwój systemu korzeniowego sadzonek sosny zwyczajnej, poddanej i niepoddanej zabiegowi sterowanej mikoryzacji, można zauważyć, że był on zróżnicowany i zależny zarówno od gatunku grzyba, którym sadzonki były szczepione, jak też rodzaju substratu hodowlanego i zastosowanego nawożenia (ryc. VIII.5.9.– VIII.5.11.).



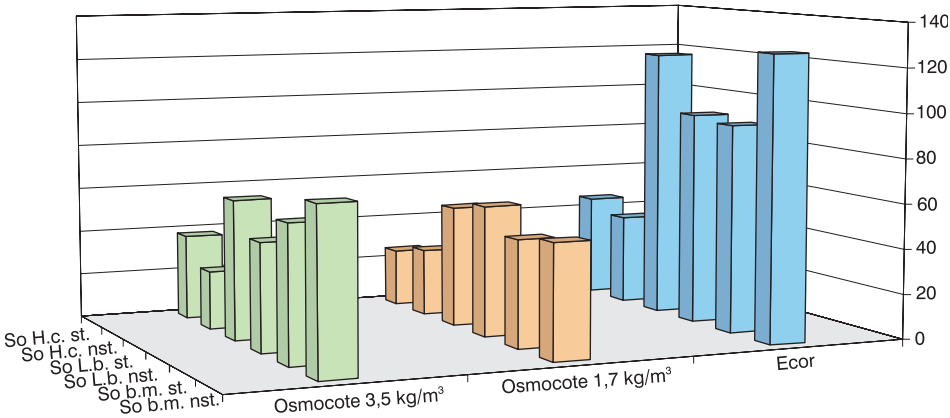
So H.c. st. – sosna szczepiona grzybem *H. crustuliniforme* na substracie sterylizowanym
So H.c. nst. – sosna szczepiona grzybem *H. crustuliniforme* na substracie niesterylizowanym
So L.b. st. – sosna szczepiona grzybem *L. bicolor* na substracie sterylizowanym
So L.b. nst. – sosna szczepiona grzybem *L. bicolor* na substracie niesterylizowanym
So b.m. st. – sosna nieszczepiona na substracie sterylizowanym
So b.m. nst. – sosna nieszczepiona na substracie niesterylizowanym

Ryc. VIII.5.9. Porównanie średniej suchej masy korzeni (g) jednorocznych sadzonek sosny zwyczajnej, poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji, hodowanych na substracie sterylizowanym lub niesterylizowanym, przy zróżnicowanym nawożeniu



So H.c. st. – sosna szczepiona grzybem *H. crustuliniforme* na substracie sterylizowanym
So H.c. nst. – sosna szczepiona grzybem *H. crustuliniforme* na substracie niesterylizowanym
So L.b. st. – sosna szczepiona grzybem *L. bicolor* na substracie sterylizowanym
So L.b. nst. – sosna szczepiona grzybem *L. bicolor* na substracie niesterylizowanym

Ryc. VIII.5.10. Porównanie średniej liczby mikoryz z infekcji zamierzonej grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor* jednorocznych sadzonek sosny zwyczajnej, hodowanych na substracie sterylizowanym lub niesterylizowanym, przy zróżnicowanym nawożeniu



So H.c. st. – sosna szczepiona grzybem *H. crustuliniforme* na substracie sterylizowanym
So H.c. nst. – sosna szczepiona grzybem *H. crustuliniforme* na substracie niesterylizowanym
So L.b. st. – sosna szczepiona grzybem *L. bicolor* na substracie sterylizowanym
So L.b. nst. – sosna szczepiona grzybem *L. bicolor* na substracie niesterylizowanym
So b.m. st. – sosna nieszczepiona na substracie sterylizowanym
So b.m. nst. – sosna nieszczepiona na substracie niesterylizowanym

Ryc. VIII.5.11. Porównanie średniej liczby korzeni autotroficznych jednorocznych sadzonek sosny zwyczajnej, poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji, hodowanych na substracie sterylizowanym lub niesterylizowanym, przy zróżnicowanym nawożeniu

Średnia sucha masa korzeni sadzonek szczepionych grzybem *H. crustuliniforme* była wyraźnie większa w porównaniu z pozostałymi kombinacjami doświadczalnymi i to niezależnie od zabiegu sterylizacji substratu hodowlanego (ryc. VIII.5.9.). Stosunkowo najmniejszą średnią suchą masę korzeni stwierdzono u sadzonek niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji, a zwłaszcza u tych, które hodowano na substracie sterylizowanym (ryc. VIII.5.9.).

W wypadku sadzonek szczepionych grzybem *H. crustuliniforme* stosunkowo największą średnią suchą masę korzeni (1,7436 g) stwierdzono u sadzonek hodowanych na substracie sterylizowanym i nawożonym standardową dawką Osmocote (3,5 kg/m^3), zaś najmniejszą (1,1073 g), przy tym samym poziomie nawożenia, ale u sadzonek hodowanych na substracie niesterylizowanym (ryc. VIII.5.9.). Stosunkowo dużą średnią suchą masę korzeni stwierdzono również u sadzonek hodowanych na substracie niesterylizowanym, ale nawożonym obniżoną dawką Osmocote (1,7 kg/m^3), jak również u sadzonek nawożonych dolistnie Ecorem (ryc. VIII.5.9.).

Sadzonki szczepione grzybem *L. bicolor* wykazywały podobnie większą średnią suchą masę korzeni, gdy hodowano je na substracie sterylizowanym w porównaniu z sadzonkami hodowanymi na substracie niesterylizowanym (ryc. VIII.5.9.). Średnia sucha masa korzeni sadzonek hodowanych na substracie sterylizowanym przy różnym poziomie nawożenia była podobna i wahała się od 1,0750 do 1,1823 g, natomiast u sadzonek hodowanych na substracie niesterylizowanym była wyraźnie większa (1,2421 g), gdy substrat był nawożony standardową dawką Osmocote i stosunkowo najmniejsza (0,7109 g) w kombinacji, w której sadzonki były nawożone dolistnie Ecorem (ryc. VIII.5.9.).

Średnia sucha masa korzeni u sadzonek sosny niepoddanej zabiegowi sterowanej mikoryzacji, hodowanej na substracie sterylizowanym, była prawie dwukrotnie mniejsza w porównaniu z sadzonkami szczepionymi grzybem *H. crustuliniforme* i – w zależności od poziomu nawożenia – wahała się od 0,7465 do 0,9390 g (ryc. VIII.5.9.). Porównując średnią suchą masę korzeni sadzonek niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji można zauważyć, że była ona większa, gdy sadzonki hodowano na substracie niesterylizowanym, ale nawożonym Osmocote w porównaniu z tymi, które hodowano na substracie sterylizowanym (ryc. VIII.5.9.).

Rozpatrując liczebność mikoryz z infekcji zamierzonej u sadzonek sosny można zauważyć, że w wypadku szczepienia sadzonek grzybem *H. crustuliniforme* liczebność ta była z reguły większa niż grzybem *L. bicolor* (ryc. VIII.5.10.). Sadzonki sosny szczepione grzybem *H. crustuliniforme* i hodowane na substracie sterylizowanym, niezależnie od rodzaju i poziomu nawożenia, w każdym wypadku wykazywały średnio więcej mikoryz w porównaniu z siewkami hodowanymi na substracie niesterylizowanym (ryc. VIII.5.10.). W wypadku hodowli sosny poddanej zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* szczególnie przydatne wydaje się nawożenie dolistne Ecorem, gdyż u sadzonek hodowanych na substracie sterylizowanym i niesterylizowanym średnia liczba mikoryz u badanych sadzonek była największa (Szabla 2004).

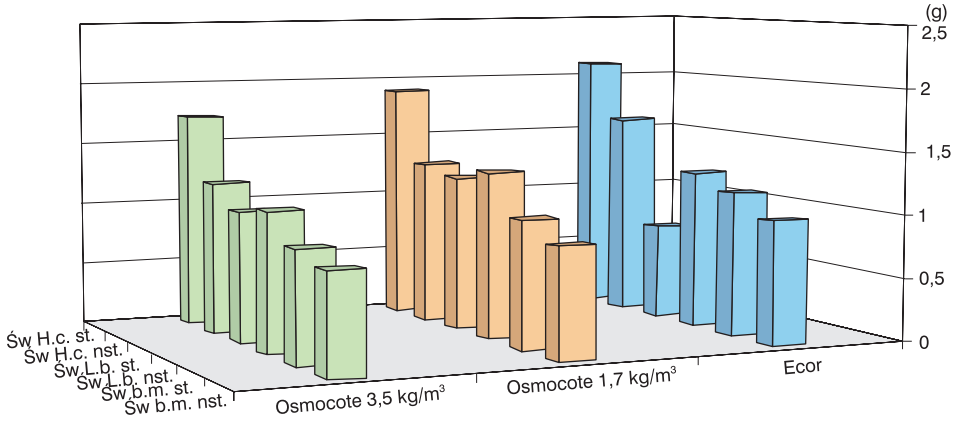
Średnia liczba mikoryz z infekcji zamierzonej u sadzonek sosny szczepionych grzybem *L. bicolor* była zróżnicowana, w każdym jednak wypadku w kombinacjach doświadczalnych, w których sadzonki były nawożone dolistnie Ecorem – najmniej-

sza (ryc. VIII.5.10.). U sadzonek hodowanych na substracie sterylizowanym stosunkowo największą średnią liczbę mikoryz z infekcji zamierzonej grzybem *L. bicolor* stwierdzono przy dawce 3,5 kg/m^3 nawozu Osmocote, natomiast w wypadku sadzonek hodowanych na substracie niesterylizowanym liczba mikoryz była większa, gdy do substratu hodowlanego wprowadzono obniżoną dawkę tego nawozu (Szabla 2004).

Liczebność korzeni autotroficznych badanych sadzonek wydaje się w większym stopniu zależeć od rodzaju i poziomu nawożenia, aniżeli zabiegu sterylizacji substratu hodowlanego (ryc. VIII.5.11.). W każdym wypadku rozpatrywanych kombinacji doświadczalnych najmniejszą średnią liczbę korzeni autotroficznych stwierdzano u badanych sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* (ryc. VIII.5.11.). W wypadku sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *L. bicolor* i sadzonek niepoddanych takiemu zabiegowi liczebność korzeni autotroficznych była szczególnie duża, gdy sadzonki nawożono dolistnie Ecorem (ryc. VIII.5.11.). Uzyskany wynik doświadczenia jest konsekwencją stosunkowo największego poziomu ilościowego zmikoryzowania sadzonek sosny pospolitej przez grzyb *H. crustuliniforme* i to niezależnie od rodzaju oraz poziomu nawożenia, jak też poddawania lub niepoddawania substratu hodowlanego zabiegowi sterylizacji (ryc. VIII.5.10. i VIII.5.11.).

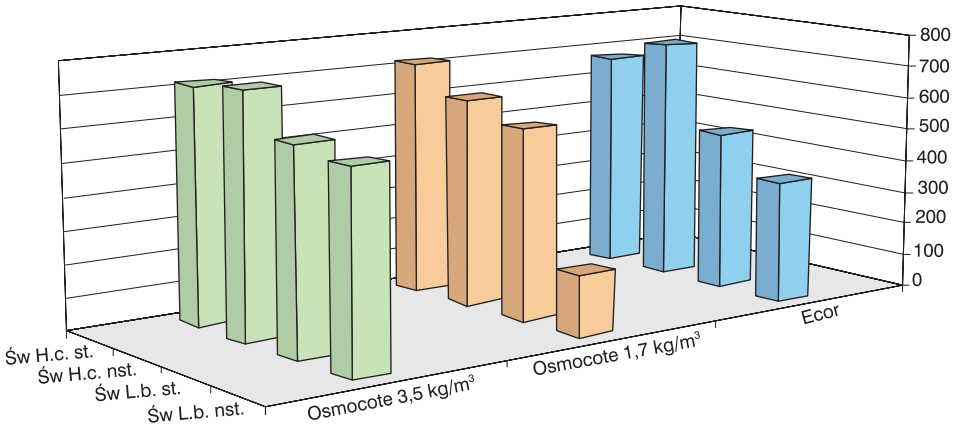
Świerk pospolity. Rozwój systemu korzeniowego sadzonek świerka pospolitego, poddanego i niepoddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji, zależał zarówno od rodzaju użytej szczepionki jak i substratu hodowlanego oraz zastosowanego nawożenia mineralnego (ryc. VIII.5.12.–VIII.5.14.).

Średnia sucha masa korzeni była stosunkowo większa u sadzonek szczepionych grzybem *H. crustuliniforme* w porównaniu do sadzonek szczepionych grzybem *L. bicolor* oraz sadzonek niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji i to niezależnie od rodzaju, a także dawki nawożenia, jak też zabiegu sterylizacji substratu hodowlanego (ryc. VIII.5.12.). Analizując średnią suchą masę korzeni sadzonek szczepionych grzybem *H. crustuliniforme* można zauważyć, że była ona wyraźnie większa, gdy sadzonki hodowano na substracie sterylizowanym (ryc. VIII.5.12.). Porównując średnią suchą masę korzeni sadzonek świerka hodowanych na substracie sterylizowanym i niesterylizowanym, ale szczepionych grzybem *H. crustuliniforme*, daje się zauważyć, że największą wartość tego parametru stwierdzono u badanych sadzonek, które nawożone były dolistnie Ecorem (ryc. VIII.5.12.). Uwzględniając wszystkie kombinacje doświadczalne stwierdzono, że największą średnią suchą masę korzeni (2,0947 g) stwierdzono u sadzonek szczepionych grzybem *H. crustuliniforme*, nawożonych dolistnie Ecorem i hodowanych na substracie sterylizowanym, natomiast najmniejszą wartość tego parametru (0,7583 g) u sadzonek szczepionych grzybem *L. bicolor*, również hodowanych na substracie sterylizowanym, przy tym samym rodzaju nawożenia (ryc. VIII.5.12.). W wypadku sadzonek szczepionych grzybem *L. bicolor* największe wartości średniej suchej masy korzeni stwierdzano u sadzonek hodowanych na substracie niesterylizowanym (ryc. VIII.5.12.). Stosunkowo najmniejszą średnią suchą masę korzeni, niezależnie od rodzaju nawożenia, stwierdzano u sadzonek niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji i hodowanych na substracie niesterylizowanym.



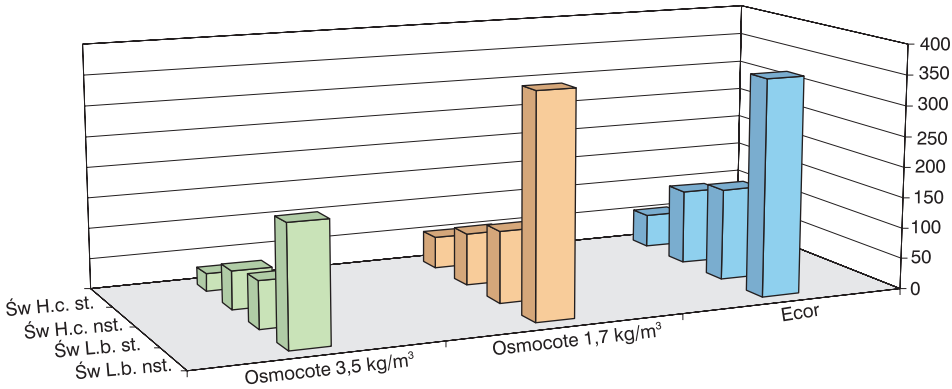
Św H.c. st. – świerk szczepiony grzybem *H. crustuliniforme* na substracie sterylizowanym
Św H.c. nst. – świerk szczepiony grzybem *H. crustuliniforme* na substracie niesterylizowanym
Św L.b. st. – świerk szczepiony grzybem *L. bicolor* na substracie sterylizowanym
Św L.b. nst. – świerk szczepiony grzybem *L. bicolor* na substracie niesterylizowanym
Św b.m. st. – świerk nieszczepiony na substracie sterylizowanym
Św b.m. nst. – świerk nieszczepiony na substracie niesterylizowanym

Ryc. VIII.5.12. Porównanie średniej suchej masy korzeni (g) jednorocznych sadzonek świerka pospolitego, poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji, hodowanych na substracie sterylizowanym lub niesterylizowanym, przy zróżnicowanym nawożeniu



Św H.c. st. – świerk szczepiony grzybem *H. crustuliniforme* na substracie sterylizowanym
Św H.c. nst. – świerk szczepiony grzybem *H. crustuliniforme* na substracie niesterylizowanym
Św L.b. st. – świerk szczepiony grzybem *L. bicolor* na substracie sterylizowanym
Św L.b. nst. – świerk szczepiony grzybem *L. bicolor* na substracie niesterylizowanym

Ryc. VIII.5.13. Porównanie średniej liczby mikoryz z infekcji zamierzonej grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor* jednorocznych sadzonek świerka pospolitego, hodowanych na substracie sterylizowanym lub niesterylizowanym, przy zróżnicowanym nawożeniu



Św H.c. st. – świerk szczepiony grzybem *H. crustuliniforme* na substracie sterylizowanym
Św H.c. nst. – świerk szczepiony grzybem *H. crustuliniforme* na substracie niesterylizowanym
Św L.b. st. – świerk szczepiony grzybem *L. bicolor* na substracie sterylizowanym
Św L.b. nst. – świerk szczepiony grzybem *L. bicolor* na substracie niesterylizowanym

Ryc. VIII.5.14. Porównanie średniej liczby korzeni autotroficznych jednorocznych sadzonek świerka pospolitego, poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji, hodowanych na substracie sterylizowanym lub niesterylizowanym, przy zróżnicowanym nawożeniu

Analizując liczbę mikoryz badanych sadzonek świerka pospolitego w poszczególnych kombinacjach doświadczalnych stwierdza się, że liczebność ta była stosunkowo największa u sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji z grzybem *H. crustuliniforme*. Szczególnie dużą liczbę mikoryz z infekcji zamierzonej stwierdzono u sadzonek szczepionych grzybem *H. crustuliniforme*, nawożonych nawozem Osmocote i hodowanych na substracie sterylizowanym (ryc. VIII.5.13.). Stosunkowo najmniejszą średnią liczbę mikoryz z infekcji zamierzonej stwierdzono u sadzonek szczepionych grzybem *L. bicolor*, hodowanych na substracie niesterylizowanym, przy obniżonej dawce (1,7 kg/m^3) nawozu Osmocote (ryc. VIII.5.13.).

Średnia liczebność korzeni autotroficznych sadzonek świerka pospolitego poddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* była bardzo mała i to niezależnie od rodzaju oraz dawki nawozu, a także zabiegu sterylizowania lub niesterylizowania substratu hodowlanego (ryc. VIII.5.14.). W wypadku szczepienia sadzonek świerka grzybem *L. bicolor*, jedynie u sadzonek hodowanych na substracie sterylizowanym liczebność korzeni autotroficznych była stosunkowo mała, zaś u sadzonek hodowanych na substracie niesterylizowanym 2- do 3-krotnie większa (ryc. VIII.5.14.).

Podsumowując wyniki doświadczenia, można stwierdzić, że:

1. Wysokość części nadziemnej oraz średnica w szyi korzeniowej, zarówno u sadzonek sosny jak i świerka, była wyraźnie skorelowana z jakością, a także ilością stosowanych nawozów, natomiast wpływ zabiegu sterowanej mikoryzacji na tym etapie rozwoju nie był statystycznie istotny.
2. Często sadzonki niepoddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji osiągały w szkółce większe parametry wysokości oraz średnicy w szyi korzeniowej w po-

równaniu z sadzonkami poddanymi temu zabiegowi, co można wyjaśnić wykorzystaniem części związków mineralnych na budowę i rozwój grzybni.

3. Poddając sadzonki zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* można odstąpić zarówno od sterylizacji substratu hodowlanego jak i nawożenia relatywnie bardzo drogim, wolno rozkładającym się nawozem Osmocote. Taka zmiana technologii zabiegu sterowanej mikoryzacji daje istotne oszczędności kosztów jednostkowych, szacowane na ponad 30% dotychczas ponoszonych, przy zachowaniu dużych walorów hodowlanych sadzonek szczepionych tym grzybem.
4. Skuteczność zabiegu sterowanej mikoryzacji grzybem *L. bicolor*, zgodnie z uzyskanymi wynikami, wymaga zarówno sterylizacji substratu hodowlanego, jak i używania nawozu typu Osmocote.

6. Zabiegi chemicznej ochrony roślin, a technologie sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych

Dr hab. Marta Aleksandrowicz-Trzcińska, prof. SGGW,
Katedra Ochrony Lasu i Ekologii,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego,
02-776 Warszawa, ul. Nowoursynowska 159

Sadzonki drzew leśnych, również te poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji, podczas hodowli w szkółce zagrożone są atakiem licznych grzybów patogenicznych oraz szkodników owadzich, chwastów i nicieni (Drogoszewski 1992, Schnaider 1992, Grzywacz 1993). Ochrona sadzonek, zgodnie z instrukcją ochrony lasu (2004), wymaga zabiegów profilaktycznych i terapeutycznych, opartych – między innymi – na stosowaniu środków chemicznych. Pestycydy stosowane w ochronie siewek i sadzonek w szkółkach mogą niekiedy wywołać wiele nieprzewidzianych, ubocznych skutków biologicznych, zagrażać wzrostowi grzybni gatunków ektomikoryzowych oraz prawidłowemu tworzeniu i rozwojowi mikoryz (Trappe i in. 1984).

Wpływ środków chemicznych na ektomikoryzy drzew leśnych bada się od początku lat pięćdziesiątych ubiegłego stulecia (Wilde i Persidsky 1954, Dominik 1961), jednak do chwili obecnej wyniki nie dały podstaw do jednoznacznych poglądów na ten problem. W testach z zastosowaniem większości badanych pestycydów, zależnie od warunków, w jakich prowadzono doświadczenia, stwierdza się zróżnicowany wpływ konkretnych substancji chemicznych na grzyby ektomikoryzowe i mikoryzy. Zdarza się również, że te same środki czynne, w zbliżonych dawkach i badane w podobnych warunkach, mają różne działanie: stymulują, hamują lub pozostają bez wpływu na tworzenie się i rozwój mikoryz (Trappe i in. 1984). Wskazanie przyczyn tego faktu nie jest łatwe. Nie poznano bowiem dostatecznie interakcji pomiędzy środowiskiem wzrostu siewek, mikroorganizmami, grzybami mikoryzowy-

mi i rośliną-gospodarzem. Rozbieżności uzyskiwanych wyników najprawdopodobniej spowodowane są zróżnicowanymi zmianami fizycznymi, chemicznymi i mikrobiologicznymi, jakie mogą powodować pestycydy w środowisku glebowym, w którym przebiega proces mikoryzacji, jak też bezpośrednim i pośrednim wpływem środków chemicznych na organizmy obu symbiontów. Zdarza się, że obserwując w doświadczeniu stymulację lub inhibicję tworzenia mikoryz, nie potrafimy wyjaśnić tego zjawiska i opisać mechanizmów działania środka chemicznego. Bez takiej wiedzy trudno o jednoznaczne wnioski i ocenę przydatności konkretnego pestycydu w ochronie sadzonek poddanych sterowanej mikoryzacji.

Największą i stosunkowo najlepiej poznaną w zakresie wpływu na grzyby mikoryzowe i tworzenie mikoryz grupą środków chemicznych, stosowanych w szkółkach leśnych, są fungicydy. W wypadku części substancji czynnych fungicydów nie tylko potrafimy przewidzieć efekt ich działania na mikoryzy, ale także – przynajmniej częściowo – wyjaśnić mechanizm tego wpływu.

Niektóre fungicydy, powodując zmiany w organizmie rośliny-gospodarza, mogą hamować lub stymulować tworzenie i rozwój mikoryz. Bayleton (środek z grupy związków triazolowych), dzięki właściwości systemicznego przemieszczania się w roślinie, powoduje długo utrzymujące się po aplikacji zmiany chemiczne w tkankach wszystkich organów. Marx i inni (1986) stosowali dolistnie Bayleton (trzy lub cztery zabiegi, każdy po 0,56 kg/ha substancji czynnej – triadimefonu) do zwalczania rdzy powodowanej przez *Cronartium quercuum* na *Pinus elliottii* i *Pinus taeda*, mikoryzowanych szczepionką MycoRhiz®, opartą na grzybie *Pisolithus tinctorius*. Zabiegi drastycznie zahamowały rozwój ektomikoryz tworzonych przez *P. tinctorius* i znacząco stłumiły naturalnie pojawiające się mikoryzy, wśród których dominowały związki z grzybami *Thelephora terrestris* i *Rhizopogon nigrescens*. Ograniczenie ektomikoryz na korzeniach sosen spowodowało 3–10-krotną redukcję liczby owocników grzybów mikoryzowych. Badania chemiczne ochranianych sadzonek pozwoliły stwierdzić, że triadimefon, środek czynny Bayletonu, ulega w roślinie metabolicznej przemianie w bardziej toksyczny triadimenol. Obecność tego związku w korzeniach i pędach sosen była stwierdzana nawet po 116 dniach od ostatniej aplikacji (opryskania). Zawartość środka wynoszącą: 2,5 μg/g w pędach i 0,4 μg/g w korzeniach (po 116 dniach) autorzy uważają za tak dużą, że gdyby działała w czystych kulturach, powodowałaby bardzo silną inhibicję grzyba *P. tinctorius*, użytego do sterowanej inokulacji, jak i *T. terrestris*.

Kaptan (należący do związków ftalimidowych) jest przykładem fungicydu powodującego zmiany fizjologiczne w ochranianych roślinach. Marx i Rowan (1981) podlewając roztworem kaptanu (4,5 kg/ha substancji czynnej) sadzonki *P. taeda* inokulowane grzybami *P. tinctorius* i *T. terrestris* stwierdzili stymulujący wpływ tego fungicydu na rozwój mikoryz tworzonych przez oba gatunki. Znacząco wzrosła również liczba owocników *P. tinctorius*. Autorzy korzystny wpływ kaptanu na poziom kolonizacji mikoryzowej tłumaczą powodowanymi przez niego zmianami w glebie. Jednak bardziej prawdopodobnym wytłumaczeniem stymulacji tworzenia mikoryz jest fakt, że kaptan powoduje zwiększenie ilości chlorofilu w aparacie asymilacyjnym i wzmaga proces fotosyntezy (Borecki 1996). Dzięki temu większa ilość cukrów dociera do korzeni, co korzystnie wpływa na mikoryzy.

Oba wymienione fungicydy mogą powodować zupełnie odmienne od opisanych reakcje mikoryz. Kelley (1982) przeprowadził podobne doświadczenie z Bayletonem jak Marx i inni (1986) – te same gatunki drzew oraz szczepionka mikoryzowa, a w niektórych wariantach również identyczne dawki fungicydów. Triadimefon był stosowany dolistnie, doglebowo i jako zaprawa nasienna. Nie stwierdzono hamującego wpływu triadimefonu na mikoryzy tworzone przez *P. tinctorius*. Nie zaobserwowano także zmniejszenia owocnikowania – ani pochodzącego ze sterowanej inokulacji *P. tinctorius*, ani pojawiającego się z infekcji naturalnych *T. terrestris*. Autor sugeruje, że rozbieżność jego wyników badań i otrzymanych wcześniej przez innych autorów, wskazujących na inhibicję tworzenia mikoryz przez triadimefon, może być powodowana czynnikami glebowymi i różnym typem gleby w badanych szkółkach.

Kaptan (Captan 50 WP) zastosowany do podlewania (cztery zabiegi, 5 mg substancji aktywnej w 50 ml wody na sadzonkę) sadzonek *Pinus palustris* inokulowanych grzybem *P. tinctorius* spowodował znaczące obniżenie poziomu kolonizacji sterowanej i brak wpływu na tworzenie się naturalnych mikoryz, głównie z grzybem *T. terrestris* (Pawuk i in. 1980).

Pewne fungicydy zastosowane w ochronie roślin mogą powodować zmiany mikrobiologiczne w środowisku glebowym oraz pośrednio wpływać na grzyby mikoryzowe i tworzenie mikoryz. Ten sposób działania najlepiej został poznany w przypadku Benlate, środka z grupy benzimidazoli. W świetle dotychczasowych badań wydaje się, że właśnie związki benzimidazolowe są grupą fungicydów niedziałających szkodliwie na grzyby ektomikoryzowe i mikoryzy drzew leśnych. Marx i Rowan (1981) badali wpływ benomylu – środka czynnego Benlate, na mikoryzy *P. taeda*. Siewki inokulowano szczepionkami z *P. tinctorius* oraz *T. terrestris* i dwukrotnie podlewano benomylem (11,2 kg/ha środka czynnego), 9 dni po wysiewie nasion i 2 tygodnie później. Stwierdzono stymulujący wpływ fungicydu na rozwój mikoryz obu inokulowanych gatunków jak też kolonizacji naturalnej z powietrza. Zanotowano również zwiększoną produkcję owocników *P. tinctorius*. Identyczne wyniki uzyskali Pawuk i inni (1980), podlewając benomylem (cztery zabiegi, 5 mg substancji aktywnej w 50 ml wody na sadzonkę) siewki *P. palustris*, mikoryzowane grzybem *P. tinctorius*. Fungicyd stymulował rozwój mikoryz pochodzących ze sterowanej inokulacji oraz spontanicznie tworzonych przez *T. terrestris*. Autorzy obu artykułów uważają, że stymulujący wpływ benomylu na mikoryzy jest efektem mikrobiologicznych zmian w glebie, powodowanych użyciem fungicydu. Grzybopodobne lęgniowe (*Oomycota*) i większość gatunków grzybów sprzężniowych (*Zygomycota*) są odporne na działanie benomylu. Do tolerancyjnych należy również wiele gatunków podstawkowych (*Basidiomycota*). Wrażliwe i bardzo wrażliwe na działanie benomylu są workowe (*Ascomycota*), a z grzybów mitosporowych – rozmnażające się przez blastospory, fialospory i aleuriospory (Bollen, Fuchs 1970). Obniżenie liczebności populacji wrażliwych na benomyl grzybów w glebie, a być może również i innych mikroorganizmów, może zwiększyć efektywność inokulacji sterowanej i naturalnej (Pawuk i in. 1980, Marx, Rowan 1981). Niektóre z hamowanych przez benomyl taksonów, np. *Trichoderma* spp. i *Penicillium* spp., są potencjalnymi inhibitorami formowania mikoryz *in vivo*, stąd też zastosowanie tego fungicydu powoduje stymulację formowania mikoryz w warunkach polowych (Summerbell 1988).

Pośredniego wpływu na mikoryzy przez powodowanie zmian mikrobiologicznych w środowisku glebowym można oczekiwać po zastosowaniu Dithane M-45 (mankozeb, związek z grupy ditiokarbaminianów). Mechanizm tego działania nie został jednak jeszcze dostatecznie wyjaśniony. Sudhakara Reddy i Natarajan (1995) testowali oddziaływanie Dithane M-45 w warunkach polowych na mikoryzy tworzone na korzeniach sadzonek *Pinus patula* przez *Laccaria laccata* i *T. terrestris*, pochodzących ze sterowanej inokulacji. Zastosowanie stężenia 0,3% spowodowało zahamowanie tworzenia mikoryz przez *L. laccata* i przeszło pięćdziesięcioprocentową redukcję liczby mikoryz tworzonych przez *T. terrestris*. Autorzy jednocześnie stwierdzili znaczne ograniczenie naturalnej kolonizacji mikoryzowej. Odmienne wyniki uzyskał Cudlin i inni (1983). Sadzonki sosny pospolitej inokulowane grzybem *Suillus granulatus* traktowane były Dithane M-45 w stężeniu 0,5%, w różnych terminach i dawkach (rekomendowanych i większych). Jedynie większe dawki fungicydu powodowały inhibicję lub całkowitą redukcję tworzenia mikoryz. Dithane w rekomendowanych dawkach nie powodował zmian w poziomie kolonizacji mikoryzowej. Bezpośrednie bowiem działanie Dithane na mikoryzę jest ograniczone. Środek czynny tego fungicydu – mankozeb (kompleksowa sól manganowo-cynkowa) charakteryzuje się działaniem ochronnym i nie rozpuszcza się w wodzie. Nie jest więc możliwe jego wniknięcie do rośliny. Natomiast jeden z metabolitów mankozebu – etylenotiomocznik, powstający z rozkładu kwasu etylenobis-dwutiokarbaminowego, wykazuje silne działanie toksyczne (Borecki 1981), powodując zmiany w środowisku glebowym (Schinner i in. 1981, Chattopadhyay, Raj 1991). Być może o wynikach uzyskiwanych w doświadczeniach decyduje pośrednie działanie Dithane na tworzenie związków mikoryzowych w zależności od dawki środka czynnego oraz ilościowego i jakościowego składu mikroorganizmów glebowych.

Właściwości fizykochemiczne i mikrobiologiczne gleby mogą modyfikować działanie fungicydów. Przykładem jest tiuram (dwusiarczek czterometylotiuramu, związek z grupy ditiokarbaminianów), który jest rozkładany przez mikroorganizmy glebowe do dimetylotiokarbaminianów, a przy odczynie gleby poniżej pH=7, do kwasu dimetylotiokarbaminowego. Dalszymi produktami rozkładu są dimetyloamina i dwusiarczek węgla (Borecki 1996). Tak więc odczyn gleby może decydować o zróżnicowanym wpływie tego związku na grzyby ektomikoryzowe i mikoryzy.

Bezpośrednie działanie fungicydów na grzyby ektomikoryzowe w glebie jest stwierdzane stosunkowo rzadko. Takim wpływem charakteryzował się benodanil (substancja czynna fungicydu o tej samej nazwie handlowej, niestosowany w polskich szkółkach), używany w ochronie sadzonek *P. taeda* inokulowanych grzybami *P. tinctorius* i *T. terrestris*. Fungicyd aplikowany jedno- lub dwukrotnie, w ilości 15,3 kg/ha środka czynnego, bezpośrednio inhibował wzrost grzybni gatunków wprowadzonych z inokulum, drastycznie ograniczając tworzenie mikoryz szczególnie przez *P. tinctorius* (Marx, Rowan 1981). Taka interpretacja wyników była możliwa nie tylko dzięki doświadczeniom polowym, ale także w warunkach *in vitro*. Badania laboratoryjne wykazały, że benodanil – nawet w dawce wynoszącej połowę rekomendowanej – w przeciwieństwie do innych testowanych fungicydów całkowicie inhibował wzrost obu gatunków grzybów ze szczepionek.

Duże znaczenie, w aspekcie wpływu fungicydów na grzyby ektomikoryzowe i tworzenie mikoryz, ma miejsce aplikacji. Zastosowanie fungicydu dolistnie oddziałuje w mniejszym stopniu negatywnie na mikoryzy niż użycie tego samego środka doglebowo. Zaprawianie nasion wydaje się nie wpływać na formowanie ektomikoryz z naturalnych lub sztucznych inokulów w glebie, w przeciwieństwie do inokulacji przez otoczkowanie (Trappe i in. 1984). Przykładem są doświadczenia z tiuramem. Fungicyd ten, zastosowany w ochronie siewek sosny zwyczajnej inokulowanych grzybami *L. laccata* i *T. terrestris*, nie powodował zmian w poziomie kolonizacji mikoryzowej w porównaniu z wariantem kontrolnym (Unestam i in. 1989). Zaprawianie tiuramem nasion *Pinus radiata* inokulowanych bazydiosporami wyselekcjonowanych grzybów ektomikoryzowych hamowało rozwój mikoryz pochodzących ze sterowanej inokulacji i pozostawało bez wpływu na naturalnie pojawiające się mikoryzy (Theodorou, Skinner 1976).

Znaczący wpływ na grzyby ektomikoryzowe i tworzenie mikoryz może mieć termin aplikacji fungicydu. Cudlin i inni (1983) przeprowadzili wiele doświadczeń na siewkach sosny zwyczajnej inokulowanych miesiąc lub dwa miesiące po wysiewie nasion grzybem *Pisolithus arhizus*. Dithane M-45 był aplikowany w różnych dawkach (rekomendowanych i większych) przed wysiewem nasion, łącznie z inokulacją lub cztery dni przed zabiegiem i dwa lub trzy miesiące po inokulacji. Fungicyd inhibował wzrost grzybni mikoryzowej w podłożu po aplikacji przed siewem i łącznie ze szczepionką mikoryzową, lecz tylko w największych dawkach. W pozostałych wariantach wzrost grzybni, choćby w małym obszarze, pozwalał na tworzenie mikoryz.

W innym doświadczeniu siewki *P. sylvestris* inokulowane grzybem *S. granulatus* i nieinokulowane traktowano 0,5% roztworem Dithane M-45. Fungicyd aplikowany w różnych terminach nie wpłynął na poziom sterowanej mikoryzacji. U siewek nieinokulowanych tylko zabieg wykonany trzy i pół miesiąca po wysiewie nasion nie ograniczył tworzenia mikoryz (Cudlin i in. 1983). Wyniki uzyskane w opisanych doświadczeniach wskazują, że im późniejszy termin aplikacji fungicydu, tym szanse na prawidłowe tworzenie i funkcjonowanie związków mikoryzowych są większe. Uważa się, że wrażliwość roślin na pestycydy zmniejsza się z wiekiem (Iloba 1983, Aleksandrowicz-Trzcińska 2002), a niektórzy autorzy twierdzą również, że negatywny wpływ środków chemicznych na formowanie mikoryz ustępuje pod koniec drugiego sezonu wegetacyjnego (Hacskaylo, Palmer 1957, Sobotka 1968).

Według Trappe i innych (1984) właściwość systemicznego przemieszczania się fungicydów w roślinie wydaje się nie mieć istotnego wpływu na formowanie się mikoryz. Innego zdania są Marx i inni (1986). Udowodnili oni, że zawartość w różnych organach rośliny, również w korzeniach, substancji czynnej Bayletonu utrzymywała się przez bilsko cztery miesiące na tak dużym poziomie, że była przyczyną inhibowania tworzenia mikoryz u *P. elliotti* i *P. taeda* inokulowanych *P. tinctorius*.

Wpływ herbicydów na grzyby ektomikoryzowe i tworzenie mikoryz był rzadziej przedmiotem badań, niż miało to miejsce w przypadku fungicydów. Niewiele doświadczeń przeprowadzono również na sadzonkach poddanych sterowanej mikoryzacji. Najczęściej ograniczający lub stymulujący wpływ herbicydów na mikoryzy jest efektem działania środka chemicznego na roślinę – gospodarza. Cudlin i in-

ni (1983) testowali Gramoxone (parakwat, środek z grupy pochodnych azyny), stosowany w ochronie siewek sosny zwyczajnej mikoryzowanych grzybem *P. arhizus*. Herbicyd aplikowano w różnych dawkach i terminach (przed siewem, w czasie inokulacji i trzy miesiące po inokulacji). Okazał się on środkiem fitotoksycznym bez względu na termin aplikacji, nawet w bardzo małych dawkach. Zdaniem autorów inhibicja tworzenia mikoryz była efektem oddziaływania herbicydu na roślinę i jej system korzeniowy. Siewki okazały się bardziej wrażliwe na działanie Gramoxone niż ich grzyby mikoryzowe. Taka sytuacja, według Trappe i innych (1984), jest spowodowana niekorzystnym wpływem herbicydu na przebieg fotosyntezy. Hamowanie tworzenia mikoryz jest wtedy wynikiem redukcji dostępnych dla partnera grzybowego cukrów.

Niekorzystny efekt działania na roślinę obserwowano również po zastosowaniu trifluralinu (Trifluralina, Flurene, Treflan, środek z grupy dinitroalanin). Testowano go w stosunku do siewek *P. taeda* inokulowanych szczepionką z grzybem *P. tinctorius*. Herbicyd stosowano przed siewem, doglebowo, w ilości 1 i 2 kg/ha. Obie dawki hamowały rozwój korzeni krótkich, potencjalnie mikoryzowych, czteromiesięcznych siewek. Zanotowano też istotny spadek udziału dychotomicznych rozgałęzień korzeni. Po 7 miesiącach wzrostu zmikoryzowanie korzeni siewek traktowanych trifluralinem i kontrolnych nie różniło się istotnie statystycznie. Inhibicja rozwoju korzeni sadzonek przez trifluralin jest, według autorów, wyłącznie efektem działania tego środka na roślinę. Zawartość trifluralinu w glebie bezpośrednio po zabiegu wynosiła 0,54 ppm przy dawce 1 kg/ha i 0,93 ppm przy dawce 2 kg/ha. Badania wpływu trifluralinu na grzyby ektomikoryzowe *in vitro* wykazały, że nawet dawki wynoszące 3 ppm nie hamowały wzrostu grzybni (South, Kelley 1982).

Stymulację rozwoju mikoryz obserwowano wielokrotnie po zastosowaniu symazyny (Azotop, Gesatop, Simazin, herbicyd z grupy triazyny) w stosunku do siewek drzew leśnych niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji. Efekt taki mógł być spowodowany wzrostem zawartości w korzeniach roślin cukrów i kwasów aminowych (Smith, Ferry 1979, Trappe i in. 1984).

Drzewa leśne, nawet należące do tej samej rodziny, mogą wykazywać zróżnicowaną tolerancję na herbicydy. Kiełkowanie nasion *P. taeda* w glebie traktowanej trifluralinem nie było ograniczane, w przeciwieństwie do nasion *P. sylvestris* i *P. echinata* (South, Kelley 1982). Duże różnice stwierdzono również w pobieraniu symazyny przez siewki *Pinus resinosa* i *Pinus strobus*. U *P. resinosa* symazyna była równomiernie rozprowadzana po całej roślinie, podczas gdy u *P. strobus* duży jej procent pozostawał w organach niefotosyntetyzujących. Igły *P. resinosa* zawierały trzy razy więcej symazyny niż igły *P. strobus*. Nieinokulowane siewki *P. resinosa* pobierały zbliżoną ilość symazyny jak inokulowane, natomiast u *P. strobus* siewki nieinokulowane pobierały dwa razy więcej tego herbicydu od inokulowanych. Ponieważ symazyna wpływa ograniczająco na proces fotosyntezy przez blokowanie fotolizy wody, jej mniejsza zawartość w igłach *P. strobus* pośrednio decyduje o większej tolerancji tego gatunku na działanie herbicydu, a obecność mikoryz tę tolerancję jeszcze zwiększa (Freeman i in. 1964).

Wpływ herbicydów na rozwój korzeni krótkich i formowanie mikoryz zależy również od okresu zalegania środka w glebie i sposobu jego rozkładu. Przykładem

może być doświadczenie na siewkach *P. taeda*, inokulowanych szczepionką z grzybem *P. tinctorius* i traktowanych bifenoxem (Bifenox, Modown, środek z grupy eterów nitrofenylowych) i napropamidem (Devrinol, środek z grupy amid). Herbicydy aplikowano przed siewem, doglebowo, w ilości 1 i 2 kg/ha napropamidu oraz 4 i 8 kg/ha bifenoxu. Napropamid powodował inhibicję tworzenia korzeni krótkich i formowania mikoryz u czteromiesięcznych siewek. U siedmiomiesięcznych siewek nie tylko nie stwierdzono ograniczenia rozwoju korzeni krótkich, lecz zaobserwowano stymulację tworzenia mikoryz. Bifenox natomiast u czteromiesięcznych siewek nie powodował istotnych zmian w liczbie korzeni krótkich i stymulował powstawanie mikoryz. U siewek siedmiomiesięcznych stymulujące działanie bifenoxu nie było już obserwowane.

Herbicydy użyte w doświadczeniu znacznie różniły się okresem zalegania w glebie. Okres półtrwania bifenoxu wynosi 1–2 tygodnie, a napropamidu aż 8–12. Stymulacja formowania mikoryz u czteromiesięcznych siewek traktowanych bifenoxem i siedmiomiesięcznych traktowanych napropamidem wynikała z korzystnego działania niewielkich już dawek częściowo zdegradowanych herbicydów w glebie (South, Kelley 1982).

Mikroorganizmy glebowe mogą modyfikować wpływ herbicydów zarówno na roślinę jak i tworzone przez nią związki mikoryzowe. Niektóre grzyby glebowe oraz mikoryzowe mają zdolność metabolizowania herbicydów, a także wykorzystywania związków uzyskanych z ich rozkładu, np. azot uzyskany z rozkładu symazyny (Freeman i in. 1964, Rouillon i in. 1989). Stymulacja lub inhibicja tworzenia mikoryz może być również efektem oddziaływania zastosowanych środków na grzyby i inne mikroorganizmy glebowe (Trappe 1983). Inhibujące lub stymulujące działanie herbicydów na mikoryzy, w przeciwieństwie do fungicydów, nie jest związane z przynależnością konkretnych substancji chemicznych do poszczególnych grup herbicydów (Trappe i in. 1984).

Insektycydy i nematocydy są najsłabiej poznaną grupą pestycydów w zakresie wpływu na grzyby ektomikoryzowe i mikoryzy drzew leśnych. Dotychczasowe badania dotyczyły wyłącznie spontanicznie tworzonych związków mikoryzowych. Potencjalne zagrożenie w prawidłowym budowaniu ścian komórkowych grzybów mikoryzowych mogą stanowić insektycydy będące inhibitorami syntezy chityny. Jednak Dimilin (diflubenzuron, środek z grupy analogów inhibitorów syntezy chityny) stymulował wzrost grzybni gatunków ektomikoryzowych w czystych kulturach, a zastosowany doglebowo nie ograniczał zarodnikowania i tworzenia mikoryz przez grzyby z gromady *Zygomycota*. Brakuje, niestety, badań dotyczących wpływu tego insektycydu lub innych z tej grupy na tworzenie ektomikoryz w warunkach polowych (Trappe i in. 1984).

Stymulacja rozwoju ektomikoryz i mikoryz arbuskularnych, obserwowana po zastosowaniu niektórych środków (DBCP – Fumagon, Fumazone, Nemabrom i aldrin – Aldrec, Master, związki z grupy insektycydów chloroorganicznych, aldicarb – Temik, związek z grupy karbaminianów), była tłumaczona przez Lane i Shearin (1972) oraz Trappe i innych (1984) redukcją populacji nicieni w glebie i być może innych pasożytów, strzępek oraz zarodników grzybów mikoryzowych. Ponieważ niektóre z insektycydów i nematocydów powodują zmiany w mikroflorze glebowej,

a także w organizmach ochranianych roślin (Goszczyński 1993), podobnie jak fungicydy i herbicydy mogą pośrednio wpływać na grzyby ektomikoryzowe i tworzenie mikoryz. Dotychczas jednak nie ma dostatecznie udokumentowanych badań w tym zakresie.

Grzyby są grupą organizmów, wykazującą duże zróżnicowanie tolerancji na pestycydy. Obok oczywistych różnic międzygatunkowych występuje u grzybów również duża zmienność szczepowa we wrażliwości na środki chemiczne (Kelley 1982; Aleksandrowicz-Trzcińska, Grzywacz 1997). Cecha ta powinna być uwzględniana przy doborze szczepów gatunków przeznaczonych jako inokulum szczepionek mikoryzowych. Pozwoli to w ochronie siewek i sadzonek drzew leśnych na wykorzystywanie większej liczby bardziej różnorodnych pestycydów, bez szkody dla związków mikoryzowych powstających w wyniku sterowanej mikoryzacji.

Problem wpływu pestycydów na mikoryzy drzew leśnych nie został dotychczas dostatecznie wyjaśniony. Badania w tym zakresie z pewnością będą kontynuowane, tym bardziej że wielu środków chemicznych dotychczas nie testowano, a w przypadku innych nie poznano mechanizmu oddziaływania na związki mikoryzowe. Szczególną uwagę należy poświęcić badaniom współczesnych pestycydów najnowszej generacji, będących w trakcie rejestracji oraz wkraczających do praktyki ochrony drzew leśnych w szkółkach.

7. Wpływ środków chemicznych stosowanych w szkółkach leśnych w ochronie różnych gatunków drzew na mikoryzy tworzone przez grzyb *Hebeloma crustuliniforme*, pochodzący ze sterowanej mikoryzacji

Dr hab. Marta Aleksandrowicz-Trzcińska, prof. SGGW,
Katedra Ochrony Lasu i Ekologii,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego,
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Fungicydy

Fungicydy, w porównaniu z pozostałymi pestycydami, są grupą związków chemicznych najczęściej stosowanych w ochronie sadzonek w szkółkach leśnych, jednocześnie największą i najbardziej zróżnicowaną. Dotychczas w stosunku do grzyba *Hebeloma crustuliniforme*, stanowiącego inokulum szczepionki mikoryzowej, przetestowano 27 fungicydów. Sześć z nich badano w doświadczeniach specjalnie założonych w tym celu. Obejmowały one jedno- i dwuletnie sadzonki sosny zwyczajnej, hodowane w warunkach kontrolowanych – w namiocie foliowym, z zakrytym systemem korzeniowym, na podłożu torfowo-perlitowym (Aleksandrowicz-Trzcińska 2002). Jeden fungicyd testowano w doświadczeniu na sadzonkach sosny,

hodowanych w szkółce kontenerowej Nadleśnictwa Jabłonna (Aleksandrowicz-Trzcińska 2003). Informacje o wpływie dwudziestu czterech środków pochodzą z nadleśnictw, w których produkowano w pojemnikach i inspektach (skrzyniach lub korytach), sadzonki różnych gatunków drzew poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* (Kowalski 2006).

Z fungicydów siarkowych testowano jedynie Siarkol Extra 80 WP (siarka), stosowany w czterech szkółkach w ochronie sadzonek dębu przed mączniakiem prawdziwym. Środek ten aplikowano w stężeniu 0,5 lub 0,6%, wykonując od dwóch do nawet ośmiu zabiegów, przy czym rozpoczynano je nie wcześniej niż miesiąc po wysiewie nasion. W trzech szkółkach (Rudy Raciborskie, Oleszyce i Gidle) poziom zmikoryzowania dębu uznano za bardzo dobry. W szkółce Nadleśnictwa Babimost słabe zmikoryzowanie sadzonek było wynikiem zabezpieczania styropianowych ścianek pojemników do hodowli przed wrastaniem korzeni związkiem miedziowym. W efekcie systemy korzeniowe były bardzo słabo rozwinięte, a krystalizujący na powierzchni bryłki korzeniowej związek miedziowy uniemożliwiał prawidłowy wzrost grzybni *H. crustuliniforme*.

Miedzian 50 WP (tlenochlorek miedziowy), należący do grupy fungicydów miedziowych, testowany był w siedmiu szkółkach w ochronie modrzewia przed opadziną modrzewiową. Stosowano roztwory 0,3 i 0,4 lub 0,5%. Liczba zabiegów w sezonie była bardzo zróżnicowana – od jednego (wykonywanego najczęściej w końcu sezonu wegetacyjnego) do nawet dziesięciu. Ochraniano modrzew jedno- i dwuletni, hodowany w pojemnikach lub inspektach. Na ogół sadzonki charakteryzowały się dobrym i bardzo dobrym zmikoryzowaniem systemów korzeniowych. Najintensywniejszą ochronę (0,5% roztwór, dziesięć zabiegów) prowadzono w Nadleśnictwie Oleszyce w stosunku do dwuletniego modrzewia, szkółkowanego po pierwszym roku z gruntu do pojemników z substratem hodowlanym zawierającym biopreparat z grzybem *H. crustuliniforme*. Udział sadzonek z mikoryzą zamierzoną był zadawalający i wynosił 65%. W szkółce kontenerowej Nadleśnictwa Rudy Raciborskie stosowano Miedzian 50 WP w ochronie buka przed antraknozą. Fungicyd aplikowano jako 0,5% roztwór cztero- lub pięciokrotnie. Zabieg nie ograniczał tworzenia i rozwoju mikoryz z grzybem *H. crustuliniforme* pochodzącym ze sterowanej mikoryzacji.

Tiokarbaminiany są grupą fungicydów powszechnie stosowaną w szkółkach leśnych w ochronie różnych gatunków przed pasożytniczą zgorzelą siewek, osutkami i plamistościami. Z grupy tej stosowano środki oparte na trzech substancjach czynnych: mankozebie, metiramie i tiuramie.

Dithane M-45 80 WP (mankozeb) badano w doświadczeniach na jedno- i dwuletnich sadzonkach sosny. Fungicydy aplikowano dolistnie w największych, rekomendowanych stężeniach i dawkach (sześć zabiegów, stężenie 0,5%, dawka 5 kg/ha dla sadzonek jednorocznych, 15 kg/ha dla dwulatek) oraz doglebowo w dawkach rekomendowanych, a także półtora i dwa razy większych. W żadnym z doświadczeń nie stwierdzono ograniczającego wpływu Dithane M-45 na mikoryzy tworzone przez *H. crustuliniforme* pochodzące ze sterowanej mikoryzacji.

Różne fungicydy oparte na mankozebie (Dithane M-45 80 WP, Dithane NeoTec 75 WP, Penncozeb 80 WP i Vondozeb 25 WP) testowano w ośmiu szkółkach. Zabie-

gi stosowano w ochronie sosny przed osutką, a także sosny i buka przed pasożytniczą zgorzelą siewek. Używając roztworów 0,3 lub 0,4% wykonywano od jednego do trzech zabiegów w sezonie. W wypadku sadzonek sosny chronionych przed osutką, w żadnej ze szkółek nie obserwowano negatywnego wpływu mankozebu na skuteczność zabiegu sterowanej mikoryzacji.

W szkółce w Krotoszynie sosna hodowana w inspektach traktowana była nie tylko Dithane M-45 (jeden zabieg), lecz także w ochronie przed osutką Gwarantem 500 SC (dwa zabiegi), jak też przed pasożytniczą zgorzelą siewek Previcurem 607 SL (jeden zabieg) i przed szarą pleśnią Euparenem Multi 50 WG (jeden zabieg). Aplikacja fungicydów nie miała negatywnego wpływu na postępujący proces tworzenia się mikoryz.

Większe niebezpieczeństwo dla udanego zabiegu sterowanej mikoryzacji niesie stosowanie fungicydów opartych na mankozebie w ochronie przed pasożytniczą zgorzelą siewek, zwłaszcza jeśli konieczny jest zabieg tuż po wschodach. W szkółkach w Głogowie i Koninie sosna traktowana Penncozebem 80 WP i Dithane M-45 w miesiąc po wysiewie nasion charakteryzowała się dobrym poziomem zmikoryzowania. Buk w szkółce w Rudach Raciborskich, chroniony siedem dni po wysiewie nasion Dithane NeoTec 75 WP, osiągnął bardzo duży stopień zmikoryzowania. Udział sadzonek z mikoryzą zamierzoną z grzybem *H. crustuliniforme* wyniósł 98%. Stopień zmikoryzowania sosny traktowanej tym samym preparatem kilka dni po wysiewie nasion był natomiast bardzo zróżnicowany i wahał się od 13 do 63%. Prawdopodobnym powodem słabego zmikoryzowania mogły być inne, nie w pełni zidentyfikowane, czynniki jak np. jakość biopreparatu. W takiej sytuacji nie można jednak wykluczyć pewnego niekorzystnego wpływu fungicydu.

Polyram 70 WG (metiram) stosowano w sześciu szkółkach w ochronie sosny przed osutką. Fungicyd aplikowano jedno- lub dwukrotnie, w stężeniu od 0,2 do 0,4%. W Nadleśnictwie Olkusz, gdzie ochrona była najbardziej intensywna (dwa zabiegi, 0,4% roztwór) nie tylko obserwowano bardzo obfite mikoryzy na korzeniach sosen, ale także pojawiły się owocniki grzyba *H. crustuliniforme*.

Tiuram, trzecia substancja czynna należąca do tiokarbaminianów, jest stosowany w szkółkach leśnych do ochrony przed pasożytniczą zgorzelą siewek. Zawiera go Sadoplon 75 WP i Thiram Granuflo 80 WG. Często też wchodzi w skład wieloskładnikowych zapraw nasiennych, np. Funabenu T. Fungicyd ten badano w doświadczeniach z jedno- i dwuletnimi sadzonkami sosny, mikoryzowanymi szczepionką z grzybem *H. crustuliniforme*. Środek aplikowano dolistnie cztery razy, co tydzień, w maju i w czerwcu, w stężeniu 0,4%, w dawce 6 kg/ha dla sadzonek jednorocznych oraz 18 kg/ha dla dwulatek, a także doglebowo w tych samych terminach i stężeniach, stosując dawkę jak wyżej, oraz półtora, jak też dwa razy większą. Funaben T stosowany dolistnie nie powodował zmian w poziomie mikoryzacji ochranianych sadzonek. Aplikowany natomiast doglebowo w nieznacznym stopniu, bez wyraźnych różnic między dawkami fungicydu, hamował formowanie mikoryz z grzybem *H. crustuliniforme*.

Funaben T jest preparatem grzybobójczym dwuskładnikowym, zawiera karbendazym i tiuram. Można przypuszczać, że należący do grupy środków benzimidazolowych karbendazym, podobnie jak np. benomyl (przekształcany w roślinie w kar-

bendazym), nie ogranicza tworzenia mikoryz, a niejednokrotnie może je stymulować. Można więc przypuszczać, że to tiuram zastosowany doglebowo hamuje tworzenie mikoryz z *H. crustuliniforme*. Takie działanie tiuramu było już wykazywane.

Pomiary grubości mufki grzybniowej mikoryz tworzonych przez *H. crustuliniforme* pozwalają przypuszczać, że ograniczające działanie Funabenu nie było silne. Nie obserwowano bowiem zmian w budowie anatomicznej tych mikoryz. Charakteryzowały się dobrze rozwiniętą siecią Hartiga, sięgającą do endodermy. Grubość opilśni mikoryz poddanych działaniu poszczególnych dawek fungicydu i pochodzących z wariantu kontrolnego były zbliżone.

Tiuram (Sadoplon 75 WP, Thiram Granuflo 80 WG) testowano również w pięciu szkółkach. Stosowano go w miesiąc po wysiewie nasion, w ochronie siewek sosny, świerka, modrzewia i buka przed pasożytniczą zgorzelą siewek. Fungicydy aplikowane były jednokrotnie, w stężeniach od 0,3 do 0,5%. W szkółkach trzech nadleśnictw: Oleszyce, Głogów Małopolski oraz Durowo mikoryzy na korzeniach siewek sosny i świerka, tworzone przez *H. crustuliniforme*, były obfite i prawidłowo wykształcone. W szkółce Nadleśnictwa Gidle stopień zmikoryzowania korzeni buka był zróżnicowany i zależał od terminu wysiewu nasion. Duży, bo wynoszący 97%, udział sadzonek z mikoryzą uzyskano jedynie w wypadku roślin z nasion sianych w drugiej połowie kwietnia. Buki z o miesiąc późniejszych siewów charakteryzowały się wyraźnie mniejszym udziałem siewek z mikoryzą – około 70%. W szkółce Nadleśnictwa Podanin 100% siewek świerka i modrzewia wykazywało mikoryzy z infekcji zamierzonej, ale stopień zmikoryzowania systemów korzeniowych był stosunkowo mały, a przy tym głównie wytworzyły się mikoryzy młode, zawiązane dopiero pod koniec okresu wegetacyjnego. Powodem tego stanu może być zastosowanie, niezgodne z instrukcją, nawożenia pogłównego saletrą amonową. Tak więc zastosowanie tiuramu nie jest, najprawdopodobniej, przyczyną słabszego zmikoryzowania sadzonek.

Chlorotalonil, należący do fungicydów będących pochodnymi węglowodorów aromatycznych, jest substancją czynną Gwarantu 500 SC, Sarbrawitu 530 SC i Bravo 500 SC. Są to fungicydy szeroko wykorzystywane do zwalczania pasożytniczej zgorzeli siewek, osutek, plamistości i zamierania pędów sosny. Fungicydy Gwarant 500 SC i Sarbrawit 530 SC, zawierające chlorotalonil, testowano w dziesięciu szkółkach, w ochronie sosny, świerka, modrzewia i buka. Oba środki stosowano w stężeniach 0,2–0,5%, wykonując od jednego do trzech zabiegów. W ośmiu szkółkach oprócz fungicydów opartych na chlorotalonilu, aplikowano jednocześnie inne środki chemiczne (fungicydy i insektycydy). W połowie szkółek uzyskano bardzo dobre zmikoryzowanie systemu korzeniowego, w pozostałych poziom zmikoryzowania był słabszy. Bravo 500 SC testowany był w doświadczeniach z jedno- i dwuletnią sosną. Fungicyd stosowano dolistnie, jak przy zwalczaniu zamierania pędów sosny, sześć razy, co trzy tygodnie, od połowy czerwca do końca września, w stężeniu 0,3%, w dawce 3 l/ha dla sadzonek jednorocznych i 9 l/ha dla dwulatek. Aplikacja Bravo 500 SC nie ograniczała tworzenia mikoryz z grzybem *H. crustuliniforme* ani u sosny jednorocznej, ani u dwulatek.

Z fungicydów dwukarboksyimidowych testowano w stosunku do grzyba *H. crustuliniforme* jedynie Rovral 50 WP. Zastosowano go w szkółce Nadleśnictwa Gidle

w ochronie buka przed szarą pleśnią. Fungicyd ten aplikowano w stężeniu 0,3% (jeden raz), przemiennie z Euparenem Multi 50 WG. Nie wpływał on ograniczająco na zabieg sterowanej mikoryzacji, a w pojemnikach wyrosły owocniki *H. crustuliniforme*.

Inną grupą fungicydów stosowanych w ochronie sadzonek drzew leśnych przed szarą pleśnią są związki fenylosulfonamidowe. Z tej grupy testowano Euparen 50 WP (dichlofluanid) i Euparen Multi 50 WP (tolilofluanid). Euparen 50 WP badano w doświadczeniach z jedno- i dwuletnią sosną. Fungicyd zastosowano cztery razy, co tydzień, w maju i czerwcu, w stężeniu 0,25%, w dawce 2,5 kg/ha dla sadzonek jednorocznych i 7,5 kg/ha dla dwulatek. Preparat nie wpływał na skuteczność zabiegu sterowanej mikoryzacji. Euparen Multi 50 WG stosowano w dziesięciu szkółkach w ochronie sosny, świerka, modrzewia, dębu i buka. Fungicyd aplikowano w stężeniu od 0,15 do 0,4%, jedno-, dwu- lub trzykrotnie. W większości szkółek, bez względu na ochraniany gatunek, stopień zmikoryzowania sadzonek był dobry lub bardzo dobry. Jedynie w szkółce Nadleśnictwa Łomża, w której stosowano Euparen Multi w ochronie sosny i w Nadleśnictwie Podanin, gdzie ochraniano sadzonki świerka, poziom zmikoryzowania był niezadowalający, jednak przyczyny tego stanu były najprawdopodobniej inne niż aplikacja fungicydu.

Previcur 607 SL (propamokard) jest stosowany w szkółkach leśnych w ochronie siewek przed zgorzelą pasożytniczą. Fungicyd ten testowano w sześciu nadleśnictwach w stosunku do sosny, modrzewia, buka i lipy. We wszystkich szkółkach siewki były jednocześnie traktowane innymi fungicydami. Previcur aplikowano jedno-, dwu- lub trzykrotnie, w stężeniu 0,1–0,3%. W większości wypadków zabieg sterowanej mikoryzacji był udany. Wyjątek stanowiły tylko słabiej zmikoryzowane siewki buka hodowane w szkółce Nadleśnictwa Krotoszyn.

Fungicydem stosowanym również w ochronie drzew leśnych przed pasożytniczą zgorzelą siewek jest Mycetox 04 SL (czwartorzędowe sole amoniowe). Aplikowano go w dwóch szkółkach w ochronie sosny, miesiąc po wysiewie nasion, w stężeniu od 0,02 do 0,5%, wykonując jeden lub dwa zabiegi. W żadnej ze szkółek nie stwierdzono hamującego wpływu Mycetoxu na tworzenie mikoryz z grzybem *H. crustuliniforme*.

Fungicydy benzimidazolowe mają zastosowanie w ochronie siewek drzew leśnych przed zgorzelą pasożytniczą i osutkami. Z tej grupy testowano trzy substancje czynne: benomyl, tiofanat metylu i karbendazym. Benlate 50 WP (benomyl) stosowano w szkółkach Nadleśnictwa Rudy Raciborskie i Śnieżka w ochronie sosny oraz dębu przed pasożytniczą zgorzelą siewek. Preparat aplikowano jednokrotnie, kilka dni po wysiewie nasion, w stężeniu 0,1 lub 0,2%. Nie spowodował on zmian w poziomie zmikoryzowania sadzonek. Drugi z fungicydów oparty na benomylu – Benazol 50 WP stosowano w szkółce Nadleśnictwa Rudy Raciborskie w ochronie buka i świerka, jak też sosny, naprzemiennie z Benlate. Jednokrotna aplikacja roztworu o stężeniu 0,1% nie miała wpływu na udatność zabiegu sterowanej mikoryzacji.

Topsin M 70 WP (tiofanat metylu) badano w doświadczeniach z jedno- i dwuletnią sosną. Opryski wykonywano jak przy zwalczaniu osutki, 6 razy, co trzy tygodnie, od połowy czerwca do końca września, w stężeniu 0,2%, w dawce 2 kg/ha dla sadzonek jednorocznych i 6 kg/ha dla dwulatek. Topsin nie hamował tworzenia

i rozwoju mikoryz z grzybem *H. crustuliniforme* pochodzącym ze sterowanej inokulacji, natomiast działał ograniczająco na spontanicznie tworzące się mikoryzy z grzybem *Laccaria laccata*.

W szkółce kontenerowej Nadleśnictwa Jabłonna badano wpływ Topsinu M 70 WP, stosowanego w ochronie jednorocznej sosny przed osutką, na udatność zabiegu sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*. Oprysk wykonano jeden raz w sezonie wegetacyjnym (10 lipca), roztworem fungicydu o stężeniu 0,2%. Aplikacja Topsinu nie miała wpływu na tworzenie i rozwój mikoryz pochodzących ze sterowanej inokulacji. Topsin stosowano również w pięciu szkółkach w ochronie sosny, świerka, modrzewia i dębu przed osutkami i pasożytniczą zgorzelą siewek. Wykonano od jednego do pięciu zabiegów, roztworem o stężeniu od 0,15 do 0,5%. Stopień zmikoryzowania ochranianych roślin w dwóch szkółkach był zadawalający, a w trzech pozostałych bardzo dobry. Najintensywniejszą ochronę stosowano w szkółce Nadleśnictwa Oleszyce (pięć zabiegów, 0,5% roztwór). Sosnę w tej szkółce traktowano Topsinem od początku czerwca do drugiej połowy września. Sadzonki były zaopatrzone w dobrze rozwinięte mikoryzy z grzybem *H. crustuliniforme*, a w kasetach pojawiły się owocniki tego grzyba.

Z fungicydów benzimidazolowych opartych na karbendazymie testowano w stosunku do grzyba *H. crustuliniforme* trzy środki: Sarfun 500 SC, Sarbrawit 530 SC i zaprawę Funaben T. Dwa ostatnie są fungicydami dwuskładnikowymi i oprócz karbendazymu zawierają chlorotalonil (Sarbrawit 530 SC) lub tiuram (Funaben T). Ich oddziaływanie na mikoryzy tworzone przez *H. crustuliniforme* zostało scharakteryzowane przy opisie pozostałych substancji czynnych. Sarfun 500 SC był stosowany w szkółce Nadleśnictwa Głogów Małopolski w ochronie sosny. Wykonano jeden zabieg, roztworem 0,5%, przemiennie z innymi fungicydami. Nie stwierdzono ograniczającego wpływu karbendazymu na tworzenie mikoryz przez grzyb *H. crustuliniforme*.

Triadimefon, należący do grupy fungicydów triazolowych, jest substancją czynną Bayletonu 5 WP i Bayletonu 25 WP. Preparat ten stosowany był w szkółkach trzech nadleśnictw, w ochronie dębu przed mączniakiem prawdziwym. Wykonano od dwóch do nawet siedmiu zabiegów, przy czym zastosowano roztwory 0,1% (Bayleton 5 WP) lub 0,15% (Bayleton 25 WP). W dwóch nadleśnictwach (Gidle i Rudy Raciborskie) Bayleton stosowano przemiennie z fungicydami siarkowymi i Falconem (tylko w Rudach Raciborskich). W Nadleśnictwie Oleszyce ochronę prowadzono wyłącznie z użyciem Bayletonu, lecz wykonano aż siedem zabiegów (0,15% roztwór). W żadnej szkółce zastosowanie fungicydu nie miało wpływu na zabieg sterowanej mikoryzacji, a w szkółce Nadleśnictwa Oleszyce pojawiły się owocniki grzyba *H. crustuliniforme*.

Bayleton 25 WP badano w doświadczeniach z jedno- i dwuletnią sosną. Opryskiwano jak przy zwalczaniu rdzy, trzy razy, co dwa tygodnie, w maju i czerwcu, w stężeniu 0,1%, w dawce 1 kg/ha dla sadzonek jednorocznych i 3 kg/ha dla dwulatek. Nie obserwowano negatywnego wpływu Bayletonu na zabieg sterowanej mikoryzacji sosny jednorocznej i dwuletniej.

Falcon 460 EC jest systemicznym fungicydem zawierającym aż trzy substancje czynne: spiroksaminę, tebukonazol i triadimenol. W szkółkach leśnych znajduje on

szerokie zastosowanie w ochronie różnych gatunków drzew przed osutkami, mączniakami prawdziwymi i rdzami. Testowano go w dziesięciu szkółkach w ochronie sosny, dębu i modrzewia. Falcon aplikowano jedno- lub dwukrotnie, naprzemiennie z innymi fungicydami. Wyjątek stanowi szkółka Nadleśnictwa Łobez, gdzie dąb chroniono wyłącznie z użyciem Falconu, wykonując pięć zabiegów. Stosowano roztwory od 0,1 do 0,2%. W większości szkółek korzenie sadzonek zaopatrzone były w obfite i dobrze rozwinięte mikoryzy z grzybem *H. crustuliniforme*. Również w szkółce Nadleśnictwa Łobez obserwowano bardzo duży stopień zmikoryzowania dębu.

Z niechemicznych środków ochrony roślin w stosunku do grzyba *H. crustuliniforme* testowano substancje aktywne, należące do grupy ekstraktów z roślin. Sincocin AL zawiera wyciąg z tkanek *Quercus falcata*, *Opuntia lindheimeri*, *Rhus aromatica* i *Rhizophoria mangle*, a Biosept 33 SL produkowany jest na bazie ekstraktu z grejpfruta. Oba te preparaty są wykorzystywane do ograniczania pasożytniczej zgorzeli siewek u różnych gatunków drzew leśnych. Sincocin stosowano w pięciu szkółkach w ochronie sosny, świerka i modrzewia. Środek aplikowano jedno- lub dwukrotnie, najczęściej przemiennie z innymi fungicydami, nie wcześniej niż miesiąc po wysiewie nasion, w stężeniu 0,2%. Opryski nie miały wpływu na udatność zabiegu sterowanej mikoryzacji. Biosept zastosowano w szkółce Nadleśnictwa Łobez, jako 0,1% roztwór, wykonując jeden zabieg, przemiennie z Previcurem, w ochronie buka i lipy. Stopień zmikoryzowania korzeni ochranianych sadzonek był bardzo duży.

Insektycydy

Są rzadziej niż fungicydy stosowane w ochronie mikoryzowanych sadzonek drzew leśnych. Dotychczas w szkółkach produkujących materiał sadzeniowy w pojemnikach i inspektach przetestowano w stosunku do grzyba *H. crustuliniforme* pięć insektycydów (Kowalski 2006). Z grupy karbaminianów stosowano dwa – Marshal 250 SC (karbosulfan) i Pirimor 25 WG (pirymikarb), oba w ochronie sadzonek przed mszycami. Marshal aplikowano tylko w szkółce Nadleśnictwa Gidle. Wykonano jeden zabieg, na sadzonkach dębu, roztworem o stężeniu 0,1%. Jednocześnie sadzonki tego gatunku chroniono przed mączniakiem prawdziwym Siarkolem Extra i Bayletonem. Opryski nie miały wpływu na skuteczność zabiegu sterowanej mikoryzacji. Udział sadzonek z mikoryzą zamierzoną wynosił 96%. Pirimor testowano w pięciu szkółkach, chroniąc przed mszycami sosnę, świerk, modrzew, buk i dąb. Środek aplikowano jedno-, dwu- lub trzykrotnie, stosując roztwory 0,06 lub 0,1%. Stopień zmikoryzowania sadzonek traktowanych Pirimorem był na ogół duży. Najintensywniejsze zabiegi przeprowadzono w szkółce Nadleśnictwa Tychowo (trzy zabiegi, 0,1% roztwór). Ochraniane sadzonki sosny i świerka z tej szkółki charakteryzowały się obfitymi i dobrze rozwiniętymi mikoryzami, pochodzącymi z mikoryzacji zamierzonej grzybem *H. crustuliniforme*.

Z grupy pyretroidów testowano w stosunku do grzyba *H. crustuliniforme* trzy insektycydy: Talstar 100 EC (bifentryna), Decis 2,5 EC (deltametryna) i Karate 025 EC (lambdacyhalotryna). Talstar 100 EC stosowano jedynie w szkółce Nadle-

śnictwa Rudy Raciborskie, przez dwa kolejne sezony wegetacyjne, w ochronie buka przed foliofagami. Preparat aplikowano dwu- lub trzykrotnie, w stężeniu 0,05%, stosując jednocześnie inne pestycydy (fungicydy i insektycydy). Opryski nie wpłynęły na stopień zmikoryzowania sadzonek, który okazał się bardzo duży. Decis 2,5 EC stosowano w sześciu szkółkach, w tym w czterech przez dwa kolejne sezony wegetacyjne. Zoocyd aplikowano w ochronie buka, sosny, modrzewia, świerka, dębu i lipy przed przędziorkami, mszycami i owadami liściożernymi. Wykonano od jednego do ośmiu zabiegów, roztworem o stężeniu od 0,02 do 0,2%. Zastosowanie Decisu nie wpłynęło na udatność zabiegu sterowanej mikoryzacji. Sadzonki buka w szkółce Nadleśnictwa Gorlice, traktowane dziesięć dni po wysiewie nasion ośmiokrotnie roztworem 0,02% miały liczne, dobrze rozwinięte mikoryzy z grzybem *H. crustuliniforme*. Również w Nadleśnictwie Śnieżka, gdzie zabieg wykonano jeden raz roztworem 0,2%, dwa tygodnie po wysiewie nasion, sadzonki sosny charakteryzowały się bardzo dużym stopniem zmikoryzowania. Karate 025 EC stosowano w trzech szkółkach w ochronie buka i sosny. Wykonano po jednym zabiegu w sezonie, roztworem o stężeniu od 0,05 do 0,16%. Sadzonki buka i sosny ze szkółek w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie i Wałcz osiągnęły bardzo duży stopień zmikoryzowania, słabiej rozwinięte mikoryzy miały natomiast sadzonki buka ze szkółki Nadleśnictwa Krotoszyn.

Herbicydy

W produkcji sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji herbicydy są stosowane sporadycznie, gdyż na ogół chwasty z pojemników usuwa się ręcznie. Wyjątek stanowią mchy i szczególnie dokuczliwe w produkcji kontenerowej wątrobowce. Do zwalczania tych roślin, pojawiających się na powierzchni bryłek, zaleca się Mogeton 25 WP (chinochlamina). Herbicyd ten stosowano w czterech szkółkach w ochronie sosny, świerka i modrzewia, wykonując jeden lub dwa zabiegi roztworem o stężeniu 0,7 lub 1,5%. Zmikoryzowanie sadzonek ochranianych Mogetonem uznano za dobre lub bardzo dobre. W szkółce Nadleśnictwa Okonek, w której stosowano najintensywniejszą ochronę (dwa zabiegi, 1,5%) i nie aplikowano żadnych innych pestycydów prócz Mogetonu, korzenie sadzonek świerka charakteryzowały się bardzo obfitymi mikoryzami z grzybem *H. crustuliniforme* (Kowalski 2006).

Dotychczas stosowane w ochronie sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji środki chemiczne w zasadzie nie ograniczają tworzenia i rozwoju mikoryz z grzybem *H. crustuliniforme*. Nawet w wypadku stwierdzenia takiego działania (np. tiuram aplikowany doglebowo), inhibujący wpływ pestycydów nie jest duży. Jednocześnie należy zaznaczyć, że informacji o wpływie środków chemicznych na udatność zabiegu sterowanej mikoryzacji, pochodzących ze szkółek nadleśnictw, w których wdrażana jest metoda, nie można traktować jako ostateczne. Niewielka zmiana warunków mikroklimatycznych, środowiska wzrostu siewek, liczebności i składu gatunkowego mikroorganizmów glebowych może spowodować inny wpływ konkretnego środka na mikoryzy tworzone przez *H. crustuliniforme*. Dlatego wszelkie pestycydy powinny być stosowane z dużą ostrożnością i w zalecanych dawkach, stężeniach oraz terminach. Jeśli to możliwe, środki przeznaczone do zwalcza-

nia konkretnych chorób grzybowych czy owadów powinny być stosowane przemiennie. Zmniejsza się wtedy presja danej substancji aktywnej na środowisko.

W wypadku wystąpienia dużego zagrożenia ze strony grzybów patogenicznych czy owadów, zastosowanie chemicznej metody walki powinno być regułą. Takie działanie zapewni wyhodowanie zdrowych sadzonek nawet wtedy, kiedy ich stopień zmikoryzowania w wyniku aplikacji środków chemicznych będzie nieco mniejszy. Jest to korzystniejsze, niż uzyskanie materiału sadzeniowego dobrze wprawdzie zmikoryzowanego, lecz porażonego przez grzyby czy owady.

W opracowaniu przedstawiono fungicydy, insektycydy oraz herbicydy, które w różnych okresach były stosowane w ochronie siewek i sadzonek drzew w szkółkach leśnych, uczestniczących w programie wdrażania technologii sterowanej mikoryzacji sadzonek biopreparatem z grzybem *H. crustuliniforme*. Obecnie liczba chemicznych środków, które w poszczególnych latach są zalecane w Polsce w ochronie lasu, jest ograniczana z powodu wycofania niektórych substancji czynnych ze stosowania w Unii Europejskiej (np. benomyl – Benlate 50 WP, triadimefon – Bayleton 25 WP) i ograniczeń narzuconych w lasach certyfikowanych przez Forest Stewardship Council. Ocena wpływu wielu środków, również niestosowanych obecnie, na mikoryzy tworzone przez *H. crustuliniforme* pozwoliła wykazać znaczną odporność szczepu wykorzystywanego w szczepionce na działanie preparatów zróżnicowanych pod względem chemicznym. Jest to ważna cecha biopreparatu. Z tego też względu zaprezentowano wyniki badań dotyczące również pestycydów – obecnie czasowo lub trwale – niestosowanych w ochronie lasu.

8. Wpływ wybranych zapraw nasiennych na skuteczność zabiegu sterowanej mikoryzacji siewek sosny zwyczajnej i dębu szypułkowego grzybem *Hebeloma crustuliniforme*

Prof. dr hab. Stefan Kowalski i mgr inż. Dawid Marciniak, Katedra Fitopatologii Leśnej Akademii Rolniczej w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Wstęp

W technologii sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych podejmowanie decyzji o przedsiewnym zaprawianiu nasion jest zawsze połączone z pewnym ryzykiem, ponieważ fungicydy mogą zakłócić inicjację mikoryzową. W hodowlach kontenerowych sadzonek drzew leśnych, jak również w inspektach i w skrzyniach, w których używa się świeżych substratów torfowych, zaprawianie nasion w zasadzie jest zbędne. Substraty te pozbawione są grzybów zgorzelowych, przeciwko

którym są stosowane zaprawy nasienne. Problem przedsiewnego zaprawiania nasion może jednak okazać się istotny w wypadku sadzonek hodowanych w gruncie i poddawanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji.

Materiał badawczy i metody

Doświadczenie testujące wpływ fungicydów Dithane M-45 80 WP, Funaben T i Sarfun T 65 DS na rozwój ektomikoryz oraz cechy biometryczne siewek sosny zwyczajnej i dębu szypułkowego, poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* przeprowadzono w szkółce kontenerowej w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie. Każdym z trzech wymienionych fungicydów zaprawiano nasiona sosny zwyczajnej i dębu szypułkowego. Partię porównawczą (kontrolną) stanowiły siewki dębu i sosny, które wyrosły z nasion nietraktowanych zaprawami nasiennymi. Nasiona były I klasy jakości, o sile kiełkowania 95% i pochodziły z Nadleśnictwa Rudy Raciborskie. Siewki sosny hodowano w kasetach V-120, a dębu w kasetach V-265 szwedzkiej firmy BCC.

Podłożem hodowlanym był torf wysoki, estoński, poddany zabiegowi sterylizacji parą wodną o temperaturze 95°C i wermikulit, którego udział wynosił 20%. Kwasowość podłoża hodowlanego doprowadzono do pH 5,5. Substrat hodowlany wymieszano z nawozem Osmocote w ilości 3,0 kg/m^3. Była to mieszanka trzech jego rodzajów, o okresie uwalniania składników pokarmowych: 3–4 miesiące, 5–6 miesięcy i 8–9 miesięcy. Biopreparat z grzybem *H. crustuliniforme* był wytworzony w Laboratorium Mikoryzowym w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie, a jego ilość w podłożu hodowlanym stanowiła objętościowo 2,5%.

Z każdą zaprawą nasienną doświadczenie powtórzono w 9 kasetach. Ogółem badano 1080 sadzonek sosny zwyczajnej i 756 dębu szypułkowego. Umieszczone na paletach kasety przewieziono do namiotu foliowego, w którym w początkowym okresie wzrostu siewek kontrolowana była temperatura i wilgotność powietrza. Po 9 tygodniach sadzonki wywieziono na zewnętrzne pola hodowlane. W okresie wegetacyjnym sadzonki nawożono dolistnie nawozem Bioecor o konduktywności 0,6 mS. Nawożenie powtarzano 12-krotnie w wypadku sadzonek sosny (od 25.06.06 do 20.08.06) i 9-krotnie sadzonek dębu (od 30.06.06 do 20.08.06). Sadzonki obu gatunków drzew poddane były standardowym zabiegom ochronnym w szkółce kontenerowej – profilaktycznie przeciwko zakaźnej zgorzeli siewek – fungicydem Benlate 50 WP (06.04.06 i 16.04.06) oraz w wypadku sosny – przeciwko osutce – fungicydem Dithane M45 WP 80 (09.07.06; 4.08.06) i Falcon 460EC (01.09.06; 5.10.06), zaś w wypadku dębu – przeciwko mączniakowi – fungicydem Bayleton 25 WP (20.07.06; 06.08.06) i Falcon 460EC (23.08.06) oraz interwencyjnie Siarkolem Extra 80 WP (11.08.06). Mszyce na sadzonkach dębu zwalczano insektycydem Pirimor 25 WG (18.08.06), a mchy i wątrobowce w kasetach z sadzonkami sosny preparatem Mogeton 25 WP (02.08.06).

Z początkiem października pomierzono parametry wzrostowe sadzonek. Po 100 sadzonek w każdym wariancie doświadczenia wybrano losowo według wcześniej przyjętego, jednorodnego schematu i mierzono wysokość z dokładnością do 0,1 cm oraz średnicę w szyi korzeniowej z dokładnością do 0,01 mm. Z końcem paździer-

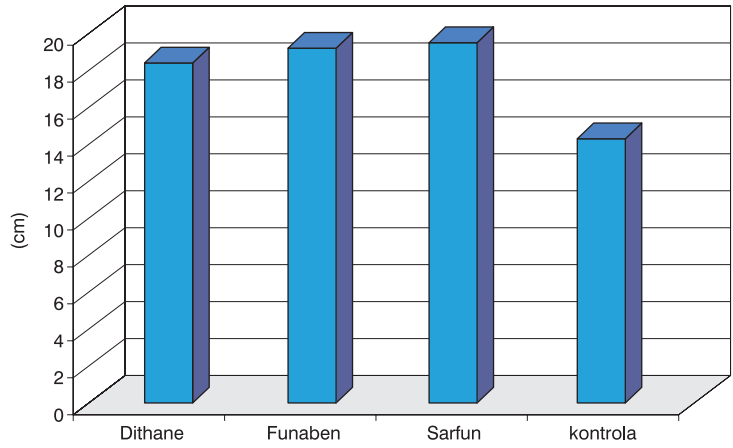
nika losowo wybrano sadzonki do badań laboratoryjnych, łącznie 116 sztuk, po 15 sadzonek sosny i 14 dębu z każdego wariantu doświadczenia. Analizę ilościową i jakościową mikoryz poszczególnych sadzonek w każdym wariancie doświadczenia z zaprawami nasiennymi i bez tych zapraw przeprowadzono wycinając z różnych części systemu korzeniowego po dwadzieścia pięciocentymetrowych odcinków. Mikoryzy z infekcji zamierzonej grzybem *H. crustuliniforme* oraz infekcji naturalnej (przygodnej) poddano badaniom mikroskopowym. Preparaty anatomiczne przygotowywano ręcznie, a skrawki umieszczano w płynie Amansa. Analizowano stan żywotności komórek, obecność sieci Hartiga, grzybni ekstramatrykalnej i opilśni. W celu określenia suchej masy korzeni suszono je w temperaturze 60°C przez 2 doby, a masę określano na wadze analitycznej z dokładnością do 0,0001 g.

Gdy zmienne ciągłe spełniały warunki stosowania statystyki ANOV, analizowano wariancje. Jeśli test wykrył różnicę między średnimi, stosowano test Duncana, aby określić, które warianty różnią się między sobą istotnie pod względem danej cechy. W wypadku, gdy stwierdzono brak normalności rozkładu lub wariancje okazały się niejednorodne, a także dla zmiennych, które nie są ciągłe, posłużono się testem Kruskal-Wallisa i medianami (statystyki nieparametryczne). Dla wszystkich testów przyjęto poziom istotności $p=0,05$.

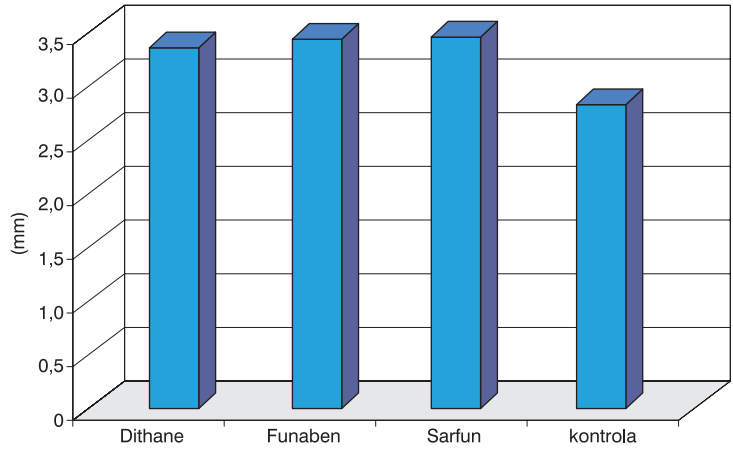
Omówienie wyników badań

Stosowane zaprawy nasienne w sposób zróżnicowany wpływały na parametry wzrostowe i stopień zmikoryzowania systemu korzeniowego u sosny zwyczajnej i dębu szypułkowego. W wypadku sadzonek sosny zwyczajnej wyrosłych z nasion zaprawianych fungicydami, ich średnia wysokość i średnica w szyi korzeniowej w porównaniu z sadzonkami kontrolnymi była większa. Wysokość sadzonek z kombinacji kontrolnej wynosiła 14,3 cm, a średnica w szyi korzeniowej 2,83 mm (ryc. VIII.8.1 i VIII.8.2). Wartości te były istotnie statystycznie mniejsze w porównaniu z tymi, jakie uzyskiwały sadzonki sosny w pozostałych kombinacjach doświadczalnych. W wypadku sadzonek wyrosłych z nasion zaprawianych fungicydami ich wysokość wahała się od 18,4 cm w kombinacji doświadczalnej z Dithanem, do 19,5 cm w kombinacji z Sarfunem (ryc. VIII.8.1). Podobnie średnica w szyi korzeniowej sadzonek wyrosłych z nasion zaprawianych Dithanem była stosunkowo mniejsza i wynosiła 3,36 mm, a sadzonek wyrosłych z nasion zaprawianych Sarfunem stosunkowo największa i wynosiła 3,46 mm (ryc. VIII.8.2). Rodzaj zastosowanego fungicydu nie wpływał jednak istotnie na parametry wzrostowe części nadziemnej sadzonek sosny.

Sucha masa korzeni sadzonek wyrosłych z nasion zaprawianych fungicydami była w poszczególnych kombinacjach doświadczalnych zróżnicowana i stosunkowo najmniejsza (0,6696 g) w kombinacji doświadczalnej z Sarfunem i największa (0,8367 g) w kombinacji doświadczalnej z Funabenem (ryc. VIII.8.3). W kombinacji doświadczalnej z Dithanem sucha masa korzeni sadzonek sosny wynosiła 0,7490 g i była mniejsza w porównaniu z kombinacją kontrolną (0,7947 g). Pomimo większego zróżnicowania tego parametru w porównaniu z parametrami części nadziemnej, analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic między kombinacjami doświadczenia.

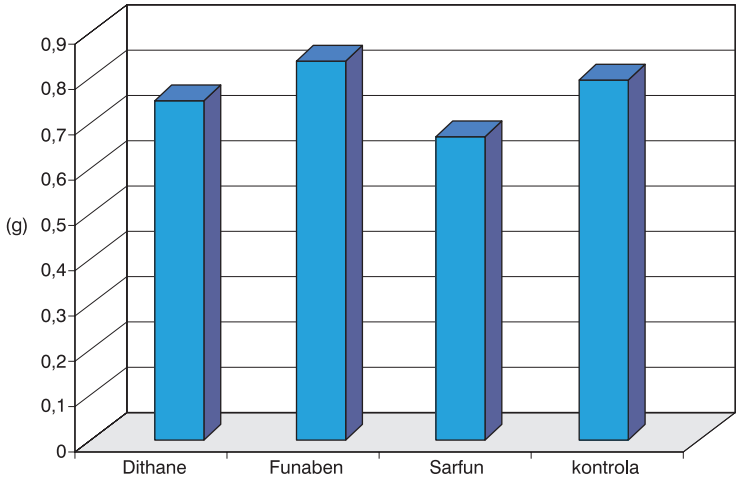


Ryc. VIII.8.1. Średnia wysokość sadzonek sosny zwyczajnej, szczepionych grzybem *Hebeloma crustuliniforme*, wyrosłych z nasion zaprawianych i niezaprawianych fungicydami

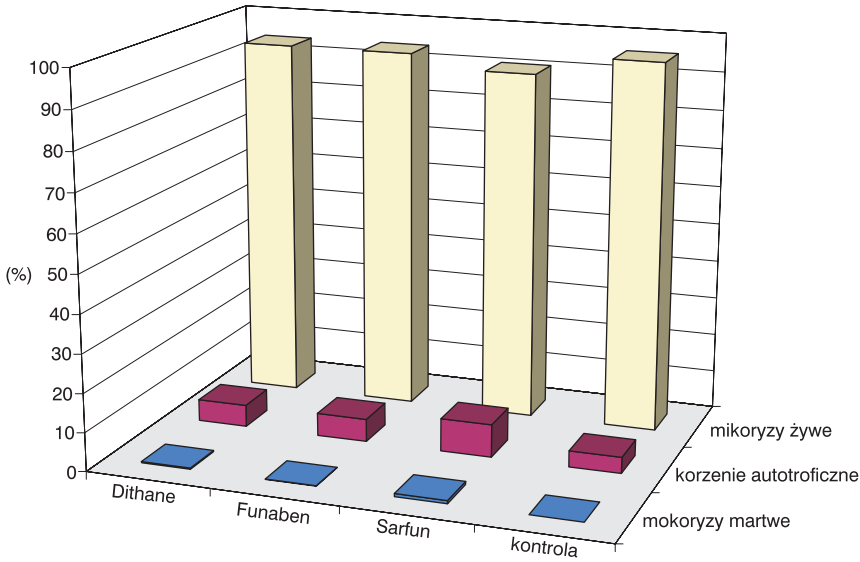


Ryc. VIII.8.2. Średnia średnica w szyi korzeniowej sadzonek sosny zwyczajnej, szczepionych grzybem *Hebeloma crustuliniforme*, wyrosłych z nasion zaprawianych i niezaprawianych fungicydami

Stopień zmikoryzowania systemu korzeniowego sadzonek sosny wyrosłych z nasion zaprawianych i niezaprawianych fungicydami był stosunkowo duży i wyrównany. Wahał się od 90,7% w kombinacji z Sarfunem do 95,8% w kombinacji kontrolnej (ryc. VIII.8.4). Mikoryzy martwe stwierdzono wyłącznie u sadzonek sosny z kombinacji doświadczalnych, w których nasiona były zaprawiane fungicydami. Ich procentowy udział był jednak znikomy i wahał się od 0,1% w kombinacji z Funabenem do 0,8% w kombinacji z Sarfunem (ryc. VIII.8.4). Podobnie udział korze-



Ryc. VIII.8.3. Średnia sucha masa korzeni sadzonek sosny zwyczajnej, szczepionych grzybem *Hebeloma crustuliniforme*, wyrosłych z nasion zaprawianych i niezaprawianych fungicydami

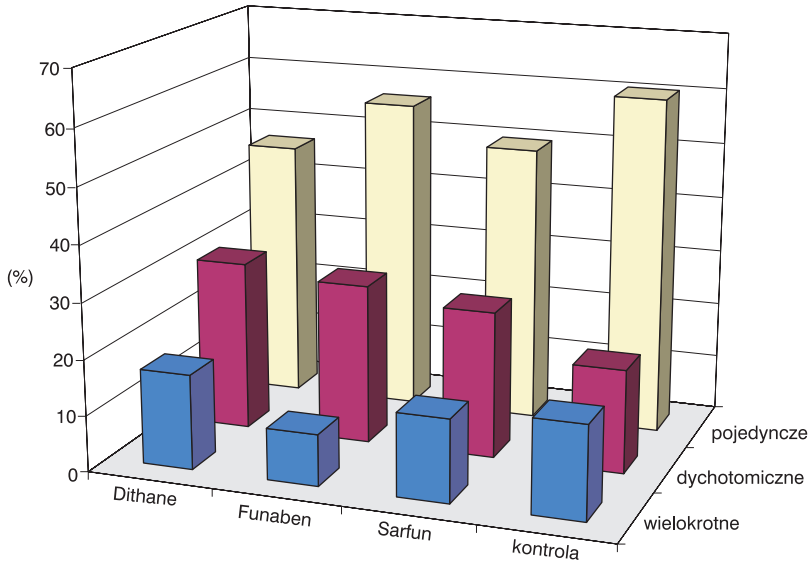


Ryc. VIII.8.4. Średni procentowy udział korzeni autotroficznych i mikoryz sadzonek sosny zwyczajnej, szczepionych grzybem *Hebeloma crustuliniforme*, wyrosłych z nasion zaprawianych i niezaprawianych fungicydami

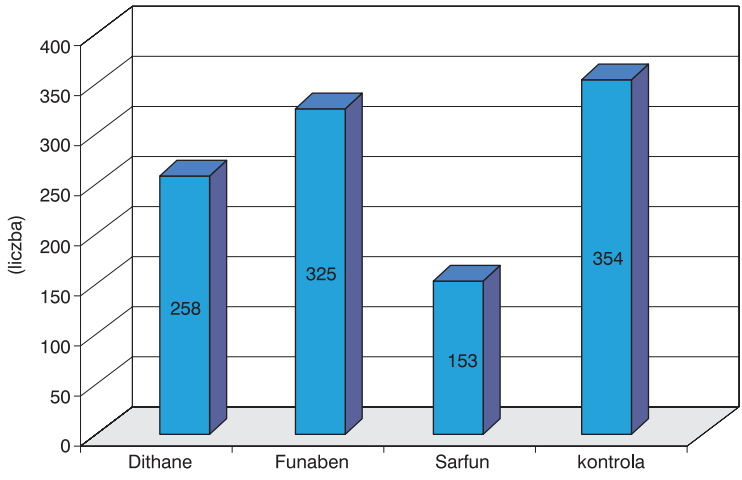
ni autotroficznych był niewielki i stosunkowo najmniejszy (4,2%) u sadzonek sosny w kombinacji kontrolnej, a największy (8,5%) u sadzonek sosny w kombinacji z Sarfunem (ryc. VIII.8.4).

W większym stopniu zaprawy nasienne wpływały na zróżnicowanie typów morfologicznych mikoryz. W kombinacji kontrolnej, u sadzonek sosny procentowy udział mikoryz pojedynczych wynosił 60,5% i był około 3,5 razy większy w porównaniu z procentowym udziałem mikoryz dychotomicznych (18,5%) i wielokrotnych (16,7%). W kombinacji z Dithanem procentowy udział mikoryz pojedynczych u sadzonek sosny był stosunkowo najmniejszy (46,6%), a procentowy udział mikoryz dychotomicznych największy (30,4%), zaś procentowy udział mikoryz wielokrotnych porównywalny (17,0%) do ich udziału u sadzonek sosny w kombinacji kontrolnej (ryc. VIII.8.5). W kombinacjach doświadczalnych z Funabenem i Sarfunem procentowy udział mikoryz pojedynczych i dychotomicznych u sadzonek sosny był mało zróżnicowany i w pierwszym wypadku wynosił odpowiednio 56,2% i 49,7% zaś w drugim odpowiednio 28,6% i 26,2% (ryc. VIII.8.5). Stosunkowo najmniejszy, bo wynoszący jedynie 9,2%, udział mikoryz wielokrotnych stwierdzono u sadzonek sosny w kombinacji doświadczalnej z Funabenem (ryc. VIII.8.5).

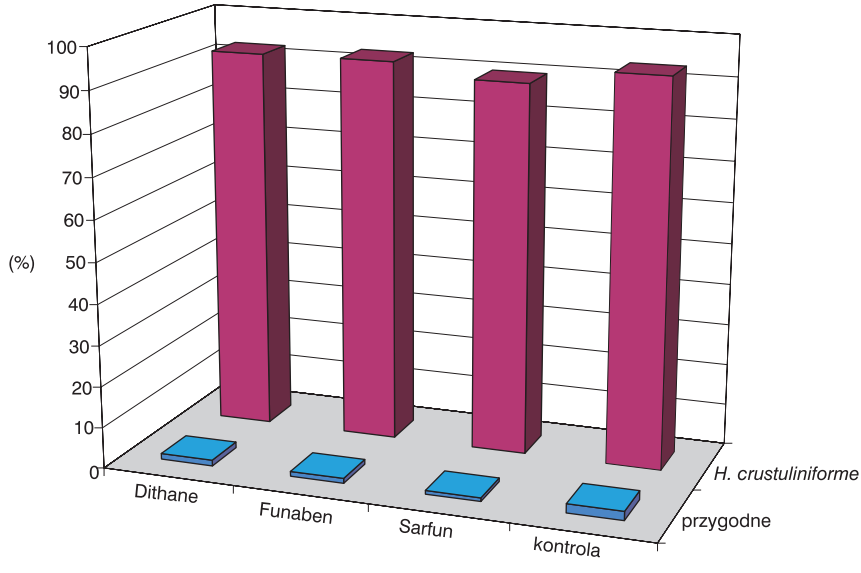
W mikotrofizmie sadzonek sosny, niezależnie od kombinacji doświadczalnej, dominowały ektomikoryzy z infekcji zamierzonej grzybem *H. crustuliniforme*, które stwierdzano na korzeniach wszystkich badanych sadzonek, zaś liczebność ektomikoryz z infekcji przygodnej była znikoma i dotyczyła tylko nielicznych sadzonek. Na porównywalnych, jednometrowych odcinkach korzeni sosny liczebność ektomikoryz z *H. crustuliniforme* była wyraźnie zróżnicowana i stosunkowo największa (354 sztuki na 1 metr korzenia) u sadzonek sosny z kombinacji kontrolnej (ryc. VIII.8.6.). Z doświadczenia wynika, że zaprawa nasienna Sarfun i Dithan stosunkowo w największym stopniu ograniczała liczebność ektomikoryz z *H. crustulini-*



Ryc. VIII.8.5. Średnie procentowe zróżnicowanie typów morfologicznych mikoryz sadzonek sosny zwyczajnej, szczepionych grzybem *Hebeloma crustuliniforme*, wyrosłych z nasion zaprawianych i niezaprawianych fungicydami



Ryc. VIII.8.6. Średnie ilościowe zróżnicowanie ektomikoryz z infekcji zamierzonej grzybem *Hebeloma crustuliniforme*, sadzonek sosny zwyczajnej, wyrosłych z nasion zaprawianych i niezaprawianych fungicydami



Ryc. VIII.8.7. Udział ektomikoryz z infekcji zamierzonej i przygodnej w średnim procentowym udziale mikoryz żywych sadzonek sosny zwyczajnej, zaszczepionych grzybem *Hebeloma crustuliniforme*, wyrosłych z nasion zaprawianych i niezaprawianych fungicydami

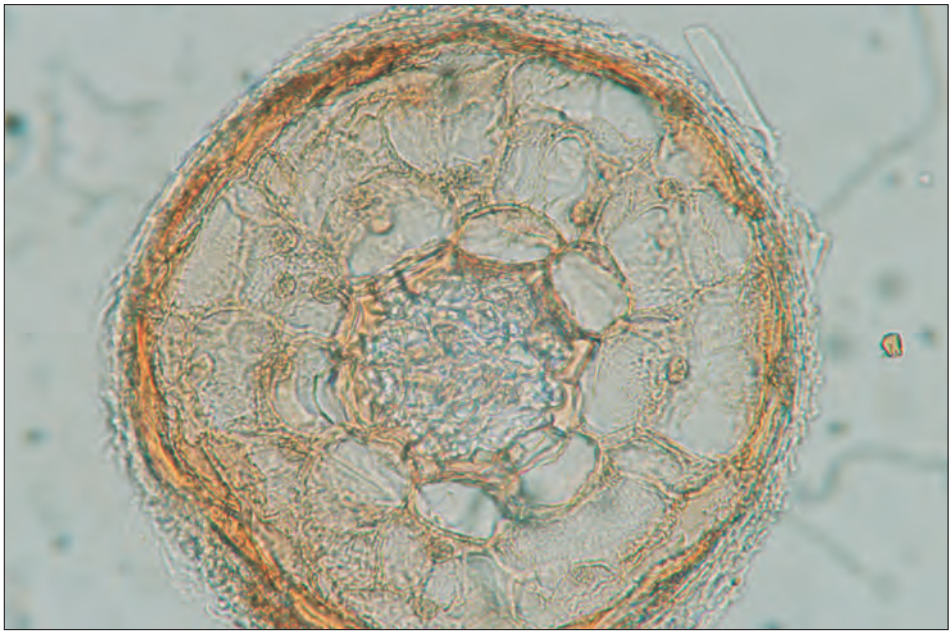
forme u sadzonek sosny zwyczajnej, bo ich liczba w pierwszym przypadku wynosiła jedynie 153, a w drugim 258 (ryc. VIII.8.6.). Wartości te w porównaniu z kombinacją kontrolną były istotnie statystycznie mniejsze. W kombinacji doświadczalnej z Funabenem liczebność ektomikoryz z *H. crustuliniforme* u sadzonek sosny wynosiła 325 i była porównywalna z liczebnością analogicznych ektomikoryz u sadzonek w kombinacji kontrolnej (ryc. VIII.8.6.).

Analizując średni procentowy udział ektomikoryz z infekcji zamierzonej grzybem *H. crustuliniforme* i ektomikoryz z infekcji przygodnej w procentowym udziale mikoryz należy zauważyć, że w każdym przypadku dominowały ektomikoryzy z *H. crustuliniforme*, a procentowy ich udział był największy w mikotrofizmie sadzonek sosny w kombinacji kontrolnej i wynosił 93,6%, a stosunkowo najmniejszy (89,8%) u sadzonek sosny w kombinacji z Sarfunem (ryc. VIII.8.7.). Procentowy udział ektomikoryz z infekcji przygodnej był znikomy i wahał się od 0,9% u sadzonek sosny w kombinacji z Sarfunem do 2,2% u sadzonek sosny w kombinacji kontrolnej (ryc. VIII.8.7.).

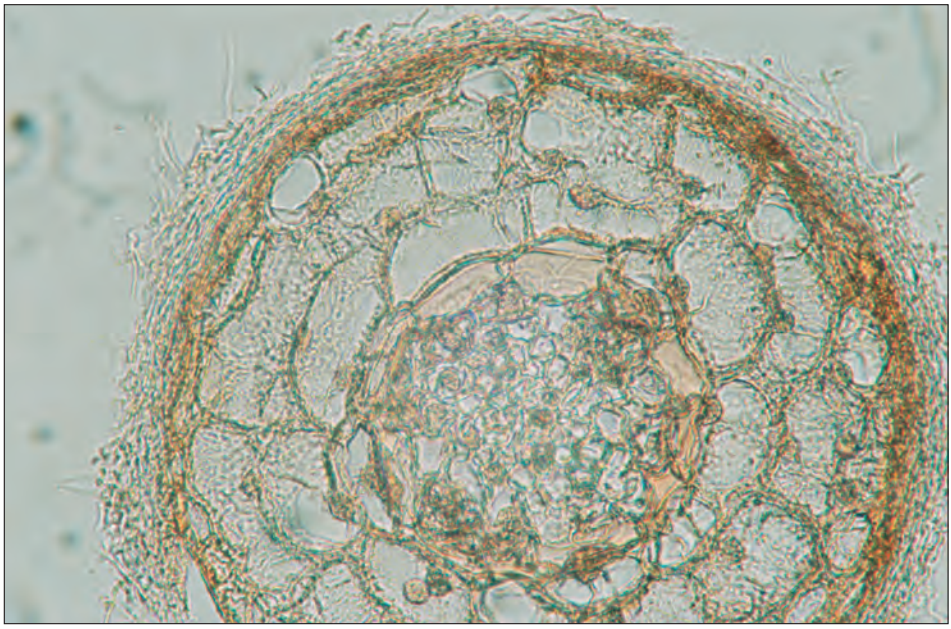
Stosowane w doświadczeniu zaprawy nasienne w niewielkim stopniu wpływały na miąższość mufki grzybniowej u ektomikoryz z *H. crustuliniforme* sadzonek sosny. Grubość mufki grzybniowej ektomikoryz u sadzonek sosny wyrosłych z nasion zaprawianych Sarfunem wahała się od 14,5 do 21,8 μm, zaś w wypadku sadzonek wyrosłych z nasion zaprawianych Dithanem lub Funabenem odpowiednio 19,0–24,0 μm i 16,9–24,2 μm.

W wypadku sadzonek dębu szypułkowego wyrosłych z nasion zaprawianych fungicydami ich wysokość i średnica w szyi korzeniowej była mniejsza w porównaniu z sadzonkami kontrolnymi. Wysokość sadzonek z kombinacji kontrolnej wynosiła 37,1 cm, a średnica w szyi korzeniowej 6,40 mm (ryc. VIII.8.8. i VIII.8.9.). W wypadku sadzonek wyrosłych z nasion zaprawianych fungicydami ich wysokość wahała się od 25,8 cm w kombinacji doświadczalnej z Funabenem do 27,7 cm w kombinacji doświadczalnej z Dithanem (ryc. VIII.8.8.). Średnica w szyi korzeniowej sadzonek wyrosłych z nasion zaprawianych tym drugim fungicydem była stosunkowo najmniejsza i wynosiła 5,21 mm, podczas gdy sadzonek wyrosłych z nasion zaprawianych Funabenem osiągała wartość 5,61 mm, a sadzonek zaprawianych Sarfunem 5,73 mm (ryc. VIII.8.9.). Rodzaj zaprawy nasiennej nie wpływał jednak istotnie na parametry wzrostowe części nadziemnej sadzonek dębu, natomiast we wszystkich kombinacjach doświadczalnych z fungicydami wysokość i średnica w szyi korzeniowej sadzonek dębu była istotnie statystycznie mniejsza w porównaniu z wartościami, jakie uzyskiwały sadzonki dębu szypułkowego wyrosłe z nasion niezaprawianych fungicydami.

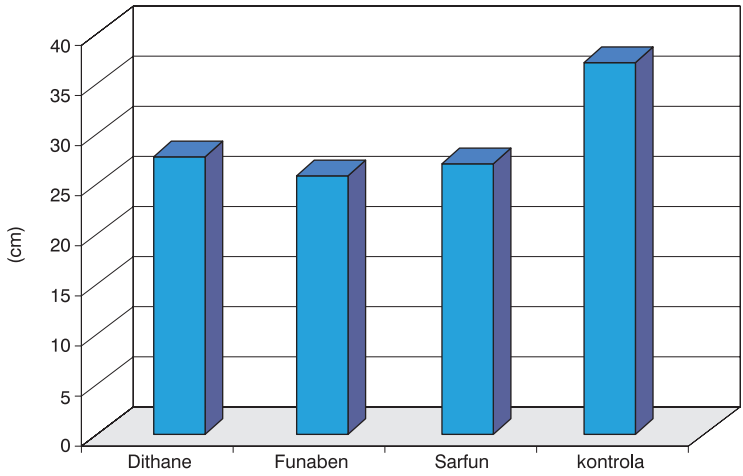
Sucha masa korzeni sadzonek dębu wyrosłych z nasion zaprawianych fungicydami była w poszczególnych kombinacjach doświadczalnych zróżnicowana, ale każdorazowo mniejsza w porównaniu z suchą masą korzeni sadzonek wyrosłych z nasion niezaprawianych. W tym ostatnim wypadku średnia sucha masa korzeni sadzonek dębu wynosiła 8,5930 g. Sucha masa korzeni sadzonek wyrosłych z nasion zaprawianych Funabenem i Sarfunem była stosunkowo mała i wynosiła odpowiednio 6,4094 g i 6,5915 g, stosunkowo zaś większą średnią suchą masę korzeni (7,2881 g) stwierdzono u sadzonek dębu wyrosłych z nasion zaprawianych Ditha-



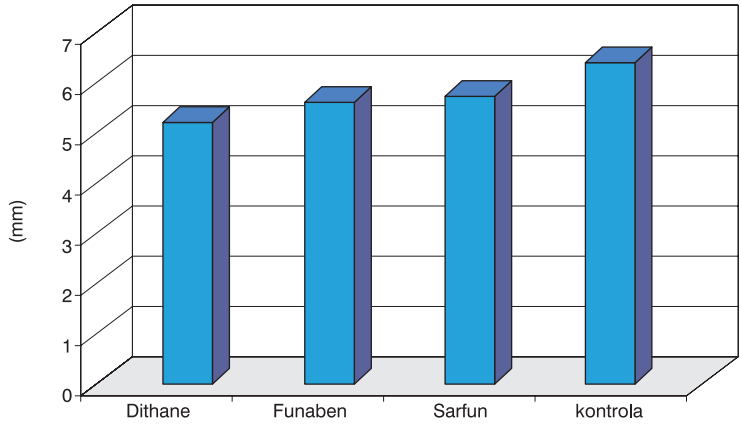
Fot. VIII.8.1. Przekrój poprzeczny przez ektomikoryzę *H. crustuliniforme* u sosny wyrosłej z nasion zaprawianych Sarfunem (powiększenie 150x)



Fot. VIII.8.2. Przekrój poprzeczny przez ektomikoryzę *H. crustuliniforme* u sosny wyrosłej z nasion zaprawianych Funabenem (powiększenie 150x)



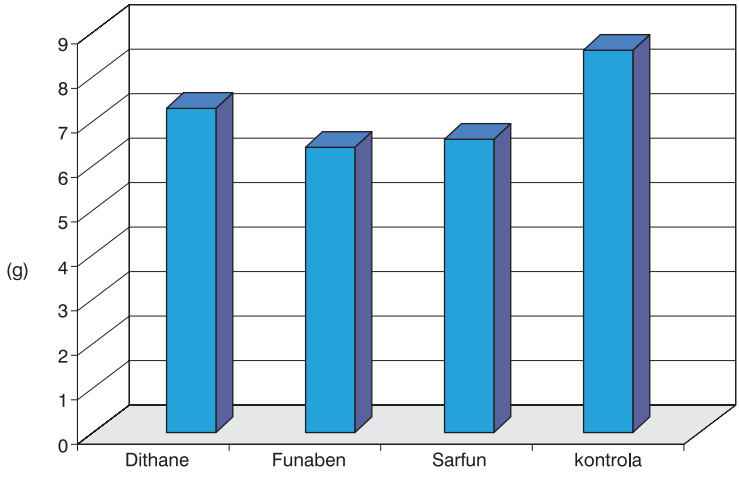
Ryc. VIII.8.8. Średnia wysokość sadzonek dębu szypułkowego, szczepionych grzybem *Hebeloma crustuliniforme*, wyrosłych z nasion zaprawianych i niezaprawianych fungicydami



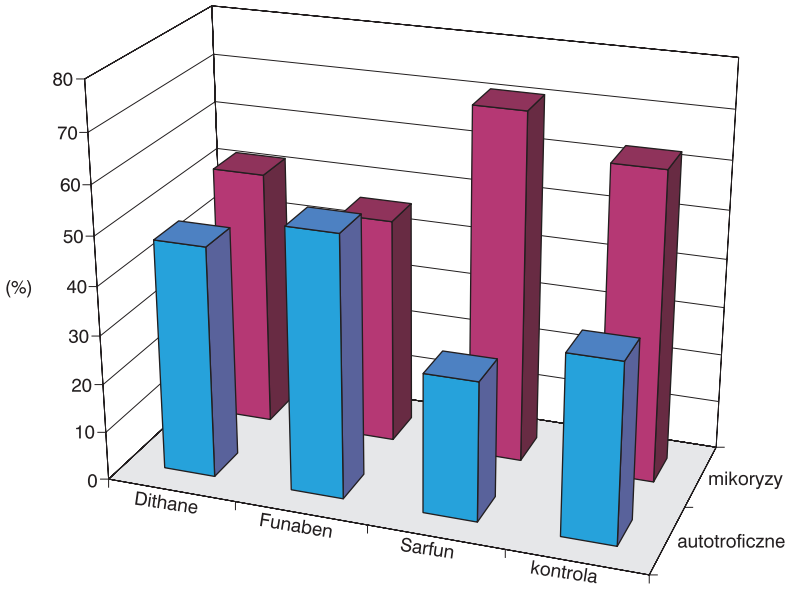
Ryc. VIII.8.9. Średnia średnica w szyi korzeniowej sadzonek dębu szypułkowego, szczepionych grzybem *Hebeloma crustuliniforme*, wyrosłych z nasion zaprawianych i niezaprawianych fungicydami

nem (ryc. VIII.8.10.). Pomimo zróżnicowania tego parametru sadzonek wyrosłych z nasion zaprawianych i niezaprawianych fungicydami, analiza statystyczna wykazała brak różnic istotnych między kombinacjami doświadczenia.

Stopień zmikoryzowania systemu korzeniowego sadzonek dębu wyrosłych z nasion zaprawianych i niezaprawianych fungicydami był wyraźnie zróżnicowany. Wahał się od 46,0% w kombinacji z Funabenem do 71,5% w kombinacji z Sarfunem i w tym ostatnim wypadku był większy w porównaniu z sadzonkami w kombinacji



Ryc. VIII.8.10. Średnia sucha masa korzeni sadzonek dębu szypułkowego, szczepionych grzybem *Hebeloma crustuliniforme*, wyrosłych z nasion zaprawianych i niezaprawianych fungicydami



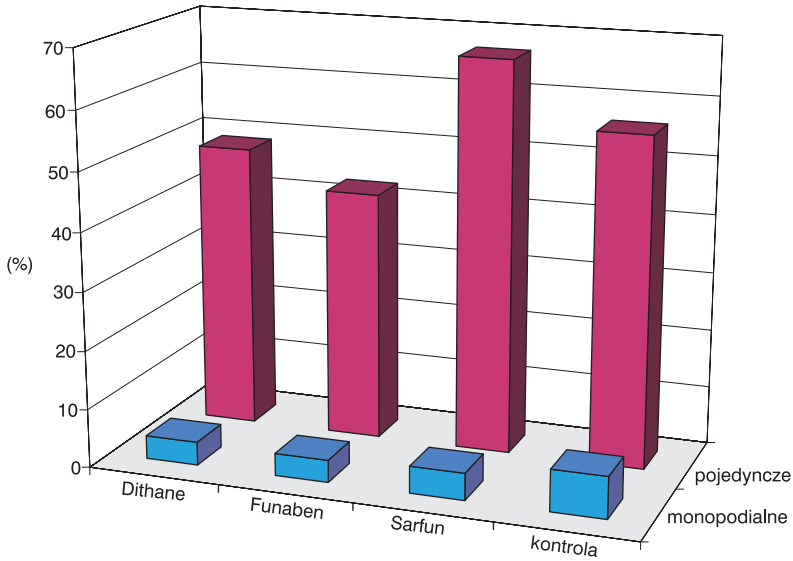
Ryc. VIII.8.11. Średni procentowy udział korzeni autotroficznych i mikoryz sadzonek dębu szypułkowego, wyrosłych z nasion zaprawianych i niezaprawianych fungicydami

kontrolnej, u których średni procentowy udział mikoryz wynosił 63,0% (ryc. VIII.8.11.). Udział korzeni autotroficznych, a więc tych, które nie nawiązały kontaktu mikoryzowego, był stosunkowo duży, mniejszy natomiast u sadzonek wyrosłych z nasion zaprawianych Sarfunem i kombinacji kontrolnej, odpowiednio 28,5% i 36,7% oraz większy u sadzonek wyrosłych z nasion zaprawianych Dithanem i Funabenem, odpowiednio 47,4% i 53,6%. W tym ostatnim wypadku korzenie autotroficzne przeważały nad mikoryzami (ryc. VIII.8.11.).

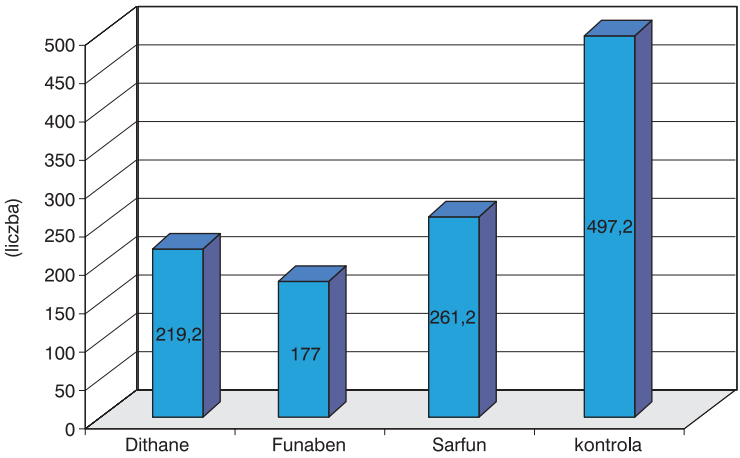
W mikotrofizmie sadzonek dębu, niezależnie czy wyrosły z nasion zaprawianych czy niezaprawianych fungicydami, dominowały mikoryzy pojedyncze, zaś procentowy udział mikoryz monopodialnych był stosunkowo niewielki i wahał się od 3,4% u sadzonek z kombinacji doświadczalnej z Funabenem do 6,8% u sadzonek z kombinacji kontrolnej (ryc. VIII.8.12.). Procentowy udział mikoryz pojedynczych był więc proporcjonalny do udziału mikoryz ogółem i stosunkowo większy u sadzonek dębu wyrosłych z nasion zaprawianych Sarfunem oraz sadzonek z kombinacji kontrolnej, odpowiednio 66,9% i 56,2%, mniejszy jednak u sadzonek dębu szypułkowego wyrosłych z nasion zaprawianych Funabenem i Dithanem, odpowiednio 42,6% i 48,6% (ryc. VIII.8.12.).

W mikotrofizmie sadzonek dębu, niezależnie od kombinacji doświadczalnej, dominowały ektomikoryzy z infekcji zamierzonej grzybem *H. crustuliniforme*, które stwierdzano na korzeniach wszystkich badanych sadzonek, zaś liczebność ektomikoryz z infekcji przygodnej była znikoma i dotyczyła tylko nielicznych sadzonek. Na porównywalnych, jednometrowych odcinkach korzeni dębu średnia liczebność ektomikoryz z *H. crustuliniforme* była wyraźnie zróżnicowana i stosunkowo największa (497,2 sztuk/m korzenia) u sadzonek dębu z kombinacji kontrolnej (ryc. VIII.8.13.). Analiza statystyczna wykazała, że wartość ta była istotnie większa w porównaniu z liczebnością ektomikoryz z *H. crustuliniforme* u sadzonek dębu w pozostałych kombinacjach doświadczalnych. Z doświadczenia wynika, że zaprawa nasienna Funaben stosunkowo w największym stopniu ograniczała liczebność ektomikoryz z *H. crustuliniforme* u sadzonek dębu szypułkowego, gdyż ich średnia liczba wynosiła jedynie 177 i była również statystycznie istotnie mniejsza w porównaniu z liczebnością ektomikoryz (261,2) z infekcji zamierzonej u sadzonek dębu wyrosłych z nasion zaprawionych Sarfunem (ryc. VIII.8.13.). Liczebność ektomikoryz z infekcji zamierzonej grzybem *H. crustuliniforme* u sadzonek dębu wyrosłych z nasion zaprawionych Dithanem wynosiła 219,2 i była porównywalna z liczebnością analogicznych ektomikoryz u sadzonek dębu w kombinacji z Sarfunem (ryc. VIII.8.13.).

Analizując średni procentowy udział ektomikoryz z infekcji zamierzonej grzybem *H. crustuliniforme* i ektomikoryz z infekcji przygodnej w procentowym udziale mikoryz sadzonek dębu szypułkowego należy zauważyć, że w każdym wypadku dominowały ektomikoryzy z *H. crustuliniforme*, a procentowy ich udział był największy w mikotrofizmie sadzonek dębu wyrosłych z nasion zaprawionych Sarfunem i wynosił 71,3%, a stosunkowo najmniejszy (45,8%) sadzonek dębu w kombinacji z Funabenem (ryc. VIII.8.14.). Procentowy udział ektomikoryz z grzybem *H. crustuliniforme* sadzonek wyrosłych z nasion niezaprawianych fungicydami wynosił 61,2% i był większy o 8,7% w porównaniu z analogicznymi ekto-

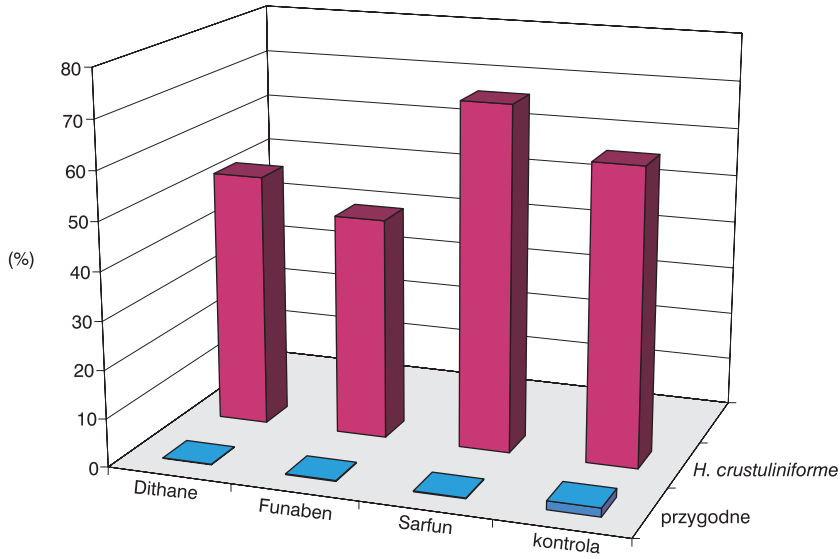


Ryc. VIII.8.12. Średnie procentowe zróżnicowanie typów morfologicznych mikoryz sadzonek dębu szypułkowego, szczepionych grzybem *Hebeloma crustuliniforme,* wyrosłych z nasion zaprawianych i niezaprawianych fungicydami



Ryc. VIII.8.13. Średnie ilościowe zróżnicowanie ektomikoryz z infekcji zamierzonej grzybem *Hebeloma crustuliniforme* sadzonek dębu szypułkowego, wyrosłych z nasion zaprawianych i niezaprawianych fungicydami

mikoryzami sadzonek wyrosłych z nasion zaprawianych Dithanem (ryc. VIII.8.14.). Procentowy udział ektomikoryz z infekcji przygodnej był znikomy i wahał się od 0,1% u sadzonek dębu w kombinacji z Dithanem, do 1,8% u sadzonek dębu w kombinacji kontrolnej (ryc. VIII.8.14.).

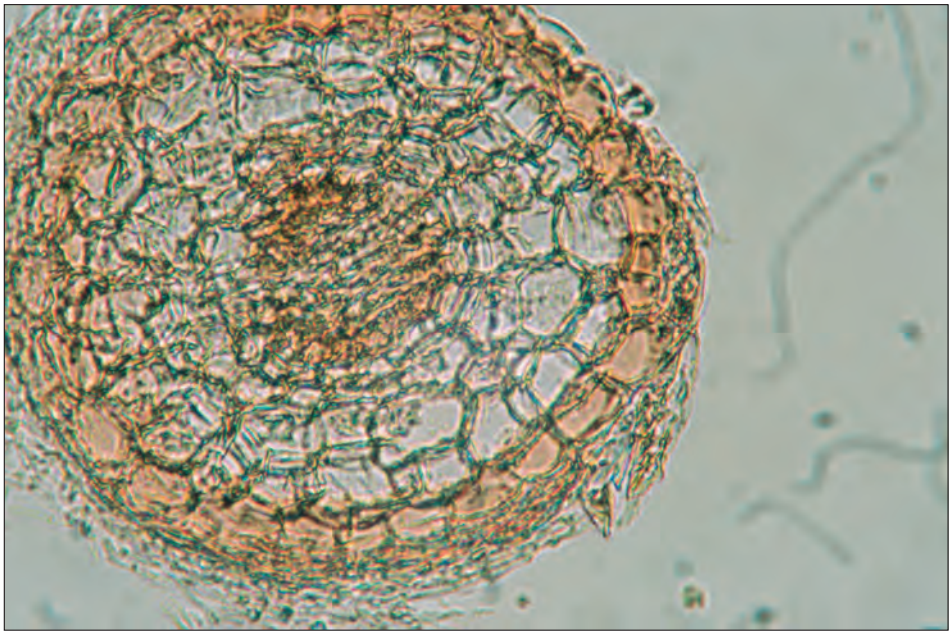


Ryc. VIII.8.14. Udział ektomikoryz z infekcji zamierzonej i przygodnej w średnim procentowym udziale mikoryz żywych sadzonek dębu szypułkowego szczepionych grzybem *Hebeloma crustuliniforme*, wyrosłych z nasion zaprawianych i niezaprawianych fungicydami

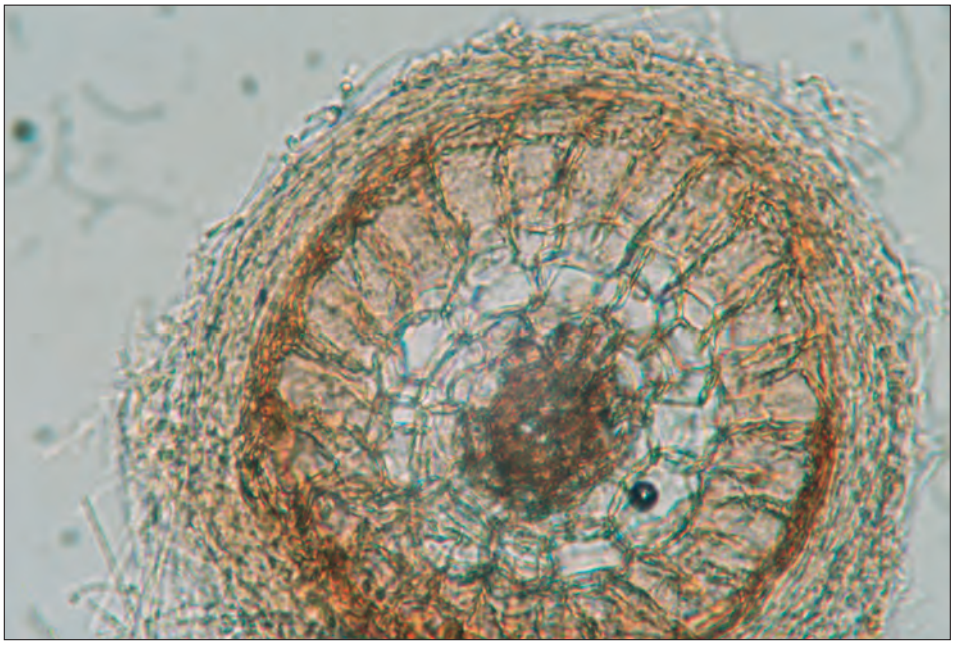
Stosowane w doświadczeniu zaprawy nasienne w różnym stopniu wpływały na miąższość mufki grzybniowej u ektomikoryz z *H. crustuliniforme* sadzonek dębu. Grubość mufki grzybniowej ektomikoryz sadzonek dębu wyrosłych z nasion zaprawianych Funabenem była stosunkowo niewielka i wynosiła jedynie 12,0 µm. Sadzonek natomiast wyrosłych z nasion zaprawianych Sarfunem wahała się od 12,0 do 24,0 µm, zaś w wypadku sadzonek wyrosłych z nasion zaprawianych Dithanem odpowiednio 19,8–27,8 µm.

Wyniki badania wpływu fungicydów na wzrost sosny i dębu oraz ich mikoryzy nie są jednoznaczne, podobnie jak wieloletnich badań w innych ośrodkach naukowych (Aleksandrowicz-Trzcińska 2002). Pomimo aplikacji zapraw nasiennych sadzonki charakteryzowały się większymi (sosna) lub zbliżonymi (dąb) wymiarami w porównaniu z wariantem kontrolnym i jednocześnie osiągnęły wysokości odpowiadające – według normy (PN-R-67025) – sadzonkom jednorocznym I klasy, a w niektórych wypadkach nawet sadzonkom dwuletnim I klasy (Polska Norma 1999). Stwierdzono także, że sadzonki sosny były niższe, gdy ich system korzeniowy był obficiej zaopatrzony w ektomikoryzy. Może to być spowodowane wykorzystaniem związków mineralnych i asymilatów rośliny do budowy struktur mikoryzowych, co na etapie hodowli sadzonek w szkółce jest zjawiskiem normalnym.

W doświadczeniu różne zaprawy nasienne ograniczyły w dużej mierze liczbę ektomikoryz. U dębu zastosowane zaprawy nasienne nie tylko negatywnie wpłynęły na struktury ektomikoryzowe, ale także ograniczyły wysokość i średnicę w szyi ko-



Fot. VIII.8.3. Przekrój poprzeczny przez ektomikoryzę *H. crustuliniforme* u dębu wyrosłego z nasion zaprawianych Funabenem (powiększenie 250x)



Fot. VIII.8.4. Przekrój poprzeczny przez ektomikoryzę *H. crustuliniforme* u dębu wyrosłego z nasion zaprawianych Dithane (powiększenie 250x)

rzeniowej sadzonek. Być może znaczenie miała większa ilość aplikowanego fungicydu na powierzchni okrywy nasiennej niż w przypadku nasion sosny.

Wzrost roślin może być także stymulowany lub hamowany przez substancje czynne, zawarte w preparatach grzybobójczych. W Funabenie i Sarfunie czynnikiem stymulacji może być związek MBC, zwany karbendazymem, którego działanie zbliżone jest do aktywności syntetycznych cytokinin i przedłuża okres wegetacji roślin (Thomas 1973). U dębu zaprawy te nie spowodowały większego wzrostu sadzonek. Brak efektu stymulacji w tym wypadku być może ma związek z koncentracją fungicydu, jak i jego pobieraniem z podłoża torfowego, co może mieć związek z redukującym charakterem tego rodzaju substratu na przyswajanie MBC (Byrdy i in. 1976).

Aplikacja testowanych zapraw nasiennych spowodowała istotne ograniczenie tworzenia ektomikoryz z *H. crustuliniforme*. Liczba wierzchołków mikoryzowych w poszczególnych wariantach była zróżnicowana i znacznie odbiegała (szczególnie sadzonek dębu) od wartości uzyskanych u sadzonek kontrolnych. Na podstawie badań anatomicznych można było wskazać przynajmniej po jednej zaprawie nasiennej u obu gatunków drzew, która w mniejszym lub większym stopniu ograniczała grubość mufki grzybniowej utworzonej przez *H. crustuliniforme*. Świadczy to, że działanie czynników stresowych może, oprócz spadku liczebności mikoryz żywych, powodować także zakłócenia w formowaniu opilśni (Kowalski 1987, Rudawska 1993).

Funaben w bardzo niewielkim stopniu ograniczał u sadzonek sosny tworzenie ektomikoryz z *H. crustuliniforme*, a nawet stymulował rozwój mikoryz dychotomicznych. U dębu natomiast zaprawa ta bardzo negatywnie wpłynęła na liczbę wierzchołków ektomikoryzowych, różniąc je istotnie od wariantu kontrolnego. Sarfun natomiast u sadzonek sosny okazał się najbardziej ograniczającym liczbę ektomikoryz z grzybem *H. crustuliniforme*, zaś u dębu najmniej, chociaż liczba ektomikoryz z tym grzybem u tego drugiego gatunku drzewa była i tak zdecydowanie mniejsza w porównaniu z kombinacją kontrolną. Ta odmienność działania zastosowanych zapraw nasiennych na stopień zmikoryzowania systemu korzeniowego u sosny i dębu niewątpliwie wymaga dalszych badań.

Na toksyczność stosowanych fungicydów może mieć wpływ kilka czynników. Dlatego przytoczone w niniejszej pracy wyniki mogą być niejednoznaczne, chociaż z drugiej strony wyraźnie wskazały, że stosując zaprawy nasienne należy się liczyć z ich negatywnym wpływem na udatność zabiegu sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*.

Badane fungicydy w różnym stopniu ograniczały tworzenie mikoryz z grzybem *H. crustuliniforme* u sadzonek sosny i dębu. Nie można więc wskazać jednej zaprawy, która byłaby odpowiednia do zaprawiania nasion zarówno sosny jak i dębu, hodowanych w technologii sterowanej mikoryzacji. Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki, w razie potrzeby do zaprawiania nasion sosny można zalecić Funaben, a dla dębu Sarfun.

9. Wpływ genotypu na efekt wzrostowy mikoryzowanych jednolatek świerka – markery fenolowe

Prof. dr hab. Janusz Sabor – Katedra Nasiennictwa, Szkółkarstwa i Selekcji Drzew Leśnych AR w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków
prof. dr hab. Zbigniew Janeczko – Katedra Farmakognozji Collegium Medicum UJ w Krakowie

Wprowadzenie

Zastosowanie biopreparatów mikoryzowych do hodowli sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym w kontrolowanych warunkach zewnętrznych szkółek kontenerowych odgrywa istotne znaczenie w praktyce szkółkarskiej. Stosowane od roku 2001 na skalę gospodarczą biopreparaty, głównie z grzybem *Hebeloma crustuliniforme*, przygotowywane zgodnie z oryginalną polską technologią (Kowalski 2000), znajdują zastosowanie w hodowli mikoryzowanego materiału szkółkarskiego licznych gatunków drzew leśnych. Różnowiekowe asortymenty tych sadzonek w istotny sposób poprawiają udatność upraw zakładanych na glebach zdegradowanych, gruntach porolnych, intensywnie użytkowanych, zagrożonych emisjami przemysłowymi itp. (Szabla 2004).

Badania Szabli (2004) wykazały jednak, że u świerka, w pierwszym roku życia sadzonek w szkółce, cechy wzrostowe istotnie zależały głównie od nawożenia. Efekt mikoryzy na tym etapie rozwoju okazał się statystycznie nieistotny. Dlatego też ważne staje się określenie zróżnicowania metabolizmu odżywczego różnowiekowych sadzonek świerka oraz wzajemnych relacji między akumulacją związków odżywczych i mikoryzą.

Inne badania potwierdziły istotny wpływ genotypu (pochodzenia) na przebieg i dynamikę wzrostu już w pierwszym roku życia sadzonek świerka (Szczygieł 1988). Między innymi, w badaniach fitotronowych stwierdzono większą wysokość górskich świerków z Istebnej, tłumaczoną dużą produktywnością fotosyntetyczną. O jakości materiału szkółkarskiego decyduje zespół cech fizjologicznych, wpływających na ogólny przyrost biomasy i ich produktywność biosyntetyczną, określoną m.in. powierzchnią aparatu fotosyntetycznego już w fazie wzrostu juwenilnego (Szczygieł 1988). W zakresie metabolizmu odżywczego wyniki badań wykazują szybsze w stosunku do innych gatunków reakcje sadzonek na nawożenie. Podkreślana jest istotność proporcji zawartości składników mineralnych, głównie N:P, a także genetycznie utrwalona równowaga N i P. Za poziom krytyczny uznaje się wartość ilorazu równą 15, wpływającą na właściwy proces pobierana N. Grzyby tworzące związki mikoryzowe z drzewami potrafią metabolizować niedostępny fosfor i inne związki mineralne (Sabor 1998, za Prusinkiewicz i inni 1990, Rachwald 1996).

Mniejszy efekt mikoryzy we wzroście juwenilnym świerka może być powodowany czynnikami stresowymi. Wpływ stresu na rozwój mikoryzy u świerka opisała Kieliszewska-Rokicka (1998) uzależniając ich stan od suszy, temperatury, niedoboru pokarmów itp., a także od czynników antropogenicznych.

Aktywność mikoryzy może być określana poziomem zawartości związków fenolowych. Są bowiem one substancjami roślinnymi, określającymi stan odporności roślin na działanie mikroorganizmów, grzybów i owadów. Stanowią je hydroksylowe pochodne węglowodorów aromatycznych, związanych z atomem węgla. Fenolowe związki metaboliczne są również bioindykatorami, określającymi wpływ stresów na procesy fizjologiczne w reakcjach obronnych i degradacyjnych. Uczestniczą w reakcji roślin na działanie związków toksycznych na wszystkich etapach procesów życia (Giertych 2001, Giertych, Karolewski 1994, Karolewski, Giertych 1996). Ogólnie można wyróżnić następujące grupy bioindykatorów fenolowych: fenole normalnie występujące u roślin zdrowych, fenole uformowane przez metabolizm drzew jako rezultat ataku parazytów oraz produkty ochronne żywiciela – fitoaleksyny (Sabor 2000). Zmiany poziomu fenoli zaznaczyły się przy redukcji światła, a także w wypadku wystąpienia czynnika stresowego, np. u sosen. Badano również zmiany tych związków w reakcji siewek na działanie SO_2 (Giertych, Karolewski 1993). Ustalono, że fenole odgrywają istotną rolę w formowaniu mechanizmów ochronnych, budujących zlignifikowane tkanki, oddzielające zdrowe tkanki od chorych (Giertych, Werner 1996). Związki fenolowe odgrywają również istotną rolę w chemotaksonomii świerka. Badania Hanovera i Wilkinsona (1970) wykazały zróżnicowanie *P. sitchensis*, *P. glauca*, a także pozwoliły na ustalenie stopnia ich introgresywnej hybrydyzacji.

W dotychczasowych badaniach brakuje oceny wpływu genotypu na efekt wzrostowy i metaboliczny sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji. Celem więc badań była ocena wpływu pochodzenia nasion na poziomie proweniencyjnym i indywidualnym (efekt genotypu) na zróżnicowanie wzrostu sadzonek mikoryzowanych oraz niemikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* w pierwszym, rocznym cyklu wegetacyjnym, a także zmian metabolicznych w zakresie zróżnicowania poziomów zawartości związków mineralnych oraz fenolowych, traktowanych jako produkty metaboliczne mikoryzowanych sadzonek. Określenie poziomu zawartości związków fenolowych może mieć istotne znaczenie w ocenie skuteczności sterowanej mikoryzacji leśnego materiału rozmnożeniowego, a także przyczynić się do opracowania fenolowych markerów genetyczno-fizjologicznych leśnego materiału mikoryzowanego, charakteryzującego się dobrym stanem zmikoryzowania i dobrą genetyczną reaktywnością wzrostową.

Materiał badawczy i metody

Materiał badawczy stanowiły jednolatki świerka, wyhodowane w namiotach foliowych szkółki kontenerowej w Rudach Raciborskich, z nasion zebranych z drzew doborowych nr D-94 i D-104 w drzewostanie nasiennym wyłączonym 149h leśnictwa Bukowiec oraz D-82 i D-83 w drzewostanie 121a leśnictwa Zapowiedź, Nadleśnictwa Wisła. Zebrany materiał nasienny został wysiany 27 marca 2006 r. do 32 po-

jemników typu Hiko V-120, zawierających po 40 komórek. Każdy wariant pochodzeniowy wysiano w odrębnym pojemniku i był reprezentowany przez 640 sadzonek, w tym 320 poddano zabiegowi sterowanej mikoryzacji biopreparatem z grzybem *H. crustuliniforme*, drugie natomiast 320 pozostawiono bez tego zabiegu.

Zabiegi uprawowe obejmowały prace nawożeniowe i ochronne, określone technologią hodowli sadzonek drzew leśnych metodą kontenerową w szkółkach otwartych i namiotach foliowych z wykorzystaniem sterowanej mikoryzacji biopreparatem wermikulitowo-torfowym z grzybem *H. crustuliniforme*, opracowaną przez Kowalskiego (2007 L.c.). Siewki były 14-krotnie nawożone Ecorem w okresie 02.06.06–08.11.2006. W tym czasie zastosowano również opryski chemiczne środkiem Marshal 250 CS o stężeniu 0,15% przeciwko komarnicy. Jednorodnym substratem dla sadzonek obu wariantów była mieszanina torfu wysokiego (75%), wermikulitu (15%), perlitu (10%) oraz Osmocote w dawce 2,5 kg/m^3 (3 części nawozu 3–4-miesięcznego + 2 części nawozu 5–6-miesięcznego) i dolomitu w dawce 2,5 kg/m^3.

Ocena parametrów hodowlanych i podstawowych składników pokarmowych

Wysokość sadzonek zmierzono w 2006 r. w dwóch terminach rocznego cyklu przyrostowego – po zakończeniu elongacji pędów (10–17 lipca) oraz wegetacji sadzonek (20–21 września). Wyniki przedstawiono w formie diagramów i wieloboków liczebności sadzonek w klasach rozkładu cechy dla poszczególnych wariantów doświadczenia.

Do oceny efektu sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* oraz genetycznego w zmienności wysokości materiału badawczego zastosowano hierarchiczny model analizy wariancyjnej wykorzystując pakiet STATISTICA.

W analizowanych jednorocznych sadzonkach świerka niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji (bez mikoryzy) i poddanych temu zabiegowi z grzybem *H. crustuliniforme* (z mikoryzą) oceniono zawartość podstawowych składników pokarmowych, tj. N, P, K, a także C w igłach. Igły pobrano po zakończeniu rocznego cyklu wegetacyjnego. Ocenę składników odżywczych przeprowadzono według standardowych metod, podanych przez Eversa i Buckinga (1976). Akumulację substancji pokarmowych w suchej masie igieł świerka badanych pochodzeń i drzew doborowych oceniono na podstawie przyjętych progów niedoboru i wartości optymalnych podanych przez Walendzika (1975) oraz Walendzika i Szołtyk (1992). Ocenę przeprowadzono na próbie reprezentatywnej sadzonek w przyjętych wariantach doświadczenia.

Ocena zawartości związków fenolowych

Związki roślinne, określane jako fenole, nie stanowią homogennej grupy zarówno pod względem budowy chemicznej jak i właściwości fizykochemicznych. Istotną dla ich właściwości biologicznych i roli, jaką spełniają w roślinach, jest rozpuszczalność tych związków w środowisku wodnym, co również wpływa na wybór metody ekstrakcji z surowca roślinnego. Proste fenole, fenolokwasy i polifenole, zaliczane

do flawonoidów, cechują się także dobrą rozpuszczalnością w metanolu, etanolu i mieszaninach tych rozpuszczalników z wodą.

W badaniach określono występowanie fenoli w rocznych świerkach dwóch grup zróżnicowanych genetycznie na poziomie populacyjnym (pochodzenie Bukowiec i Zapowiedź) oraz osobniczym (drzewa doborowe):
– jednolatek świerka mikoryzowanych i niemikoryzowanych,
– w korzeniach i igłach jednolatek świerkowych oraz starszych.

Ekstrakcja surowca. Materiał do badań stanowiły części nadziemne jednorocznych siewek świerka. Świeże, oddzielone od korzeni i rozdrobnione wstępnie tkanki (2 g) poddano homogenizacji z metanolem (50 ml) w temperaturze pokojowej. Ekstrakt metanolowy odwirowano i powtórzono proces homogenizacji z identyczną objętością rozpuszczalnika. Każdorazowo czas trwania homogenizacji wynosił 10 minut. Homogenizacji poddano sadzonki losowo wybrane z grupy mikoryzowanych i niemikoryzowanych, po zakończonym cyklu 2006 roku.

Analiza chromatograficzna. Połączone supernatanty odparowano do sucha pod zmniejszonym ciśnieniem w atmosferze azotu. Pozostałość rozpuszczono w 10 ml metanolu i nanoszono roztwory pasmowo na płytkę chromatograficzną strzykawką Zimmermana w ilości 10 µl. Obok wyciągów na płytki nanoszono roztwory metanolowe wzorcowych fenoli (fenolokwasy i flawonol):
– kwasu ferulowego,
– kwasu cynamonowego,
– kwasu kawowego i kwercetyny.

Chromatogram rozwijano w trzech fazach ruchomych:
A-chloroform-metanol-woda-DMSO (23:12:1:1),
B-chloroform-metanol-woda-DMSO (23:8:1:0,5),
C-chloroform-kwas octowy-octan etylu-metanol (45:5:2:1).

Po rozwinięciu chromatogramy suszono i obserwowano w świetle dziennym (SD) oraz w UV 365 nm, a także po spryskaniu 25% metanolowym roztworem stężonego kwasu siarkowego, po czym ponownie obserwowano w SD i UV. Na chromatogramach badanych próbek stwierdzono szereg plam fluoryzujących na kolor seledynowy, niebieski i żółty (SD). Plamy te po wywołaniu roztworem kwasu siarkowego nasiliły fluorescencję lub zmieniły ją na kolor niebiesko-zielony. Nasilenie fluorescencji obserwowano także w atmosferze par amoniaku.

Dla sadzonek, u których oceniono zróżnicowanie fenoli w korzeniach i części nadziemnej, wyciągi z korzeni oraz części nadziemnych przygotowano według identycznej metody. Na chromatogramy nanoszono po 10 µl ekstraktów z części nadziemnych i korzeni. Fazę ruchomą stanowiły chloroform-metanol-woda (23:12:2 v/v), natomiast warunki detekcji tworzył 25% metanolowy roztwór stężonego kwasu siarkowego. Chromatogram ogrzewano 2 minuty w temperaturze 110°C (obserwacja w świetle widzialnym).

Wyniki

Cechy wzrostowe. Ocena wysokości sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji (z mikoryzą) i niepoddanych temu zabiegowi (bez mikoryzy), reprezentujących cztery drzewa doborowe dwóch drzewostanów nasiennych świerka

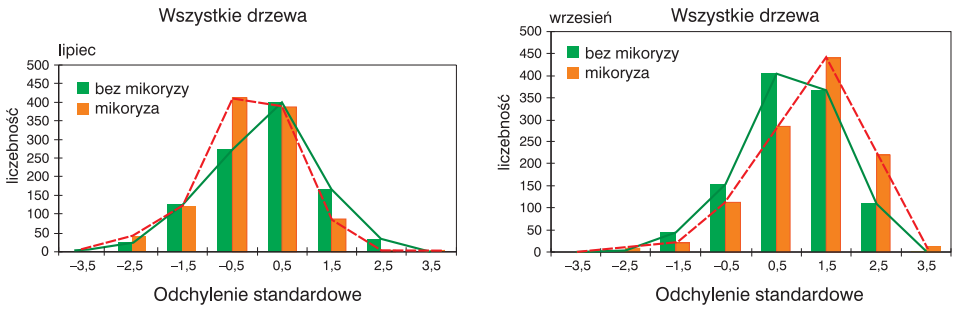
istebniańskiego, przeprowadzona w dwóch terminach rocznego cyklu wegetacyjnego, wykazała istotną poprawę wzrostu sadzonek mikoryzowanych w porównaniu z materiałem sadzeniowym niepoddanym mikoryzacji w miarę wzrostu i rozwoju sadzonek (tab. VIII.9.1.).

Rozkład wysokości sadzonek badanych populacji w klasach jednostek standardowych przedstawiają ryc. od VIII.9.1. do VIII.9.5.

Ogólnie wszystkie rozkłady wysokości sadzonek w pierwszym terminie pomiarowym charakteryzowały się podobną zmiennością zarówno dla wariantu mikoryzowanego jak i niemikoryzowanego we wszystkich populacjach zróżnicowanych pochodzeniowo. Wyniki hierarchicznej analizy wariancji wysokości części nadziemnych badanych świerków (tabela VIII.9.2.) wykazały istotny wpływ pochodzenia, drzewa doborowego i zabiegu sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*

Tabela VIII.9.1.
Wysokość sadzonek świerka niemikoryzowanych (A) i mikoryzowanych grzybem *Hebeloma crustuliniforme* (B) określona w dwóch terminach pomiarowych (lipiec i wrzesień 2006 r.)

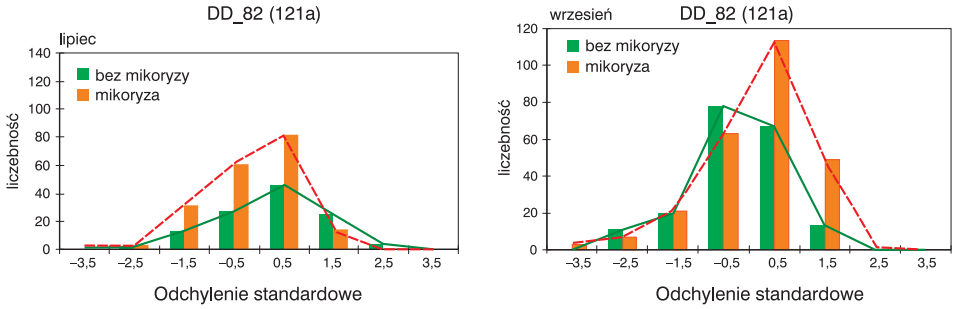
Oddział	Drzewo	Sadzonki	Średnia wysokość (cm)	
			(10–17.07.)	(20–21.09.)
121a	DD 82	A	13,1	21,4
		B	11,8	23,2
	DD 83	A	11,6	21,3
		B	11,4	23,0
149h	DD 94	A	12,0	21,4
		B	10,5	22,9
	DD 104	A	11,2	20,4
		B	10,4	21,8
Średnia wysokość sadzonek A			11,8	21,1
Średnia wysokość sadzonek B			10,9	22,7



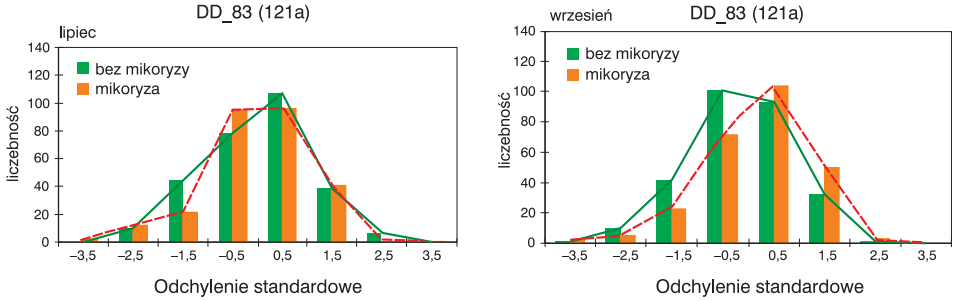
Ryc. VIII.9.1. Rozkład wysokości sadzonek świerka pospolitego w cyklu wegetacyjnym 2006 r. (lipiec, wrzesień)

na wzrost sadzonek we wcześniejszym terminie pomiarowym (lipiec) oraz mikoryzowanych *H. crustuliniforme* we wrześniu.

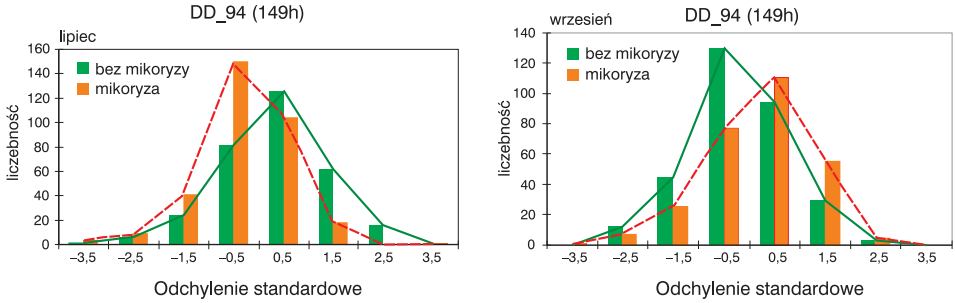
Metabolizm odżywczy. Poziomy akumulacji związków odżywczych w igłach jednolatek świerka poszczególnych grup doświadczenia przedstawia tabela VIII.9.3.



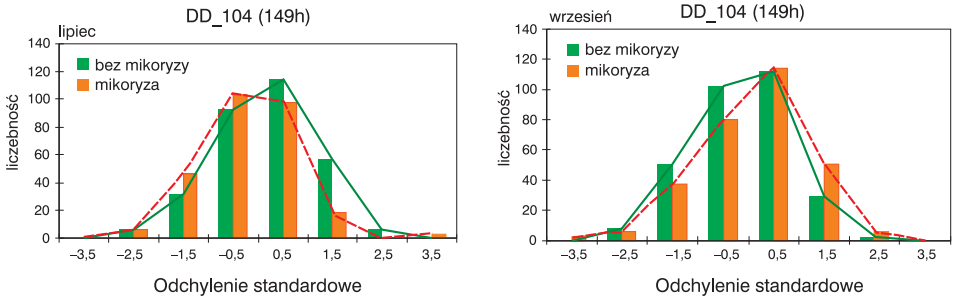
Ryc. VIII.9.2. Rozkład wysokości świerka istebniańskiego – pochodzenie leśnictwo Zapowiedź, oddz. 121a (lipiec, wrzesień)



Ryc. VIII.9.3. Rozkład wysokości świerka istebniańskiego – pochodzenie leśnictwo Zapowiedź, oddz. 121a (lipiec, wrzesień)



Ryc. VIII.9.4. Rozkład wysokości świerka istebniańskiego – pochodzenie leśnictwo Bukowiec, oddz. 149h (lipiec, wrzesień)



Ryc. VIII.9.5. Rozkład wysokości świerka istebniańskiego – pochodzenie leśnictwo Bukowiec, oddz. 149h (lipiec, wrzesień)

Tabela VIII.9.2.
Wyniki hierarchicznej analizy wariancji wysokości świerka

Termin pomiaru	Źródło zmienności	Suma kwadratów	Stopnie swobody	Średni kwadrat	F	p
10–17 lipca	pochodzenie	428,4871	1	428,4871	61,3823	<0,0001
	drzewo (pochodzenie)	240,3872	2	120,1936	17,2182	<0,0001
	mikoryza (poch.×drzewo)	579,1727	4	144,7932	20,7421	<0,0001
	błąd	14 526,6895	2 081	6,9806		
20–21 września	pochodzenie	193,2387	1	193,2387	8,9210	0,0029
	drzewo (pochodzenie)	311,0584	2	155,5292	7,1801	0,0008
	mikoryza (poch.×drzewo)	1 314,8653	4	328,7163	15,1755	<0,0001
	błąd	47 069,3980	2173	21,6610		

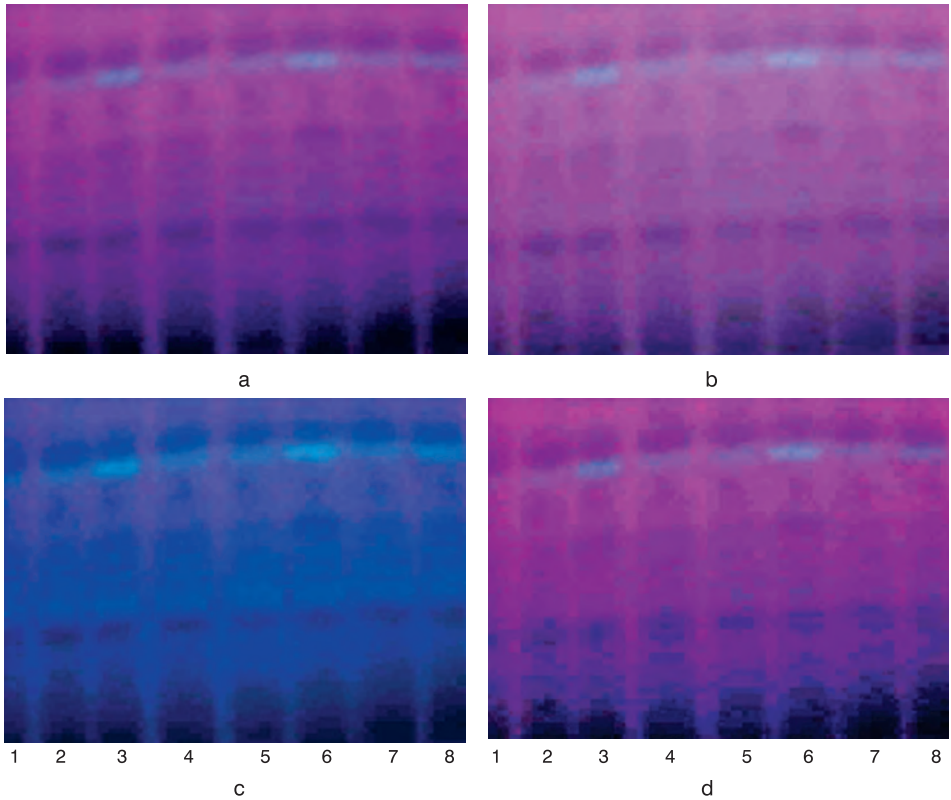
Ocena zawartości składników pokarmowych w aparacie asymilacyjnym nie wykazała istotnych różnic w zakresie poziomu akumulacji składników pokarmowych w igłach jednorocznych sadzonek mikoryzowanych i niemikoryzowanych. Zawartość N, P, K, a także C nie różniła istotnie badanych sadzonek również na poziomie genetycznym. We wszystkich badanych wariantach procent zawartości N był zbliżony do przyjętego dla optymalnego progu 1,4–1,8% dla N, nie przekraczając progu niedoboru wynoszącego 1,1–1,2%, a także dla P – poziom optymalny 0,17–0,27 przy niedoborze 0,10% oraz K – poziom optymalny od 0,50 do 1,1% przy poziomie niedoboru 0,35% (Walendzik 1975, Walendzik, Sołtyk 1992).

Współczynnik N/P nie przekraczał progu 15, określanego jako krytyczny, przy czym nie różnicował istotnie sadzonek mikoryzowanych i niemikoryzowanych w zróżnicowanych grupach pochodzeniowych, podobnie jak stosunek C/N.

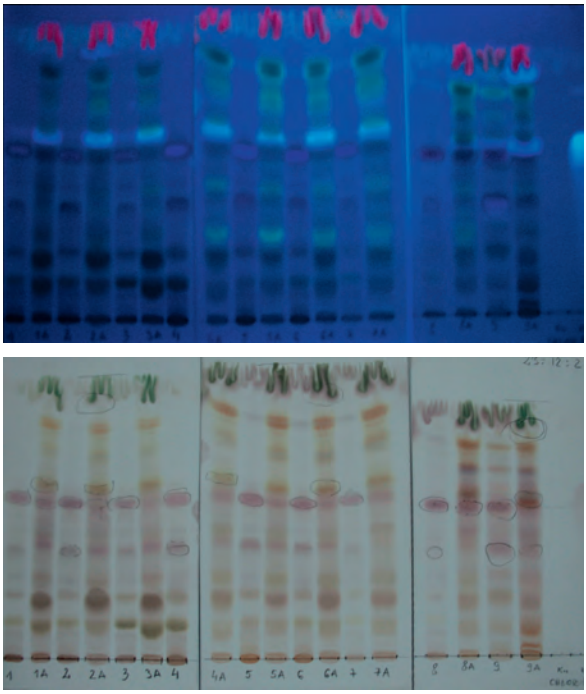
Zawartość związków fenolowych. Analiza chromatografów (ryc. VIII.9.6.) wykazała istotne różnice jakościowe badanych związków fenolowych.

Tabela VIII.9.3.
Zawartość podstawowych składników pokarmowych w igłach sadzonek świerka niemikoryzowanych (A) i mikoryzowanych grzybem *Hebeloma crustuliniforme* (B)

Nr sadzonki	Drzewo doborowe oddział, nr	Charakterystyka materiału sadzeniowego świerk 1/0	% N	% P	N/P	% K	C	C/N
1	149h_D-104	A	1,6800	0,1875	8,960	0,6960	41,43	24,66
2	149h_D-104	B	1,6940	0,2025	8,365	0,6795	41,43	24,46
3	149h_D-94	A	1,5680	0,2500	6,272	0,7220	42,57	27,15
4	149h_D-94	B	1,6900	0,2100	8,048	0,5825	44,88	26,56
5	121a_D-82	A	1,8900	0,2050	9,220	0,7350	43,16	22,84
6	121a_D-82	B	1,8480	0,2375	7,781	0,7045	42,00	22,72
7	121a_D-83	A	1,7220	0,2950	5,837	0,7670	42,57	24,72
8	121a_D-83	B	1,6660	0,1875	8,885	0,7430	40,85	24,52
Średnia			1,7197	0,2218	7,921	0,7036	42,36	24,70



Ryc. VIII.9.6(a–d). Analiza fluorescencyjna chromatografów jednoletnich świerków mikoryzowanych (kolejność prążków 4, 6, 7) i niemikoryzowanych (1, 2, 3, 8)

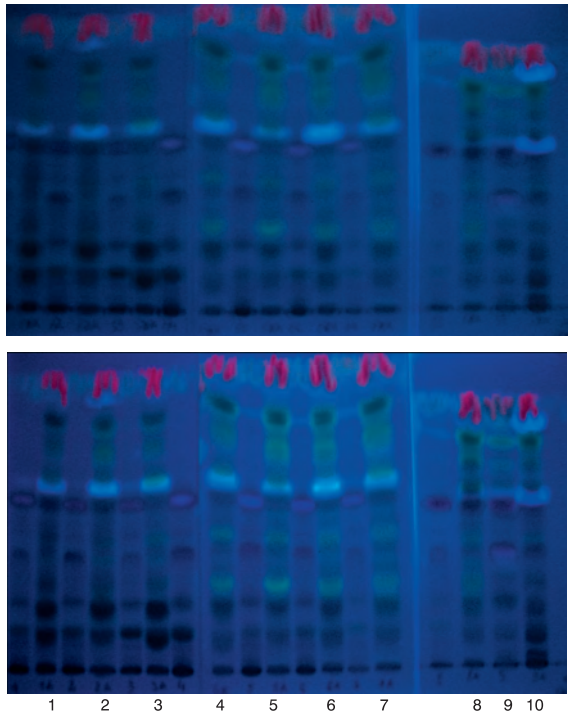


Ryc. VIII.9.7A. Wyniki cienkowarstwowej analizy chromatograficznej ekstraktów metanolowych z ośmiu siewek świerka 149h D-94 (–): 1 – korzenie, 1A – igły; 149h D-94 (+), 121a: 2 – korzenie, 2A – igły, itd., 9 – gałązki świerka pozbawione igieł, 9A – igły świerkowe z wieloletniego drzewa, (–) – bez *Hebeloma crustuliniforme*, (+) – z *Hebeloma crustuliniforme*

Fluorescencja plam (UV) i ich zabarwienie w świetle dziennym wskazuje na obecność w badanych wyciągach związków fenolowych. Obserwowane plamy charakteryzowały się identycznym nasileniem fluorescencji, oprócz plam o wartościach Rf 0,45 (faza ruchoma A), 0,40 (faza ruchoma B) oraz 0,05 (faza ruchoma C). Plamy te charakteryzowały się niebieską fluorescencją (SD) i intensyfikowały zabarwienie po wywołaniu kwasem siarkowym.

Zaobserwowano, że poszczególne próbki w ocenie wizualnej znacznie różniły się intensywnością fluorescencji, co – przy zachowaniu określonych reżimów analitycznych w procesie przygotowywania ekstraktów – wskazuje na różną koncentrację związków fenolowych w poszczególnych siewkach świerka. Przyjmując pięciopunktową skalę intensywności fluorescencji, możemy dla poszczególnych próbek (1–8) określić następujący ranking w grupach pochodzeniowych:

3 – (121a/d – 82) bez mikoryzy 5 pkt,
6 – (121a/d – 82) mikoryzowana 5 pkt,
8 – (149h/d – 94) bez mikoryz 4 pkt
7 – (149h/d – 94) mikoryzowana 3 pkt,



Ryc. VIII.9.7B. Chromatogram obserwowany w świetle UV (365 mm): warunki analizy jak w ryc. VIII.9.7A

5 – (149h/d – 104) mikoryzowana 3 pkt,
4 – (121a/d – 83) mikoryzowana 3 pkt,
2 – (121a/d – 83) bez mikoryzy 2 pkt,
1 – (149h/d – 104) bez mikoryzy 1 pkt.

Wyniki cienkowarstwowej analizy chromatograficznej ekstraktów metanolowych z ośmiu jednorocznych siewek świerka, reprezentujących zróżnicowany poziom pochodzenia genetycznego (wg tabeli VIII.9.3.), pobranych z części korzeniowej i igieł (1–8), a także z gałązek i igieł starszego świerka (9) przedstawia ryc. VIII.9.7A i ryc. VIII.9.7B.

Oceniając chromatogramy (ryc. VIII.9.7A. i VIII.9.7B.) stwierdzić można różne zabarwienie poszczególnych próbek. Niebiesko zabarwione plamy na chromatogramie (Rf 0,6), występujące w częściach nadziemnych badanych próbek (igłach), charakteryzują się zróżnicowanym natężeniem fluorescencji. Zróżnicowanie to wskazuje na ich różną koncentrację w poszczególnych próbkach. Na uwagę zasługuje fakt braku związków fenolowych w korzeniach niezależnie od pochodzenia materiału badawczego.

Dyskusja i wnioski

Analiza wysokości jednolatek świerka, wyhodowanych w szkółce kontenerowej w kontrolowanych warunkach zewnętrznych z zakrytym systemem korzeniowym na substratach torfowych, poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji, wykazała ujawnienie się efektu wzrostowego zabiegu mikoryzacji z grzybem *H. crustuliniforme* dopiero w końcowym etapie cyklu wegetacyjnego w pierwszym roku życia, we wszystkich wariantach pochodzeniowych siewek. Wpływ mikoryzacji sadzonek na wysokość ocenianą we wcześniejszym terminie był istotny zarówno dla całości materiału badawczego jak też w grupach jednorodnych pochodzeniowo (pochodzenie, drzewo doborowe). Analiza wariancji wysokości sadzonek potwierdziła istotność zabiegu sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* w końcowym etapie rocznego cyklu wegetacyjnego (wrzesień) dla $p = 0{,}001$. Ocena efektu sterowanej mikoryzacji świerka w pierwszym roku życia w jednolitych warunkach wzrostu i nawożenia nie potwierdziła wyników uzyskanych przez Szablę (2004), według których zabieg sterowanej mikoryzacji siewek świerka był na tym etapie rozwoju nieistotny.

Ocena zawartości podstawowych składników pokarmowych w igłach nie wykazała w rocznym materiale mikoryzowanym istotnych różnic w poziomie akumulacji i metabolizmie odżywczym w porównaniu z siewkami niemikoryzowanymi. Nie różnicowały badanych populacji również przyjęte proporcje zawartości N i P (Prusinkiewicz i inni 1990, Rachwald 1996). Poziomy składników odżywczych nie przekraczały poziomu krytycznego.

Analiza chromatogramów określiła występowanie, jak też zmienność związków fenolowych w tkankach siewek mikoryzowanych i bez grzyba *H. crustuliniforme*.

Porównanie poziomu intensywności fluorescencji, wskazującego na zróżnicowany poziom związków fenolowych badanych próbek świerka, wykazuje na obecnym etapie badań przewagę efektu genetycznego (pochodzenie, drzewo doborowe) w porównaniu z efektem zabiegu sterowanej mikoryzacji. Ocena zawartości fenoli w igłach i korzeniach siewek potwierdziła ich zróżnicowany poziom w próbkach igieł oraz całkowity brak związków fenolowych w częściach korzeniowych badanych siewek niezależnie od ich pochodzenia.

Według wstępnej oceny związek ten jest prawdopodobnie polifenolem pochodnym podstawowego układu stilbenu. Zgodnie z danymi z piśmiennictwa, związki pochodne stilbenu występują w korzeniach świerka pospolitego (Pan, Lundgren 1995). Jednakże do pełnej oceny jakościowej i ilościowej fenoli w badanych próbkach potrzebne są dalsze badania. Na podstawie dotychczasowych można przedstawić następujące uogólnienia:

1. Analiza jednolatek świerka potwierdziła istotność wpływu genotypu na zróżnicowanie wysokości we wcześniejszym okresie wzrostowym. Efekt zabiegu sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* okazał się natomiast dominujący po zakończonym rocznym cyklu przyrostowym.
2. Ocena poziomu zawartości składników pokarmowych w igłach wskazuje na wyrównany metabolizm pokarmowy siewek w pierwszym roku życia. Różnice w zawartości składników pokarmowych w igłach jednolatek świerka – zróżnico-

wanych pochodzeniowo, mikoryzowanych i niemikoryzowanych – nie miały charakteru dyskryminacyjnego.

3. Wstępna ocena chromatograficzna wykazała mniejszy wpływ zabiegu sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* na poziom zawartości fenoli jednolatek świerka w pierwszym roku życia sadzonek, w porównaniu z wpływem genotypu (pochodzenie, drzewo). Badane chromatografy próbek wykazały zróżnicowane zabarwienie fluorescencyjne plam, potwierdzające występowanie związków fenolowych w wyciągach z części nadziemnych badanych sadzonek świerka oraz brak fenoli w ich systemach korzeniowych.
4. Wyniki potwierdzają możliwość wykorzystania związków fenolowych do oceny jakości mikoryzowanych sadzonek świerka. Jako związki markerowe można uznać w początkowym etapie badań pochodne stilbenu. Badania te powinny jednak zostać powtórzone na starszym materiale sadzeniowym.

10. Dynamika zawartości barwników fotosyntetycznych w siewkach sosny zwyczajnej, szczepionych i nieszczepionych grzybami ektomikoryzowymi

Dr inż. Wojciech Kraj, Katedra Fitopatologii Leśnej, Akademia Rolnicza w Krakowie, Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Wprowadzenie

Znaczenie mikoryzy dla czynności fizjologicznych, podwyższania produktywności roślin i ich odporności na różnego rodzaju niekorzystne zjawiska występujące w środowisku, w którym rośliny funkcjonują, jest trudne do przecenienia. Nawiązanie współżycia między grzybem i rośliną prowadzi do korzystnych zmian podstawowych parametrów fizjologicznych, charakterystycznych dla zmikoryzowanych siewek oraz starszych roślin. Najważniejsze z nich to: gospodarka wodna i mineralna, poziom barwników asymilacyjnych oraz związana z nim intensywność fotosyntezy, metabolizm węglowodanowy, a także zmiany w gospodarce hormonalnej rośliny (Rudawska 1985, Rudawska, Gay 1995).

Jednym z podstawowych skutków rozwoju mikoryzy i zwiększenia intensywności wzrostu roślin jest polepszenie ich gospodarki mineralnej, szczególnie fosforanowej, co pośrednio wpływa na wydajność fotosyntetyczną (Demir 2004, Giri i inni 2003, Vodnik, Gogala 1994). Większa zawartość fosforu u roślin z mikoryzą korzystnie wpływa na intensywność fotosyntezy. Wiadomo, że poziom barwników asymilacyjnych i proces fotosyntezy jest pozytywnie skorelowany z zawartością fosforu ze względu na udział tego pierwiastka w syntezie związków wysokoenergetycznych

i pochodnych fosforanowych, biorących udział w przemianach energetycznych w komórce roślinnej (Demir 2004, Vodnik, Gogala 1994). Gospodarka fosforanowa wraz z natężeniem procesu syntezy związków organicznych odgrywa decydującą rolę w metabolizmie węglowodanowym i dostarczaniu źródeł węgla dla grzybowego partnera symbiozy.

Rośliny z mikoryzą wykazują większą zawartość cytokinin, giberelin i auksyn. Wzrost zawartości tych hormonów, szczególnie cytokinin, powoduje zwiększone stężenie i prawidłową regulację poziomu chlorofilu u roślin (Allen i in. 1980, 1982).

Ze względu na znaczenie poziomu barwników asymilacyjnych dla wydajności fotosyntetycznej u roślin poddanych sterowanej mikoryzacji podjęto badania mające na celu określenie dynamiki zawartości barwników asymilacyjnych w pierwszym roku wzrostu siewek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), szczepionych za pomocą grzybów *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor*.

Materiał badawczy i metody

Badania prowadzono w szkółce kontenerowej Nadleśnictwa Rudy Raciborskie. Użyte w doświadczeniu nasiona sosny zwyczajnej pochodziły z gospodarczego drzewostanu nasiennego Nadleśnictwa Rudy Raciborskie, z mikroregionu 558 i stanowiły jednorodną partię nasion, których zdolność kiełkowania wynosiła 98%, a energia kiełkowania 97%. Siewki sosny hodowane były na substracie torfowym, w pojemnikach V-120 szwedzkiej firmy BCC, w trzech kombinacjach doświadczalnych: z grzybami *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor* oraz bez wprowadzania do substratu grzybów ektomikoryzowych.

Substrat hodowlany został sporządzony na bazie sterylizowanego parą wodną torfu sfagnowego wysokiego, standardowo używanego w szkółce kontenerowej i zawierał 15% wermikulitu. Parametry powietrzne substratu były regulowane przez dodanie 10% perlitu. Poziom kwasowości uregulowano przez dodanie dolomitu w ilości zapewniającej pH przed siewem na poziomie 4,5. Pod koniec okresu wegetacyjnego pH wzrosło do 6,2. Substrat hodowlany wzbogacono nawozem Osmocote Plus (standard) w ilości 3,5 kg/m^3. Zastosowany nawóz był mieszaniną pięciu jego rodzajów o okresie uwalniania składników pokarmowych 3–4, 5–6, 8–9, 12–14 i 16–18 miesięcy, w proporcjach odpowiednio: 2:1:1:1:1.

Użyte w doświadczeniu biopreparaty z grzybem *H. crustuliniforme* oraz *L. bicolor* wytworzono w Laboratorium Mikoryzowym Nadleśnictwa Rudy Raciborskie. Pierwszy z nich zgodnie z polską technologią wytwarzania biopreparatu mikoryzowego, a drugi według licencji francuskiej szkółki Robin. Ilość biopreparatu w substracie hodowlanym, niezależnie od gatunku grzyba, wynosiła 3% objętości substratu.

Nasiona sosny wysiano 25.03.2005, po 3 do każdej celi w pojemnikach, które umieszczono w namiotach foliowych, w kontrolowanych warunkach wilgotności i temperatury. Po wykiełkowaniu nasion nadmiar siewek usunięto, pozostawiając po jednej w każdej celi. Ogółem zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* i *L. bicolor* poddano po 2160 siewek. Taka sama liczba siewek sosny zwyczajnej stanowiła wariant kontrolny, w którym do substratu hodowlane-

go nie dodawano biopreparatu z grzybami ektomikoryzowymi. Pojemniki z siewkami sosny 13.05.2005 wywieziono z namiotu foliowego i umieszczono na polach zraszania, gdzie pozostały do końca sezonu wegetacyjnego. W okresie wegetacyjnym sadzonki nawożono dolistnie łącznie z deszczowaniem, aplikując nawóz „bioEcor" o konduktywności 0,6 mS. Nawożenie dolistne rozpoczęto 27.06.05 i powtarzano siedmiokrotnie w lipcu oraz sześciokrotnie w sierpniu, średnio dwa razy w tygodniu. W połowie czerwca i pod koniec okresu wegetacji przeprowadzono obserwacje stopnia rozwoju i liczby siewek sosny wykazujących obecność mikoryz na korzeniach.

Oznaczanie zawartości barwników fotosyntetycznych

Stężenie barwników fotosyntetycznych (chlorofilu a, chlorofilu b i karotenoidów) oznaczano w igłach siewek. W okresie od maja do listopada 2005 roku (15.05., 13.06., 11.07., 18.08., 14.09., 17.10. i 21.11.) z każdej kombinacji losowo pobierano po 30 siewek, umieszczano na lodzie i przewożono do laboratorium. Pierwszy termin oznaczania stężenia barwników wyznaczono na połowę maja, gdy część nadziemna siewek osiągnęła wielkość odpowiednią do analizy zawartości barwników i suchej masy. W celu oznaczenia suchej masy igieł z każdej siewki pobierano około 100 mg igieł, umieszczano w naczynku wagowym i suszono w temperaturze 70°C (±0,2°C) przez 72 godziny. Resztę igieł z siewki cięto na kawałki o długości około 0,5 cm, umieszczano w probówkach i zamrażano w temperaturze –80°C do czasu oznaczenia zawartości barwników.

Zawartość chlorofilu a i b oraz karotenoidów badano zgodnie z metodyką Lichtenthalera (Lichtenthaler, Wellburn 1985). Około 100 mg zamrożonych igieł homogenizowano za pomocą homogenizatora Pottera (Cole Parmer) przez około 2 minuty w 5 ml 100% acetonu. Homogenat odwirowano w wirówce (Sigma) w temperaturze 4°C, przy szybkości 5000 obr./min, przez 15 minut. Supernatant przelewano do nowej probówki, uzupełniano jego objętość do 5 ml i mierzono absorbancję, używając spektrofotometru firmy Thermo Elektron Corporation przy następujących długościach fali: 470 (A470), 645 (A645), 662 (A662) nm. Stężenie barwników w ekstrakcie obliczono stosując następujące wzory:

$$C_a = 11{,}75 \times A_{662} - 2{,}35 \times A_{645}$$

$$C_b = 18{,}61 \times A_{645} - 3{,}96 \times A_{662}$$

$$C_{x+c} = \frac{1000 \times A_{470} - 2{,}27 \times C_a - 81{,}4 \times C_b}{227}$$

gdzie:
C_a – stężenie chlorofilu a w μg/ml,
C_b – stężenie chlorofilu b μg/ml,
C_{x+c} – stężenie karotenoidów μg/ml.

Wyniki zawartości barwników asymilacyjnych podano w μg/mg suchej masy igieł.

W celu scharakteryzowania tempa zmian zawartości barwników w igłach wprowadzono współczynnik V, który obliczono według wzoru:

$$V = \frac{C_t - C_{t-1}}{d}$$

gdzie:
C_t – zawartość barwnika w danym terminie pomiaru,
C_{t-1} – zawartość barwnika w terminie poprzednim,
d – liczba dni między danym terminem pomiaru a terminem poprzednim.

Statystyczną istotność różnic między zawartością barwników asymilacyjnych w badanych kombinacjach wykazano stosując analizę ANOVA i test F-Snedecora.

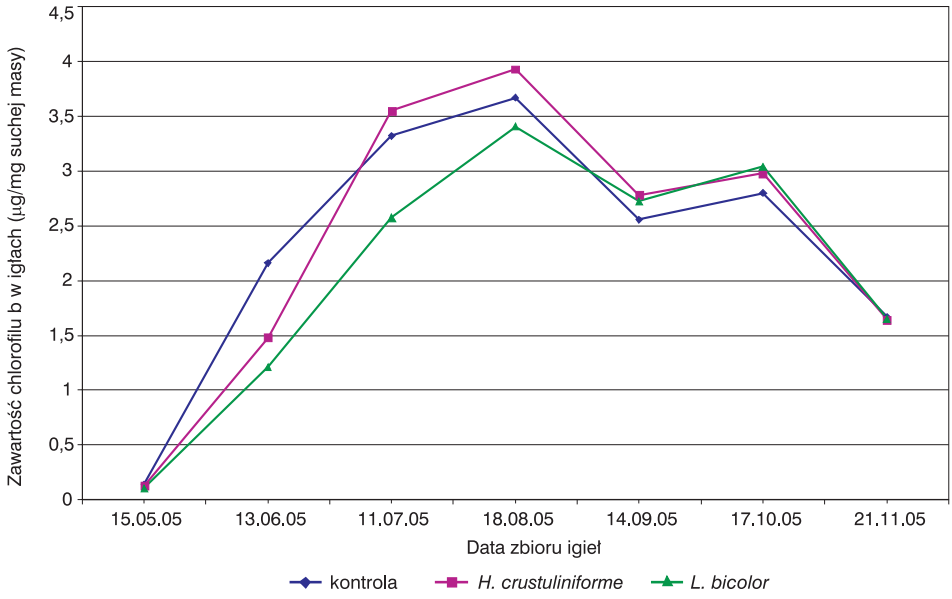
Wyniki

Na podstawie obserwacji korzeni siewek stwierdzono, że pierwsze pojawienie się mikoryzy nastąpiło w połowie czerwca, przy czym w przypadku *L. bicolor* jej nasilenie było nieco mniejsze w porównaniu z *H. crustuliniforme*. W wyniku obserwacji pod koniec okresu wegetacyjnego stwierdzono u wszystkich badanych siewek szczepionych grzybem *H. crustuliniforme* obecność mikoryzy charakterystycznej dla tego gatunku grzyba. Substrat hodowlany obficie przerastały białe strzępki grzybni ekstramatrykalnej. Podobnie w wypadku siewek szczepionych grzybem *L. bicolor* 100% siewek miało mikoryzy charakterystyczne dla tego grzyba. W obu wypadkach trafność identyfikacji potwierdzała również obecność owocników tych grzybów. W kombinacji kontrolnej, w której siewki nie były szczepione grzybami ektomikoryzowymi, oprócz korzeni autotroficznych stwierdzano również mikoryzy pochodzące z infekcji naturalnej zarodnikami grzybów występujących w szkółce leśnej (z infekcji przygodnej). Były to mikoryzy tworzone z grzybem *Thelephora terestris* i rodzaju *Laccaria*, prawdopodobnie *L. laccata*.

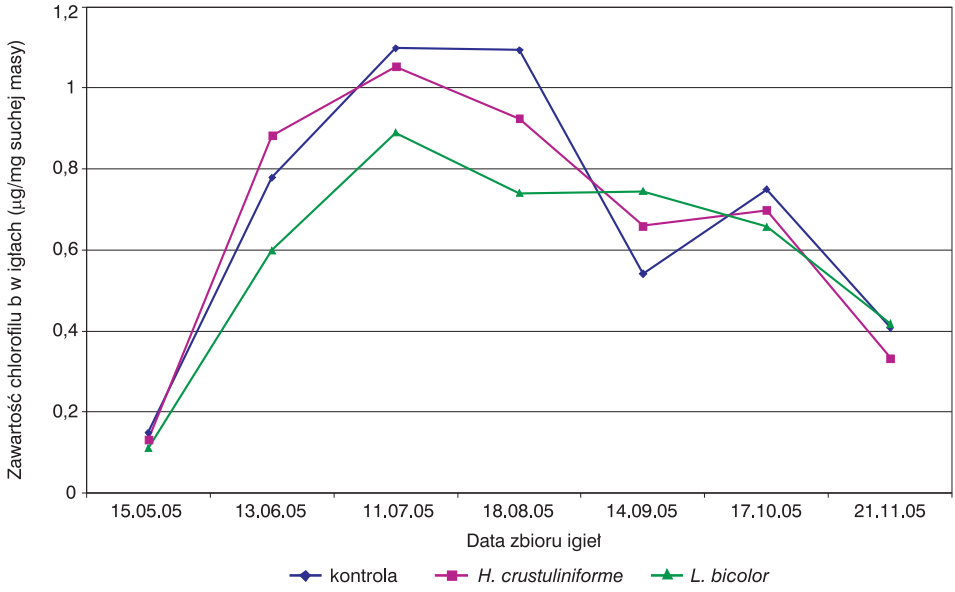
W celu wyznaczenia dynamiki barwników asymilacyjnych w okresie od 15 maja do 21 listopada oznaczono ich zawartość w igłach siewek sosny poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji. Analizowano zawartość chlorofilu a, chlorofilu b oraz karotenoidów, która pozwoliła na określenie profilu zmian zawartości barwników w poszczególnych kombinacjach.

Wyróżniono dwie fazy zmian zawartości barwników asymilacyjnych w okresie wegetacyjnym (ryc. od VIII.10.1. do VIII.10.4., tabela VIII.10.1.):

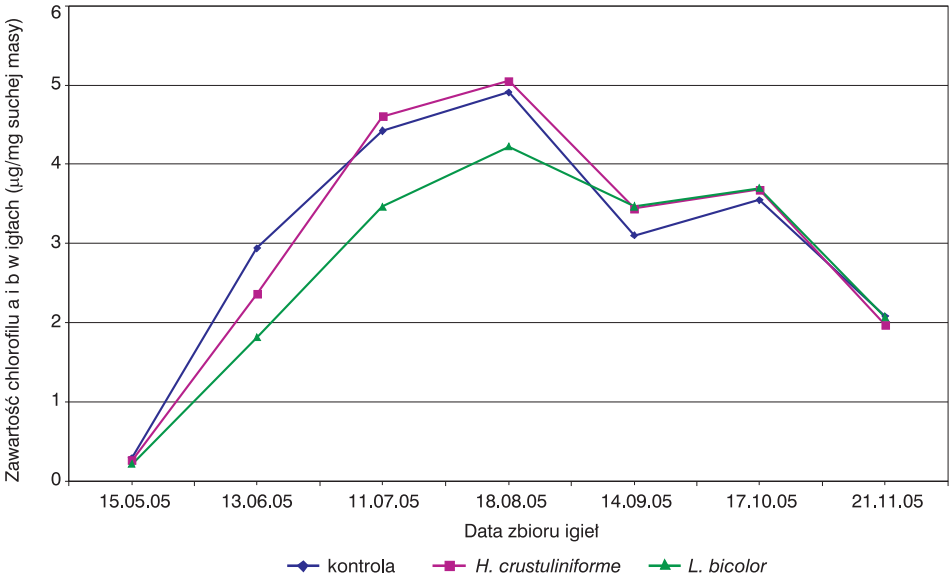
- pierwsza obejmowała przedział od 15 maja do 18 sierpnia i charakteryzowała się intensywnym, ciągłym oraz dosyć wyrównanym wzrostem zawartości barwników – nie dotyczyło to jedynie chlorofilu b, którego zawartość przestała rosnąć już w połowie lipca;
- druga obejmowała początkowo okres powolnego, a następnie szybszego spadku zawartości barwników od 18 sierpnia do 21 listopada (do końca okresu badań).



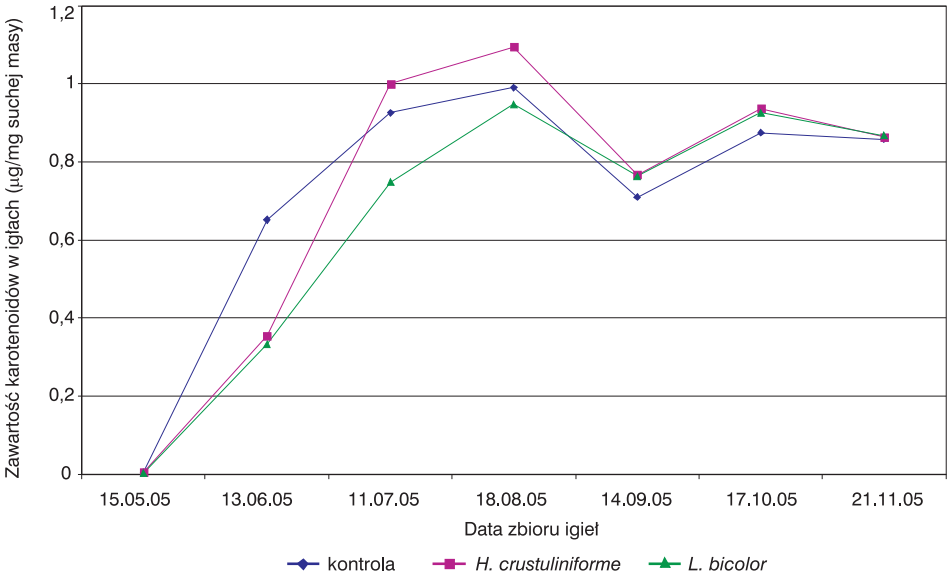
Ryc. VIII.10.1. Dynamika zawartości chlorofilu a w igłach siewek sosny zwyczajnej *(Pinus sylvestris* L.) poddanych i niepoddanych (kontrola) zabiegowi sterowanej mikoryzacji *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor*



Ryc. VIII.10.2. Dynamika zawartości chlorofilu b w igłach siewek sosny zwyczajnej *(Pinus sylvestris* L.) poddanych i niepoddanych (kontrola) zabiegowi sterowanej mikoryzacji *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor*



Ryc. VIII.10.3. Dynamika sumy zawartości chlorofilu a i b w igłach siewek sosny zwyczajnej *(Pinus silvestris* L.) poddanych i niepoddanych (kontrola) zabiegowi sterowanej mikoryzacji *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor*



Ryc. VIII.10.4. Dynamika zawartości karotenoidów w igłach siewek sosny zwyczajnej *(Pinus sylvestris* L.) poddanych i niepoddanych (kontrola) zabiegowi sterowanej mikoryzacji *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor*

Tabela VIII.10.1.
Zawartość chlorofilu a i b, całkowita zawartość chlorofilu oraz karotenoidów w igłach siewek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), poddanych i niepoddanych (kontrola) zabiegowi sterowanej mikoryzacji z grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor* (w µg/mg suchej masy)

Data oznaczenia	Kontrola				*Hebeloma crustuliniforme*				*Laccaria bicolor*			
	Chl_a	Chl_b	Chl_a+Chl_b	C_{x+c}	Chl_a	Chl_b	Chl_a+Chl_b	C_{x+c}	Chl_a	Chl_b	Chl_a+Chl_b	C_{x+c}
15.05.05	0,14	0,15	0,29	0,00	0,13	0,13	0,26	0,00	0,10	0,11	0,21	0,00
13.06.05	2,16	0,78	2,94	0,65	1,48	0,88	2,36	0,35	1,21	0,60	1,81	0,33
11.07.05	3,32	1,10	4,42	0,93	3,55	1,05	4,60	1,00	2,58	0,89	3,47	0,75
18.08.05	3,67	1,09	4,91	0,99	3,93	0,92	5,05	1,09	3,41	0,74	4,23	0,95
14.09.05	2,56	0,54	3,10	0,71	2,78	0,66	3,44	0,77	2,72	0,74	3,47	0,76
17.10.05	2,80	0,75	3,55	0,87	2,98	0,70	3,67	0,94	3,04	0,66	3,70	0,93
21.11.05	1,67	0,41	2,08	0,86	1,64	0,33	1,97	0,86	1,65	0,42	2,07	0,87

Chl_a – chlorofil a, Chl_b – chlorofil b, C_{x+c} – karotenoidy.

Należy zwrócić uwagę, że dla chlorofilu a i karotenoidów maksymalne stężenie barwników w siewkach zostało osiągnięte w połowie sierpnia, niezależnie od rozpatrywanej kombinacji (ryc. VIII.10.1., VIII.10.3., VIII.10.4., tab. VIII.10.1.), natomiast zawartość chlorofilu b była maksymalna w połowie lipca (ryc. VIII.10.2., tab. VIII.10.1.). Po 18 sierpnia następował spadek poziomu wszystkich barwników asymilacyjnych, doprowadzający do osiągnięcia pod koniec listopada – w wypadku chlorofili – wartości stanowiących około 40–50% zawartości maksymalnej z połowy sierpnia i około 85% karotenoidów. Stwierdzono, że najszybszy rozkład chlorofili miał miejsce od 17 października do 21 listopada, w czasie starzenia się igieł (ryc. VIII.10.1., VIII.10.2., VIII.10.3., tab. VIII.10.1.), natomiast w wypadku karotenoidów spadek ich zawartości miał miejsce głównie od połowy sierpnia do połowy września, po czym w okresie jesiennym następowała stabilizacja ich zawartości (ryc. VIII.10.4., tab. VIII.10.1.).

Stwierdzono odmienny przebieg dynamiki barwników asymilacyjnych w zależności od zastosowanego do sterowanej mikoryzacji gatunku grzyba. W wypadku podstawowego barwnika fotosyntetycznego – chlorofilu a, najszybszy przyrost zawartości w igłach następował od połowy maja do połowy lipca (średnio 0,053 µg/dobę/mg suchej masy dla wszystkich kombinacji), po czym trwał jeszcze miesiąc, ale dynamika przyrostu jego zawartości była mniejsza (średnio 0,019 µg/dobę/mg suchej masy dla wszystkich kombinacji) – tabela VIII.10.2.

Stwierdzono również, że na początku okresu wegetacji (15.05–13.06) synteza chlorofilu a najszybciej następowała u siewek sosny w kombinacji kontrolnej (0,07 µg/dobę/mg suchej masy), natomiast wolniej w siewkach poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji za pomocą *H. crustuliniforme* i *L. bicolor* (odpowiednio 0,05 i 0,04 µg/dobę/mg suchej masy). Różnice w szybkości przyrostu zawartości

Tabela VIII.10.2.
Wartości współczynnika V – tempa zmian zawartości chlorofilu a i b, całkowitej zawartości chlorofilu oraz karotenoidów w igłach siewek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), poddanych i niepoddanych (kontrola) zabiegowi sterowanej mikoryzacji z grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor* (µg/dobę/mg suchej masy)

Data oznaczenia	Kontrola				*Hebeloma crustuliniforme*				*Laccaria bicolor*			
	Chl_a	Chl_b	Chl_a+Chl_b	C_{x+c}	Chl_a	Chl_b	Chl_a+Chl_b	C_{x+c}	Chl_a	Chl_b	Chl_a+Chl_b	C_{x+c}
15.05.05												
13.06.05	0,067	0,021	0,088	0,022	0,045	0,025	0,070	0,012	0,037	0,016	0,053	0,011
11.07.05	0,040	0,011	0,051	0,010	0,071	0,006	0,077	0,022	0,047	0,010	0,057	0,014
18.08.05	0,009	–0,000	0,013	0,002	0,010	–0,003	0,012	0,002	0,021	–0,004	0,019	0,005
14.09.05	–0,040	–0,020	–0,065	–0,010	–0,041	–0,009	–0,058	–0,011	–0,025	0,000	–0,027	–0,007
17.10.05	0,007	0,006	0,013	0,005	0,006	0,001	0,007	0,005	0,009	–0,002	0,007	0,005
21.11.05	–0,032	–0,010	–0,042	–0,000	–0,038	–0,011	–0,049	–0,002	–0,040	–0,007	–0,047	–0,002

Chl_a – chlorofil a, Chl_b – chlorofil b, C_{x+c} – karotenoidy.

chlorofilu a między siewkami poddanymi i niepoddanymi zabiegowi sterowanej mikoryzacji były na tyle duże, że już w połowie czerwca siewki niemikoryzowane zawierały o prawie 50% więcej tego barwnika niż siewki mikoryzowane *H. crustuliniforme* i o prawie 80% więcej niż siewki mikoryzowane grzybem *L. bicolor* (ryc. VIII.10.1., tab. VIII.10.1.). Niezależnie od zastosowanego do sterowanej mikoryzacji grzyba przez pierwsze prawie dwa miesiące wegetacji zawartość chlorofilu a w siewkach z mikoryzą była istotnie mniejsza niż w siewkach bez mikoryzy. Należy jednak zauważyć, że po połowie czerwca następowało różnicowanie tempa przyrostu chlorofilu a w poszczególnych kombinacjach. Wprawdzie jeszcze przez pewien czas zawartość chlorofilu a była większa w siewkach bez mikoryzy, ale siewki szczepione grzybem *H. crustuliniforme* od połowy czerwca do połowy lipca szybko „nadrabiały niedobory" tego barwnika, tak że już w połowie lipca zawierały go więcej niż siewki kontrolne, a w połowie sierpnia osiągały maksimum jego zawartości (3,93 µg/mg suchej masy), przewyższając o 7% zawartość chlorofilu a, stwierdzaną w siewkach niemikoryzowanych (ryc. VIII.10.1., tabela VIII.10.1.).

Stwierdzono, że zawartość chlorofilu a w siewkach poddanych sterowanej mikoryzacji grzybem *L. bicolor* przez całą pierwszą połowę okresu wegetacji (15.05.–18.08.) była istotnie mniejsza w porównaniu zarówno z siewkami niepoddanymi zabiegowi sterowanej mikoryzacji jak i siewkami szczepionymi grzybem *H. crustuliniforme*. Szczególnie było to widoczne od początku lipca (gdy następował bardzo duży przyrost zawartości chlorofilu a w siewkach szczepionych grzybem *H. crustuliniforme*) do połowy sierpnia (ryc. VIII.10.1., tabela VIII.10.1.).

Tempo spadku zawartości chlorofilu a, mające miejsce od połowy sierpnia, uzależnione było od rozpatrywanej kombinacji. Do połowy września spadek zawartości barwnika najwolniej następował u siewek szczepionych grzybem *L. bicolor*

(0,025 μg/dobę/mg suchej masy), natomiast znacznie szybciej u siewek niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji i u siewek mikoryzowanych *H. crustuliniforme* (średnio 0,04 μg/dobę/mg suchej masy) (tabela VIII.10.2.). Należy podkreślić, że dopiero na przełomie sierpnia i września zawartość chlorofilu a u siewek mikoryzowanych *L. bicolor* była większa (o 6%) niż zawartość tego barwnika u siewek niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji, przy czym nawet wtedy była mniejsza niż w przypadku siewek mikoryzowanych *H. crustuliniforme*. Oznacza to, że mikoryzowanie siewek sosny za pomocą *L. bicolor* ma w pierwszej połowie okresu wegetacyjnego niekorzystny wpływ na zawartość chlorofilu a w igłach, natomiast od połowy sierpnia grzyb działa pozytywnie, ale w niewielkim stopniu, na poziom tego barwnika (ryc. VIII.10.1., tabela VIII.10.1.).

W okresie starzenia się igieł, w jesieni, tempo rozkładu chlorofilu a było istotnie większe (o około 20%) w wypadku siewek mikoryzowanych w porównaniu z siewkami niepoddanymi temu zabiegowi. Powodowało to, że zawartość barwnika pod koniec okresu wegetacji (21 listopada) była prawie całkowicie wyrównana we wszystkich kombinacjach.

Nieco inny profil przebiegu zmian zawartości w igłach stwierdzono w wypadku chlorofilu b. Od początku okresu wegetacji do początku lipca największą zawartością tego barwnika charakteryzowały się siewki szczepione grzybem *H. crustuliniforme*. Mniej chlorofilu b zawierały siewki niepoddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji, które jednak w połowie lipca dorównywały pod względem zawartości tego barwnika siewkom mikoryzowanym *H. crustuliniforme*. Na uwagę zasługuje fakt, że – podobnie jak w przypadku chlorofilu a – znacznie mniej barwnika zawierały siewki mikoryzowane *L. bicolor*. Stan ten utrzymywał się nawet w początkowym okresie spadku zawartości barwnika, tj. w połowie sierpnia.

Analiza zmian zawartości sumy chlorofilu a i b w igłach sosny (ryc. VIII.10.3., tabela VIII.10.1.) wykazała, że profil tych zmian był bardzo podobny do profilu dla chlorofilu a, zarówno jeśli chodzi o tempo zmian zawartości barwników poszczególnych kombinacji jak i datę osiągania przez nie wartości maksymalnej. Należy jednak zaznaczyć, że występowały niewielkie różnice w dynamice zawartości barwników (głównie od połowy sierpnia do końca listopada) ze względu na dużą zmienność zawartości chlorofilu b. Profil krzywych zawartości sumy chlorofili na początku badanego okresu wegetacyjnego był identyczny z profilem sporządzonym dla chlorofilu a.

Dynamika zawartości karotenoidów w igłach badanych siewek od początku okresu wegetacji aż do połowy października była bardzo podobna do profilu zmian zawartości otrzymanego dla chlorofilu a, zarówno co do tempa zmian jak i zależności między poszczególnymi kombinacjami. Istotna różnica w przebiegu zmian zawartości chlorofili i karotenoidów polegała jedynie na minimalnym rozkładzie lub jego braku w okresie późnojesiennym (od 17.10. do 21.11.), gdy następował spadek zawartości barwników chlorofilowych.

Dyskusja

Zastosowanie sterowanej mikoryzacji przy użyciu biopreparatów z grzybem *H. crustuliniforme* oraz *L. bicolor*, wytworzonych w Laboratorium Mikoryzowym

Nadleśnictwa Rudy Raciborskie, umożliwiło rozwój mikoryz na systemie korzeniowym siewek sosny zwyczajnej. Pierwsze objawy symbiozy obu badanych gatunków grzybów na wybranych losowo siewkach obserwowano koło połowy czerwca. Biorąc pod uwagę fakt, że nasiona sosny wysiano 25 marca, początkowy okres rozwoju symbiozy trwał od jednego (*H. crustuliniforme*) do dwóch (*L. bicolor*) miesięcy. Jest to zgodne z badaniami Pachlewskiego i Pachlewskiej (1974), którzy stwierdzili, że pierwsze objawy rozwijającej się mikoryzy pojawiają się szybciej w przypadku *Hebeloma* (po około 1 miesiącu) niż w przypadku *Laccaria* (po około 2 miesiącach). Prawidłowy rozwój mikoryzy w czasie dalszego wzrostu siewek potwierdziły w końcu okresu wegetacji obserwacje obecności charakterystycznej dla badanych gatunków form morfologicznych mikoryz, grzybni i owocników.

Analizując rozwój mikoryz na korzeniach badanych siewek sosny należy podkreślić fakt, że doświadczenie przeprowadzono w szkółce kontenerowej, otoczonej drzewostanem sosnowym. Z tego wynika, stwierdzona pod koniec okresu wegetacji, obecność mikoryz z udziałem grzybów *T. terestris* i *L. laccata*, powstałych na skutek naturalnej infekcji zarodnikami tych grzybów.

Na podstawie analizy profili zmian zawartości barwników asymilacyjnych w igłach mikoryzowanych siewek sosny zwyczajnej stwierdzono, że stosowane do sterowanej mikoryzacji gatunki grzybów przyczyniają się do zróżnicowanego przebiegu zawartości chlorofili i karotenoidów w badanych siewkach, jeśli chodzi o dynamikę tych zmian, a także maksymalną zawartość barwników. W wypadku wszystkich barwników asymilacyjnych (chlorofilu a, chlorofilu b, karotenoidów) *L. bicolor* w ujemny sposób (w stosunku do siewek niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji) wpływała na ich poziom w igłach w okresie od maja do września. Dopiero w połowie września siewki szczepione *L. bicolor* miały więcej barwników asymilacyjnych (ryc. od VIII.10.1. do VIII.10.4., tabela VIII.10.1.). Korzystniej natomiast na zawartość chlorofili i karotenoidów wpływała *H. crustuliniforme*, ponieważ siewki mikoryzowane tym grzybem już w połowie lipca wykazywały większą zawartość barwników (z wyjątkiem chlorofilu b) i utrzymywały tę przewagę praktycznie do końca doświadczenia. Mniej korzystny wpływ *L. bicolor* na poziom barwników można częściowo wytłumaczyć nieco późniejszym i wolniejszym tempem rozwoju mikoryzy powodowanej tym grzybem w porównaniu z *H. crustuliniforme* (Pachlewski, Pachlewska 1974). Według tych autorów masowe pojawianie się mikoryzy w wypadku obu gatunków grzybów obserwuje się jesienią i na początku wiosny, czym najprawdopodobniej spowodowana jest większa zawartość barwników asymilacyjnych począwszy od połowy września. Obserwowane w doświadczeniu wyrównanie zawartości barwników pomiędzy poddanymi i niepoddanymi zabiegowi sterowanej mikoryzacji siewkami sosny, występujące pod koniec listopada, po pierwszych przymrozkach, spowodowane było prawdopodobnie przede wszystkim procesami starzenia się igieł, a nie oddziaływaniem grzybów mikoryzowych na regulację bilansu barwników asymilacyjnych.

Większa zawartość chlorofilu u roślin z dobrze rozwiniętą mikoryzą jest powszechnie znanym i bardzo korzystnym efektem współżycia roślin wyższych z grzybami. Wielu autorów podaje, że – zależnie od warunków wzrostu i gatunków grzybów mikoryzowych – rośliny takie zawierają od kilku do nawet kilkudziesięciu

procent więcej chlorofilu w porównaniu z roślinami niewykazującymi mikoryzy (Davies i in. 1993, Demir 2004, Gemma i in. 1997, Mathur, Vyas 1995, Morte i inni 2000, Song 2005).

Uzyskane w doświadczeniu wyniki pozwalające stwierdzić, że w początkowej fazie rozwoju mikoryzy poziom barwników asymilacyjnych (z wyjątkiem chlorofilu b u siewek sosny mikoryzowanych *H. crustuliniforme*) u niemikoryzowanych siewek (kontrola) jest znacznie większy w porównaniu z roślinami mikoryzowanymi, został potwierdzony przez wielu autorów. Na przykład Vodnik (1994) stwierdził, że jednoroczne siewki świerka mikoryzowane *L. laccata*, *Pisolithus tinctorius* i *Lactarius piperatus*, niezależnie od gatunku grzyba powodującego mikoryzę, miały mniejszy poziom barwników asymilacyjnych w maju, natomiast znacznie większy (o około 4 razy) we wrześniu w porównaniu z siewkami niemikoryzowanymi. Correa (2006) natomiast stwierdził, że w wypadku inokulacji starszych siewek *Pinus pinaster* grzybem *P. tinctorius* negatywny wpływ mikoryzy w okresie jej rozwoju na poziom barwników i natężenie fotosyntezy nie występował, jednak proces rozwoju mikoryzy trwał dłużej. Autor stwierdził, że szybsze nawiązywanie symbiozy występowało u młodszych siewek ze względu na mniejszy i łatwiej dostępny system korzeniowy. Przyczyniało się to jednak do większego ujemnego wpływu mikoryzy na wzrost roślin w początkowym jej stadium, w tym na poziom chlorofilu i natężenie fotosyntezy.

W badaniach zastosowano gatunki grzybów mikoryzowych, u których proces nawiązywania symbiozy następuje stosunkowo szybko, czym należałoby tłumaczyć stwierdzenie szczególnie dużej przewagi zawartości barwników asymilacyjnych u niemikoryzowanych siewek w porównaniu z siewkami mikoryzowanymi *L. bicolor* i *H. crustuliniforme* od końca maja do początków lipca. Większą zawartość chlorofili i karotenoidów u mikoryzowanych siewek w jesieni można wyjaśnić zmienioną gospodarką hormonalną, regulującą bilans barwników asymilacyjnych, jak również bardziej wydajnym pobieraniem jonów fosforanowych i większą jego zawartością u siewek z rozwiniętą mikoryzą.

Wielu autorów stwierdza, że rośliny współżyjące z grzybami mikoryzowymi wykazują często większą zawartość cytokinin i giberelin, wynikającą zarówno ze zwiększonej produkcji tych hormonów przez niektóre grzyby mikoryzowe, jak i ze względu na wpływ mikoryzy na proces syntezy i poziom cytokinin w tkankach mikoryzowanych roślin (Kraigher, David 1994, Song 2005). Zwiększony poziom syntezy hormonów, szczególnie cytokinin, przyczynia się do większej ich zawartości w igłach i liściach roślin współżyjących z grzybami, a tym samym ma pozytywne znaczenie dla lepszej regulacji poziomu chlorofilu (Allen i inni 1980, 1982). Według Kraighera (1994) zawartość cytokinin, pochodnych izopentenyloadeniny, w igłach siewek świerka po inokulacji grzybem *L. bicolor* wzrosła dwukrotnie w porównaniu z siewkami niemikoryzowanymi. Autor zwraca uwagę na indukujący wpływ obecności korzeni siewek w podłożu na zwiększoną produkcję cytokinin przez grzyby mikoryzowe. Również Liu i inni (2000) w badaniach kukurydzy i bawełny stwierdzają, że inokulacja siewek grzybami mikoryzowymi istotnie zwiększa zawartość zeatyny, kwasu indolilooctowego (IAA) i giberelin, przy jednoczesnym obniżaniu poziomu kwasu abscysynowego (ABA) w korzeniach i liściach. Prowadzi to

do zahamowania rozkładu chlorofilu i zwiększenia stężenia barwników asymilacyjnych w zielonych częściach roślin.

Istotne znaczenie dla zawartości barwników asymilacyjnych ma również fakt, że mikoryza zmienia efektywność pobierania i wykorzystanie jonów fosforanowych przez rośliny. Grzyby mikoryzowe ułatwiają pobieranie fosforu i zwiększają jego zawartość w chloroplastach. Wynikające z tego lepsze odżywienie mineralne roślin prowadzi do zwiększenia zawartości barwników asymilacyjnych w zielonych częściach roślin i w ten sposób pośrednio wpływa na zwiększenie intensywności fotosyntezy. Wielu autorów stwierdziło, że intensywność fotosyntezy jako jednego z istotnych procesów energetycznych w komórkach roślinnych jest pozytywnie skorelowana z zawartością fosforu w roślinach (Demir 2004, Corrêa i inni 2006, Paradi i inni 2003).

11. Aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy zewnętrznej powierzchni korzeni siewek sosny zwyczajnej, szczepionych i nieszczepionych grzybami ektomikoryzowymi

Dr hab. inż. Kazimierz Januszek, prof. AR
i mgr inż. Ewa Błońska,
Katedra Gleboznawstwa Leśnego Akademii Rolniczej
w Krakowie, Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Wprowadzenie

Nazwą fosfatazy obejmowana jest szeroka grupa enzymów katalizujących hydrolizę zarówno estrów jak i bezwodników kwasu ortofosforowego. Komisja Enzymowa Międzynarodowej Unii Biochemicznej enzymy te zaklasyfikowała do 7 głównych grup (Enzyme Nomenclature 1992). Zawierają one hydrolazy monoestru fosforowego (EC 3.1.3), hydrolazy diestru fosforowego (EC 3.1.4), hydrolazy monoestru trifosforowego (EC 3.1.5), hydrolazy monoestru difosforowego (EC 3.1.7), hydrolazy triestru fosforowego (EC 3.1.8), enzymy działające na bezwodniki zawierające fosfor (EC 3.6.1) oraz enzymy działające na wiązanie P-N, tak jak fosfoamidaza – EC 3.9.1.1 (Tabatabai 1982). Malcolm (1983) do fosfataz włącza również enzymy katalizujące hydrolizę pirofosforanów, metafosforanów i nieorganicznych polifosforanów. Fosfomonoesterazy, kwaśna fosfataza (fosfohydrolaza monoestru ortofosforowego EC 3.1.3.2) i fosfataza alkaliczna (fosfohydrolaza monoestru ortofosforowego EC 3.1.3.1) są intensywnie badane w glebie, ponieważ katalizują hydrolizę fosfomonoestrów do nieorganicznego fosforu, który może być pobierany przez rośliny. Różnica między kwaśną i alkaliczną fosfomonoesterazą jest oparta na zakresie pH, w którym te enzymy są aktywne, tj. odpowiednio: 4–6 i 9–11 (Malcolm 1983).

Aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy została stwierdzona u szerokiego zakresu mikroorganizmów i roślin wyższych (Alexander, Hardy 1981, Nakaz i inni 1987, Speir, Ross 1978, Tarafdar, Claassen 1988). Grzyby ektomikoryzowe w czystych kulturach (Ho, Zak 1979) i odcinane ektomikoryzowe korzenie *Fagus sylvatica* okazały dużą aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy (Bartlett, Lewis 1973, Wiliamson, Aleksander 1975, cyt. za Aleksander, Hardy 1981). Poziom aktywności kwaśnej fosfatazy jest zróżnicowany odnośnie gatunku (Ho, Zak 1979) jak i ekotypu grzybów mikoryzowych (Theodorou 1968, cyt. za Trappe 1977). Stwierdzono również istotne zróżnicowanie aktywności kwaśnej fosfatazy powierzchni typów morfologicznych ektomikoryz 12-letnich sosen (*Pinus elliottii*), rosnących na plantacjach na terenie północnej Florydy (Sylvia 2000). Bardziej obficie występujące morfotypy jak *Cenococum* i *Thelephora* wykazały małą aktywność kwaśnej fosfatazy, a rzadziej występujące (White Rhiz i Type I) znacznie większą aktywność tego enzymu. Te mniej obfite morfotypy mogą odgrywać istotną rolę w trwałym żywieniu fosforem drzew sosny w glebach, gdzie mineralizacja odgrywa istotną rolę w produkcyjności siedliska (Polglase i inni 1992, cyt. za Sylvia 2000). Aktywność kwaśnej fosfatazy grzybów mikoryzowych w obecności dużych, nienaturalnych koncentracji glinu ulegała podwyższeniu lub obniżeniu w zależności od gatunku i szczepu grzyba mikoryzowego (Kieliszewka-Rokicka i inni 1994). Kwaśna fosfataza jest głównie lokalizowana w mufce grzybniowej i tam mocno związana (Wiliamson, Aleksander 1975, cyt. za Speir i Ross 1978). W hodowanych na pożywkach z zawartością fitynianu żelaza grzybach mikoryzowych *Paxillus involutus*, *Suillus greville* oraz dwóch niezidetyfikowanych grzybach z klasy *Basidiomycetes* wydzielano frakcje fosfataz zlokalizowane w ścianach, błonach komórkowych, cytoplazmie i pozakomórkowo (McHinney, Mitchell 1993). Największą aktywność kwaśnej fosfatazy stwierdzono we frakcjach związanych w ścianach i błonach komórkowych. Po zastosowaniu różnych metod do uwolnienia fosfataz związanych w ścianach komórkowych, dużą część (49–88%) stanowiła frakcja mocno związana. Wszystkie frakcje, z wyjątkiem pozakomórkowej, okazały optimum pH w zakresie 4,0–6,5, które mieściło się w zakresie pH gleb torfowych i piaszczystych w Irlandii, z których zostały wyizolowane badane grzyby (McElhinney, Mitchell 1993). Dahm i Strzelczyk (1995) stwierdzili, że *Hebeloma crustuliniforme* i *Pisolithus tinctorius*, ale nie *Laccaria laccata*, produkowały obojętną i kwaśną proteinazę. Redlak i inni (2001) stwierdzili dwukrotnie większą aktywność endoglukanazy w ektomikoryzowym grzybie *H. crustuliniforme* niż w grzybach ektendomikoryzowych. Dighton (1983) stwierdził większą aktywność fosfataz w szerokim zakresie grzybów mikoryzowych, niż w dwóch pospolitych grzybach rozkładających ściołę.

Kwaśna fosfataza grzybów mikoryzowych ma szeroką specyficzność i dogodność w rozkładzie fosforanów organicznych do przyswajalnych form fosforu (Bowen 1973, Dighton 1991, cyt. za McElhinney i Mitchell 1993). Według Trappe (1977) aktywność kwaśnej fosfatazy określa potencjalną zdolność grzybów mikoryzowych do pobierania fosforu ze środowiska. Grzyby ektomikoryzowe mają perfekcyjny system enzymatyczny do zapewnienia transportu fosforu do tkanek rośliny gospodarza (Rejšek 1991). Aktywność kwaśnej fosfatazy grzybów jest ważną cechą

przy selekcji symbiontów grzybowych do inokulacji siewek w szkółkach leśnych (Trappe 1977).

Grzyby mikoryzowe oddziałują na wzrost sadzonek nie tylko poprzez zwiększenie powierzchni absorpcyjnej składników pokarmowych (przez zwiększenie powierzchni zewnętrznej grzybni), ale także zwiększenie mineralizacji organicznych związków azotu (Sarjala i Potila 2005). Spośród użytych grzybów: *Lactarius rufus*, *Piloderma croceum* i trzech różnych szczepów (I, II i III) *Sulillus variegatus* do inokulacji sadzonek sosny na glebach torfowych, *S. variegatus* I miał największy pozytywny wpływ na wzrost sadzonek oraz tempo mineralizacji azotu (Sarjala, Potila 2005).

Celem pracy było zbadanie aktywności kwaśnej fosfomonoesterazy na powierzchni odcinanych korzeni mikoryzowych siewek sosny pospolitej, wyhodowanych na podłożu substratu torfowego z dodatkiem biopreparatu z grzybem *H. crustuliniforme* lub *L. bicolor* oraz bez użycia biopreparatu, w zespolonych pojemnikach typu Hico V-120, na terenie szkółki kontenerowej w Nędzy, Nadleśnictwa Rudy Raciborskie.

Materiał badawczy i metody

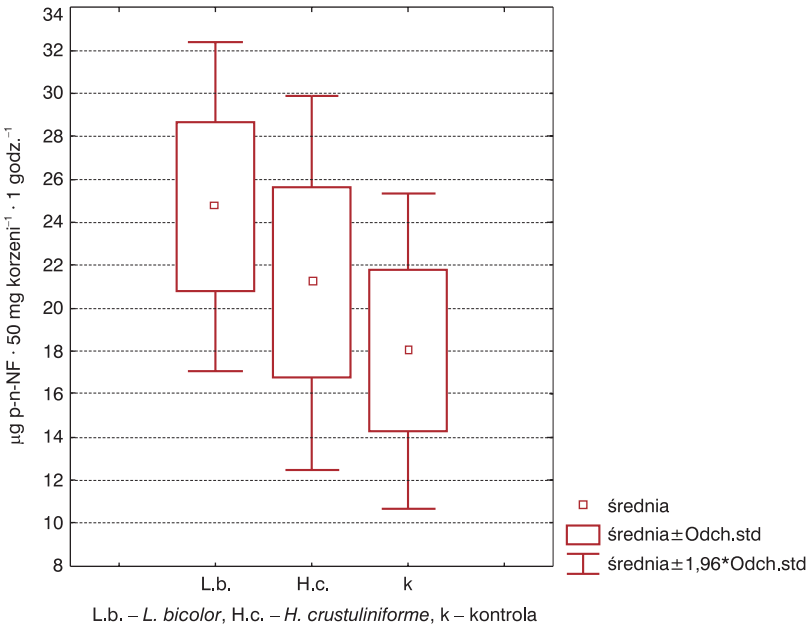
Materiał badawczy stanowiły te same siewki sosny zwyczajnej, których igły pobierane były przez Kraja do badania dynamiki zawartości barwników fotosyntetycznych (Kraj 2007 L.c.). Do badań pobrano 17 października 2005 r., w sposób losowy, po 30 siewek sosny zwyczajnej, poddanych sterowanej mikoryzacji biopreparatem z grzybem *H. crustuliniforme* i *L. bicolor* oraz niepoddanych temu zabiegowi. Łącznie do badań pobrano 90 siewek. Oczyszczano je z substratu torfowego przez płukanie w wodzie bieżącej, a następnie w destylowanej. Po opłukaniu w wodzie destylowanej, końcowe partie systemów korzeniowych były osuszane delikatnie przy użyciu bibuły filtracyjnej. Do oznaczenia aktywności kwaśnej fosfomonoesterazy metodą opisaną przez Rejška (1991) pobierano ściśle określone naważki (około 50 mg) końcowych, zgrubiałych (mikoryzowych) partii korzeni z każdej siewki. Naważki korzeni umieszczano w kolbach Erlenmayera i zalewano roztworem p-nitrofenylofosforanu sodu w buforze bursztynowo-boranowym o pH 4,8. Następnie zawartość kolb inkubowano w temperaturze 25°C przez jedną godzinę, po czym mieszaninę sączono i natychmiast zalewano 1M roztworem KOH. W ekstrakcie oznaczano kolorymetrycznie zawartość uwolnionego p-nitrofenolu (p-NF). Aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy wyrażano w μg p-NF 50 mg korzeni^{-1} 1 godz^{-1}, przeliczając ściśle ilość uwolnionego p-NF na 50 mg korzeni mikoryzowych. Porównano rozkłady aktywności kwaśnej fosfomonoesterazy w badanych grupach siewek oraz ich zróżnicowanie, stosując analizę wariancji oraz test NIR z wykorzystaniem pakietu Statistica ver. 6.

Omówienie wyników badań

We wszystkich badanych grupach siewek oznaczone aktywności kwaśnej fosfomonoesterazy korzeni mikoryzowych wykazały rozkład normalny, a analiza wariancji i test NIR – statystycznie istotne zróżnicowanie badanych aktywności. Naj-

większą aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy stwierdzono na powierzchni korzeni siewek mikoryzowanych grzybem *L. bicolor*, istotnie mniejszą na korzeniach siewek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme*, a najmniejszą na korzeniach siewek niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji, ze średnimi wartościami odpowiednio: 24,73 oraz 21,20 i 18,02 µg p-NF 50 mg korzeni^{-1} 1 godz^{-1} (ryc. VIII.11.1.).

Z badań Ho i Zak (1979) wynika, że poszczególne gatunki grzybów ektomikoryzowych różnią się wydajnością wzrostu i efektywnością w absorpcji fosforu. Grzyb *H. crustuliniforme* w porównaniu z *L. laccata* w kulturach płynnych wykazał słabsze tempo wzrostu, ale większą aktywność kwaśnej fosfatazy w przeliczeniu na jednostkę suchej masy. Systemy korzeniowe sadzonek sosny *Pinus contorta* mikoryzowane *H. crustuliniforme*, *Suillus luteus* i *Amanita muscaria* tylko w przypadku *H. crustuliniforme* istotnie redukowały produkcję fosfatazy wraz z wzrastającą koncentracją ortofosforanów w roztworach kultur perlitowych (Dighton 1983). Ektomikoryzowy grzyb *H. arenosa* rosnący na płynnych pożywkach z różną koncentracją fosforu (KH_2PO_4) wykazał taką samą aktywność kwaśnej fosfatazy oraz minimalny wzrost przy braku fosforu (MacFall i in. 1991). Korzenie mikoryzowe sadzonek sosny (*P. resinosa*) rosnącej na piasku gliniastym z różną ilością superfosfatu i szczepionej ektomikoryzowym grzybem *H. arenosa* miały większą aktyw-



Ryc. VIII.11.1. Aktywność kwaśnej fosfatazy zewnętrznej powierzchni korzeni siewek sosny zwyczajnej poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor* w µg p-nitrofenolu/50 mg korzeni/1 godz.

ność powierzchniowo dostępnej kwaśnej fosfatazy niż korzenie sadzonek nieszczepionych. Przy największej dawce zastosowanego fosforu (136 mg P/kg gleby ≈ około 400 kg P/ha) kolonizacja korzeni przez *H. arenosa* była kompletnie zahamowana, a inokulowane korzenie były niemikoryzowe. Autorzy nie stwierdzili istotnej różnicy w aktywności powierzchniowo dostępnej kwaśnej fosfatazy korzeni sadzonek szczepionych i nieszczepionych grzybem *H. arenosa* przy zastosowanej dawce fosforu w ilości 68 mg P/kg gleby ≈ 200 kg P/ha (MacFall i in. 1991).

Z badań przeprowadzonych w warunkach sterylnych przez Baxter i Dighton (2005) wynika, że biomasa ogólna oraz zawartość azotu i fosforu gradientowo mikoryzowanych sadzonek *Pinus rigida* nie była lub była słabo zróżnicowana w środowisku fosforanów nieorganicznych, zaś istotnie wzrosła i była bardziej zróżnicowana w środowisku fosforanów organicznych w porównaniu z biomasą sadzonek niemikoryzowanych. Aktywność fosfataz mikoryzowanych sadzonek jednym lub dwoma gatunkami grzybów była istotnie większa w środowisku fosforanów organicznych niż nieorganicznych (Baxter, Dighton 2005).

W naszych badaniach do przygotowanego przed wysiewem nasion podłoża dodano 3 kg nawozu Osmocote Plus (standard) na 1 m^3, co w przeliczeniu na 1 ha daje dawkę około 90 kg fosforu w czystym składniku, z możliwością uwolnienia P w ciągu 3–4 miesięcy. Dodatkowo od 27 czerwca nawożono siewki dolistnie kompleksowym nawozem „bioEcor", z którym również wnoszono określoną dawkę fosforu łatwo przyswajalnego (Kraj 2007 L.c.). Dawka ta była trudna do wyliczenia, ze względu na nieznaną przez autorów koncentrację P w zastosowanym nawożeniu dolistnym. Łącznie wniesiona dawka fosforu mogła przyczynić się do zahamowania syntezy fosfataz, szczególnie przez grzyb z rodzaju *Hebeloma*, którego rozwój jest uzależniony od koncentracji fosforu w podłożu (MacFall, Slack 1991). Obfite nawożenie mineralne, w tym fosforowe, mogło przyczynić się do zahamowania pełnej zdolności syntezy kwaśnej fosfatazy przez grzyb *H. crustuliniforme*.

Według badań McElhinney i Mitchela (1993) zakres optymalnych wartości pH dla aktywności kwaśnej fosfatazy grzybów mikoryzowych jest zróżnicowany, a przy wartości pH powyżej 6 aktywność kwaśnej fosfatzy badanych grzybów mikoryzowych istotnie się obniża. W naszych badaniach zmiana odczynu podłoża w trakcie rozwoju siewek (od 4,5 do 6,2) mogła również wpłynąć na aktywność kwaśnej fosfatazy powierzchni korzeni siewek. W związku z tym należy zachować rozwagę w porównywaniu aktywności fosfataz między różnymi gatunkami grzybów, ponieważ zróżnicowany poziom ortofosforanów w podłożu wzrostowym siewek oraz zróżnicowany odczyn warunkują zarówno stopień syntezy fosfataz u grzybów mikoryzowych jak i ich aktywność. W selekcji grzybów mikoryzowych do inokulacji siewek, w aspekcie żywieniowym, należałoby uwzględnić, oprócz niekwestionowanej zdolności do mineralizacji organicznych związków fosforu, zróżnicowaną zdolność gatunków grzybów mikoryzowych do mineralizacji organicznych związków azotu jak i stopnia wietrzenia glinokrzemianów, z powodu zróżnicowanych zdolności wydzielania do strefy ryzosferowej kwasów organicznych (Wallander, Wickman 1999). W procesie mikoryzacji siewek, dla zapewnienia optymalnego rozwoju grzybów mikoryzowych, można oczekiwać lepszych efektów stosując nawożenie organiczne lub organiczne formy nawozów azotowo-fosforowych.

12. Charakterystyka morfologiczno-anatomiczna ektomikoryz sadzonek różnych gatunków drzew leśnych szczepionych biopreparatem z grzybem *Hebeloma crustuliniforme*

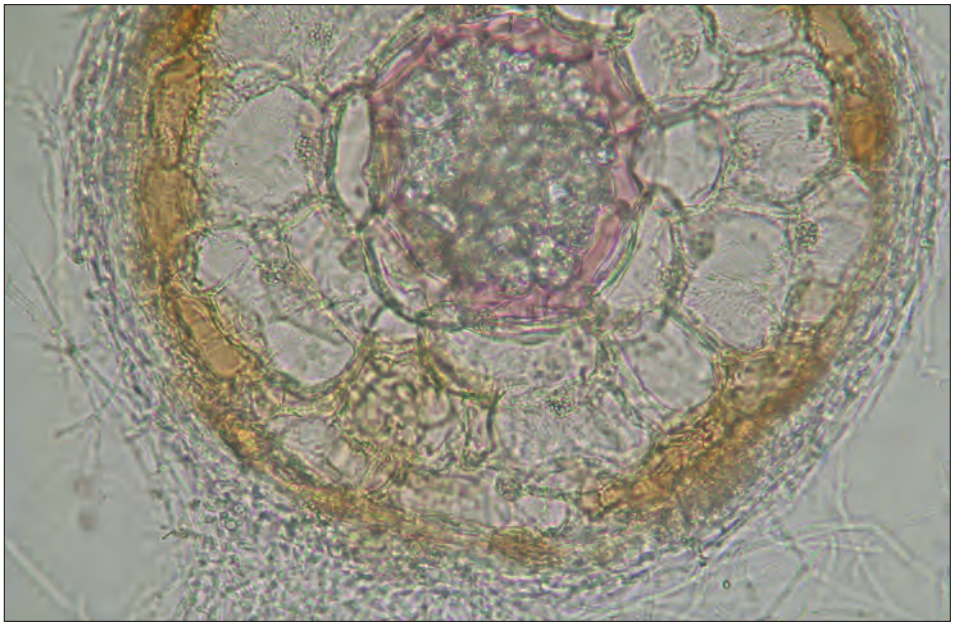
Prof. dr hab. Stefan Kowalski, Katedra Fitopatologii Leśnej, Akademia Rolnicza w Krakowie, Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Sosna zwyczajna

Mikoryzy pojedyncze i dychotomiczne, młode – stosunkowo krótkie i maczugowate, starsze – wydłużone i, mniej więcej na całej długości, równo grube. Niektóre segmentowane. Początkowo jasnokremowe, pokryte delikatną, jedwabistą, bezbarwną grzybnią. Dojrzałe o wyraźnej białej mufce grzybniowej, z której do substratu wyrastają obficie bezbarwne, jedwabiste strzępki grzybni, w masie widoczne jako białe welony i sznury grzybniowe przerastające substrat hodowlany.

Na przekroju poprzecznym, w budowie anatomicznej, mufka grzybniowa różnie ukształtowana. Powierzchnia jednych mikoryz pokryta jest przez luźną warstwę

Fot. VIII.12.1. Ektomikoryzy sosny zwyczajnej poddanej zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* (powiększenie 15x)



Fot. VIII.12.2. Przekrój poprzeczny przez ektomikoryzę sosny zwyczajnej poddanej zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* (powiększenie 250x)

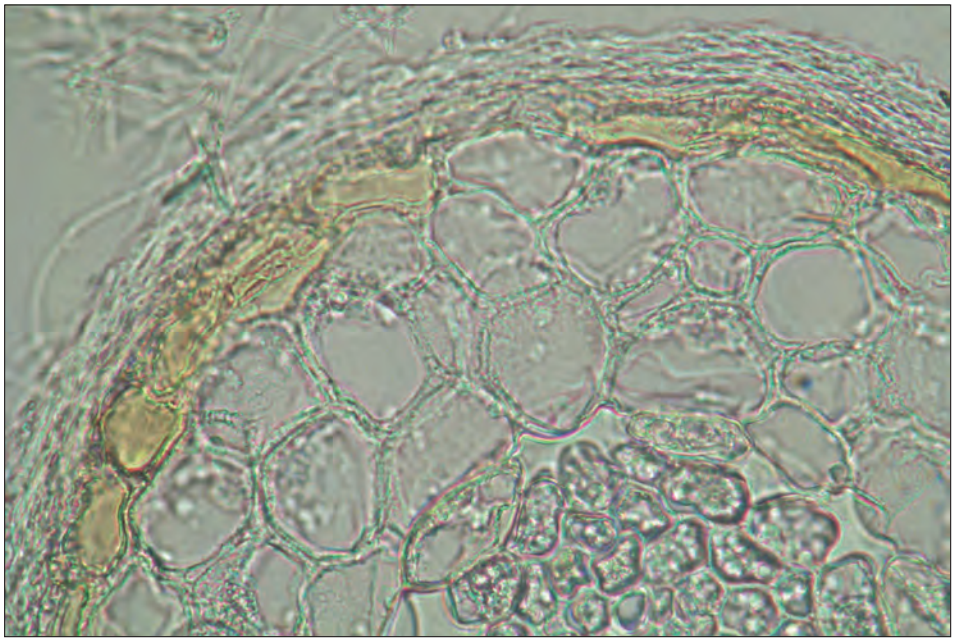
plektenchymy o grubości od 11,9 do 15,9 μm, bezpośrednio przechodzącej w welony grzybni. U mikoryz lepiej wykształconych mufka grzybniowa bezbarwna, w postaci zwartej plektenchymy o grubości od 23,8 do 39,7 μm, z powierzchnią stopniowo rozluźniającą się i przechodzącą w luźne sploty strzępek lub sznury grzybniowe. Strzępki bezbarwne o średnicy od 2,4 do 3,0 μm, o ścianach refrakcyjnych, przy przegrodach poprzecznych ze sprzążkami. W każdym wypadku sieć Hartiga bardzo dobrze rozwinięta, obejmuje wszystkie warstwy komórek miękiszu kory pierwotnej.

Świerk pospolity

Mikoryzy pojedyncze, stosunkowo długie i równo grube, jednolite, niektóre segmentowane. Początkowo jasnokremowe, dojrzałe pokryte śnieżnobiałą grzybnią o grubowełnistej strukturze. Z powierzchni mufki grzybniowej wyrastają obficie bezbarwne strzępki, które w masie dają wrażenie białych welonów grzybni. Liczne białe sznury grzybniowe przerastają substrat hodowlany.

Na przekroju poprzecznym, w budowie anatomicznej, mufka grzybniowa w postaci zwartej plektenchymy, miejscami przechodzącej w pseudoparenchymę o grubości od 15,9 do 31,8 μm, z powierzchnią rozluźnioną, przechodzącą w welony i sznury grzybniowe. Strzępki o średnicy od 2,4 do 3,6 μm, o ścianach refrakcyjnych ze sprzążkami przy przegrodach poprzecznych. Sieć Hartiga bardzo dobrze rozwinięta, widoczna we wszystkich warstwach komórek miękiszu kory pierwotnej, sięgająca do endodermy.

Fot. VIII.12.3. Ektomikoryzy świerka pospolitego poddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* (powiększenie 15x)



Fot. VIII.12.4. Przekrój poprzeczny przez ektomikoryzę świerka pospolitego poddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* (powiększenie 250x)

Modrzew europejski

Mikoryzy pojedyncze, rzadziej z jednym lub dwoma krótkimi odgałęzieniami bocznymi pod kątem prostym. Młode – jasnokremowe i lekko nabrzmiałe, starsze – jasnobrązowe i wydłużone. Biała grzybnia nierówno, płatowato pokrywa powierzchnię mikoryzy, z której wyrastające białe sznury grzybniowe przerastają substrat hodowlany.

Na przekroju poprzecznym, w budowie anatomicznej, mufka grzybniowa dość skąpo pokrywa powierzchnię mikoryzy. Miejscami jej brak, ale głównie widoczna w postaci luźnej parenchymy o grubości od 11,9 do 19,9 μm, z powierzchnią silnie rozrzedzoną, przechodzącą w welony i sznury grzybniowe. Strzępki bezbarwne, o średnicy 2,4 μm, o ścianach refrakcyjnych ze sprzążkami przy przegrodach poprzecznych. Sieć Hartiga dobrze rozwinięta, zwłaszcza w dwóch pierwszych warstwach komórek miękiszu kory pierwotnej, ale miejscami może sięgać do entodermy.

Fot. VIII.12.5. Ektomikoryzy modrzewia europejskiego poddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* (powiększenie 15x)

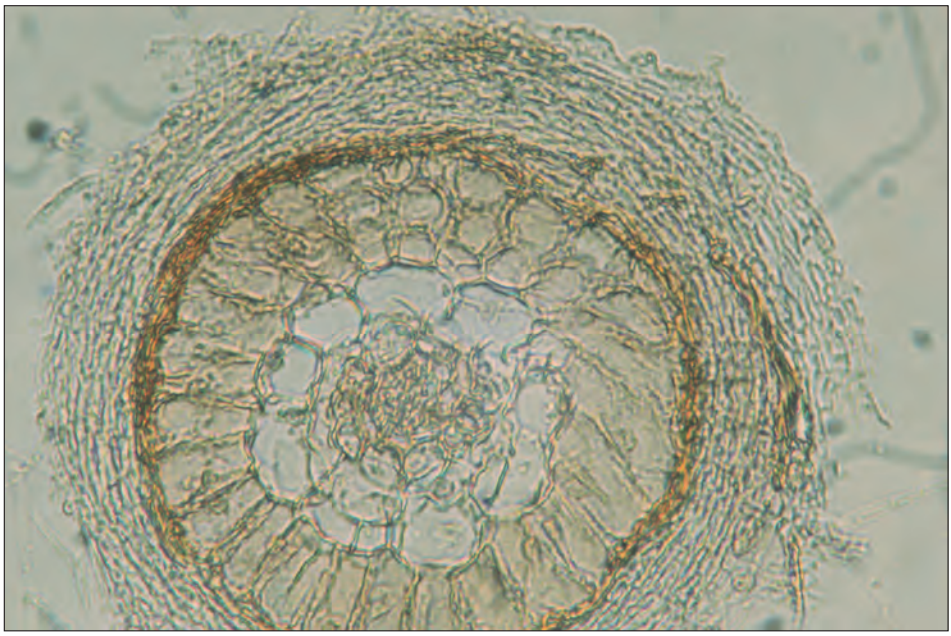
Fot. VIII.12.6. Przekrój poprzeczny przez ektomikoryzę modrzewia europejskiego poddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* (powiększenie 250x)

Dąb szypułkowy

Mikoryzy pojedyncze, rzadziej monopodialne. Te pierwsze stosunkowo krótkie i lekko nabrzmiałe, drugie nieco wydłużone. Jasnokremowe, pokryte rzadką i luźnowełnistą białą grzybnią. Z powierzchni mikoryzy obficie wyrastają bezbarwne strzępki, które w swej masie tworzą białe welony grzybni i liczne białe sznury grzybniowe, przerastające substrat hodowlany.

Na przekroju poprzecznym, w budowie anatomicznej, mufka grzybniowa różnie ukształtowana w zależności od etapu rozwoju mikoryzy, o grubości od 12,1 do 31,8 μm, ze strukturą stosunkowo luźną aż do zwartej plektenchymy, ale o powierzchni wyraźnie rozrzedzonej, przechodzącej w białe welony i sznury grzybniowe. Strzępki bezbarwne o średnicy od 2,4 do 3,0 μm, ścianach refrakcyjnych z wydatnymi sprzążkami przy przegrodach poprzecznych. Sieć Hartiga dobrze rozwinięta w pierwszej, wyraźnie wydłużonej warstwie komórek miękiszu kory pierwotnej, niekiedy widoczna również w drugiej warstwie komórek miękiszowych. Rzadko sięga do endodermy.

Fot. VIII.12.7. Ektomikoryzy dębu szypułkowego poddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* (powiększenie 15x)



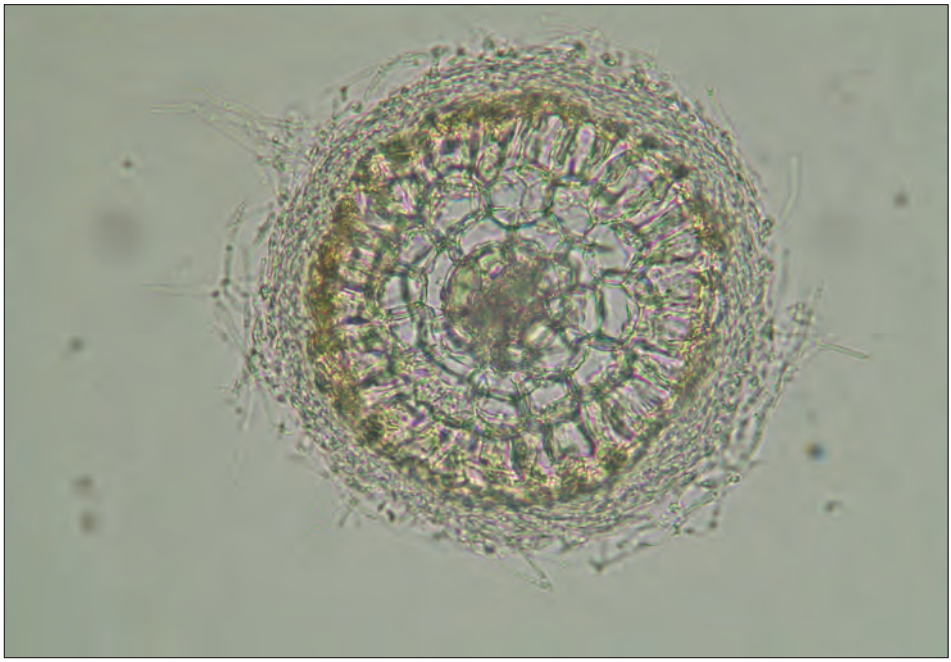
Fot. VIII.12.8. Przekrój poprzeczny przez ektomikoryzę dębu szypułkowego poddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* (powiększenie 250x)

Buk pospolity

Mikoryzy pojedyncze, krótkie, beczułkowato nabrzmiałe lub dłuższe, z pojedynczymi odgałęzieniami mniej lub bardziej pod kątem prostym, niekiedy monopodialne. Początkowo prawie bezbarwne, a następnie białe, jasnokremowe do kremowych, pokryte białą grzybnią o strukturze wełnistej. Z powierzchni mufki grzybniowej wyrastają białe strzępki grzybni przechodzące w obfite welony i śnieżnobiałe sznury grzybniowe, przerastające substrat hodowlany.

Na przekroju poprzecznym, w budowie anatomicznej, mufka grzybniowa ukształtowana w postać dość zwartej plektenchymy o grubości od 15,9 do 19,8 µm, ale o powierzchni rozrzedzonej i przechodzącej w welony grzybni. Strzępki średnicy 2,4 µm, o ścianach refrakcyjnych z dobrze widocznymi sprzążkami przy przegrodach poprzecznych. Sieć Hartiga stosunkowo słabo rozwinięta, widoczna zwłaszcza w pierwszej, a niekiedy i w drugiej warstwie komórek miękiszowych.

Fot. VIII.12.9. Ektomikoryzy buka pospolitego poddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* (powiększenie 15x)



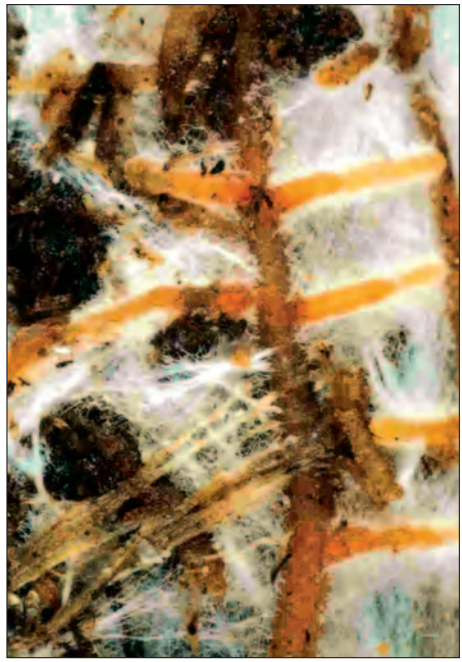
Fot. VIII.12.10. Przekrój poprzeczny przez ektomikoryzę buka pospolitego poddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* (powiększenie 250x)

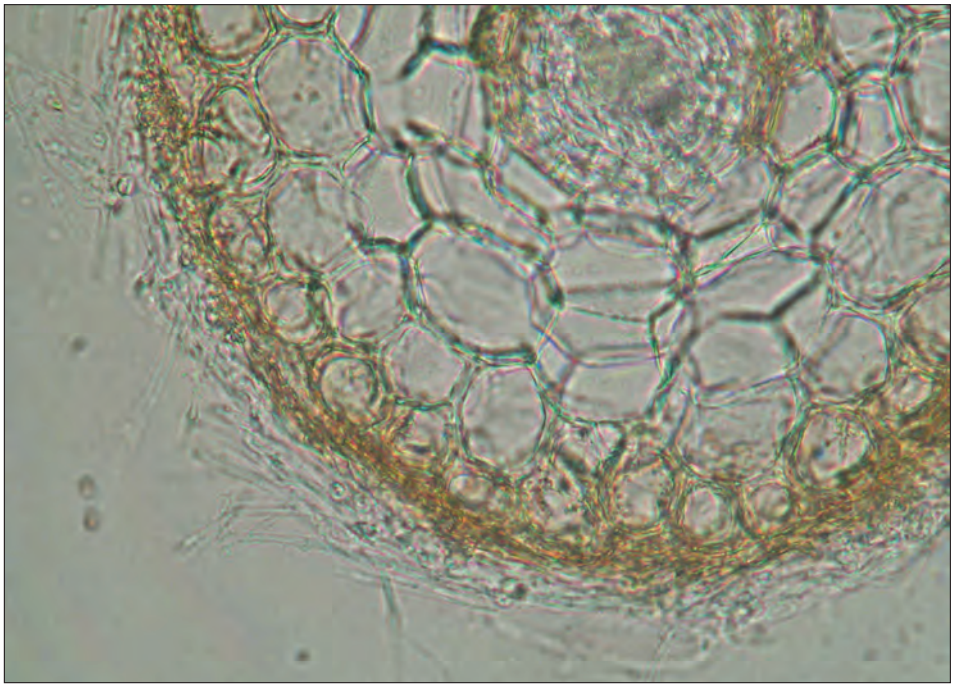
Lipa drobnolistna

Mikoryzy głównie pojedyncze, niekiedy z jednym lub dwoma odgałęzieniami, rzadziej monopodialne. Dość długie, wyraźnie zgrubiałe, a niektóre segmentowane. Kremowe, pokryte luźną, wełnistą białą grzybnią. Wyrastające z powierzchni mikoryzy bezbarwne strzępki przechodzą w gęste, białe welony grzybni i liczne sznury grzybniowe, przerastające substrat hodowlany.

Na przekroju poprzecznym, w budowie anatomicznej, mufka grzybniowa w postaci stosunkowo luźnej plektenchymy o grubości od 12,1 do 24,2 μm, o powierzchni silnie rozrzedzonej, przechodzącej w sznury grzybniowe. Strzępki bezbarwne, średnicy od 2,4 do 3,0 μm, o ścianach refrakcyjnych z dobrze widocznymi sprzążkami przy przegrodach poprzecznych. Sieć Hartiga widoczna w pierwszej warstwie komórek miękiszu kory pierwotnej.

Fot. VIII.12.11. Ektomikoryzy lipy drobnolistnej poddanej zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* (powiększenie 15x)





Fot. VIII.12.12. Przekrój poprzeczny przez ektomikoryzę lipy drobnolistnej poddanej zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* (powiększenie 250x)

IX. Sterowana mikoryzacja grzybem *Hebeloma crustuliniforme* sadzonek różnych gatunków drzew leśnych z odkrytym systemem korzeniowym, hodowanych na substracie torfowym w korytach i w inspektach

13. Przygotowanie podłoża hodowlanego i biopreparatu do zabiegu sterowanej mikoryzacji

Prof. dr hab. Stefan Kowalski, Katedra Fitopatologii Leśnej, Akademia Rolnicza w Krakowie, Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Prof. dr hab. Józef Walczyk, Katedra Mechanizacji Prac Leśnych, Akademia Rolnicza w Krakowie, Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

W polskim szkółkarstwie leśnym hodowla materiału sadzeniowego na substratach torfowych jest bardziej powszechna w inspektach i korytach, z odkrytym systemem korzeniowym, aniżeli w pojemnikach z zakrytym systemem korzeniowym. W jednym i w drugim wypadku sadzonki, zwłaszcza w pierwszym roku hodowli, najczęściej pozbawione są możliwości nawiązania związków symbiotycznych z właściwymi dla ich fazy rozwoju grzybami ektomikoryzowymi. Z tych względów korzystne jest umieszczenie takich szkółek wśród okalającego je drzewostanu. Można wtedy spodziewać się naturalnej mikoryzacji sadzonek zarodnikami grzybów występujących w tym drzewostanie. Niekiedy tak hodowane sadzonki zaopatrzone są we właściwy garnitur ektomikoryzowy i to nawet o zróżnicowanym, bardzo dobrze rozwiniętym spektrum mikoryzowym (Stępniewska 2004, Stępniewska i inni 2004).

W sytuacjach, w których nie można spodziewać się naturalnej mikoryzacji, hodowany na substratach torfowych materiał sadzeniowy z odkrytym systemem korzeniowym powinien być poddany zabiegowi mikoryzacji sterowanej. Taki zabieg

umożliwia opracowana w Polsce technologia sterowanej mikoryzacji biopreparatem z grzybem *Hebeloma crustuliniforme* sadzonek różnych gatunków drzew leśnych (Kowalski 2004).

Inspekty lub koryta, w których mają być hodowane siewki poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme,* muszą być dokładnie, aż do podłoża, oczyszczone ze starego substratu hodowlanego. Jeżeli hodowane siewki w poprzednim sezonie wegetacyjnym chorowały w tych korytach lub inspektach, to należy je po oczyszczeniu, a przed napełnieniem nowym substratem, zdezynfekować używając 10% podchlorynu sodu. Zabieg ten należy wykonać co najmniej z tygodniowym wyprzedzeniem przed planowanym napełnieniem koryta nowym podłożem. Korzystnie jest, jeżeli inspekty lub koryta, w których mają być hodowane siewki poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji, są osłonięte namiotem foliowym lub znajdują się w szklarni. Nie jest to jednak warunek konieczny.

Przygotowanie substratu hodowlanego do hodowli sadzonek w korytach lub inspektach

Przyjmując, że na 1 ar kwatery siewnej w korycie lub inspekcie potrzeba 25 m^3 substratu hodowlanego, należy go przygotować w dwóch częściach. Część pierwszą, to jest 16 m^3, można traktować jako „podkład", którym może być torf wysoki, charakteryzujący się opisanymi parametrami fizycznymi (Kowalski 2007 L.c., rozdz. VIII.3.), odkwaszony dolomitem, jedynie z 15% udziałem perlitu, wzbogacony w minimalną dawkę (0,5 kg/m^3) nawozu startowego „Azofoska". Substrat ten należy równą warstwą wyłożyć na dno kwatery siewnej w korycie lub inspekcie i stopniowo podlewając, doprowadzić do odpowiedniej wilgotności, aby stanowił właściwy podkład dla nakładanej drugiej części substratu hodowlanego, zawierającego biopreparat z grzybem *H. crustuliniforme*.

Część drugą, to jest 9 m^3 substratu hodowlanego, należy przygotować z torfu o tych samych właściwościach fizycznych, ale z dodaniem do niego wermikulitu (15%) i perlitu (10%). Do części drugiej substratu hodowlanego dodawany jest biopreparat i nawóz Osmocote o okresie rozkładu 3–4 i 5–6 miesięcy, w proporcjach trzy części pierwszego i dwie drugiego nawozu. Na 1 m^3 substratu hodowlanego należy dodać 2,0 kg tak przygotowanej mieszanki nawozu Osmocote. Nawóz powinien być dokładnie wymieszany z substratem hodowlanym w możliwie najkrótszym czasie, jaki upływa od wykonania tego zabiegu do planowanego połączenia tej części substratu z przygotowaną mieszaniną biopreparatu i uzupełnieniem kwater siewnych o tę partię substratu (Kowalski, 2005).

Część biopreparatu przeznaczoną do zabiegu sterowanej mikoryzacji należy przygotować w sposób analogiczny jak w wypadku zabiegu sterowanej mikoryzacji sadzonek hodowanych w pojemnikach (Kowalski 2007 L.c.).

Wymagana dawka biopreparatu z grzybem *H. crustuliniforme* w substracie hodowlanym, w korytach lub inspektach, wynosi 350 litrów czystego biopreparatu na 1ar powierzchni siewnej. Całość przygotowanego biopreparatu należy starannie i równomiernie wymieszać z wcześniej przygotowaną drugą częścią substratu hodowlanego, np. w mieszalniku bębnowym lub ręcznie, i niezwłocznie przenieść na

Fot. IX.13.1. Przygotowanie biopreparatu z grzybem *H. crustuliniforme* do zmieszania z substratem hodowlanym

kwaterę siewną w inspekcie lub korycie, układając równą warstwą na wcześniej przygotowane podłoże.

Tę czynność postępowania technologicznego można zmechanizować (Walczyk, Tylek 2004), wykładając równą warstwą drugą część substratu hodowlanego na wcześniej przygotowane podłoże, a następnie, po wierzchu, posypać równomiernie biopreparat z grzybem *H. crustuliniforme* przygotowany w podany sposób i za pomocą glebogryzarki wymieszać go z substratem hodowlanym na głębokość około 15 cm.

Można również wykorzystać specjalnie w tym celu skonstruowane, zamocowane na ramie nośnika, narzędzie dozownika inokulum do precyzyjnego dawkowania do substratu hodowlanego w korytach i inspektach zarówno biopreparatu jak i nawozów Osmocote. Dozownik składa się ze zbiornika wraz z łopatkowym urządzeniem dawkującym, otworu wylotowego o regulowanej wielkości i osadzonych na wale noży glebogryzarki. Napęd urządzenia zapewnia silnik elektryczny o mocy 1,2 kW i regulowanej prędkości obrotowej. Napęd od wału glebogryzarki przenoszony jest na łopatki dawkujące inokulum. Urządzenie ma łopatkowy zespół wygarniający i regulowaną szczelinę wylotu. Dawka biopreparatu jest zależna od prędkości obrotowej łopatek wygarniających, wielkości szczeliny wylotowej i prędkości jazdy nośnika narzędzi. W jednym przejeździe dozownik przygotowuje pas o szerokości 0,2 m, po czym jest podnoszony w pozycję transportową. Nośnik narzędzi wraca na początek grzędy siewnej w inspekcie (korycie), dozownik jest przesuwany o szerokość roboczą, opuszczany i zaczyna się kolejny przejazd roboczy.

Fot. IX.13.2. Mieszanie biopreparatu z substratem hodowlanym w mieszalniku bębnowym

Fot. IX.13.3. Mieszanie biopreparatu z substratem hodowlanym z wykorzystaniem glebogryzarki

Fot.IX.13.4. Wprowadzanie biopreparatu z grzybem *H. crustuliniforme* do substratu hodowlanego za pomocą dozownika inokulum

Fot. IX.13.5. Zagęszczanie substratu hodowlanego

Tak przygotowanego substratu hodowlanego, zawierającego biopreparat z grzybem *H. crustuliniforme*, nie należy na kwaterze siewnej ubijać, a jedynie lekko zagęścić w sposób ułatwiający siew. Ma on zachować pulchność i odpowiednie napowietrzenie. Stąd ważna jest technika podlewania, niepowodująca ubijania substratu hodowlanego. Substrat hodowlany przed siewem musi być doprowadzony do odpowiedniej wilgotności.

Zalecany jest siew punktowy lub rzędowy. Siew wykonany przy użyciu siewnika do siewu punktowego pozwala dokładnie kontrolować liczbę wysiewanych nasion, zapewnia równomierne ich rozmieszczenie w rzędzie i gwarantuje dobre przykrycie nasion.

Raz wprowadzony biopreparat z grzybem *H. crustuliniforme* na kwaterze siewnej w inspekcie lub w korycie nie wymaga uzupełniania w kolejnych 2–3 sezonach wegetacyjnych. Sadzonki nadal będą miały prawidłowo rozwinięte ektomikoryzy z tym grzybem.

14. Siew punktowy nowym rozwiązaniem technologicznym w szkółkach leśnych

Prof. dr hab. Józef Walczyk, Katedra Mechanizacji Prac Leśnych Akademii Rolniczej w Krakowie, Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Problemem przy zalesianiu gruntów porolnych jest duży opór środowiska glebowego agrocenoz w stosunku do wymagań życiowych drzew leśnych. Wiąże się to z brakiem grzybów mikoryzowych w środowisku glebowym gruntów porolnych, tj. grzybów tworzących obligatoryjne związki z drzewami leśnymi (Kowalski, Walczyk, Tylek 2005). Ogranicza to możliwości odżywiania się młodych drzewek, korzystania z wody, uwrażliwia na bardzo trudne do opanowania choroby grzybowe, zwłaszcza hubę korzeni, a w następstwie na szkodliwe owady (Grzywacz 2000a, Kowalski 1997). Sadzonki z ektomikoryzą dzięki grzybni ekstramatrykalnej są lepiej powiązane z glebą (fot. IX.14.1.).

W celu minimalizowania tych zagrożeń niezbędna jest sztuczna mikoryzacja sadzonek w szkółkach, co wiąże się z precyzyjnym dawkowaniem i wprowadzaniem do gleby biopreparatów z grzybami ektomikoryzowymi. Obecnie w Polsce produkuje się około 1,0–1,1 mld sadzonek rocznie, z czego zaledwie około 10 mln sadzonek mikoryzowanych. Doświadczenia wskazują na możliwość zabiegu sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych grzybem *H. crustuliniforme* hodowanych nie tylko w pojemnikach, ale także w korytach, inspektach, a nawet szkółkach otwartych (Kowalski 2005).

W celu zmechanizowania prac w szkółce, w Akademii Rolniczej w Krakowie, w Katedrze Mechanizacji Prac Leśnych skonstruowano dozowniki inokulum i siewnik punktowy do siewu nasion w szklarniach i inspektach oraz dostosowano warzywniczy siewnik punktowy do siewu nasion drzew leśnych. Urządzenia te pozwoliły zmechanizować proces wprowadzania inokulum grzyba ektomikoryzowego do substratu hodowlanego oraz siew nasion.

Stosowanie pneumatycznego siewnika do siewu punktowego wymaga nasion o dużej czystości oraz zdolności kiełkowania. Siewnik nie jest wrażliwy na kształt nasion, ale każde zanieczyszczenie (np. skrzydełko) przytyka otwór wysiewający i powoduje przepust. Z tego względu skonstruowano w tej samej katedrze pneu-

Fot. IX.14.1. Widok bryły korzeniowej sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* (ręka prawa) i bez tego zabiegu (ręka lewa)

matyczny sortownik nasion (fot. IX.14.2.). Sortownik ten rozdziela nasiona na dwie frakcje – cięższą i lżejszą, pozwalając równocześnie na oddzielenie wszystkich lekkich zanieczyszczeń. Frakcja lżejsza to zwykle znacznie więcej nasion pustych, dlatego zdolność kiełkowania frakcji cięższej w stosunku do całej partii nasion rośnie. Separację można powtarzać wielokrotnie, dzieląc nasiona na kolejne frakcje. Dobór podziału (prędkości przepływu powietrza) odbywa się za pomocą zasuwy regulującej wylot powietrza z wentylatora, na którym zamocowany jest worek na zanieczyszczenia lekkie. Dozownik nadaje się do sortowania prawie wszystkich gatunków nasion, z wyjątkiem nasion bardzo ciężkich jak dąb czy kasztanowiec. W czasie pracy, po ustawieniu właściwej proporcji separacji i zasypaniu zbiornika, urządzenie nie wymaga nadzoru. Sortownik nie powoduje uszkodzeń, ani zmiany cech fizycznych i biologicznych nasion, umożliwia bezstopniową regulację parametrów separacji, charakteryzuje się małymi gabarytami i małym poborem mocy, emituje tylko niewielki hałas. Sortownik jest produkowany przez Ośrodek Techniki Leśnej w Jarocinie. W 2006 r. na Targach Leśnych w Tucholi został wyróżniony złotym medalem.

W szkółkach otwartych, gdzie udział substratu torfowego w glebie jest niewielki, uprawa przedsiewna ma bardzo duże znaczenie. Powinna zapewnić spulchnienie gleby na głębokość wysiewu nasion, to jest 0,5–1 cm. Ze względów technicznych taka

Fot. IX.14.2. Pneumatyczny sortownik nasion

jednak uprawa nie jest możliwa, dlatego glebę spulchnia się znacznie głębiej, a potem konieczne jest jej zagęszczenie. W tym celu należy stosować agregat do uprawy przedsiewnej, który powinien być wyposażony w wał ugniatający wgłębnie i stabilizujący głębokość pracy kultywatora. Zwykle jest to wał strunowy (ryc. IX.14.1.).

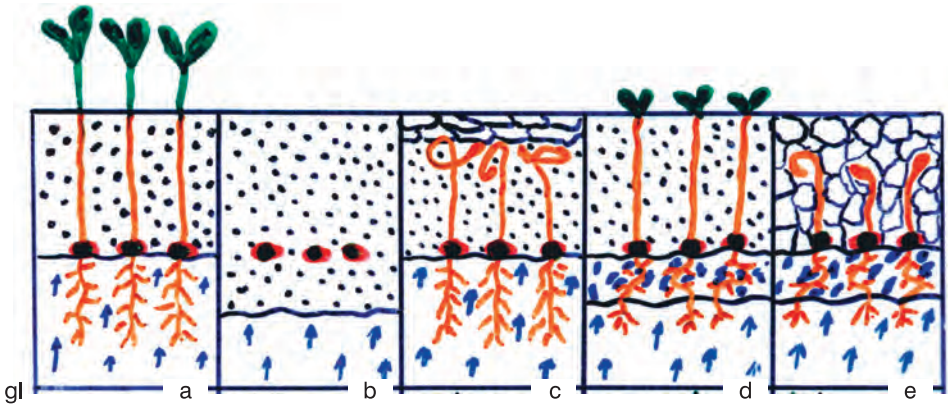
Równie ważne jest zagadnienie umieszczenia nasienia w glebie. Przykłady błędów, jakie można przy tym popełnić, są podane na ryc. IX.14.2.

Dotychczas w szkółkarstwie leśnym w szklarniach, pod osłonami, czy w korytach nie rozwiązano zadawalająco procesu siewu nasion. Wykonywany jest ręcznie, za pomocą siewników rzędowych lub prymitywnych siewników taczkowych, wyposażonych najczęściej w szczoteczkowe zespoły wysiewające. Powoduje to nierównomierne rozmieszczenie nasion w rzędzie, a często także nieprawidłowe przykrycie. Każda roślina do dobrego rozwoju wymaga dostępu światła, wody i składników pokarmowych. Optymalne warunki w tym względzie zapewnia siew punktowy, w którym nasiona są wysiewane pojedynczo, przy tym precyzyjnie umieszczane w bruździe, dociskane do jej dna celem lepszego kontaktu z podłożem i przykrywane równomierną warstwą substratu lub gleby o stałej, nastawionej grubości (ryc. IX.14.5.).

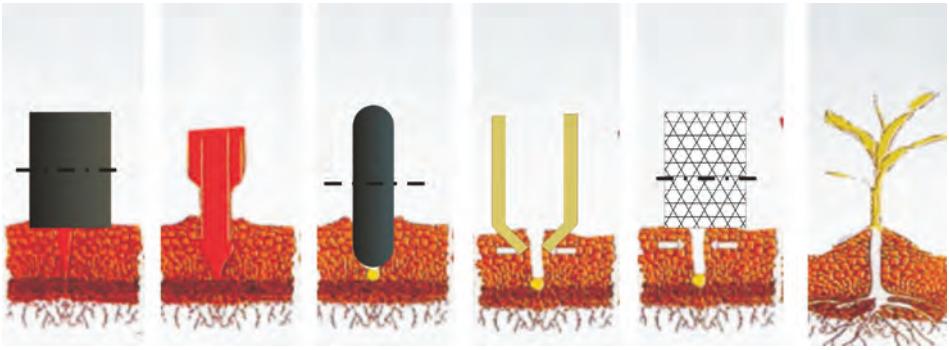
W Katedrze Mechanizacji Prac Leśnych AR w Krakowie skonstruowano nośnik narzędzi, dostosowany do montażu sekcji wysiewających siewnika do siewu

a b

Ryc. IX.14.1. Przykład przedsiewnej uprawy gleby: a – złe kopiowanie gleby przez narzędzie spulchniające, kultywatorowanie i wałowanie wykonane oddzielnie, b – poprawna praca wału i kultywatora w agregacie



Ryc. IX.14.2. Przykłady błędów popełnionych przy uprawie przedsiewnej: a – uprawa poprawna, b – zbyt głębokie spulchnienie, c – gleba zaskorupiona, d – gleba zabagniona, e – źle spulchniona i zabagniona gleba



Ryc. IX.14.3. Schemat umieszczania nasiona w glebie przez siewnik punktowy

Fot. IX.14.3. Siew nasion przy użyciu sekcji siewnika punktowego Agricola Italiana, zamocowanymi na nośniku narzędzi

punktowego (Walczyk, Tylek 2005, 2005a). Produkcję i sprzedaż tego nośnika rozpoczął Ośrodek Techniki Leśnej w Jarocinie. Siewnik punktowy, zbudowany na bazie nośnika narzędzi, napędzany jest silnikiem elektrycznym i może pracować również w pomieszczeniach zamkniętych. Siewnikiem punktowym nasiona wysiewa się rzędowo, o odpowiednio dobranej rozstawie i odległości wysiewu w rzędzie, tak by uzyskać wymaganą liczbę roślin na jednostkę powierzchni. Przykładowo, przy rozstawie rzędów 0,05 m i odległości wysiewu w rzędzie 0,037 m, obliczeniowa liczba roślin wynosi 540 szt.m^{-2}. Przebieg wysiewu przedstawia fotografia IX.14.3.

Siewnik

Zależnie od nastawienia siewnik może w jednym przejeździe obsiać 2 lub 4 rzędy. Zastosowany siewnik punktowy firmy Agricola Italiana zaopatrzony jest w precyzyjny zespół wysiewający i bardzo dobry system kopiowania terenu (fot. IX.14.4.). Dzięki specyficznej budowie zespołu wysiewającego możliwe jest obsłużenie dwóch rzędów przez jedną sekcję wysiewającą oraz dokładna regulacja głę-

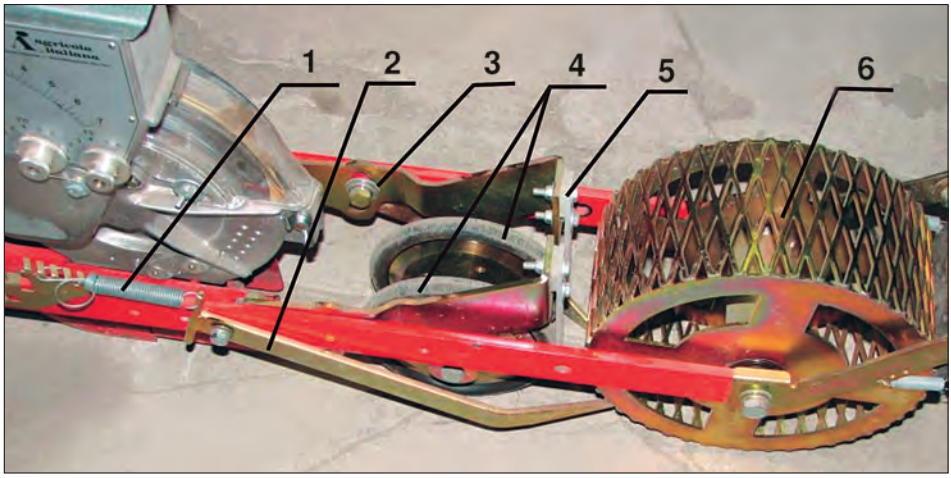
bokości wysiewu i grubości przykrycia nasion. Dostosowany do tego siewnika nośnik narzędzi z elektrycznym napędem sprawia, że może on być wykorzystany do pracy w szklarni, namiotach foliowych, korytach czy na małych powierzchniach w szkółce otwartej.

Każda sekcja ma dwa koła kopiująco-ugniatające, z których przednie rozgniata dodatkowo bryły i wyrównuje teren, a tylne, ażurowe, poprawia przykrycie nasion pozostawiając po siewie gruzełkowatą powierzchnię. Takie rozwiązanie gwarantuje zachowanie równomiernej głębokości przykrycia nasion oraz przeciwdziała zaskorupieniu obsianej powierzchni w wypadku obfitszych opadów (fot. IX.14.5.).

Sekcja siewnika zamocowana jest na ramie przesuwnie, dzięki czemu można dowolnie, bezstopniowo, regulować rozstawy między podwójnymi rzędami. Podwójne rzędy obsiewane są przez jedną sekcję w jednym przejeździe, a ich odległość jest stała – w zależności od zastosowanej redlicy może liczyć 5 lub 7 cm. Podczas ruchu roboczego siewnika obsiewane są 4 rzędy, następnie sekcję siewnika przestawia się w pozycję transportową i następuje powrót siewnika. Jeżeli chcemy zachować stałą odległość rzędów, ramę wraz z sekcjami siewnika przesuwamy o 0,10 lub 0,14 m, zależnie od zastosowanej redlicy.

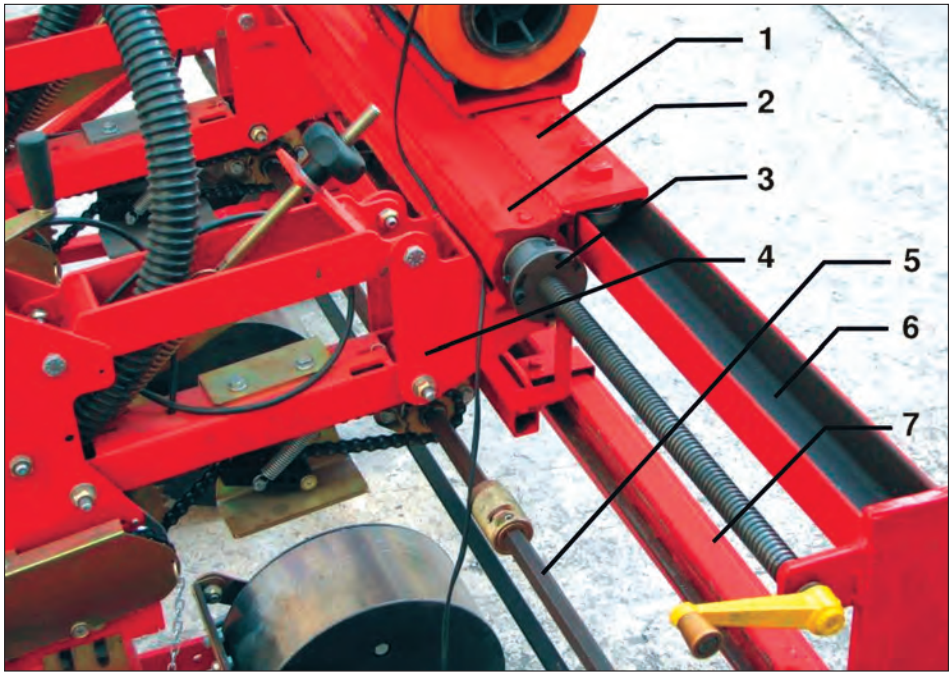
Do wysiewu nasion dużych można wykorzystać tarcze z jednym rzędem otworów oraz pojedynczą redlicę i wtedy jedna sekcja w jednym przejeździe obsiewa tylko jeden rząd. Układ zamocowania sekcji wysiewających w sposób przesuwny na ramie nośnika przedstawia fotografia IX.14.6.

Przed rozpoczęciem pracy na ramie stałej należy ustawić ramę przesuwną wraz z sekcjami wysiewającymi w lewym skrajnym położeniu. Jedna sekcja powinna być ustawiona na samym skraju ramy przesuwnej przy lewej krawędzi obsiewanej grzędy, a druga na środku grzędy. Po każdym przejeździe należy sekcje przesunąć



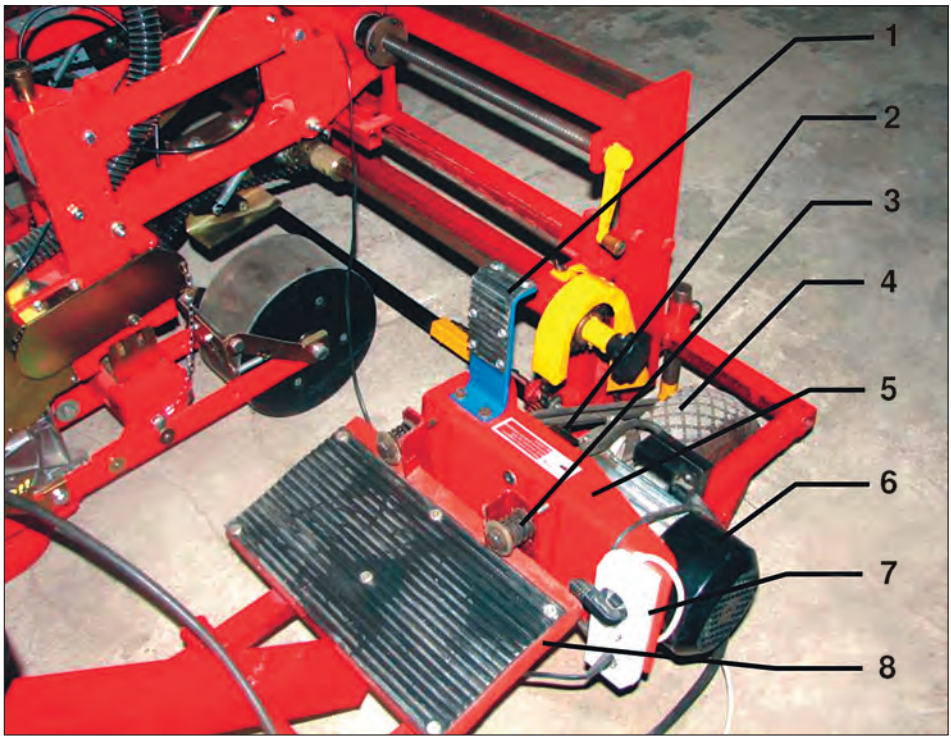
Fot. IX.14.4. Zespół dociskająco-zagarniający: *1* – sprężyna wraz z grzebieniem regulacyjnym zagarniacza, *2* – zagarniacz lewy, *3* – regulacja ustawienia koła dociskowego prawego, *4* – koła dociskowe, *5* – zagarniak oczyszczający koła dociskowe, 6 – koło kopiująco-zagarniające tylne

Fot. IX.14.5. Widok bruzdy zostawionej przez tylne koło kopiująco-ugniatające



Fot. IX.14.6. Widok układu zawieszenia z przesuwną ramą: *1* – wózek ramy przesuwnej, *2* – typowy profil ramy do mocowania sekcji wysiewających, *3* – śruba napędowa przemieszczania ramy przesuwnej, *4* – zaczep siewnika, *5* – wał napędowy sekcji siewnika, *6* – górny profil ramy stałej, *7* – dolny profil ramy stałej

Fot. IX.14.7. Prowadnice siewnika: *a* – prowadnica do pracy w polu, *b* – prowadnica wmurowana w podłoże, do pracy w szklarni lub w namiocie foliowym



Fot. IX.14.8. Widok zespołu napędowego nośnika narzędzi: *1* – pedał sprzęgła, *2* – przekładnia pasowa, *3* – sprężyna zamocowania silnika, *4* – koło napędowe siewnika, *5* – podstawa wychylna silnika, *6* – silnik napędowy, *7* – gniazdo zasilające 230V, *8* – podnóżek operatora

o podwójny rozstaw szerokości rzędów lub o wymagany dowolny rozstaw gwarantujący założoną obsadę powierzchniową sadzonek. Odległość wysiewu nasion w rzędzie regulowana jest przez dobór tarczy z odpowiednią liczbą otworów oraz zmianę przełożenia w układzie napędowym sekcji wysiewających. W czasie siewu, w celu zachowania dokładnej rozstawy rzędów, konieczny jest wielokrotny przejazd kół układu jezdnego nośnika narzędzi tym samym śladem. Aby to uzyskać, zastosowano prowadzenie nośnika za pomocą rozkładanego toru, jeżeli siew jest wykonywany na powierzchni niedostosowanej do pracy siewnika (fot. IX.14.7a) lub wmurowanego na stałe ceownika w chodnik, na powierzchni przygotowanej ze stałymi chodnikami (fot. IX.14.7b).

Między silnikiem i kołami jezdnymi siewnika zamontowana jest przekładnia pasowa, co przy sprężystym zamocowaniu silnika napędowego pozwala na jego odchylenie i łagodne włączanie napędu zastępując pracę sprzęgła (fot. IX.14.8.).

Nośnik narzędzi i dmuchawa wytwarzająca podciśnienie w siewniku zasilane są prądem elektrycznym, doprowadzanym kablem podwieszonym na linie lub nawiniętym na bęben zwijający.

Układ napędowy nośnika narzędzi (siewnika)

Odległość wysiewu w rzędzie oblicza się wg wzoru:

$$L = O \times (Z_{ch}/Z_w) \times i_s/O_t$$

gdzie:
L – odległość wysiewu nasion w rzędzie,
O – obwód napędowego koła jezdnego (0,879 m),
Z_{ch} – liczba zębów przekładni choinkowej,
Z_w – liczba zębów koła na wale napędowym kół jezdnych,
i_s – przełożenie całkowite sekcji siewnika (1,846),
O_t – liczba otworów w tarczy wysiewającej (w jednym rzędzie).

Odległości wysiewu nasion w rzędzie podane są w tabeli IX.14.1., a w IX.14.2. ilość wysianych nasion (szt. m^{-2}) dla różnych przełożeń układu napędowego i różnej liczby otworów w tarczy wysiewającej.

Schemat układu napędowego przedstawia rycina IX.14.4.

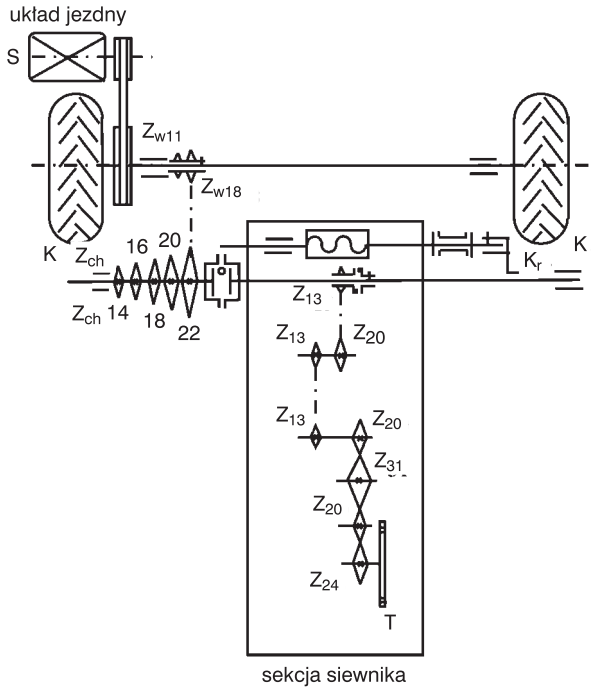
W korytach wielkopowierzchniowych opracowano metodę siewu za pomocą zmodyfikowanego siewnika punktowego, zawieszonego na ciągniku. Modyfikacja polegała na bocznym zamontowaniu sekcji wysiewających, tak by podczas przejazdu ciągnika obok koryt następował wysiew nasion w korytach (fot. IX.14.9.). Przy zamocowaniu pięciu sekcji wysiewających, w dwóch przejazdach sieje się 20 rzędów, co daje bardzo dobre pokrycie powierzchni – przy rozstawie rzędów równej 0,05 m i odległości wysiewu w rzędzie wynoszącej 0,039 m można uzyskać obsadę 51 282 sadzonek na ar. Obsada może być dowolnie zmieniana, zgodnie z tabelą IX.19.4., przez zastosowanie tarcz z inną liczbą otworów, innych przełożeń, czy zmianę rozstawy rzędów.

Tabela IX.14.1.
Odległości wysiewu nasion w rzędzie (m) dla różnych przełożeń układu napędowego i różnej liczby otworów w tarczy wysiewającej (schemat napędu przedstawia ryc. IX.14.4.)

Koło wału Z_w	Koło choinki Z_{ch}	Liczba otworów tarczy – O_t (szt.)				
		160	120	70	60	40
18	22	0,012	0,017	0,028	0,033	0,050
	20	0,011	0,015	0,026	0,030	0,045
	18	0,010	0,014	0,023	0,027	0,041
	16	0,009	0,012	0,021	0,024	0,036
	14	0,008	0,011	0,018	0,021	0,032
11	22	0,020	0,027	0,046	0,054	0,081
	20	0,018	0,025	0,042	0,049	0,074
	18	0,017	0,022	0,038	0,044	0,066
	16	0,015	0,020	0,034	0,039	0,059
	14	0,013	0,017	0,030	0,034	0,052

Tabela IX.14.2.
Liczba wysianych nasion szt. m^{-2} dla różnych przełożeń układu napędowego i różnej liczby otworów w tarczy wysiewającej (schemat napędu przedstawia ryc. IX.14.4.)

Koło wału Z_w	Koło choinki Z_{ch}	Liczba wysianych nasion (szt.m^{-2})				
		160	120	70	60	40
18	22	1613	1210	706	605	403
	20	1774	1331	776	665	444
	18	1971	1479	863	739	493
	16	2218	1663	970	832	554
	14	2535	1901	1109	951	634
11	22	986	739	431	370	246
	20	1084	813	474	407	271
	18	1205	904	527	452	301
	16	1355	1017	593	508	339
	14	1549	1162	678	581	387



Ryc. IX.14.4. Schemat kinematyczny układu napędowego siewnika: S – silnik elektryczny wraz z reduktorem, K – napędowe koła jezdne, T – tarcza wysiewająca siewnika, K_r – korba ręczna do przesuwania sekcji, Z_w – koła łańcuchowe wału napędowego z podaną liczbą zębów, Z_{ch} – koła zębate choinki (przełożenie przekładni pasowej wynosi 0,526)

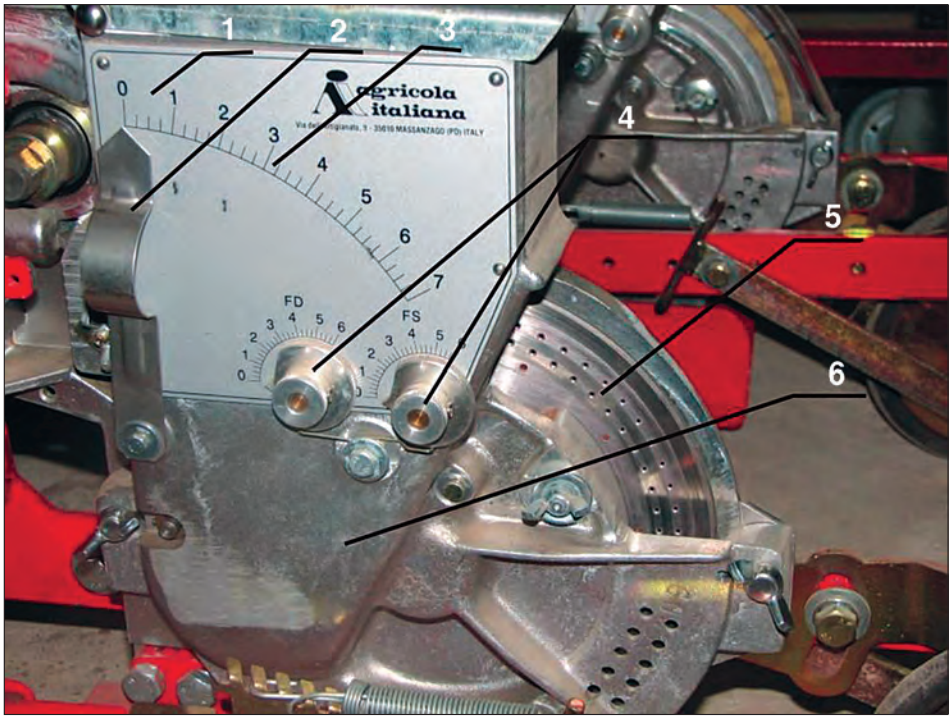
Fot. IX.14.9. Boczne zawieszenie siewnika podczas pracy w korytach

Zespół wysiewający sekcji siewnika

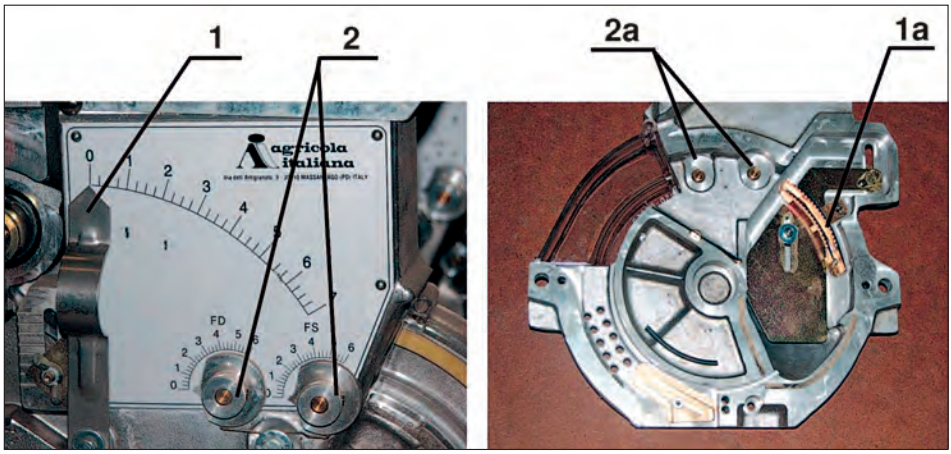
Zespół wysiewający sekcji siewnika daje możliwość siewu dwurzędowego. Tarcza siewnika ma dwa rzędy otworów i obsługuje dwie sekcje redlicy, wysiewając nasiona w rzędach oddalonych od siebie o 0,05 lub 0,07 m w zależności od wymiarów zastosowanej redlicy. W celu usunięcia nadmiaru nasion przyssanych do otworów tarczy, zamontowano trzy zgarniacze z precyzyjną regulacją ich położenia względem linii otworów tarczy wysiewającej (fot. IX.14.10.).

Zgarniacze nadmiaru nasion pozwalają ustawić wysiew tak, że na każdym otworze tarczy w większości wypadków znajduje się tylko jedno nasiono. Pokrętła regulacyjne i same zgarniaki przedstawiono na fotografii IX.14.11.

Widok tarczy wysiewających ilustruje fotografia IX.14.12. Tarcza „a" przeznaczona jest do wysiewu nasion dużych i obsługuje tylko jeden rząd, tarcza „b" współpracuje z redlicą dwurzędową (fot. IX.14.13.). Manometr kontrolny podciśnienia zamontowany jest na jednej sekcji wysiewającej (fot. IX.14.14.). Nasiona sieje się przy takiej nastawie regulatora, aby wskazówka podciśnienia znajdowała się na zielonym polu, co odpowiada przedziałowi ciśnienia od 200 do 400 mm H_2O.



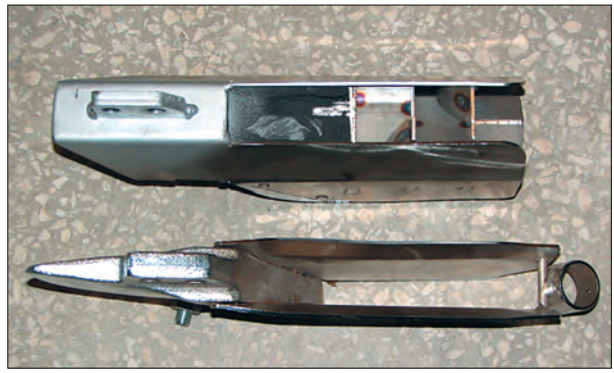
Fot. IX.14.10. Zespół wysiewający: *1* – zbiornik nasion, *2* – dźwignia regulacyjna zgarniaka górnego, *3* – podziałka dla zgarniaka górnego, *4* – zgarniaki dolne z podziałkami, *5* – tarcza wysiewająca z dwoma rzędami otworów, *6* – zdejmowana pokrywa przednia



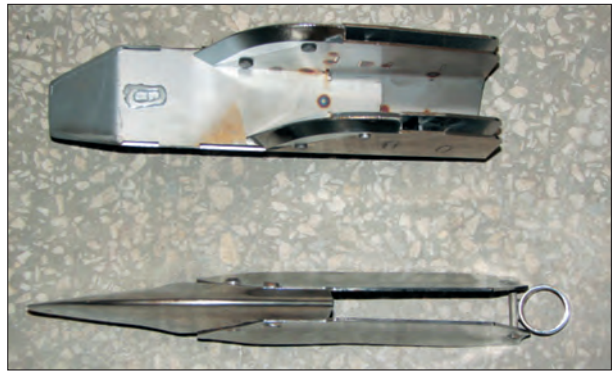
Fot. IX.14.11. Widok zgarniaków umieszczonych w korpusie sekcji: *1* – dźwignia nastawy zgarniaka górnego, *1a* – zgarniak górny, *2* – dźwignie nastawy zgarniaków dolnych, *2a* – zgarniaki dolne

Fot. IX.14.12. Tarcze wysiewające: *a* – z dwoma rzędami otworów wysiewających do nasion drobnych (wysiew dwurzędowy), *b* – z jednym rzędem otworów wysiewających do nasion grubych (wysiew jednorzędowy)

a



b



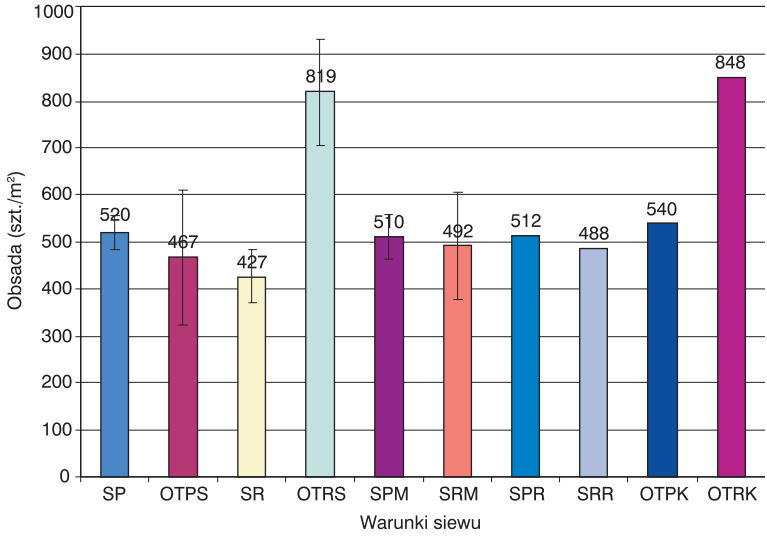
Fot. IX.14.13. Widok dwu- i jednorzędowej redlicy siewnika: *a* – widok z góry, *b* – widok z dołu

Fot. IX.14.14. Widok manometru zamontowanego na korpusie sekcji wysiewającej (zakres właściwej pracy zaznaczono kolorem zielonym)

Wyniki badań

Skonstruowane dozowniki substratu (biopreparatu) spełniły oczekiwania dawkowania i równomiernego rozmieszczenia w profilu glebowym wprowadzanego biopreparatu do gleby. Siew punktowy nasion zarówno w szklarni, korytach, jak i na otwartej powierzchni dał pozytywne skutki, pozwalając na uzyskanie lepszego powierzchniowego rozmieszczenia siewek w porównaniu z siewem ręcznym (na rycinie IX.14.5. przedstawiono wyniki doświadczenia porównującego siew punktowy z siewem ręcznym).

Obsadę siewek w szt.m^{-2} dla powierzchni badawczych Nadleśnictwa Olkusz, w pierwszym roku badań, obliczono na wszystkich powierzchniach badawczych 22 października 2004 r. Analizując wyniki obsady siewek można stwierdzić, że w szklarni liczba uzyskanych sadzonek w siewie punktowym była o 11% większa od liczby teoretycznej wysianych nasion (ryc. IX.14.5.), co może oznaczać, że w ponad 11% otwory tarczy były napełnione dwoma nasionami. Przy siewie ręcznym w szklarni tylko z 52% wysianych nasion wyrosły sadzonki. Świadczy to, że ręcznie wysiewane nasiona były nierównomiernie rozmieszczone, a głównie nierównomiernie przykryte i w dużej części nie miały warunków do kiełkowania. Również w korytach w siewie punktowym uzyskano 95% siewek w stosunku do liczby wysianych nasion. Przyjmując, że w 10% występowały podwójne napełnienia otworów tarczy, to i tak około 75% wysianych punktowo nasion skiełkowało. Jeśli chodzi o siew ręczny w korytach, to w tym wypadku średnio skiełkowało tylko 57% wysianych nasion.



Objaśnienie symboli: SP – siew punktowy (szklarnia), OTPS – obsada teoretyczna siewu punktowego (szklarnia), SR – siew ręczny (szklarnia), OTRS – obsada teoretyczna siew ręczny (szklarnia), SPM – siew punktowy (koryto), biopreparat wprowadzony mechanicznie, SRM – siew ręczny (koryto), biopreparat wprowadzony mechanicznie, SPR – siew punktowy (koryto), biopreparat wprowadzony ręcznie, SRR – siew ręczny (koryto), biopreparat wprowadzony ręcznie, OTPK – obsada teoretyczna siewu punktowego (koryto), OTRK – obsada teoretyczna siewu ręcznego (koryto).

Ryc. IX.14.5. Liczba sadzonek dla różnych warunków siewu – Olkusz 22.10.2004 r.

Uzyskane wyniki wskazują wyraźnie, że siew punktowy umożliwia mechanizację siewu eliminując uciążliwą pracę ręczną oraz lepsze powierzchniowe rozmieszczenie nasion (fot. IX.14.15a i IX.14.15b.), a ponadto zapewnia znaczne oszczędności materiału siewnego, gdyż uzyskuje się o około 35% więcej siewek z wysianych nasion w stosunku do siewu ręcznego.

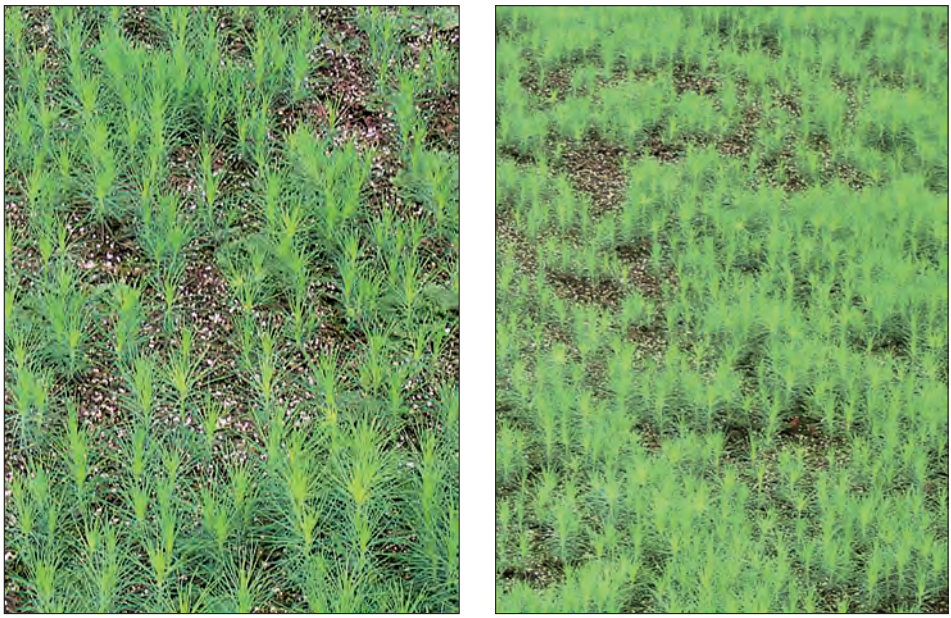
Parametry sadzonek oraz strukturę przynależności do klas jakościowych przedstawiają tabele IX.14.3.–IX.14.5.

Głównym czynnikiem, który decydował o przynależności do odpowiedniej klasy jakości według normy, była długość korzeni szkieletowych (tabela IX.14.4.). Wysokość i grubość większości sadzonek pozwala zakwalifikować je do pierwszej klasy jakości. Nie stwierdzono sadzonek pozaklasowych. Sadzonki wyhodowane z siewu punktowego były dorodniejsze, o czym świadczy znacząco większa zawartość suchej masy i to zarówno w części nadziemnej jak i systemie korzeniowym. Jest to szczególnie widoczne w odniesieniu do sadzonek produkowanych w szklarni, gdzie sucha masa części nadziemnej była większa o prawie 21%, a sucha masa części podziemnej o 12% (tabela IX.14.5). Wyniki siewu świerka w namiocie foliowym przedstawia tabela IX.14.6.

Ze względu na brak norm wysiewu dla siewu punktowego, w obydwu wypadkach zastosowano zbyt dużą obsadę siewek na jednostkę powierzchni. Aby uniknąć pogorszenia warunków rozwoju roślin, marnostrawstwa nasion i niepotrzebnej

pracy ręcznej przy przerywaniu, konieczne jest stosowanie rzadszego siewu, tak by liczba wysianych nasion w wypadku świerka była tylko o 10–20% większa od oczekiwanej obsady sadzonek na ar. Wyniki badań wysiewu nasion sosny siewnikiem punktowym w korytach przedstawiono w tabeli IX.14.7.

a b



Fot. IX.14.15. Widok siewek w szklarni w Olkuszu: *a* – siew punktowy, *b* – siew ręczny

Tabela IX.14.3.
Parametry rocznych sadzonek sosny wyhodowanych w szkółce Nadleśnictwa Olkusz (siew wykonano 28.04.2004 r., a pomiary 30.03.2005 r.)

Rodzaj siewu	Siew punktowy			Siew ręczny		
część sadzonki	część nadziemna (cm)	część podziemna (cm)	średnica szyjki (mm)	część nadziemna (cm)	część podziemna (cm)	średnica szyjki (mm)
szklarnia						
Średnia	12,62	24,19	2,38	13,60	24,32	2,25
Odchyl. stand.	2,50	5,11	0,59	3,09	5,32	0,57
Wsp. zmien.	19,80	21,13	24,76	22,71	21,87	25,41
koryta						
Średnia	9,44	17,37	0,15	9,68	19,09	0,14
Odchyl. stand.	2,20	4,77	0,04	2,18	4,29	0,03
Wsp. zmien.	23,28	27,48	24,00	22,56	22,46	22,91

Tabela IX.14.4.
Struktura przynależności do klas jakościowych

Rodzaj siewu	Wysokość części nadziemnej (%)		Średnica w szyi korzeniowej (%)		Długość korzeni szkieletowych (%)	
	I klasa jakości	II klasa jakości	I klasa jakości	II klasa jakości	I klasa jakości	II klasa jakości
Punktowy	100	0	100	0	64	36
Ręczny	100	0	98	2	62	38

Tabela IX.14.5.
Zawartość suchej masy rocznych sadzonek sosny zwyczajnej wyhodowanych w szkółce Nadleśnictwa Olkusz (pomiary wykonano 30.03.2005 r.)

Rodzaj siewu	Siew punktowy		Siew ręczny	
część sadzonki	nadziemna (g)	podziemna (g)	nadziemna (g)	podziemna (g)
szklarnia				
Średnia	88,20	23,75	69,75	20,95
koryta				
Średnia	34,75	7,90	32,15	7,10

Tabela IX.14.6.
Parametry siewu i uzyskana obsada siewek świerka w namiocie foliowym

Odległość w rzędzie (mm)	Norma siewu (szt./ar)	Liczba siewek (szt./ar)		Wydajność (%)	Ubytek (%)
		wiosna	jesień		
10	200 000	180 200	114 750	90,1	36,3
20	100 000	99 400	74 800	99,4	24,8

Tabela IX.14.7.
Siew nasion sosny zwyczajnej w korytach

Wyszczególnienie	Siew punktowy (sztuk), liczba rzędów w korycie			Siew ręczny
	20 rzędów	10 rzędów	20 rzędów	rzędy poprzeczne
Odległość w rzędzie (mm)	39	19	31	
Teoretyczny wysiew (szt./ar)	51 282	52 631	64 516	135 336
Liczba siewek (szt./ar)	34 278	35 166	44 444	62 200
Udatność siewu (%)	66,84	66,82	68,89	45,96

Fot. IX.14.16. Świerk z siewu punktowego, hodowany w inspekcie pod osłoną namiotu foliowego

Przy wysiewie nasion sosny w korytach zastosowano trzy różne odległości wysiewu w rzędzie i różny rozstaw rzędów. Dla porównania wykonano siew ręczny rzędowy nasion sosny, przy normie wysiewu 0,8 kg/ar. Miało to miejsce 27.04.2006, a siewki policzono 28.09.2006. Wyniki badań wskazują, że po 5 miesiącach od daty wysiewu z 67,5% wysianych nasion wyrosły sadzonki przy siewie punktowym i tylko z niecałych 46% przy ręcznym. Oznacza to, że przy tego rodzaju siewie można zaoszczędzić ponad 20% nasion tylko ze względu na lepsze warunki ich kiełkowania i wzrostu siewek. Czas obsiania jednego koryta rzędowo, w siewie ręcznym wynosił 8 dni roboczych, czas natomiast obsiewu jednego koryta siewnikiem punktowym tylko 15 minut. Ponadto przy siewie ręcznym powierzchniowe rozmieszczenie nasion było wyraźnie gorsze.

Wnioski

1. Zaprojektowany siewnik, w warunkach produkcji sadzonek w inspektach, zapewnia precyzyjne dawkowanie nasion.
2. Siew punktowy w korytach pozwala dokładnie regulować obsadę siewek na m^2, eliminując uciążliwą pracę ręczną i znacznie przyspieszając proces siewu.
3. Siew punktowy, w stosunku do siewu ręcznego, zapewnia 25–35% oszczędność nasion oraz wpływa na poprawę równomierności wschodów i jakości sadzonek.
4. Wysokość i grubość w szyi korzeniowej kwalifikuje większość sadzonek do I klasy jakości. Kryterium kwalifikującym sadzonki do II klasy jest zbyt mała długość korzeni szkieletowych.

5. Uzyskane wyniki wskazują na zalety stosowania siewu punktowego nasion drzew leśnych w szerokiej praktyce szkółkarskiej, wskazane jednak byłoby określenie optymalnej odległości wysiewu nasion w rzędzie dla poszczególnych gatunków drzew leśnych.

15. Warunki hodowli i rozwoju sadzonek różnych gatunków drzew leśnych, poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji

Prof. dr hab. Stefan Kowalski, Katedra Fitopatologii Leśnej Akademii Rolniczej w Krakowie, Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

W przyjętej technologii sterowanej mikoryzacji siewek grzybem *Hebeloma crustuliniforme* w inspektach i korytach można uzyskać bardzo dobre rezultaty hodowli sosny, świerka, dębu i buka. Należy jednak przyjąć małe normy siewu, w przeciwnym razie siewki będą rosły w zbyt dużym zagęszczeniu. W miarę możliwości należy preferować siew punktowy, odpowiednimi siewnikami przystosowanymi do tego celu (Walczyk 2007 L.c.). Siew punktowy zapewnia nie tylko równomierne pokrycie kwater siewnych sadzonkami, ale wpływa również na ich bardzo dobrą jakość. Korzystnie jest, aby sadzonki poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji w pierwszym okresie hodowli przebywały pod osłoną namiotu foliowego. Chodzi głównie o wyeliminowanie skrajnie niekorzystnych warunków pogodowych na udatność zabiegu. Przy hodowli sadzonek na wolnym powietrzu, w wypadku długotrwałych obfitych deszczów może dochodzić do zakłócenia właściwych warunków powietrznych w substracie hodowlanym, co negatywnie wpływa na rozwój grzybni *H. crustuliniforme* z biopreparatu wprowadzonego do substratu. Hodowla sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji daje tym lepsze rezultaty, im wcześniej przystępuje się do siewu.

Warunki klimatyczne w tunelu lub szklarni powinny być w pełni kontrolowane w zakresie temperatury i wilgotności oraz odpowiadać wymaganiom hodowli poszczególnych gatunków drzew. W celu zapewnienia prawidłowego przebiegu procesu mikoryzacji siewek, szczególną uwagę zwrócić należy na intensywność i technikę nawadniania, tak aby substrat nadmiernie nie przesychał, jak też nie był nadmiernie stale uwodniony.

Zalecany nawóz Osmocote, jego skład jakościowy i ilościowy w substracie hodowlanym może nie wystarczyć na pełen jednoroczny cykl produkcyjny. W szóstym tygodniu po wschodach siewek należy rozpocząć nawożenie dolistne 0,5–1% nawozem Bioecor, który nie wpływa ujemnie na przebieg procesu mikoryzacji siewek i kontynuować je jedno- lub dwukrotnie w tygodniu (zależnie od potrzeb) przez około 6–8 tygodni. Można użyć również inne nawozy dolistne, np.: Florawit lub

Basfoliar, które nie zakłócają procesu postępującej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*. W niektórych szkółkach uczestniczących w programie wdrażania sterowanej mikoryzacji z dobrym skutkiem stosowano nawóz Kristalon (Kowalski 2006).

Pod koniec okresu wegetacyjnego (koniec października, początek listopada) 90–100% sadzonek powinno mieć ektomikoryzy typowe dla grzyba *H. crustuliniforme*, a substrat hodowlany być przerośnięty grzybnią ekstramatrykalną. Przy wyjmowaniu sadzonek należy szczególnie uważać, by nie uszkodzić oraz nie przesuszyć mikoryz.

Po wyjęciu sadzonek substrat hodowlany przerośnięty grzybnią *H. crustuliniforme* może być wykorzystany w następnym cyklu produkcyjnym na trzy różne sposoby. W takim wypadku należy się jednak liczyć z tym, że stopień zmikoryzowania siewek (z uwagi na warunki hodowli) może być mniejszy niż w pierwszym sezonie wegetacyjnym. Sposoby wykorzystania tego substratu mogą być następujące:

- W drugim roku użytkowania substratu hodowlanego należy, po wyjęciu sadzonek, uzupełnić go – torfem odkwaszonym dolomitem z 15% udziałem perlitu – o taką ilość, która była zabrana na korzeniach sadzonek wyjętych z poprzedniego sezonu wegetacyjnego. Całość dokładnie wymieszać, aby grzybnia, która przerastała substrat hodowlany z poprzedniego okresu wegetacyjnego, była równomiernie rozprowadzona. Jako nawozu startowego można użyć Azofoskę lub Fruktus w ilości 10 kg/ar, mieszając go glebogryzarką z substratem hodowlanym na głębokość około 10 cm. Korzystniej jest zastosować nawozy wolno rozkładające się, jak nawóz Osmocote, o okresie uwalniania składników 3–4 i 5–6 miesięcy, odpowiednio w proporcjach trzy części pierwszego i dwie drugiego nawozu lub inny wolno rozkładający się, ale o podobnej charakterystyce. Nawozy te w ilości 18 kg/ar należy równo rozsypać, a następnie glebogryzarką dokładnie wymieszać z substratem hodowlanym na głębokość około 10 cm. Po upływie sześciu tygodni od wschodów należy włączyć program nawożenia dolistnego, analogiczny jak w wypadku hodowli materiału sadzeniowego na substracie w pierwszym roku użytkowania.
- Całość substratu hodowlanego z poprzedniego okresu wegetacyjnego, przerośniętego grzybnią *H. crustuliniforme*, można potraktować jako „szczepionkę" i w proporcji 30% „szczepionki" oraz 70% świeżego substratu torfowego ułożyć jako nową kwaterę siewną w inspekcie lub korycie.
- Substrat hodowlany z poprzedniego okresu wegetacyjnego, przerośnięty grzybnią *H. crustuliniforme*, można użyć do mikrobiologicznej rewitalizacji gleby w szkółkach zdegradowanych.

Ten ostatni sposób wykorzystania substratu torfowego z grzybnią *H. crustuliniforme* jest szczególnie interesujący. Badania wykazały, że wprowadzenie do gleby w szkółce samego torfu, co jest zabiegiem w praktyce szkółkarskiej dość częstym, wpływa jedynie na poprawę parametrów wzrostowych sadzonek sosny, natomiast nie zmienia w sposób istotny ich mikotrofizmu. Jeżeli hodowane w glebie zdegradowanej sadzonki sosny wykazują prawie wyłącznie ektendomikoryzy, to dopiero wprowadzenie do gleby substratu torfowego z grzybem *H. crustuliniforme* zmienia istotnie ten układ symbiotyczny. Sadzonki cechują się znacznie korzyst-

niejszymi parametrami części nadziemnej i bardzo dobrze rozwiniętym systemem korzeniowym, na którym oprócz ektendomikoryz znacząco wzrasta udział ektomikoryzy z wprowadzonym do gleby gatunkiem grzyba (Kowalski 2007 L.c.).

Kilkuletnie doświadczenia z wdrażaniem do praktyki leśnej zabiegu sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych grzybem *H. crustuliniforme* pozwoliły na wypracowanie takiego postępowania technologicznego, które wskazuje dość jednoznacznie na uzyskiwanie wymiernych efektów hodowlanych (Kowalski 2005).

W wypadku sosny hodowanej w inspektach lub korytach, bardzo dobre wyniki hodowlane można uzyskać siejąc ją w rzędy, przyjmując odległość między rzędami 5 cm, a w rzędzie między siewkami 2,5 cm. Wyliczona norma siewu na 1 ar dla takiego schematu wynosi 0,33 kg przy założeniu, że skiełkuje 94% nasion i 0,37 kg przy założeniu, że skiełkuje 84% nasion. Taki siew można wykonać różnymi technikami, ale stosunkowo proste jest posłużenie się odpowiednio przygotowanym znacznikiem (fot. IX.15.1.).

W większości szkółek hodujących sosnę w inspektach lub korytach z zastosowaniem technologii sterowanej mikoryzacji, wyhodowany materiał sadzeniowy miał bardzo dobre parametry i był wysokiej jakości hodowlanej (fot. IX.15.2.).

Procentowy udział sadzonek z mikoryzą *H. crustuliniforme* był duży i w większości szkółek wahał się pomiędzy 80 a 100%, co przykładowo ilustruje tabela IX.15.1. Substrat hodowlany przerośnięty był grzybnią, a w licznych miejscach na kwaterach siewnych pojawiały się owocniki grzyba *H. crustuliniforme* (fot. IX.15.3.).

Hodując sosnę w technologii sterowanej mikoryzacji, na standardowym substracie torfowym przygotowywanym w tym celu w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie, należy zwrócić szczególną uwagę na trzy czynniki, które w dużym stopniu będą wpływały na jakość hodowlaną sadzonek. Do nich należy zaliczyć gęstość siewu, schemat nawożenia i technikę podlewania. Jeżeli siew będzie zbyt gęsty, a nawożenie startowe zbyt duże, niedostosowane do wymagań technologii sterowanej mikoryzacji, to sadzonki będą nieproporcjonalnie wysokie w stosunku do grubości w szyi korzeniowej i późno osiągną fazę przygotowania do spoczynku zimowego (Kowalski 2006). Niewłaściwy system podlewania, nierównomierny i zbyt dużą kroplą, będzie negatywnie wpływał na prawidłowy przebieg procesu mikoryzacji sterowanej grzybem *H. crustuliniforme*.

Do substratu hodowlanego, do którego raz wprowadzono biopreparat z grzybem *H. crustuliniforme*, sosnę nie należy wysiewać dłużej niż przez dwa sezony wegetacyjne. Po drugim sezonie wegetacyjnym substrat hodowlany powinien być wymieniony.

Świerk pospolity, poddany zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* w inspektach i korytach, powinien być hodowany w cyklu dwuletnim, podobnie jak modrzew. Ten ostatni gatunek – z uwagi na duże zróżnicowanie wzrostu i raczej umiarkowany stopień zmikoryzowania systemu korzeniowego – powinien być w ograniczonym zakresie hodowany w tej technologii. Badania wykazały, że modrzew europejski hodowany w inspektach lub w korytach, w pierwszym sezonie wegetacyjnym stosunkowo słabiej reaguje na zabieg sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*. Procentowy udział sadzonek wykazujących ten ro-

Fot. IX.15.1. Znacznik przydatny do siewu rzędowego w korytach oraz inspektach (Nadleśnictwo Piotrków Trybunalski)

Fot. IX.15.2. Sosna siana w rzędy w inspekcie, poddana zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* w Nadleśnictwie Wichrowo

Tabela IX.15.1.
Średnie parametry i stopień zmikoryzowania sadzonek sosny zwyczajnej (1/0) hodowanej w inspektach (korytach) i poddanej zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme*

Nadleśnictwo	Data siewu	Oceniane parametry		
		wysokość (cm)	średnica w szyi korzeniowej (mm)	procent sadzonek z mikoryzą zamierzoną
hodowla w namiotach foliowych, siew rzędowy				
Choczewo	25.04.06	18,8	4,2	80
Wichrowo	10.05.06	13,9	2,6	100
hodowla w namiotach foliowych, siew pełny				
Leżajsk	16.04.04	15,8	3,5	100
Włodawa	27.04.05	15,0	2,1	100
Stąporków	29.04.05	14,5	2,5	100
hodowla na powierzchni otwartej, siew rzędowy				
Bełchatów	26.04.04	17,2	2,5	90
Złotów	24.04.04	11,9	2,7	100
Góra Śląska	11.05.05	12,7	2,1	100
Kłobuck	27.04.06	15,6	3,0	100
Piotrków Trybunalski	3.05.06	15,6	2,2	100
hodowla na powierzchni otwartej, siew pełny				
Leżajsk	26.04.05	11,3	1,9	90
Włodawa	4.05.05	13,0	1,8	100
Kłobuck	27.04.06	15,6	3,0	100

dzaj mikoryzy waha się od około 70 do 80%, parametry hodowlane są zróżnicowane – wysokość sadzonek waha się od około 16,4 do 28,4 cm, zaś średnica w szyi korzeniowej od 2,0 do 4,3 mm. Jednoroczne sadzonki modrzewia hodowanego w technologii sterowanej mikoryzacji jedynie w bardzo ograniczonym zakresie nadają się do nasadzeń (Kowalski 2006). Powinno się go hodować w cyklu dwuletnim lub szkółkować do gruntu. Osiąga wtedy bardzo dobre parametry hodowlane i duży, bo wynoszący od 95 do 100% stopień zmikoryzowania systemu korzeniowego grzybem *H. crustuliniforme* (tab. IX.15.2.). Modrzew w porównaniu ze świerkiem wymaga większego procentowego udziału biopreparatu w substracie hodowlanym. Z tych względów można by zalecić hodowlę modrzewia w technologii sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* na substracie, na którym przez jeden sezon wegetacyjny w tej technologii hodowany był buk (fot. IX.15.4.). Przy założeniu, że modrzew hodowany w inspektach lub w korytach nie będzie szkółkowany, lecz hodowany w cyklu 2/0, należy obniżyć normę siewu. Zbyt duże zagęszczenie sadzonek na kwaterze powoduje dużą podatność na szarą pleśń i opadzinę igieł modrzewia.

Fot. IX.15.3. Owocniki *H. crustuliniforme* na kwaterze w inspekcie z jednorocznymi sadzonkami sosny

Fot. IX.15.4. Modrzew europejski (2/0) siany w rzędy w inspekcie, poddany zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* w Nadleśnictwie Gorlice

Tabela IX.15.2.
Średnie parametry i stopień zmikoryzowania sadzonek świerka pospolitego (2/0) i modrzewia europejskiego (2/0) hodowanych w inspektach (korytach) i poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme*

Nadleśnictwo	Data siewu	Oceniane parametry		
		wysokość (cm)	średnica w szyi korzeniowej (mm)	procent sadzonek z mikoryzą zamierzoną
świerk pospolity				
Piwniczna	19.05.03	35,0	5,0	100
Gorlice[1]	23.04.04	34,6	3,6	100
Wichrowo[1]	6.05.04	31,5	5,0	100
Nowy Targ	5.05.05	25,0	6,0	90
modrzew europejski				
Gorlice[1]	23.04.04	66,2	5,1	100
Gorlice[1]	23.04.05	76,0[2]	7,0	100
Nowy Targ	6.05.05	70,0	8,0	95

[1] Siew w początkowym okresie pod osłoną namiotu foliowego.
[2] Substrat w drugim roku użytkowania, Md siany po wyjęciu sadzonek Bk.

Świerk z kolei jest gatunkiem, który bardzo dobrze poddaje się zabiegowi sterowanej mikoryzacji z grzybem *H. crustuliniforme* (Kowalski, Szabla 2003). Badania wykazały, że w pierwszym sezonie wegetacyjnym procentowy udział sadzonek świerka z mikoryzą zamierzoną z grzybem *H. crustuliniforme* był zróżnicowany i wahał się między 70 i 100%. Również parametry hodowlane tych sadzonek były bardzo zróżnicowane, a ich wysokość wahała się od 7,0 do 16,2 cm, zaś średnica w szyi korzeniowej od 1,5 do 2,5 mm. Jednakże sadzonki szkółkowane lub hodowane w cyklu produkcyjnym 2/0 w sezonie wegetacyjnym wyrównywały wzrost, a system korzeniowy był obficie zaopatrzony w ektomikoryzy (Kowalski 2006). W każdym wypadku stwierdzono stosunkowo duży udział sadzonek z mikoryzą z grzybem *H. crustuliniforme*, wynoszący od 90 do 100%, co przykładowo zestawiono w tabeli IX.15.2. Hodowany w tej technologii świerk, w cyklu produkcyjnym 2/0, należy siać w rzędy, przyjmując normę siewu 0,26–0,37 kg/ar.

W inspektach lub w korytach ze świerkiem (2/0) stwierdzano łanowe występowanie owocników *H. crustuliniforme*, a dwuletnie sadzonki były bardzo dobrze wybarwione i osiągnęły parametry hodowlane co najmniej trzyletnich I klasy jakości świerka szkółkowanego w gruncie (fot. IX.15.5.). Po wyjęciu sadzonek i uzupełnieniu substratu hodowlanego, który należy wymieszać ze starym, można ponownie siać świerk, jak to miało miejsce w Nadleśnictwie Wichrowo, uzyskując bardzo duży, bo 100% udział sadzonek z mikoryzą zamierzoną lub substrat ten wykorzystać do hodowli innego gatunku drzewa (Kowalski 2006). Świadczy to, że substrat hodowlany w inspektach raz zaszczepiony biopreparatem z grzybem *H. crustuliniforme* może być w kolejnych latach używany w hodowli materiału sadzeniowego

Fot. IX.15.5. Świerk pospolity (2/0) siany w rzędy w inspekcie, poddany zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* w Nadleśnictwie Wichrowo

w programie sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych bez potrzeby corocznego wprowadzania biopreparatu.

Z gatunków liściastych buk pospolity oraz dęby – szypułkowy i bezszypułkowy bardzo pozytywnie reagują na zabieg sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*, które zawsze należy hodować w cyklu jednorocznym. Sadzonki dębu osiągnęły bardzo dobre parametry hodowlane, odpowiadające standardom trzyletniej sadzonki szkółkowanej w gruncie (fot. IX.15.6. i IX.15.7.). System korzeniowy tak hodowanych sadzonek jest bardzo dobrze rozwinięty oraz zaopatrzony w ektomikoryzy z infekcji zamierzonej grzybem *H. crustuliniforme*, a substrat hodowlany obficie przerasta grzybnia ekstramatrykalna tego grzyba. Owocniki pojawiają się na kwaterach siewnych już w pierwszym roku hodowli. Badania wykazały, że 100% sadzonek dębu poddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji zaopatrzonych było w ektomikoryzy typowe dla *H. crustuliniforme* (Kowalski 2006). Dąb hodowany w tej technologii nie wymaga dodatkowego nawożenia dolistnego. Konieczne natomiast są staranne zabiegi ochronne przeciwko mączniakowi prawdziwemu dębu. W pierwszym okresie powinien być hodowany pod osłoną namiotu foliowego.

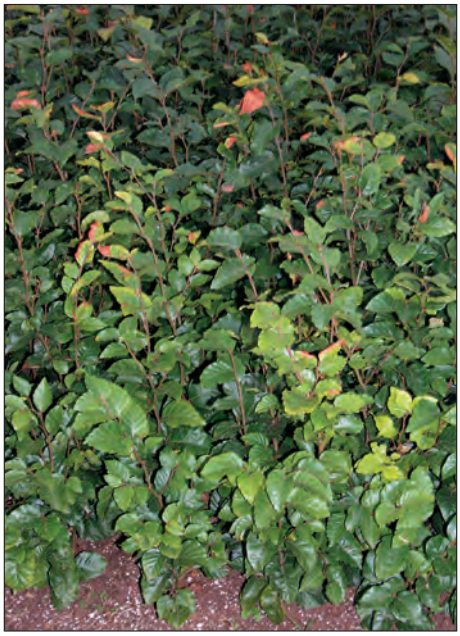
Sadzonki buka zwyczajnego (1/0), hodowane w technologii sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*, zawsze uzyskują bardzo dobre parametry hodowlane, a procentowy udział sadzonek z ektomikoryzą zamierzoną waha się od 70

Fot. IX.15.6. Dąb (1/0) hodowany w inspekcie, poddany zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* w Nadleśnictwie Kalisz Pomorski

Fot. IX.15.7. Sadzonka dębu (1/0) z systemem korzeniowym pokrytym mikoryzą *H. crustuliniforme* – widoczna biała grzybnia przerastająca substrat hodowlany

do 100% (Kowalski 2006). Ich parametry hodowlane po pierwszym sezonie wegetacyjnym porównać można z dwu-, a nawet trzyletnią sadzonką buka szkółkowanego w gruncie (fot. IX.15.8.). W szkółkach uczestniczących w programie wdrażania polskiej technologii sterowanej mikoryzacji buk – hodowany w korytach lub w inspektach – osiągał wysokość od 31,7 do 45,0 cm oraz średnicę w szyi korzeniowej od 4,1 do 7,1 mm. System korzeniowy tych sadzonek zawsze był dobrze rozwinięty i obficie zaopatrzony w ektomikoryzy z infekcji zamierzonej (fot. IX.15.9.).

Buk powinien być siany siewem rzędowym i w pierwszym okresie hodowany pod osłoną namiotu foliowego. Uzyskuje wtedy znacznie lepsze parametry hodowlane i większy procentowy udział sadzonek z ektomikoryzą zamierzoną grzybem *H. crustuliniforme*. Nie bez znaczenia jest fakt hodowli tego gatunku drzewa w technologii sterowanej mikoryzacji na substracie w pierwszym, drugim czy trzecim roku użytkowania. Z tych względów należy zróżnicować nawożenie startowe oraz dalsze nawożenie uzupełniające – dolistne, uwzględniając fakt, że drzewa leśne nawiązują kontakt ektomikoryzowy przy względnym niedoborze soli mineralnych, zwłaszcza azotowych. Wybierając nawóz startowy do hodowli buka w technologii sterowanej mikoryzacji na substracie w drugim lub trzecim roku jego użytkowania, korzystniej jest zastosować wieloskładnikowy nawóz o przedłużonym okresie uwalniania składników pokarmowych. Należy również zwrócić szczególną uwagę na właściwe przeprowadzanie zabiegów ochronnych przed owadami i grzybami.



Fot. IX.15.8. Buk hodowany w inspekcie, poddany zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* w Nadleśnictwie Gorlice

Fot. IX.15.9. System korzeniowy sadzonek buka pospolitego, hodowanego w inspekcie, poddanego zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*

Buk hodowany po buku na substracie w drugim roku użytkowania może charakteryzować się gorszymi parametrami hodowlanymi w porównaniu z sadzonkami buka hodowanego na substracie w pierwszym roku użytkowania po wprowadzeniu biopreparatu z grzybem *H. crustuliniforme*. Hodowany natomiast na substracie w trzecim roku użytkowania może uzyskać bardzo dobre parametry hodowlane i duży stopień zmikoryzowania systemu korzeniowego, jeżeli na tym substracie przez dwa poprzednie sezony wegetacyjne hodowany był świerk w technologii sterowanej mikoryzacji z grzybem *H. crustuliniforme* w cyklu hodowlanym 2/0. W Nadleśnictwie Gorlice po wyjęciu sadzonek świerka substrat hodowlany w inspekcie uzupełniono standardowym torfem z perlitem, jaki jest używany w technologii sterowanej mikoryzacji i wymieszano z pozostałym w inspekcie z poprzedniego sezonu wegetacyjnego substratem hodowlanym, obficie przerośniętym grzybnią. W tej kombinacji sadzonki buka wykazywały najlepsze parametry hodowlane w porównaniu z sadzonkami hodowanymi na substracie w pierwszym i drugim okresie jego użytkowania. Sadzonki były ciemnozielone, o wyrównanym wzroście, bez jakichkolwiek objawów chorobowych. System korzeniowy tych sadzonek był bardzo dobrze zmikoryzowany, a grzybnia ekstramatrykalna *H. crustuliniforme* w sposób widoczny przerastała substrat hodowlany (Kowalski 2006).

Analizując uzyskane do tej pory wyniki w programie sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych polskim biopreparatem z grzybem *H. crustuliniforme* należy zauważyć, że biopreparat ten z równie pozytywnym skutkiem może być stosowany w hodowli materiału sadzeniowego na substratach torfowych tak w pojemnikach, jak też w inspektach i korytach. W tym drugim wypadku raz wprowadzona do substratu hodowlanego szczepionka może skutecznie wpływać na tworzenie się ektomikoryz u sadzonek hodowanych na tym substracie przez kolejne 2–3 lata. Przerośnięty grzybnią substrat hodowlany może być również użyty jako „inokulum inicjujące" proces mikoryzacji sadzonek hodowanych w nowo zakładanych inspektach lub korytach. Użyty może być również do mikrobiologicznej rewitalizacji gleby w szkółkach, w których brakuje właściwych grzybów ektomikoryzowych.

16. Metody molekularne w monitorowaniu skuteczności zabiegu sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych

Dr Tomasz Leski, prof. dr hab. Maria Rudawska,
Pracownia Badania Mikoryz, Instytut Dendrologii PAN,
ul. Parkowa 5, 62-035 Kórnik

Opracowanie i wdrożenie do produkcji szczepionki ektomikoryzowej przeznaczonej do kontrolowanej inokulacji siewek i sadzonek drzew leśnych pociąga za sobą konieczność znalezienia metod oceny skuteczności jej działania. Wprowadzony grzyb musi charakteryzować się dużą konkurencyjnością w stosunku do gatunków i szcze-

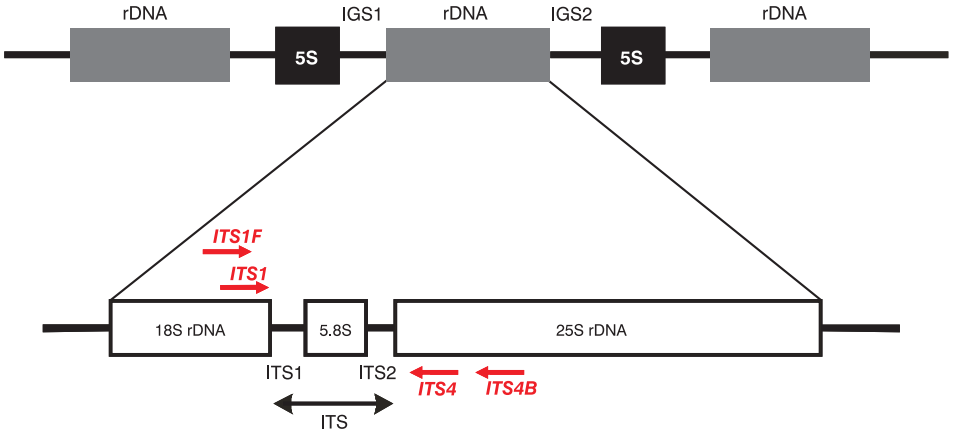
pów występujących naturalnie. Dotyczy to pierwszych lat wzrostu drzew w szkółce leśnej (kontenerowej lub otwartej), jak też oceny przeżycia symbionta grzybowego na uprawie w kilka lat po wysadzeniu sadzonek. Kolonizacja ektomikoryzowa systemu korzeniowego inokulowanych siewek i sadzonek może być monitorowana z wykorzystaniem analizy morfologiczno-mikroskopowej (Agerer 1991), jednak metoda ta w wielu wypadkach nie pozwala na jednoznaczne odróżnienie gatunków grzybów tworzących mikoryzy. Mamy z tym do czynienia zwłaszcza wśród blisko spokrewnionych gatunków (np. różne gatunki z rodzaju *Tuber*, *Hebeloma* czy *Laccaria*).

Stosowane obecnie różnorodne techniki molekularne dostarczają bardziej skutecznych i niezawodnych narzędzi do identyfikacji gatunków oraz szczepów grzybów ektomikoryzowych niż analizy morfologiczno-anatomiczne. Oparte są one na analizie DNA grzybowego i mogą być wykorzystane do kontroli skuteczności sterowanej mikoryzacji. U podstaw większości tych badań leży zastosowanie metody PCR (łańcuchowej reakcji polimerazy – Polymerase Chain Reaction), pozwalającej na zwielokrotnienie (amplifikację) w ciągu 2–3 godzin określonego fragmentu DNA, o pożądanej sekwencji, w milionach kopii – standardowo około 1 miliarda (Mullis, Faloona 1987). W łańcuchowej reakcji polimerazy każda nowo powielana cząsteczka staje się matrycą dla dwóch następnych kopii, co decyduje o lawinowym tempie reakcji. Ważną zaletą tej metody jest to, że do zainicjowania reakcji wystarcza mała ilość materiału wyjściowego – matrycy DNA. W wypadku mikoryz może to być tylko jeden wierzchołek mikoryzowy lub niewielka ilość grzybni (np. fragment sznura grzybniowego). Pierwszym i podstawowym zagadnieniem pojawiającym się przy zastosowaniu metod molekularnych opartych na technice PCR jest wybór optymalnego regionu DNA, który ma być poddany amplifikacji. Również w badaniach grzybów mikoryzowych jest to niezwykle istotny element. Według Gardes i Bruns (1993) region taki musi spełniać następujące kryteria: (1) powinien występować w DNA u wszystkich gatunków grzybów, (2) być łatwy w amplifikacji, (3) być wybiórczo amplifikowany z DNA grzybowego w wypadku, gdy DNA grzybowe i roślinne jest zmieszane, z czym mamy do czynienia przy izolacji DNA z mikoryz, (4) być wystarczająco zmienny, aby umożliwić badania na różnych poziomach systematycznych (gatunek, rodzaj, rodzina).

Regionem DNA spełniającym w wystarczającym stopniu wymienione kryteria w trakcie badań mikoryz jest rDNA, obecny w genomie zarówno u *Procaryota* jak i *Eucaryota*. Jest to obszar DNA jądrowego, zawierający geny kodujące RNA rybosomowe. Dodatkowym atutem tego fragmentu jest to, że wyjściowo występuje on w genomie w bardzo licznych kopiach. RDNA składa się z fragmentów kodujących i niekodujących (ryc. IX.16.1.). Najbardziej konserwatywne, czyli najmniej zmienne, są odcinki kodujące (geny) 18S, 5,8S i 25S. Wewnętrzne regiony niekodujące ITS (internal transcribed spacers) charakteryzują się umiarkowanym stopniem zmienności. Pomiędzy regionami rDNA występuje gen 5S oraz tzw. zewnętrzne regiony niekodujące IGS1 i IGS2 (intergenic spacers), charakteryzujące się bardzo wysoką zmiennością genetyczną. Podstawową zaletą analizy regionu ITS rDNA (łącznie ITS1, 5,8S i ITS2) jest to, że u grzybów ektomikoryzowych jest on na tyle konserwatywny, iż na ogół nie wykazuje dużej zmienności wewnątrzgatunkowej, a równocześnie dostatecznie zmienny, aby odróżnić gatunki należące do jednego rodzaju.

Kolejny problem w analizach molekularnych to odpowiedni dobór starterów (primerów), od których rozpoczyna się proces amplifikacji. Powinny się składać z co najmniej kilkunastu nukleotydów, być komplementarne w stosunku do przeciwstawnych nici DNA, a odcinek DNA „oskrzydlony" parą starterów nie może być większy niż kilka tysięcy par nukleotydów. Pierwsze startery pozwalające na amplifikację regionu ITS rDNA z wyizolowanego DNA zostały opracowane przez White'a i współpracowników (1990). Para uniwersalnych starterów ITS1 i ITS4 (ryc.IX.16.1.), pomimo że została skonstruowana na podstawie ograniczonej, niewielkiej liczby dostępnych wtedy sekwencji, okazała się niezwykle trafiona i wykorzystywana jest do dzisiaj.

Zestaw ten, pierwotnie przeznaczony do amplifikacji regionu ITS rDNA u szerokiego spektrum grzybów, powoduje również amplifikację DNA grzybowego wyizolowanego z mikoryz (Gardes i Bruns, 1993). Często dochodzi jednak do równoczesnej amplifikacji DNA pochodzenia roślinnego. Ten brak specyficzności w stosunku do materiału grzybowego ogranicza ich użyteczność przy powielaniu regionu ITS z mieszaniny DNA pochodzącego z mikoryz (DNA grzybowe i gospodarza) szczególnie, gdy stosunek DNA grzybowego do DNA niegrzybowego jest niski. Należy jednak podkreślić, iż ta para starterów jest z powodzeniem stosowana przy badaniach mikoryz drzew z rodziny *Pinaceae*, gdzie nie obserwuje się amplifikacji DNA roślinnego. Brak specyficzności starterów ITS1 i ITS4 w stosunku do grzybów spowodował, że w roku 1993 skonstruowano nowe startery ITS1F i ITS4B (ryc. IX.16.1.). Starter ITS1F jest specyficzny w stosunku do wszystkich gatunków grzybów, natomiast ITS4B powoduje amplifikację tylko u grzybów należących do *Basidiomycota*. Produkty amplifikacji (fragmenty DNA) rozdzielane są i obserwowane podczas elektroforezy, najczęściej agarozowej, w postaci prążków na żelu. Odległość migracji danego fragmentu DNA określa jego wielkość, tzn. liczbę par zasad. U grzybów wielkość regionu ITS rDNA wynosi zazwyczaj 600–900 par zasad (włą-



Ryc. IX.16.1. Budowa regionu rDNA wraz z zaznaczonymi miejscami wiązania się starterów w reakcji PCR (miejsca te zaznaczone są strzałkami w kolorze czerwonym)

czając gen 5,8S). Różnice w wielkości uzyskanych odcinków DNA są więc często niewielkie i na ogół nie pozwalają na identyfikację gatunku grzyba. Dlatego kolejnym etapem analizy jest najczęściej metoda RFLP (Restriction Fragment Lenght Polymorphism), czyli badanie polimorfizmu długości fragmentów restrykcyjnych. Pozwala ona odróżnić od siebie wiele gatunków, jest relatywnie szybka i tania, przy tym niewymagająca specjalistycznego sprzętu. W pracach tych wykorzystuje się enzymy restrykcyjne, pozwalające na cięcie fragmentu DNA w miejscach o ściśle określonej sekwencji nukleotydów. Wzory restrykcyjne, czyli układ prążków na żelu elektroforetycznym, uzyskane ze ściśle określonymi enzymami, są najczęściej gatunkowo specyficzne. Stąd przy zastosowaniu techniki RFLP można określić przynależność gatunkową grzybni tworzącej badaną mikoryzę. Zazwyczaj zastosowanie dwóch lub trzech enzymów jest wystarczające do rozróżnienia większości gatunków. Podstawą do identyfikacji partnera grzybowego jest posiadanie wzorca w postaci wzorów restrykcyjnych analizowanego fragmentu DNA dla różnych gatunków grzybów mikoryzowych. Wzorce takie opracowuje się na podstawie analizy PCR-RFLP znanego materiału grzybowego. Są to najczęściej owocniki grzybów ektomikoryzowych lub kultury *in vitro* grzybów ektomikoryzowych. Tak więc połączenie techniki PCR i RFLP może być z powodzeniem stosowane przy ocenie skuteczności inokulacji, dając możliwość identyfikacji wprowadzonego gatunku grzyba.

Badania dowodzą, że metoda ta daje dobre rezultaty, na przykład przy monitorowaniu szczepienia różnych gatunków drzew z wykorzystaniem kilku gatunków *Tuber*, należących do grupy tzw. białych trufli: *T. magnatum*, *T. borchii*, *T. maculatum*, *T. puberulum* i *T. dryophilum* (Bertini i wsp. 1998a). Analiza restrykcyjna regionu ITS rDNA, powielonego z mikoryz z wykorzystaniem uniwersalnych starterów ITS1 i ITS4, pozwoliła na właściwą identyfikację wszystkich wymienionych gatunków trufli. Pomyślna inokulacja stwierdzona została w wypadku *T. borchii* i *Pinus pinea* oraz *T. maculatum* i *Ostrya carpinifolia*. Natomiast wśród mikoryz *Quercus pubescens* inokulowanych *T. magnatum* wykazano obecność mikoryz tworzonych również przez *T. borchii*, jak też przez inny, niezidentyfikowany gatunek grzyba. Siewki *Populus alba* inokulowane z użyciem *T. dryophilum* tworzyły z kolei mikoryzy z grzybem *Pulvinula constellatio*, gatunkiem często spotykanym w warunkach szklarniowych. Metoda ta została również wykorzystana przy ocenie skuteczności introdukcji *T. melanosporum* na teren Izraela poprzez inokulację różnych gatunków z rodzaju *Quercus* oraz *Corylus avellana*. Badania wykazały, że grzyb ten jest nadal obecny jako składnik mikoryz badanych drzew po czterech latach po inokulacji i wysadzeniu na uprawę (Kagan-Zur i wsp. 2001).

Pomimo stosunkowo prostej metodyki badań opartych na PCR-RFLP, wymagają one jednak kilku etapów: izolacji DNA, amplifikacji (PCR) oraz analizy restrykcyjnej (RFLP). Dlatego prowadzone są prace mające na celu skrócenie i usprawnienie identyfikacji zastosowanego do inokulacji gatunku grzyba. Dotyczy to zwłaszcza doświadczeń w krajach śródziemnomorskich nad komercyjnie ważnymi gatunkami z rodzaju *Tuber*. Jest to o tyle istotne, że trufle zaczynają wytwarzać owocniki dopiero po 8–10 latach od wysadzenia inokulowanych sadzonek. W szkółkach natomiast często zdarza się naturalne zastępowanie wprowadzonego sztucznie gatunku przez inny, o mniejszym znaczeniu handlowym. Skrócenie procesu identyfikacji po-

lega przede wszystkim na opracowaniu specyficznych gatunkowo starterów. Tworzone są one na podstawie sekwencji regionu ITS uzyskanych z analizy owocników konkretnych gatunków. Pozwala to na ograniczenie analizy do izolacji DNA i reakcji PCR. Startery takie powodują, że w trakcie amplifikacji regionu ITS powielany jest tylko DNA reprezentujący interesujący hodowcę gatunek grzyba. Do tej pory opracowano wiele starterów specyficznych dla różnych gatunków z rodzaju *Tuber* (Amicucci i wsp. 1998, Mello i wsp. 1999, Paolocci i wsp. 1999, Suz i wsp. 2006). Dzięki temu, że amplifikowane z wykorzystaniem specyficznych gatunkowo starterów fragmenty DNA różnią się istotnie wielkością, możliwa jest identyfikacja gatunku już na poziomie elektroforezy produktu PCR. Startery takie mogą być wykorzystane również w reakcji zwanej multiplex-PCR. W reakcji tej stosuje się nie jedną parę starterów, ale kilka, specyficznych dla różnych gatunków *Tuber* (Mello i wsp. 1999, Paolocci i wsp. 1999, Amicucci i wsp. 2000). Pozwala ona na równoczesną analizę mieszaniny DNA wyizolowanego z wielu wierzchołków mikoryzowych, co może znacznie skrócić czas i koszt analizy. Uzyskanie dodatkowych prążków na żelu, pochodzących od innych gatunków niż zastosowany do inokulacji, dowodzi jasno, że doszło do kolonizacji przez inne gatunki *Tuber*. W reakcji takiej wykorzystany może być również starter specyficzny gatunkowo dla grzyba *Sphaerosporella brunea*. Jest to symbiont drzew, które tworzą mikoryzy z różnymi gatunkami z rodzaju *Tuber*, silnie konkurencyjny w stosunku do innych grzybów mikoryzowych. Charakteryzuje się szybkim wzrostem, jego zarodniki kiełkują bardzo łatwo, ma również zdolność do obfitej produkcji owocników, a jego mikoryzy są morfologicznie bardzo zbliżone do mikoryz z rodzaju *Tuber*. Jego obecność stanowi poważny problem w trakcie stosowania kontrolowanej mikoryzacji z wykorzystaniem trufli.

Specyficzne gatunkowo startery mogą zostać opracowane nie tylko dla ściśle określonego regionu DNA, np. ITS, tak jak to opisano wyżej. Alternatywną metodą jest zastosowanie tzw. markerów SCAR (polimorfizm sekwencyjnie charakteryzowanych regionów DNA – Sequence Characterized Amplified Region). Pierwszym krokiem do ich stworzenia jest reakcja RAPD (losowo amplifikowany polimorficzny DNA – Random Amplified Polymorphic DNA). Opiera się na reakcji PCR z wykorzystaniem starterów o losowej, przypadkowej sekwencji. Startery takie mają długość około 10 par zasad i przyłączają się do wyizolowanego DNA w wielu miejscach całego genomu równocześnie. Podobnie jak w klasycznym PCR, produkty RAPD rozdzielane są na żelu agarozowym, a obraz stanowi nie jeden pojedynczy prążek, lecz cały ich szereg. Analiza różnych gatunków grzybów tą metodą, z wykorzystaniem różnych starterów, pozwala na znalezienie specyficznych fragmentów (prążków na żelu), charakterystycznych (markerowych) dla poszczególnych gatunków. Po wyizolowaniu takiego fragmentu z żelu, oczyszczeniu i powieleniu są one następnie klonowane i sekwencjonowane. Na podstawie poznanej sekwencji przygotowywane mogą być startery specyficzne dla danego gatunku. Opisana wyżej procedura pozwoliła m.in. na stworzenie specyficznych dla *T. borchii* par starterów TBI/TBII i EST1/EST2 oraz *T. melanosporum* – SS14Fw/SS14Bk i SS15Fw/SS15Bk (Bertini i wsp. 1998b, Paolocci i wsp. 2000). Testy dowiodły, że startery te nie pozwalają na amplifikację innych gatunków grzybów, czy to z mikoryz czy owocników, z wyjątkiem *T. borchii* oraz *T. melanospo-*

rum. Tym samym mogą być potencjalnie wykorzystane jako narzędzie służące do kontroli inokulacji z wykorzystaniem tych gatunków grzybów.

Przedstawione dotychczas metody dają możliwość identyfikacji gatunku grzyba zastosowanego w trakcie kontrolowanej mikoryzacji. Jest to wystarczające np. w wypadku grzybów z rodzaju *Tuber*, gdzie zwykle stosuje się szczepionkę w formie zarodników pochodzących z wielu różnych genetycznie owocników. Często jednak szczepionka mikoryzowa oparta jest na wyselekcjonowanym szczepie grzyba ektomikoryzowego, dlatego też istotne jest posiadanie sposobu identyfikacji nie tylko na poziomie gatunku, ale także szczepu. Jest to możliwe tylko i wyłącznie dzięki zastosowaniu technik molekularnych.

Najlepiej udokumentowane w literaturze naukowej badania skuteczności kontrolowanej inokulacji i czasu przeżycia zastosowanego szczepu ektomikoryzowego pochodzą z prac francuskich (Martin i wsp. 1999, Weber i wsp. 2002, Selosse i wsp. 1996, 1998, 1999). Wszystkie dotyczą losu amerykańskiego szczepu *Laccaria bicolor* S238N i szczepu francuskiego 81306, wykorzystanych do mikoryzacji siewek i sadzonek daglezji *Pseudotsuga meziesii*. W badaniach tych zastosowano wiele metod molekularnych, w tym nieopisywaną wcześniej analizę regionu IGS rDNA (IGS1 i IGS2). Dzięki znacznemu stopniowi polimorfizmu w tym regionie rDNA możliwa jest identyfikacja grzybów ektomikoryzowych na poziomie szczepu. Uzyskane w trakcie reakcji amplifikacji odcinki DNA różnią się bowiem długością, często na skutek heterozygotyczności następuje również powielenie więcej niż jednego odcinka DNA, tworzącego region IGS. W połączeniu ze wspomnianą wyżej techniką RAPD możliwe było prześledzenie losów szczepu S238N w kilkanaście lat po wysadzeniu na uprawę. W analizie RAPD wykorzystywane było od 4 do 9 różnych starterów, co w połączeniu z analizą regionu IGS pozwoliło na ustalenie profilu genetycznego analizowanych szczepów. Pewnym ograniczeniem metody RAPD w badaniach mikoryz, wynikającym ze stosowania niespecyficznych starterów, jest możliwość amplifikacji fragmentów DNA roślinnego. Dlatego też prowadzone były one na podstawie analizy genetycznej owocników zbieranych na powierzchniach doświadczalnych. Grzyb *L. bicolor* jest gatunkiem, który bardzo obficie wytwarza owocniki, co daje możliwość analizy rozmieszczenia przestrzennego różnych szczepów. Dodatkowym argumentem przemawiającym za wykorzystaniem owocników jest uniknięcie „zanieczyszczeń" genetycznych obecnych w mikoryzach, a związanych z występowaniem na ich powierzchni lub wewnątrz innych gatunków grzybów, np. endofitów. Uzyskane wyniki wskazują, że amerykański szczep *L. bicolor* S238N był w stanie przetrwać na badanych powierzchniach ponad 14 lat (Selosse 1998). Owocniki wytwarzane przez ten szczep stanowiły ponad 38% wszystkich analizowanych.

Kolejnym etapem prac zespołu francuskiego było opracowanie specyficznych szczepowo markerów SCAR (Weber i wsp. 2002). Po przetestowaniu kolejnych szczepów *L. bicolor*, jak również innych gatunków z rodzaju *Laccaria* oraz kilku partnerów mikoryzowych daglezji (np. *Chalciporus piperatus* i *Rhizopogon subareolatus*) z wykorzystaniem siedmiu starterów RAPD, wytypowano 6 charakterystycznych dla szczepu S238N markerów SCAR. Wśród starterów przygotowanych na ich podstawie, dwa (SCAR-157400 i SCAR-157240) okazały się przydatne do

identyfikacji wprowadzonego szczepu na poziomie mikoryz. Nie obserwowano natomiast amplifikacji z innymi gatunkami grzybów, bakterii czy też DNA rośliny gospodarza. Analiza mikoryz daglezji z plantacji, na której wysadzone były inokulowane sadzonki, dowiodła, że amerykański szczep zachował zdolność tworzenia mikoryz po 14 latach od założenia doświadczenia. Dodatkowo stwierdzono, że rozprzestrzenił się on poza poletka, na które został wprowadzony wraz z sadzonkami. Wytypowano również jeden marker SCAR, charakterystyczny dla europejskiego szczepu *L. bicolor* 81306. Należy spodziewać się, że posłuży on do stworzenia specyficznego dla tego szczepu startera, co umożliwi jego detekcję nie tylko na poziomie owocników, ale również mikoryz.

Identyfikacja szczepu zastosowanego do inokulacji możliwa jest również dzięki zastosowaniu analizy SSR (polimorfizm sekwencji mikrosatelitarnych – Simple Sequence Repeats). Sekwencje mikrosatelitarne DNA składają się z powtarzającego się motywu długości 1–4 nukleotydów. Liczba obserwowanych powtórzeń zawarta jest w przedziale od 10 do 50 i często charakteryzuje się zmiennością wewnątrzgatunkową, tzn. może być odmienna u różnych osobników czy szczepów tego samego gatunku. Podobnie jak w wypadku konstruowania starterów do reakcji PCR, również przy analizie mikoryz za pomocą SSR istotne jest znalezienie takich sekwencji mikrosatelitarnych, które charakteryzują DNA grzybowe, ale nie będą występowały w genomie rośliny gospodarza. Do niedawna markery SSR wykorzystywane były w badaniach mikologicznych głównie na poziomie owocników, np. przy ocenie rozmieszczenia przestrzennego różnych genetów reprezentujących jeden gatunek grzyba. Intensywne prace związane z rozwojem i doskonaleniem technik molekularnych pozwoliły w ostatnim czasie na zastosowanie ich również w badaniach mikoryz, w tym oceny przetrwania szczepów mikoryzowych użytych do inokulacji. Sześć par starterów SSR, stworzonych do amplifikacji sekwencji mikrosatelitarnych u *L. bicolor* (Jany i wsp. 2006), zostało użyte do oceny obecności szczepu UAMH8232, zastosowanego wcześniej w szczepionce mikoryzowej (Gagné i wsp. 2006). Dzięki tej metodzie wykazano jego przeżycie wśród mikoryz na inokulowanych sadzonkach *Pinus contorta*, *Picea glauca* i *P. mariana*, w 5 i 6 lat po wysadzeniu na zrębie zupełnym. Drzewa te były również inokulowane innymi gatunkami grzybów (*Hebeloma longicaudum, Paxillus involutus, Pisolithus tinctorius, Rhizopogon vinicolor* i *Suillus tomentosus*). Analizy PCR-RFLP regionu ITS oraz sekwencjonowanie tego regionu, wykonane dla wszystkich stwierdzonych typów morfologicznych ektomikoryz wykazały, że żaden z tych grzybów nie przetrwał okresu wzrostu sadzonek na odnowionej powierzchni.

Jeszcze inną metodę identyfikacji szczepu wprowadzonego wraz z inokulum zastosowali El Karkoui i wsp. (2006). Badali oni przeżywalność szczepu *Suillus collinitus* Sc-32, wykorzystanego do mikoryzacji *Pinus halepensis*. W swoich pracach oparli się na markerach genetycznych ISSR (polimorfizm sekwencji międzymikrosatelitarnych – Inter Simple Sequence Repeats). Metoda ta pozwala na identyfikację polimorfizmu długości obszarów DNA zawartych pomiędzy przeciwlegle skierowanymi, identycznymi sekwencjami mikrosatelitarnymi. Jako startery w reakcji PCR stosowane są fragmenty polinukleotydów o długości 16–18 par zasad, odpowiadające motywom mikrosatelitarnym. Przetestowanie dużej liczby szczepów re-

prezentujących jeden gatunek pozwala na znalezienie markerowego fragmentu ISSR, charakterystycznego dla interesującego nas szczepu. Wytypowany przez El Karkoui i wsp. (2006) marker ISSR, wraz z zastosowaniem specyficznego markera SCAR, pozwolił stwierdzić, że użyty szczep Sc-32 jest wciąż obecny na badanej powierzchni, pomimo upływu 56 miesięcy od inokulacji.

W Polsce, w porównaniu z innymi krajami, kontrolowaną mikoryzację stosuje się od niedawna. Z racji wieloletnich doświadczeń w analizie mikoryz drzew leśnych z wykorzystaniem metod molekularnych w Pracowni Badania Mikoryz Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku podjęto po raz pierwszy badania nad skutecznością stosowanych w Polsce szczepionek mikoryzowych. Po raz pierwszy zweryfikowano mikoryzację w 1999 roku, u siewek hodowanych na paletach w szkółce kontenerowej Kostrzyca. Jako inokulum wykorzystywany był wówczas grzyb *L. bicolor*, a mikoryzacja oparta była na technologii francuskiej (firma Robin). Stosując metodę PCR-RFLP (startery ITS1 i ITS4) stwierdzono stosunkowo mały poziom kolonizacji siewek świerka i modrzewia przez wprowadzonego grzyba. Większość badanych mikoryz tworzona była przez *Thelephora terrestris*, gatunek wszędobylski i bardzo łatwo rozprzestrzeniający się przez zarodniki. Bardzo duży stopień kolonizacji przez *L. bicolor* wykazały jedynie siewki sosny.

W ostatnich latach zbadano działanie biopreparatu z grzybem *H. crustuliniforme* na siewki sosny, świerka i modrzewia w kilku polskich szkółkach leśnych (Tychowo, Złotów, Okonek, Konin), produkujących materiał zarówno z zakrytym jak i odkrytym systemem korzeniowym. We wszystkich wypadkach wykazano bardzo duży procent zmikoryzowania, a analiza molekularna potwierdziła, że mikoryzy tworzone były przez grzyb *H. crustuliniforme*.

17. Wpływ okresu użytkowania substratu hodowlanego szczepionego biopreparatem z grzybem *Hebeloma crustuliniforme* na stan ilościowy i jakościowy ektomikoryzy sosny zwyczajnej w kolejnych sezonach wegetacyjnych

Prof. dr hab. Stefan Kowalski, Katedra Fitopatologii Leśnej Akademii Rolniczej w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Materiał badawczy i metody

Badania prowadzono na terenie szkółki leśnej w Nadleśnictwie Olkusz, w trzech korytach, z których każde zajmowało powierzchnię 1,5 ara oraz w inspekcie o powierzchni 5,1 ara. Sadzonki sosny poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* przez cały okres wegetacyjny były hodowane na

powierzchni otwartej, a koryta umieszczono pomiędzy dwoma kulisami starodrzewu sosnowego, z tym że w dwóch hodowana była sosna na świeżo przygotowanym substracie, do którego wprowadzono biopreparat z grzybem *H. crustuliniforme*, zaś w jednym na substracie, do którego biopreparat wprowadzono w poprzednim sezonie wegetacyjnym. W tym drugim wypadku, po wyjęciu wiosną sadzonek sosny, których system korzeniowy był bardzo dobrze wyposażony w ektomikoryzy z *H. crustuliniforme*, pozostały substrat hodowlany jedynie wyrównano, stosując jednocześnie nawożenie przedsiewne nawozem „Fruktus" w ilości 15 kg/1,5 ara i siewem ręcznym pełnym ponownie zasiano 23.04.2004 sosnę zwyczajną. Uwzględniając fakt, że na początku doświadczenia w tym korycie znajdowało się 37,5 m^3 substratu hodowlanego i zakładając, że na korzeniach sadzonek sosny zabrano około 20–30% substratu przerośniętego grzybnią *H. crustuliniforme*, to zastosowana dawka nawożenia startowego w tym korycie wynosiła 0,5–0,6 kg nawozu/m^3 substratu hodowlanego. Przez cały okres wegetacyjny sosna nie była dodatkowo nawożona i nie stosowano żadnych zabiegów chemicznych.

W wypadku sadzonek sosny produkowanych w technologii sterowanej mikoryzacji na substracie w trzecim roku użytkowania w inspekcie, hodowlę prowadzono w każdym sezonie wegetacyjnym w szklarni. W pierwszym roku hodowli (wiosna 2002) do sterylnego substratu hodowlanego wprowadzono biopreparat z grzybem *H. crustuliniforme* i posiano sosnę. W kolejnych dwóch sezonach wegetacyjnych, po wyjęciu sadzonek sosny, substrat hodowlany uzupełniano wyłącznie niesterylizowanym substratem torfowym o tę ilość, która została zabrana na korzeniach sadzonek, po czym mieszano z pozostałą częścią substratu hodowlanego zawierającego grzybnię *H. crustuliniforme* i ponownie siano sosnę. Wiosną 2004 roku substrat hodowlany pozostały w inspekcie uzupełniono w około 30% torfem odkwaszonym dolomitem i zawierającym objętościowo 15% perlitu, a następnie obie części wymieszano, dodając jako nawożenie przedsiewne nawóz „Azofoska" w ilości 50 kg na 5,3 ara. W okresie wegetacyjnym sadzonki sosny nawożono regularnie dolistnie nawozem „Bioecor", 6-krotnie w czerwcu oraz 13-krotnie w lipcu, średnio co 2–3 dni. Sosnę pełnym siewem ręcznym wysiano 14.04.2004 r.

W doświadczeniu przyjęto dwa sposoby mieszania biopreparatu z substratem hodowlanym. W pierwszym wypadku biopreparat mieszano w mieszalniku bębnowym z wcześniej przygotowaną częścią substratu hodowlanego (według zasad podanych w rozdz. IX.13.) i niezwłocznie przenoszono na kwaterę siewną w pierwszym korycie, układając go równą warstwą na przygotowanym podłożu. W drugim równą warstwą wyłożono część substratu hodowlanego zawierającego wermikulit oraz nawozy Osmocote na wcześniej przygotowane podłoże hodowlane w drugim korycie (również wg zasad podanych w rozdz. IX.13.), a następnie posypano równomiernie biopreparatem z grzybem *H. crustuliniforme* i wymieszano go glebogryzarką na głębokość około 15 cm. Siew wykonano 4 maja 2004 roku. Przez cały okres wegetacyjny sadzonki w każdym wariancie doświadczenia nie były dodatkowo nawożone, ani nie stosowano chemicznych zabiegów ochrony roślin.

W każdym wariancie doświadczenia, zarówno w korytach jak i w inspekcie, używano nasion sosny o żywotności 96%, tego samego pochodzenia z drzewostanu gospodarczego, a masa 1000 sztuk wynosiła 6,8 g. Przyjęto normę wysiewu

6,5 g/m^2, co dawało – po uwzględnieniu żywotności nasion – teoretyczną liczbę siewek 848 szt./m^2.

Ze wszystkich kombinacji doświadczalnych 22.10.2004 r. pobrano jednoroczne sadzonki sosny do analizy ich parametrów hodowlanych i stopnia zmikoryzowania systemu korzeniowego. Z każdej kombinacji doświadczalnej wzięto po 30 sadzonek i po zabezpieczeniu systemu korzeniowego przed wysychaniem przewieziono do laboratorium. Analizując skład ilościowy i jakościowy mikoryz w różnych miejscach systemu korzeniowego, z korzeni II lub III rzędu każdej sadzonki oddzielnie wycinano 5-centymetrowe odcinki tak, aby każdorazowo poddać analizie mikroskopowej 100 cm korzenia. Typy morfologiczne mikoryz określano przy użyciu mikroskopu stereoskopowego. Z poszczególnych typów morfologicznych wykonywano preparaty anatomiczne i badano je, określając ich przynależność do typu *Hebeloma* (ektomikoryzy z infekcji zamierzonej), mikoryz ektendotroficznych i pozostałych rodzajów ektomikoryz. Po zakończeniu analiz ilościowych i jakościowych mikoryz, korzenie suszono w temperaturze 60°C przez 2 doby, po czym na elektronicznej wadze laboratoryjnej określono ich suchą masę z dokładnością do czwartego miejsca po przecinku.

Omówienie wyników badań

Analizując wyniki hodowli sadzonek sosny na substracie szczepionym biopreparatem z grzybem *H. crustuliniforme* w pierwszym roku użytkowania, ale z uwzględnieniem dwóch różnych technik wprowadzenia biopreparatu do substratu hodowlanego, należy zauważyć, że takie parametry średnie jak: wysokość sadzonek, średnica w szyi korzeniowej, długość korzenia głównego i sucha masa korzeni były podobne, a analiza wariancji nie wykazała różnic statystycznie istotnych (tabela IX.17.1.).

Sadzonki sosny zwyczajnej wyposażone były w ektomikoryzy charakterystyczne dla związku z grzybem *H. crustuliniforme*, a średni procentowy ich udział wahał się pomiędzy 90% w kombinacji doświadczalnej, w której biopreparat z substratem hodowlanym mieszano glebogryzarką i 100% w kombinacji doświadczalnej, w której biopreparat z substratem hodowlanym mieszano w mieszalniku bębnowym (tab. IX.17.2.). Mikoryzy przybierały formy morfologiczne pojedyncze i dychotomiczne, z widoczną obfitą, białą opilśnią (mufką grzybniową) i odchodzącymi od niej welonami strzępek grzybni, charakterystycznymi dla *H. crustuliniforme*. Nie stwierdzono różnic statystycznie istotnych, które można by przypisać odmiennej formie wprowadzenia biopreparatu do substratu hodowlanego. Zmechanizowanie natomiast procesu technologicznego upraszcza procedury stosowane przy zabiegu sterowanej mikoryzacji, skraca wydatnie czas zabiegu i ma wpływ na jego koszt. W tym wypadku system korzeniowy był nawet lepiej rozbudowany, gdyż średnia liczba korzeni II rzędu była ponad dwukrotnie większa w porównaniu z kombinacją doświadczalną, w której biopreparat z substratem hodowlanym był mieszany mieszalnikiem bębnowym (tabela IX.17.1.). Analiza testem Kruskal'a–Wallis'a wykazała istotność statystyczną różnic w liczebności korzeni II i III rzędu sadzonek rosnących na substracie hodowlanym, mieszanym z biopreparatem

Tabela IX.17.1.
Średnie wartości mierzalnych parametrów jednorocznych sadzonek sosny zwyczajnej w poszczególnych kombinacjach doświadczalnych

Kombinacja doświadczalna	Wysokość części nadziemnej (cm)	Średnica w szyi korzeniowej (mm)	Długość korzenia głównego (cm)	Liczba korzeni bocznych rzędu:			Sucha masa korzeni (g)
				I	II	III	
I	9,7	1,6	14,1	21	21	0	0,1651
II	9,0	1,7	14,1	22	52	3	0,1843
III	9,6	1,7	13,0	24	51	3	0,1673
IV	13,0	2,1	15,6	22	59	3	0,2311

Objaśnienie symboli kombinacji doświadczalnej:
I – substrat hodowlany w korycie zewnętrznym, w pierwszym roku użytkowania, biopreparat z grzybem *H. crustuliniforme* mieszany z substratem hodowlanym w mieszalniku bębnowym.
II – substrat hodowlany w korycie zewnętrznym, w pierwszym roku użytkowania, biopreparat z grzybem *H. crustuliniforme* nałożony warstwą na powierzchnię substratu hodowlanego i wymieszany z nim za pomocą glebogryzarki na głębokość 15 cm.
III – substrat hodowlany z grzybem *H. crustuliniforme* w korycie zewnętrznym, w drugim roku użytkowania.
IV – substrat hodowlany z grzybem *H. crustuliniforme* w trzecim roku użytkowania, w inspekcie w szklarni.

Tab. IX.17.2.
Średni procentowy udział typów morfologicznych oraz ektomikoryz z infekcji zamierzonej grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i mikoryz z infekcji przygodnej u jednorocznych sadzonek sosny zwyczajnej w poszczególnych kombinacjach doświadczalnych

Kombinacja doświadczalna	Procent typów morfologicznych mikoryz			Procent sadzonek z mikoryzą *H. crustuliniforme*	Stopień zmikoryzowania systemu korzeniowego (%)		
					ektomikoryzy		ektendomikoryzy
	pojedynczych	dychotomicznych	wielokrotnych		*H. crustuliniforme*	inne	
I	78,8	17,8	3,4	100,0	99,6	0,4	0,0
II	81,6	16,2	2,2	100,0	90,5	0,0	9,5
III	58,1	30,6	11,3	96,7	55,6	0,6	43,8
IV	74,5	21,7	3,8	90,0	15,9	9,2	74,9

Objaśnienia symboli kombinacji doświadczalnych jak w tabeli IX.17.1.

glebogryzarką, w porównaniu z kombinacją doświadczalną, w której biopreparat z substratem hodowlanym mieszano w mieszalniku bębnowym. Uwagę zwraca jednak fakt, że w kombinacji doświadczalnej, w której biopreparat z substratem hodowlanym mieszano glebogryzarką, u 23% sadzonek stwierdzono występowanie ektendomikoryzy, i chociaż procentowy udział tego typu mikoryzy w mikotrofizmie badanych sadzonek był mały, wynosił jedynie 9,5%, to jednak mógł być konse-

kwencją mniej równomiernego rozprowadzenia biopreparatu w substracie hodowlanym, w porównaniu z mieszaniem tych składników w mieszalniku bębnowym (tab. IX.17.2.). W obu wypadkach pod koniec okresu wegetacyjnego stwierdzono, że substrat hodowlany był dobrze przerośnięty grzybnią *H. crustuliniforme*, a w różnych miejscach na kwaterze siewnej obserwowano liczne występowanie owocników tego grzyba. Sadzonki sosny były bardzo dobrze rozwinięte, o ciemnozielonym aparacie asymilacyjnym i nie wykazywały żadnych objawów niedoboru składników pokarmowych, mimo zastosowania bardzo niskiego poziomu nawożenia mineralnego.

Sadzonki sosny hodowane na substracie w drugim roku jego użytkowania po zabiegu sterowanej mikoryzacji nie różniły się mierzalnymi parametrami morfologicznymi części nadziemnej i systemu korzeniowego od sadzonek hodowanych na substracie w pierwszym roku użytkowania (tabela IX.17.1.). Różnice natomiast były wyraźne w jakościowym i ilościowym spektrum mikoryz, stwierdzonym na korzeniach badanych sadzonek (tabela IX.17.2.). Pomimo że procent sadzonek z ektomikoryzą zamierzoną z grzybem *H. crustuliniforme* w tym wypadku był również duży, gdyż wynosił 96,7%, to jednak udział tej mikoryzy w mikotrofizmie badanych sadzonek był prawie o połowę mniejszy w porównaniu z sadzonkami hodowanymi na substracie z tym grzybem w pierwszym roku użytkowania i wynosił jedynie 55,6% (tabela IX.17.2.). Uwagę zwraca stosunkowo duży procentowy udział ektendomikoryzy na korzeniach badanych sadzonek, gdyż wynoszący 43,8% (tabela IX.17.2.). Jednocześnie ten typ mikoryzy stwierdzono u wszystkich badanych sadzonek rosnących na substracie w drugim roku użytkowania, a u 33% badanych sadzonek był on dominujący w ich mikotrofizmie. Ten wynik wskazuje na niekorzystne zmiany, jakie zachodzą w mikotrofizmie sadzonek sosny hodowanych na substracie w drugim sezonie jego użytkowania po wykonaniu zabiegu sterowanej mikoryzacji, a ponadto uzasadnia potrzebę wymiany substratu hodowlanego po drugim sezonie wegetacyjnym i wprowadzenie nowej partii szczepionki, jeżeli chce się zachować ciągłość produkcji materiału sadzeniowego w technologii sterowanej mikoryzacji z grzybem *H. crustuliniforme*. Samo określenie procentu sadzonek z mikoryzą *H. crustuliniforme* nie jest wystarczającym kryterium podejmowania decyzji o możliwej długości okresu użytkowania substratu hodowlanego, do którego raz wprowadzono biopreparat z tym grzybem. Pozytywnie należy jednak odnotować, że w mikotrofizmie badanych sadzonek znajdowały się również ektomikoryzy pochodzące z infekcji naturalnej. Były to ektomikoryzy rodzaju: „Ga", „Ha" i „Ia", według klasyfikacji Dominika (1969). Ich łączny procentowy udział był jednak niewielki i wynosił 0,7% (tabela IX.17.2.).

Sadzonki sosny hodowane na substracie w trzecim roku użytkowania po wykonaniu zabiegu sterowanej mikoryzacji przez cały okres wegetacyjny rosły w szklarni i były nawożone dolistnie. Z tych względów nie można ich porównywać z sadzonkami hodowanymi na otwartej przestrzeni i nienawożonymi dolistnie. Ten fakt niewątpliwie decydował o wielkości mierzalnych parametrów części nadziemnych i systemu korzeniowego, które w tym wypadku były większe niż u sadzonek hodowanych w korytach na otwartej przestrzeni (tabela IX.17.1.). Znaczące różnice między sadzonkami hodowanymi w trzecim roku użytkowania i pozostałymi

kombinacjami doświadczalnymi stwierdzono natomiast w jakościowym oraz ilościowym spektrum mikoryz (tabela IX.17.2.). Procent sadzonek z ektomikoryzą zamierzoną grzybem *H. crustuliniforme* był jedynie pozornie duży, gdyż w rzeczywistości udział tej mikoryzy na korzeniach badanych sadzonek był bardzo mały i stanowił jedynie około 15% (tabela IX.17.2.). Dominowały mikoryzy ektendotroficzne, których udział wynosił około 75% (tabela IX.17.2.). Na korzeniach wszystkich badanych sadzonek stwierdzano tę mikoryzę i jej zdecydowaną dominację w mikotrofizmie. Na uwagę zasługuje jednak stosunkowo duży procentowy udział ektomikoryzy rodzaju „Ia", pochodzącej z infekcji naturalnej, którą stwierdzano u ponad 66% badanych sadzonek. Procentowy jej udział w mikotrofizmie wynosił ponad 8% (tabela IX.17.2.).

Badania wykazały wyraźne zróżnicowanie w stopniu zmikoryzowania systemu korzeniowego sadzonek sosny grzybem *H. crustuliniforme*, zwłaszcza w zależności od okresu użytkowania substratu hodowlanego raz zaszczepionego biopreparatem (tabela IX.17.2.). Chociaż procentowy udział sadzonek z mikoryzą zamierzoną grzybem *H. crustuliniforme* w każdej kombinacji doświadczalnej był stosunkowo duży i wynosił od 90 do 100%, to jednak procentowy udział ektomikoryz typowych dla *H. crustuliniforme* w mikotrofizmie tych sadzonek był bardzo zróżnicowany i w wypadku sadzonek sosny hodowanej na substracie w trzecim roku użytkowania obejmował jedynie około 15%, na substracie w drugim roku użytkowania około 55%, zaś na substracie w pierwszym roku użytkowania był bardzo duży – od 90 do 100% (tabela IX.17.2.). Ten stosunkowo bardzo mały udział ektomikoryz z infekcji zamierzonej na korzeniach siewek hodowanych na substracie w trzecim roku użytkowania wynikał prawdopodobnie nie tylko z długości okresu użytkowania raz zaszczepionego grzybem *H. crustuliniforme* substratu hodowlanego, ale raczej miał związek z nadmiernym przesuszeniem tego substratu w szklarni w okresie zimowym. Ten fakt należy uwzględnić przy dalszym planowaniu hodowli sadzonek w technologii sterowanej mikoryzacji.

Uzyskane wyniki dość jednoznacznie wskazują, że hodowla sadzonek sosny w technologii sterowanej mikoryzacji na substracie, do którego jednorazowo wprowadzono biopreparat z grzybem *H. crustuliniforme* w korytach lub w inspektach, nie powinna trwać dłużej niż dwa lata. Po tym okresie procentowy udział ektomikoryz z grzybem *H. crustuliniforme* w spektrum mikoryzowym może okazać się na tyle mały, że nie będzie już spełniał kryterium mikoryzacji zamierzonej tym grzybem, pomimo że parametry hodowlane sadzonek będą nadal zadowalające.

X. Możliwości poprawy jakości hodowlanej sadzonek sosny zwyczajnej z odkrytym systemem korzeniowym w szkółkach gruntowych z wykorzystaniem technologii sterowanej mikoryzacji

18. Wykorzystanie zarodników *Scleroderma citrinum* Pers. do mikoryzacji sadzonek sosny zwyczajnej

Dr Dorota Hilszczańska, Zakład Fitopatologii Leśnej Instytutu Badawczego Leśnictwa, Sękocin-Las, 05-090 Raszyn

Wprowadzenie

W szkółkarstwie polskim wykorzystuje się nowoczesne metody i techniki nawożenia oraz uprawy gleby, a także ochrony wschodów. Mimo to w wielu szkółkach uzyskiwana udatność, jak też jakość nie odpowiada oczekiwaniom, gdyż część siewek oraz sadzonek choruje i zamiera, co w rezultacie prowadzi do zmniejszenia produkcji, a tym samym wymiernych strat ekonomicznych (Sierota 1997). Po wysadzeniu sadzonek pochodzących z takich szkółek stwierdzana jest niejednokrotnie mała udatność upraw, co może wynikać również z niewłaściwego stanu mikoryz na korzeniach.

Zaopatrzenie w dobrze rozwiniętą mikoryzę sadzonek drzew leśnych hodowanych w gruncie wymaga użycia odpowiednich dla szkółek leśnych gatunków grzybów i sposobów mikoryzacji. Prace dotyczące mikoryzacji wskazują, że stosowanie szczepionek w postaci grzybni wegetatywnej jest najbardziej efektywnym materiałem do inokulacji siewek (Trappe 1977, Marx i in. 1991, Kowalski 1997, Hilszczańska 2002). Jednakże duża ilość produkowanego w sterylnych warunkach żywotnego inokulum, jakie jest potrzebne do zastosowania w powszechnej hodowli sadzonek mikoryzowanych sprawia, że produkcja szczepionek wegetatywnych na dużą skalę wciąż pozostaje kosztowna i czasochłonna.

Relatywnie obfite i niedrogie źródło inokulum mogą stanowić zarodniki niektórych gatunków grzybów ektomikoryzowych. Stosowano je już w XVIII wieku w próbach zwiększenia produkcji trufli, zanim jeszcze poznano prawdziwą naturę symbiozy mikoryzowej (Trappe 1977). Zarodniki grzybów stosowano także do inokulacji drzew iglastych z odkrytym i zakrytym systemem korzeniowym (Castella-

no, Trappe 1985, Marx 1980, Marx i in. 1991, Massicotte i in. 1994). Korzystną stroną inokulum zarodnikowego jest pominięcie fazy hodowlanej w czystych kulturach, mała objętość szczepionki i łatwość przechowywania. Do ujemnych stron należy zaliczyć nieregularne owocnikowanie, brak odpowiednich testów laboratoryjnych określających żywotność zarodników oraz opóźnione, w porównaniu z inokulum wegetatywnym, tworzenie mikoryz, zwykle o 3–4 tygodnie (Marx i Kenney 1982).

Gatunki grzybów mikoryzowych, stosunkowo dobrze nadających się do mikoryzacji przy użyciu zarodników, wytwarzają owocniki kuliste, w których wnętrzu, w tzw. glebie, tworzą się zarodniki i pozostają zamknięte przez cały okres dojrzewania. Z chwilą osiągnięcia dojrzałości okrywa owocnika pęka i uwolnione zarodniki roznoszone są przez wiatr. W Polsce najlepiej znanymi gatunkami, które tworzą dużą masę zarodników i rozmnażają się w ten sposób, to grzyby należące do rodzaju *Scleroderma* (tęgoskór), *Rhizopogon* (piestrówka) oraz *Pisolithus* (purchawica).

Scleroderma citrinum Pers. (tęgoskór pospolity) jest gatunkiem powszechnie występującym w Polsce. Charakteryzuje się niespecyficznością wobec gospodarza, co oznacza, że może tworzyć mikoryzy z wieloma gatunkami drzew, m.in. z: sosną, jodłą, bukiem czy nawet kasztanowcem (Garrido 1984, Ingleby i in. 1985). Tworzy mikoryzy zarówno z drzewami w wieku juwenilnym jak i dorosłymi. Najlepsze warunki do rozwoju znajduje na glebach piaszczystych i ubogich w wapń (Jeffries 1999). Mikoryzacja z zastosowaniem inokulum tego grzyba była z powodzeniem stosowana w warunkach szklarniowych i otwartych szkółkach leśnych do zwiększenia udatności nasadzeń *Pinus resinosa* (Richter, Bruhn 1987) oraz *Pseudotsuga menziesii* i *Pinus pinaster* (Parlade i in. 1996). Z badań (Marx, Cordell 1989) wynika, że zarodniki tego grzyba są efektywne w następujących formach: (l) zmieszane z fizycznym nośnikiem – piasek, glina, wermikulit, węgiel drzewny – przed dodaniem do gleby, (2) zawieszone w wodzie, którą zraszano glebę, (3) rozpylone w postaci pyłu lub areozolu na powierzchni gleby, (4) umieszczane w formie otoczki na powierzchni nasion, (5) zamykane w kapsułkach z substancji koloidalnych i rozsiewane.

Celem prezentowanych badań było określenie liczby mikoryz i parametrów wzrostu sadzonek sosny zwyczajnej, rosnącej w warunkach otwartej szkółki leśnej po inokulacji zarodnikami *S. citrinum*.

Materiał badawczy i metody

Owocniki *S. citrinum* zebrano w jesieni 1998 r. na terenie Nadleśnictwa Chojnów (RDLP Warszawa), w drzewostanie *P. sylvestris* w wieku 60–80 lat, z domieszką *Quercus robur* w wieku 60 lat, na siedlisku boru mieszanego świeżego (pH w H_2O gleby wynosiło 4,7). Po zbiorze owocniki powierzchniowo oczyszczono i suszono przez 48 godzin w temperaturze 40°C. Następnie przechowywano je w chłodni w temperaturze 5°C. Wiosną 1999 r. zmielono je w sterylnym blenderze, a zarodniki zmieszano ze zmielonym wcześniej węglem drzewnym (węgiel grillowy) w proporcji wagowej 1:10. Porcja ważąca 500 g stosowana była na powierzchnię 50 m^2. Doświadczenie prowadzono w otwartych szkółkach leśnych w Nadleśnictwie Sokołów Podlaski i Grójec (Skuły). Glebą, pod względem składu mechanicznego, był pia-

Tabela X.18.1.
Odczyn oraz zawartość składników pokarmowych gleb w ocenianych szkółkach

Nadleśnictwo	pH		Procent		C:N	mg/100 g				
	H_2O	KCl	C	N		P_2O_5	K	Ca	Mg	Na
Grójec	5,4	4,1	0,93	0,053	17,5	11,1	5,0	46,0	3,7	1,5
Sokołów Podl.	6,1	5,1	3,58	0,196	18,3	3,4	13,4	307,5	13,0	1,5

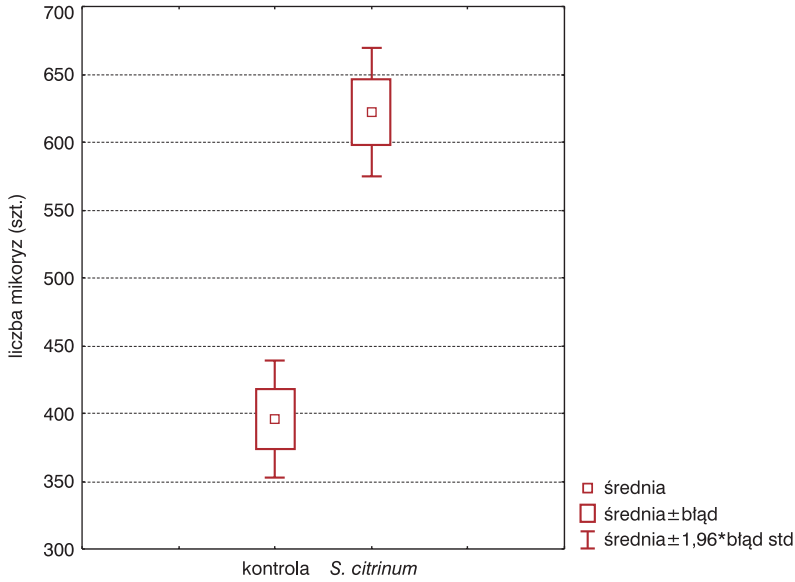
sek słabogliniasty. Odczyn gleby i zawartość składników pokarmowych przedstawiono w tabeli X.18.1.

Zabieg mikoryzacji wykonano wraz z siewem sosny zwyczajnej. Na każdej kwaterze wyodrębniono powierzchnię inokulowaną i nieinokulowaną (kontrola) o długości 5 m i szerokości 1,10 m każda. Łącznie w obu szkółkach założono sześć powierzchni zabiegowych i sześć kontrolnych. Po pięciu miesiącach wegetacji, w połowie września 1999 r., z kwater kontrolnych i zabiegowych pobrano losowo próby liczące po 30 siewek sosny każda. Następnie z uśrednionej próby wydzielono losowo po 10 siewek. Analizę przeprowadzano na 10 pobranych losowo korzeniach z 30 siewek dla każdej kwatery (wariantu). Oceniono parametry hodowlane i kolonizację mikoryzową. Systemy korzeniowe były badane z zastosowaniem mikroskopu stereoskopowego. Cechy morfologiczne mikoryz obserwowano przy powiększeniu od 10 do 50 razy. Korzenie krótkie cięto na małe fragmenty (około 1 cm), pobierając je z górnej, środkowej i dolnej części systemu korzeniowego (Parlade i in. 1996). Analizę statystyczną przeprowadzono przy użyciu testu T, według programu Statistica, wersja 7,1 (2005).

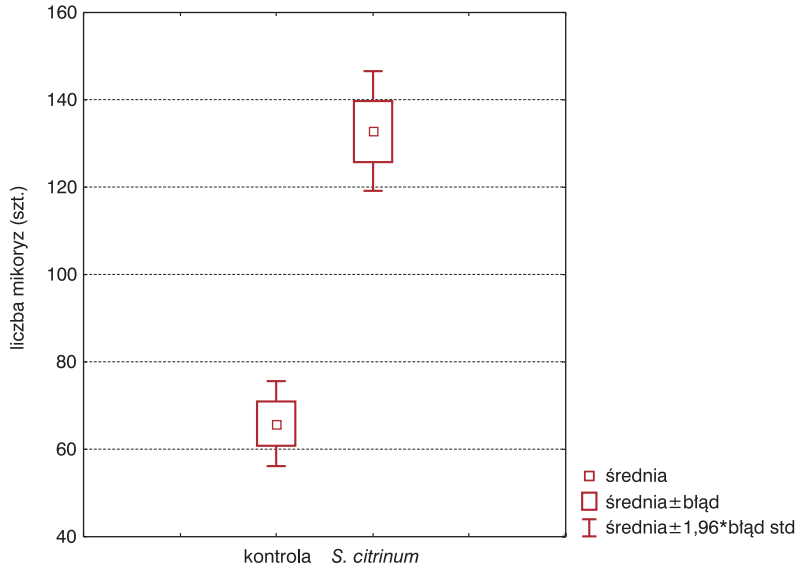
Omówienie wyników badań

Wyniki wskazują, że po zastosowaniu inokulum w postaci zarodników *S. citrinum* liczba utworzonych mikoryz była większa niż u siewek na poletkach kontrolnych (ryc. X.18.1. i X.18.2.). Największą liczbę mikoryz stwierdzono u siewek ze szkółki w Nadleśnictwie Grójec – średnio 621 sztuk na siewkę na kwaterze zabiegowej i 396 na kwaterze kontrolnej. W Nadleśnictwie Sokołów Podlaski liczba mikoryz u siewek inokulowanych była dwukrotnie większa – średnio 132 sztuki na siewkę, w porównaniu z siewkami nieinokulowanymi, średnio 65 sztuk.

Ocena parametrów hodowlanych wykazała, że na kwaterach zabiegowych w Nadleśnictwie Grójec inokulowane siewki sosny zwyczajnej charakteryzowały się mniejszą długością pędu niż siewki nieinokulowane (tab. X.18.2.). Stwierdzono statystycznie istotne różnice w wielkości tego parametru. Pod względem grubości siewki w szyi korzeniowej relacje natomiast były odmienne – siewki inokulowane miały większą wartość ocenianego parametru. Również w tym wypadku odnotowano statystycznie istotne różnice. W szkółce w Nadleśnictwie Sokołów Podlaski siewki inokulowane miały istotnie większą długość pędu (tabela X.18.2.). Pod względem grubości siewki w szyi korzeniowej nie odnotowano różnic między siewkami z kwater zabiegowych i kontrolnych.



Ryc. X.18.1. Liczebność mikoryz jednorocznych siewek sosny w szkółce Nadleśnictwa Grójec: n=10, p=0,000002



Ryc. X.18.2. Liczebność mikoryz jednorocznych siewek sosny w szkółce Nadleśnictwa Sokołów Podlaski: n=10, p=0,000000

Tabela X.18.2.
Średnie wielkości parametrów hodowlanych siewek sosny rosnących w kwaterach kontrolnych oraz inokulowanych zarodnikami *Scleroderma citrinum*, te same litery oznaczają brak istotnych różnic przy p<0,05

Warianty	Grójec		Sokołów Podlaski	
	oceniane parametry			
	wysokość części nadziemnej (cm)	grubość siewki w szyi korzeniowej (mm)	wysokość części nadziemnej (cm)	grubość siewki w szyi korzeniowej (mm)
Kontrola	8,45±0,067a	1,3±0,029a	6,38±0,96a	1,2±0,013a
S. citrinum	8,22±0,059b	1,4±0,021b	7,50±0,07b	1,2±0,014a

Znacząca różnica pod względem liczby wytworzonych mikoryz ogółem u siewek sosny zwyczajnej inokulowanych przez podanie do gleby w czasie siewu zarodników *S. citrinum* wskazuje, że tego rodzaju zabieg (mikoryzacja) może być stosowany z sukcesem w warunkach otwartych szkółek leśnych. Inokulacja zarodnikami może stanowić alternatywną lub uzupełniającą metodę wobec mikoryzacji inokulum wegetatywnym, gdyż jest łatwa do wykonania i stosunkowo niedroga. Największe powodzenie mikoryzacji w wypadku inokulum wegetatywnego występuje w sytuacji, gdy rośliny wykształcą już korzenie boczne (Kowalski 1997, Parlade i in. 1996). W wypadku zarodników *Scleroderma* natomiast ten warunek nie jest nieodzowny.

S. citrinum należy do grzybów tworzących owocniki rokrocznie, na tych samych powierzchniach, a nawet pod tymi samymi drzewami, stanowi zatem względnie trwałe źródło inokulum. Porównanie inokulów pozyskiwanych z różnych terenów powinno ułatwić zdefiniowanie możliwych różnic i produkcję inokulum odpowiedniego dla danych warunków przyrodniczych, podobnie jak ma to miejsce w selekcji nasion (Marx 1991).

Większa liczba mikoryz ogółem u siewek w szkółce Nadleśnictwa Grójec, tak w kwaterach zabiegowych jak i kontrolnych, w porównaniu z siewkami z Nadleśnictwa Sokołów Podlaski wydaje się mieć ścisły związek z małą zawartością azotu (tabela X.18.1.) w glebie tej szkółki.

Różnorodność genetyczna zarodników może być ogromna, szczególnie gdy są pozyskiwane z różnych lokalizacji i łączone w jednej szczepionce. W takiej sytuacji interpretacja wyników może nastręczać trudności. Uzasadnienie znajdują postulaty wysuwane przez niektórych autorów (Bowen 1994, Dodd, Thomson 1994), dotyczące minimalizacji prawdopodobieństwa niezgodności między grzybem i rośliną, czy też między grzybem i glebą. Ich zdaniem owocniki, z których powstanie inokulum, powinny być pozyskiwane w podobnych warunkach edaficznych i klimatycznych jak teren, w którym będzie wykonany zabieg inokulacji. Ważna jest przy tym lokalizacja powierzchni, mikroklimat i wegetacja, odczyn gleby oraz jej struktura, płodozmian i historia użytkowania terenu.

S. citrinum tworzy ryzomorfy, podobnie jak inne grzyby wytwarzające duże masy zarodników, np. *Rhizopogon subareolatus*, *R. roseolus* czy *Melanogaster*

ambiguus. Rośliny z mikoryzą tworzoną przez grzyby wytwarzające ryzomorfy uważa się za bardziej odporne na stres wodny, niż rośliny tworzące mikoryzy z grzybami niewytwarzającymi ryzomorf (Boyd i Hellebrand 1990). Ta cecha może mieć szczególne znaczenie, kiedy mikoryzuje się materiał sadzeniowy przeznaczony do nasadzeń w terenach suchych lub narażonych na okresowe wysychanie.

Kolejnym pozytywnym czynnikiem kolonizacji korzeni przez *S. citrinum* jest fakt, że grzyb ten tworzy grzybnię ekstramatrykalną, rozprzestrzeniającą się w glebie na duże odległości (Agerer 2001). Roślina za pośrednictwem dobrze rozwiniętej grzybni może pobierać i wykorzystywać składniki pokarmowe w znacznie większym zakresie (Bendig, Read 1995) niż w wypadku, gdy ma mikoryzy tworzone przez grzyby o grzybni gładkiej, np. *Thelephora terrestris*.

Tworzenie mikoryz nie było ściśle związane ze zwiększaniem się parametrów hodowlanych, jednakże siewki ze szkółki w Nadleśnictwie Sokołów Podlaski charakteryzowały się istotnie większą długością pędu. Niektóre ektomikoryzowe grzyby na etapie szkółki nie promują wzrostu sadzonek, podczas gdy czynią to po ich wysadzeniu w uprawie (Thomas, Jackson 1983, Stenström i in. 1986). Proces promocji lub hamowania wzrostu rośliny w dużym stopniu związany jest z gatunkiem grzyba oraz warunkami wzrostu (rodzaj podłoża, zawartość składników pokarmowych w glebie, wpływ przebiegu czynników pogody). Ważną rolę w tym procesie odgrywa również roślina – gospodarz (Dell i in. 1994).

Wyniki badań wskazują, że mikoryzacja przy użyciu *S. citrinum* (uzupełniająca lokalne zbiorowiska grzybów) może być polecana do mikoryzacji sadzonek sosny zwyczajnej w warunkach otwartych szkółek leśnych, zwłaszcza o zawężonej strukturze zbiorowiska grzybów mikoryzowych. Potrzebne są jednak dalsze, szersze badania, uwzględniające inne gatunki grzybów i drzew leśnych.

19. Mechanizacja procesu technologicznego zabiegu wprowadzania do gleby inokulum z grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i siew punktowy nasion

Prof. dr hab. Józef Walczyk, dr inż. Paweł Tylek – Katedra Mechanizacji Prac Leśnych AR w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Mikoryzacja w szkółkach gruntowych

Hodowla mikoryzowanych sadzonek w korytach na podłożu torfowym jest technologią dość drogą i stosunkowo pracochłonną (Walczyk, Tylek 2004). Doświadczenia (tabela X.19.1.) wykazały, że dużą skuteczność mikoryzacji sadzonek dzięki metodzie mikoryzacji sterowanej można uzyskać również w szkółkach gruntowych. W tym celu wykorzystuje się substrat hodowlany (torfowy), który był używany

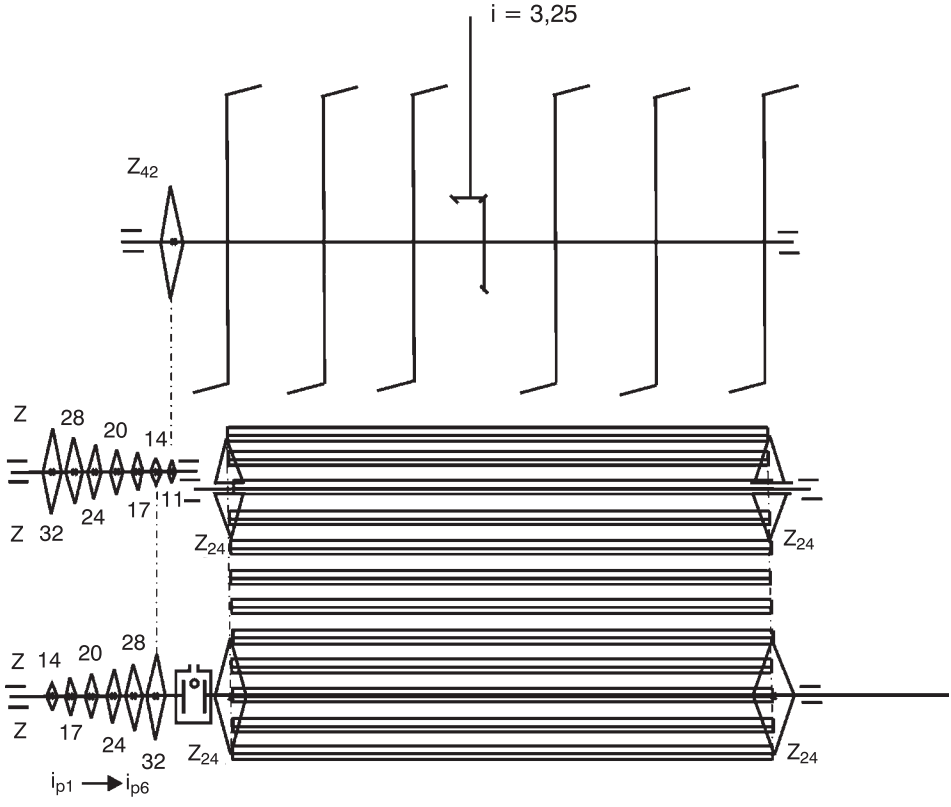
przez rok, dwa lub trzy lata do produkcji sadzonek w technologii sterowanej mikoryzacji z grzybem *H. crustuliniforme* w korytach (Kowalski 2000).

Do wprowadzenia do gleby substratu torfowego z grzybem *H. crustuliniforme* może być z powodzeniem wykorzystany dozownik substratu, skonstruowany w Katedrze Mechanizacji Prac Leśnych AR w Krakowie. Dozownik nabudowany jest na typowej glebogryzarce ciągnika TV 520 (fot. X.19.1.). Ma zbiornik pojemności 0,3 m^3

Tabela X.19.1.
Schemat doświadczenia polowego

Nr	Opis działki	Siew punktowy	Siew rzędowy
1	Gleba bez torfu (kontrola)	1	1
2	Torf – 2 m^3/ar	2	2
3	Torf – 3 m^3/ar	3	3
4	Torf z *H. crustuliniforme* z koryt – 2 lata użytkowania – 2 m^3/ar	4	4
5	Torf z *H. crustuliniforme* z koryt – 2 lata użytkowania – 3 m^3/ar	5	5
6	Torf z *H. crustuliniforme* z koryt – 1 rok użytkowania – 2 m^3/ar	6	6
7	Torf z *H. crustuliniforme* z koryt – 1 rok użytkowania – 3 m^3/ar	7	7

Fot. X.19.1. Dozownik biopreparatu (inokulum grzyba) z wałem strunowym, nabudowany na glebogryzarce ciągnika TV 520



Ryc. X.19.1. Schemat układu napędowego dozownika inokulum, nabudowanego na glebogryzarce ciągnika TV 520

i współpracuje z wałem strunowym, który ustala głębokość pracy glebogryzarki i korzystnie zagęszcza zbyt pulchne podłoże (Walczyk, Tylek 2005).

Dozownik jest napędzany od wału roboczego glebogryzarki, która napęd uzyskuje z WOM ciągnika. Schemat układu napędowego przedstawia rycina X.19.1.

Zastosowanie sześciu przełożeń (ip1–ip6) w układzie napędowym przesuwu przenośnika podłogowego dozownika i regulacja szczeliny wylotowej za pomocą zasuwy daje duże możliwości regulowania dawki – od 0,126 do 12,992 m^3ar^{-1}. Wpływ na dawkowanie dozownika ma również bieg, na którym porusza się ciągnik oraz położenie dźwigni przełożenia wałka odbioru mocy ciągnika (WOM 1, WOM 2). Szczegółowy zakres dawkowania substratu torfowego z grzybem *H. crustuliniforme* do gleby przedstawiony jest w tabeli X.19.2.

Substrat lub inokulum są mieszane z glebą przez noże glebogryzarki. Intensywność mieszania zależy od stosunku drogi wału roboczego glebogryzarki do drogi ciągnika, co nazwano krotnością mieszania. Krotność mieszania w zależności od biegu ciągnika przedstawiono w tabeli X.19.3.

Tabela X.19.2.
Ilość dawkowanego substratu w m^3ar^{-1} w zależności od biegu ciągnika, nastawienia dźwigni WOM i przełożenia zmiennej przekładni napędowej przenośnika podłogowego dla różnych nastaw zasuwy (grubości warstwy substratu wynoszonej przez przenośnik podłogowy)

Przełożenie przekładni		i_{p1}	i_{p2}	i_{p3}	i_{p4}	i_{p5}	i_{p6}
bieg		nastawa zasuwy – grubość warstwy na przenośniku – 2 cm					
WOM 1	I	1,299	0,936	0,682	0,474	0,345	0,249
	II	2,598	1,872	1,364	0,947	0,690	0,497
	III	0,925	0,666	0,486	0,337	0,246	0,177
	II	0,330	0,238	0,173	0,120	0,088	0,063
WOM 2	I	5,197	3,745	2,728	1,895	1,380	0,995
	II	1,850	1,333	0,971	0,674	0,491	0,354
	III	0,661	0,476	0,347	0,241	0,175	0,126
		nastawa zasuwy – grubość warstwy na przenośniku – 3 cm					
WOM 1	I	3,898	2,809	2,046	1,421	1,035	0,746
	II	1,387	1,000	0,728	0,506	0,368	0,266
	III	0,495	0,357	0,260	0,181	0,132	0,095
WOM 2	I	7,795	5,617	4,092	2,842	2,071	1,492
	II	2,775	1,999	1,457	1,012	0,737	0,531
	III	0,991	0,714	0,520	0,361	0,263	0,190
		nastawa zasuwy – grubość warstwy na przenośniku – 4 cm					
WOM 1	I	5,197	3,745	2,728	1,895	1,380	0,995
	II	1,850	1,333	0,971	0,674	0,491	0,354
	III	0,661	0,476	0,347	0,241	0,175	0,126
WOM 2	I	10,393	7,489	5,457	3,789	2,761	1,989
	II	3,699	2,666	1,942	1,349	0,983	0,708
	III	1,321	0,952	0,694	0,482	0,351	0,253
		nastawa zasuwy – grubość warstwy na przenośniku – 5 cm					
WOM 1	I	6,496	4,681	3,410	2,368	1,725	1,243
	II	2,312	1,666	1,214	0,843	0,614	0,443
	III	0,826	0,595	0,434	0,301	0,219	0,158
WOM 2	I	12,992	9,362	6,821	4,737	3,451	2,487
	II	4,624	3,332	2,428	1,686	1,228	0,885
	III	1,652	1,190	0,867	0,602	0,439	0,316

Tabela X.19.3.
Krotność mieszania gleby przy jednym przejeździe glebogryzarki w zależności od biegu, na jakim pracuje ciągnik

Bieg	WOM 1	WOM 2
I	8,682	17,364
II	3,090	6,180
III	1,104	2,207

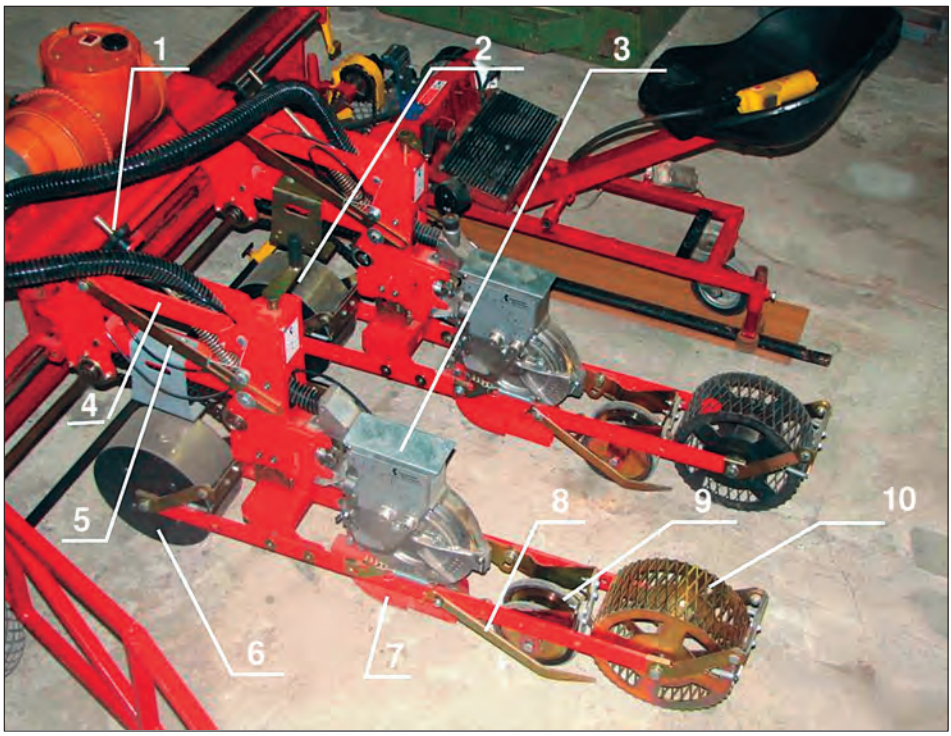
Siew nasion w szkółce gruntowej siewnikiem punktowym Agricola Italiana

Do wysiewu nasion można użyć siewnika pneumatycznego firmy Agricola Italiana. Zaopatrzony jest w zespół wysiewający, pozwalający na równoczesny obsiew przez jedną sekcję dwóch rzędów oddalonych od siebie o 0,05 m i ma możliwość precyzyjnej regulacji głębokości przykrycia nasion. Widok siewnika, zamocowanego na trzypunktowym układzie zawieszenia ciągnika, podczas siewu w szkółce otwartej przedstawia fotografia X.19.2.

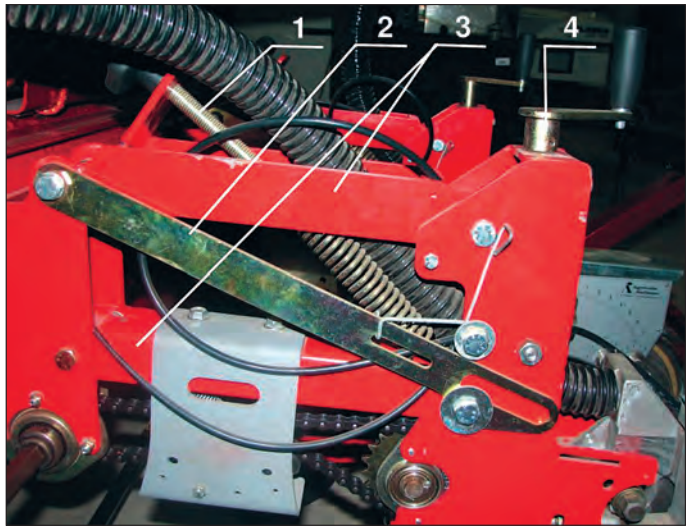
Fot. X.19.2. Siewnik Agricola Italiana przy pracy w szkółce gruntowej

Wysiane przez każdą sekcję w dwóch rzędach nasiona są dociskane do dna bruzdy małymi, ogumionymi kołami i zagarniane zgarniaczami. Intensywność zagarniania można regulować napięciem sprężyn współpracujących z zagarniaczami, zaś siłę docisku nasion śrubą regulacyjną kółek dociskających, intensywność natomiast pracy kół kopiująco-ugniatających śrubą regulacyjną odciążenia sekcji (fot. X.19.3.). Przez odpowiednie ustawienie sprężyn można zwiększyć docisk zagarniaczy lub znacznie je odciążyć, co pozwala praktycznie dostosować ich działanie do każdych warunków, począwszy od gleb zwięzłych po lekkie, torfowe substraty.

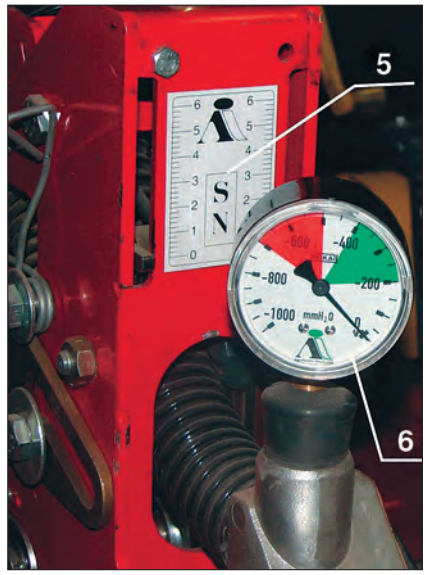
Każda sekcja wyposażona jest w śrubę regulacyjną nastawy głębokości pracy redlicy oraz sprężynę z regulowanym napięciem, pozwalającą na znaczne przeniesienie ciężaru sekcji na ramę główną układu jezdnego (odciążenie sekcji), co powoduje, że nawet na mocno spulchnionym podłożu siewnik pracuje prawidłowo. Sekcje do ramy nośnika montowane są za pomocą czworoboku przegubowego. Współpracuje z nim odpowiednia zapadka blokująca, która umożliwia przestawienie i utrzymanie sekcji w pozycji transportowej (fot. X.19.4a i X.19.4b.).



Fot. X.19.3. Sekcje siewnika zamocowane na ramie nośnika: *1* – śruba odciążająca sekcję, *2* – korba nastawy głębokości pracy redlicy, *3* – zespół wysiewający, *4* – czworobok przegubowy zawieszenia sekcji, *5* – zapadka blokująca sekcję w pozycji transportowej, *6* – przednie koło ugniatająco-kopiujące, *7* – redlica, *8* – zagarniacz, *9* – małe kółka ogumione, dociskające nasiona w bruździe, *10* – tylne koło kopiująco-zagarniające



a



b

Fot. X.19.4(a i b). Układ zawieszenia i regulacji siewnika: *1* – śruba regulacyjna wraz z sprężyną odciążającą, *2* – zapadka blokująca położenie transportowe sekcji, *3* – czworobok przegubowy, *4* – korba regulacji głębokości pracy, *5* – skala milimetrowa nastawy głębokości pracy, *6* – manometr podciśnienia

Obliczenie ilości wysiewu, obsady nasion dla zadanej odległości wysiewu w rzędzie i rodzaju zastosowanej tarczy wysiewającej dla różnych nastaw przekładni siewnika umożliwia dołączony do instrukcji obsługi algorytm obliczeniowy, którego widok przedstawia tabela X.19.4. Użytkownik wypełnia jedynie pola oznaczone kolorem zielonym i w zależności od ilości zębów kół zębatych zastosowanych w przekładni napędowej siewnika (pozycja przekładni A i pozycja przekładni B) oraz nastawionego biegu (1–5°), otrzymuje w arkuszu kalkulacyjnym Microsoft Excel pełną charakterystykę wysiewu.

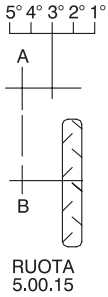
Tabela X.19.4.
Widok algorytmu obliczeniowego dla siewnika punktowego

Tarcza wysiewająca – ilość otworów	60
Średni rozstaw rzędów między kołami	17,50
Pozycja na przekładni (A)	22
Pozycja na przekładni (B)	16
Ilość nasion na kg	

AGROTOP

Siewniki punktowe

AGROTOP



A	B		Odległość nasion w rzędzie (cm)	Ilość nasion (szt./m)	Ilość nasion na metrze kwadratowym (szt.)	Ilość nasion na hektarze (szt.)	Norma wysiewu nasion na hektar (kg)
22	16	1°	10,5	9,6	54,6	546 283	0,00
		2°	9,4	10,7	60,9	609 315	0,00
		3°	8,3	12,1	68,9	688 791	0,00
		4°	7,2	13,9	79,2	792 110	0,00
		5°	6,1	16,3	93,2	931 894	0,00
16	22	1°	5,5	18,1	103,3	1 032 816	0,00
		2°	5,0	20,2	115,2	1 151 987	0,00
		3°	4,4	22,8	130,2	1 302 246	0,00
		4°	3,8	26,2	149,8	1 497 583	0,00
		5°	3,2	30,8	176,2	1 761 863	0,00

Wnioski

1. Skonstruowane urządzenia do mieszania inokulum z glebą dobrze spełniły swoje zadanie, pozwalając na mechanizację procesu i eliminację pracy ręcznej.
2. Wskazane jest wykonanie i wdrożenie do praktyki dozownika inokulum szerokości roboczej odpowiadającej szerokości grzędy w polowej uprawie sadzonek.
3. Badania wykazały, że zastosowana technologia zabiegu sterowanej mikoryzacji do hodowli siewek sosny w szkółce gruntowej dała pozytywne rezultaty; pod koniec okresu wegetacyjnego siewki sosny zwyczajnej wyposażone były w ektomikoryzy charakterystyczne dla związku sosny z grzybem *H. crustuliniforme*.

20. Wpływ zabiegu siewu punktowego i sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* na obsadę powierzchniową sadzonek sosny zwyczajnej

Prof. dr hab. Józef Walczyk, dr inż. Paweł Tylek – Katedra Mechanizacji Prac Leśnych AR Kraków

Prof. dr hab. Stefan Kowalski – Katedra Fitopatologii Leśnej AR Kraków, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Na stanowisku laboratoryjnym zanalizowano napełnianie otworów tarczy zespołu wysiewającego nasiona sosny zwyczajnej dla różnych ciśnień i różnych prędkości obrotowych tarczy wysiewającej siewnika w Nadleśnictwie Kłobuck. Wyniki napełniania otworów przedstawiono w tabeli X.20.1. W zalecanym zakresie ciśnie-

Tabela X.20.1.
Wyniki badań napełniania otworów tarczy wysiewającej przy wysiewie nasion sosny pospolitej dla prędkości obrotowej tarczy wysiewającej 6 obr.min^{-1}, co przy odległości wysiewu w rzędzie 0,029 m odpowiada prędkości jazdy siewnika 0,5 m·s^{-1}

Wyszczególnienie	Średnia (%)	Odchylenie (%)	Współczynnik zmienności
podciśnienie wentylatora – 200 mm H_2O			
Otwory puste	17,00	4,47	0,26
Napełnienia podwójne	1,22	0,87	0,71
Otwory napeł. pojedynczo	81,77	5,18	0,06
podciśnienie wentylatora – 300 mm H_2O			
Otwory puste	1,92	1,88	0,98
Napełnienia podwójne	1,20	0,44	0,37
Otwory napeł. pojedynczo	96,88	1,93	0,02
podciśnienie wentylatora – 400 mm H_2O			
Otwory puste	1,57	0,78	0,50
Napełnienia podwójne	6,25	2,34	0,38
Otwory napeł. pojedynczo	92,15	2,51	0,03
podciśnienie wentylatora – 500 mm H_2O			
Otwory puste	1,35	1,44	1,07
Napełnienia podwójne	6,35	2,22	0,35
Otwory napeł. pojedynczo	92,30	3,26	0,04

nia (200 do 400 mm H_2O) liczba przepustów nie przekraczała 2%, a podwójnych napełnień zwiększała się wraz ze wzrostem ciśnienia do ponad 6%. Do wysiewu nasion sosny zwyczajnej optymalne jest ciśnienie 300 mm H_2O, przy którym ilość wysianych nasion jest bliska ilości teoretycznej (1,9% przepustów i 1,2% otworów napełnionych dwoma nasionami). Świadczy to o bardzo dobrej pracy zespołu wysiewającego.

Wyniki badań polowych wysiewu nasion sosny zwyczajnej na szkółce w Nadleśnictwie Kłobuck przedstawiono w tabeli X.20.2. Pomiary prowadzono na działkach doświadczalnych o następującej charakterystyce:

I – kontrola bezwzględna, gleba na poletku jedynie spulchniona glebogryzarką na głębokość około 10–15 cm;
II – kontrola względna, 2 m^3/ar torfu odkwaszonego z 15% udziałem wermikulitu i 10% perlitu;
III – kontrola względna, 3 m^3/ar torfu odkwaszonego z 15% udziałem wermikulitu i 10% perlitu;
IV – 2 m^3/ar substratu hodowlanego, torfowego, przerośniętego grzybnią *H. crustuliniforme*, użytkowanego przez 2 lata – hodowla sosny;
V – 3 m^3/ar substratu hodowlanego, torfowego, przerośniętego grzybnią *H. crustuliniforme*, użytkowanego przez 2 lata – hodowla sosny;
VI – 2 m^3/ar substratu hodowlanego, torfowego, przerośniętego grzybnią *H. crustuliniforme*, użytkowanego przez 1 rok – hodowla sosny;
VII – 3 m^3/ar substratu hodowlanego, torfowego przerośniętego grzybnią *H. crustuliniforme*, użytkowanego przez 1 rok – hodowla sosny.

Dla zastosowanej normy siewu punktowego – 280 szt.m^{-2} oraz rzędowego – 499 szt.m^{-2}, średnia wydajność siewu punktowego, z pominięciem działki nr I (gleba jałowa), wyniosła 79,2%. Analogiczna wartość dla siewu rzędowego była nierealnie wysoka, wynosiła 101,6%. Szczegółowa analiza pracy siewnika do siewu rzędowego wykazała, że przyczyną była bardzo nierównomierna praca aparatów wysiewających. Różnica w normie wysiewu między skrajnymi zespołami wysiewającymi

Tabela X.20.2.
Udatność siewu w szkółce Nadleśnictwa Kłobuck

Nr działki zgodny ze schematem doświadczenia	Liczba siewek (szt.m^{-2})		Wydajność siewu (%)	Liczba wypadów (%)
	po wschodach	po zakończeniu wegetacji		
I	148	126	52,9	14,9
II	206	184	73,6	10,7
III	220	193	78,6	12,3
IV	224	176	80,0	21,4
V	223	205	79,6	8,1
VI	216	189	77,1	12,5
VII	242	198	86,4	18,2

wynosiła prawie 40%, pomimo zastosowania centralnego mechanizmu regulacji dawki. Równomierność pracy poszczególnych sekcji siewnika punktowego była znacznie większa. Maksymalna różnica w normie wysiewu pomiędzy sekcjami wyniosła 6%, była więc ponad sześciokrotnie mniejsza niż w siewie rzędowym (Walczyk, Tylek 2005). Z tych względów nie wykonywano porównawczej analizy ilościowej liczebności uzyskanych siewek w stosunku do przyjętej normy wysianych nasion dla siewu rzędowego, bo byłoby to obciążone zbyt dużym i nieprzewidywalnym błędem.

Porównanie liczby sadzonek, które wypadły z hodowli podczas pierwszego sezonu wegetacyjnego, nie wykazało różnic wynikających z zastosowanej techniki siewu. Wartości te wyniosły 14% dla siewu punktowego i 14,4% dla siewu rzędowego. Należy zatem stwierdzić, że technika siewu nie wpłynęła istotnie na liczbę wypadów siewek po skiełkowaniu. Tabela X.20.2. obrazuje uzyskaną obsadę nasion na poszczególnych kwaterach siewnych w całym doświadczeniu. W związku z tym postanowiono przebadać jedynie wpływ techniki siewu na jakość uzyskanych sadzonek. W tym celu pobrano roczne sadzonki z działek, na których wyłożono 3 m^3 torfu odkwaszonego (kontrola względna) i wysiano nasiona obiema technikami. Aby określić dodatkowo wpływ samego torfu, przebadano również sadzonki wyhodowane na działce z glebą jałową (kontrola bezwzględna), na której sosnę siano siewnikiem do siewu rzędowego. U sadzonek sosny zwyczajnej, po pierwszym roku wegetacji, określono suchą masę aparatu asymilacyjnego oraz jego powierzchnię. Do wyznaczenia powierzchni wykorzystano komputerową analizę obrazu (Walczyk, Tylek 2000). Wyniki zawarto w tabeli X.20.3.

Rewitalizacja gleby torfem wpłynęła na polepszenie jakości aparatu asymilacyjnego sadzonek sosny zwyczajnej. Sucha masa igieł zwiększyła się średnio o 22%, a ich powierzchnia o 30%. Zastosowanie siewu punktowego zwiększyło te parametry odpowiednio o kolejne 36% oraz 30%. Ponadto sadzonki sosny wyhodowane z nasion wysiewanych punktowo miały mniej zróżnicowane badane parametry, o czym świadczą mniejsze współczynniki zmienności, a ich system korzeniowy nie był tak mocno splątany jak sadzonek wyhodowanych z nasion wysiewanych systemem rzędowym (Walczyk, Tylek 2005a). Sadzonki znacznie łatwiej się rozdzielają, co zmniejsza niebezpieczeństwo uszkodzenia korzeni podczas ich przygotowania do sadzenia w terenie. Widok zmikoryzowanych sadzonek sosny obrazuje fot. X.20.1., a porównanie sadzonek na działkach z torfem oraz powierzchni kontrolnej fot. X.20.2.

Tabela X.20.3.
Powierzchnia i sucha masa igieł jednorocznych sadzonek sosny zwyczajnej

Sposób rewitalizacji gleby	Rodzaj siewu	Sucha masa igieł		Powierzchnia igieł	
		wartość średnia (g)	współczynnik zmienności (%)	wartość średnia (cm^2)	współczynnik zmienności (%)
Brak	rzędowy	0,14	45,6	11,9	41,6
Torf odkwaszony	rzędowy	0,17	38,6	15,5	31,5
	punktowy	0,22	33,2	19,0	29,0

Fot. X.20.1. Sadzonki sosny z siewu punktowego w szkółce gruntowej, mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme,* w drugim roku hodowli (zdjęcie wykonano 26.09.2006)

Fot.X.20.2. Widok sadzonek: A – na działce z torfem, B – na działce kontrolnej

Tabela X.20.4.
Charakterystyka morfologiczna dwuletnich sadzonek sosny; wyniki porównawcze dla siewu punktowego i siewu rzędowego

Nr działki zgodny ze schematem doświadczenia		Wysokość części nadziemnej (cm)	Długość korzeni (cm)	Średnica szyjki korzeniowej (mm)	Sucha masa części nadziemnej (g)	Sucha masa korzeni (g)
I	Średnia	17,3/9,7*	19,8/14,0*	3,5/3,0*	2,04/1,35*	0,88/0,48*
	Wsp. zmien. (%)	27,6/28,9*	18,8/27,3*	23,3/27,4*		
II	Średnia	20,8/13,1*	17,4/19,7*	3,8/3,0*	3,21/1,85*	1,42/0,82*
	Wsp. zmien. (%)	18,4/29,5*	27,9/29,1*	26,3/28,2*		
III	Średnia	21,8/19,2*	20,0/14,7*	3,8/3,5*	3,25/2,55*	1,62/0,88*
	Wsp. zmien. (%)	16,4/19,9*	13,2/30,3*	18,3/25,4*		
IV	Średnia	17,8/18,8*	14,8/16,2*	3,3/3,1*	2,20/2,02*	0,87/0,61*
	Wsp. zmien. (%)	28,3/21,7*	18,0/19,1*	32,8/25,6*		
V	Średnia	20,5/16,8*	19,7/16,7*	3,8/3,1*	3,02/2,25*	1,03/0,73*
	Wsp. zmien. (%)	23,0/28,7*	25,0/23,7*	18,5/26,2*		
VI	Średnia	17,3/18,4*	14,0/15,1*	3,5/2,4*	2,26/1,05*	0,84/0,52*
	Wsp. zmien. (%)	14,9/28,9*	13,9/18,8*	13,1/23,3*		
Średnia		18,5/17,4*	19,7/16,4*	3,5/3,2*	2,50/2,42*	1,00/0,63*
Wsp. zmien. (%)		19,7/29,7*	22,6/15,8*	21,8/33,8*		

* Dotyczy parametrów sadzonek z siewu rzędowego.

Tabela X. 20.5.
Różnica cech morfologicznych dwuletnich sadzonek sosny w odniesieniu do techniki siewu

Nr działki zgodny ze schematem doświadczenia	Wysokość części nadziemnej	Długość korzeni	Średnica szyjki korzeniowej
I	**	**	**
II	**	n	**
III	*	**	**
IV	n	*	n
V	**	**	**
VI	n	n	**
VII	n	**	**

n – różnica nieistotna; * – różnica istotna na poziomie $p<0,05$; ** – różnica istotna na poziomie $p<0,01$.

Po zakończeniu drugiego sezonu wegetacyjnego pobrano sadzonki sosny (7.12.2006) ze wszystkich działek doświadczalnych do oceny cech morfologicznych. Wyniki pomiarów, z uwzględnieniem porównania techniki siewu, zawarto w tabeli X.20.4. We wszystkich wypadkach sucha masa części nadziemnej oraz korzeni sadzonek sosny zwyczajnej, wyhodowanych z nasion sianych siewnikiem do siewu punktowego, była znacząco większa. Podobnie było w wypadku porównania wysokości sadzonek ze współczynnikami, z pewnymi jednak wyjątkami. Analiza statystyczna wykazała jednak, że w większości wypadków różnice są statystycznie istotne (tabela X.20.5.). Sadzonki uzyskane z siewu punktowego mają znacząco mniejsze zróżnicowanie cech współczynnikami (tabela X.20.4.).

Wnioski

1. Zespół wysiewający siewnika punktowego Agricola Italiana dobrze nadaje się do wysiewu nasion sosny, świerka i modrzewia, zapewniając pojedynczy wysiew nasion.
2. Siew punktowy w szkółce gruntowej pozwala dokładnie regulować obsadę siewek na metr kwadratowy powierzchni, stwarzając równocześnie wszystkim sadzonkom podobne, dogodne warunki rozwoju.
3. Siew punktowy, w stosunku do siewu rzędowego, zapewnia 25–35% oszczędność nasion poprzez poprawę równomierności rozmieszczenia nasion i udatności wschodów.
4. Sadzonki wyhodowane z nasion wysiewanych punktowo charakteryzują się lepszymi parametrami morfologicznymi oraz mają średnio około 50% większą suchą masę, a ponadto wykazują mniejsze zróżnicowanie cech morfologicznych.

21. Charakterystyka ilościowa i jakościowa mikoryz sadzonek sosny zwyczajnej, poddanej i niepoddanej zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme*

Prof. dr hab. Stefan Kowalski – Katedra Fitopatologii Leśnej Akademii Rolniczej w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Wprowadzenie

Koncepcja biologicznej rewitalizacji gleby w szkółce leśnej zakłada wykorzystanie torfowego substratu hodowlanego, na którym w poprzednich sezonach wegetacyjnych hodowano – w inspektach lub korytach – sadzonki drzew leśnych poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*. Wynika z tego

przyjęcie pewnego schematu produkcji materiału sadzeniowego w szkółce otwartej, który znacznie obniża koszty związane z sterowaną mikoryzacją sadzonek oraz wyraźnie poprawia ich jakość. Schemat ten zakłada, że szkółka odpowiada pewnym kryteriom, mianowicie prowadzona jest tam hodowla materiału sadzeniowego zarówno na substracie torfowym w inspektach lub skrzyniach, jak i w glebie. Ta natomiast, na skutek wieloletniego użytkowania, ma wyraźne objawy zmęczenia, których oznaką jest mała wydajność siewów, słaba jakość sadzonek, a zwłaszcza zakłócenia w symbiozie mikoryzowej. Zespół taki wskazuje na potrzebę mikrobiologicznej rewitalizacji (remediacji) gleby. W tym celu najkorzystniej jest użyć substratu torfowego przerośniętego grzybnią ekstramatrykalną *H. crustuliniforme* z koryt (inspektów) po pierwszym sezonie wegetacyjnym spod sosny lub buka, albo substrat dwuletni, na którym wcześniej hodowano świerk w technologii sterowanej mikoryzacji, w cyklu 2/0. W jednym i w drugim wypadku substrat torfowy przerośnięty grzybnią *H. crustuliniforme* nie może ulec przesuszeniu przed użyciem w szkółce gruntowej.

W doświadczeniu użyto dwa rodzaje torfowych substratów hodowlanych przerośniętych grzybnią *H. crustuliniforme*, różniące się okresem użytkowania (rok i dwa lata) hodowli sadzonek sosny zwyczajnej oraz torf odkwaszony, ale bez grzyba, jako kontrolę względną. Torf, zwany estońskim, był analogiczny z tym, który wcześniej stanowił podłoże do hodowli sadzonek mikoryzowanych.

Doświadczenie przeprowadzono w szkółce leśnej o wieloletnim okresie użytkowania, gdyż założonej w latach 1974–1975 na siedlisku boru mieszanego świeżego, z fragmentami boru świeżego, na terenie Nadleśnictwa Kłobuck, w Gospodarstwie Nasienno-Szkółkarskim Nowy Folwark. Szkółka osłonięta jest ze wszystkich stron drzewostanem dębowo-modrzewiowo-sosnowym. Kwatera siewna, na której założono doświadczenie, użytkowana była od ponad 30 lat. Gleba na tej kwaterze ma podtypy, a mianowicie gleby rdzawej–bielicowej, stanowiącej w całości piasek luźny, oraz gleby rdzawej właściwej. Właściwości chemiczne gleby: C/N 16, N (% ogółem) 0,0651, a zawartość (w mg/100 g gleby) P_2O_5, K_2O i MgO wynosiła odpowiednio: 4,8; 2,0 i 3,85.

Przygotowanie poletek doświadczalnych

Doświadczenie założono 06.05.2005. Pole siewne znajdowało się pomiędzy dwoma kulisami z nasadzenia modrzewia. Przez rok gleba była utrzymywana w czarnym ugorze. Przed siewem nie stosowano nawożenia startowego. Użyty w doświadczeniu substrat torfowy przerośnięty grzybnią *H. crustuliniforme*, zarówno po pierwszym jak i po drugim okresie użytkowania pod hodowlą sosny w technologii sterowanej mikoryzacji, pochodził ze szkółki leśnej w Nadleśnictwie Olkusz (Kowalski 2007 L.c). Pole siewne podzielono na jednoarowe poletka doświadczalne, stanowiące jednocześnie kombinacje doświadczalne, oddzielone od siebie pasem izolacyjnym szerokości 2 m. Substrat torfowy przerośnięty grzybnią *H. crustuliniforme*, jak również sam torf stanowiący kontrolę względną w ilości 3 m^3/ar był precyzyjnie dozowany mechanicznie, urządzeniem skonstruowanym w Katedrze Mechanizacji Prac Leśnych Akademii Rolniczej w Krakowie i jednocześnie mieszany z glebą na głębokość około 10–15 cm (Walczyk 2007 L.c.).

Doświadczenie założono według schematu:

Kombinacja I: kontrola bezwzględna, gleba na poletku jedynie spulchniona glebogryzarką na głębokość około 10–15 cm.

Kombinacja II: 3 m^3/ar torfu odkwaszonego z 15% udziałem wermikulitu i 10% perlitu (kontrola względna).

Kombinacja III: 3 m^3/ar substratu hodowlanego torfowego przerośniętego grzybnią *H. crustuliniforme*, użytkowanego przez rok pod hodowlą sosny.

Kombinacja IV: 3 m^3/ar substratu hodowlanego torfowego przerośniętego grzybnią *H. crustuliniforme*, użytkowanego przez 2 lata pod hodowlą sosny.

Na każdym jednoarowym poletku znajdowało się 10 pasów siewnych, a w każdym 4 rzędy siewek. Nasiona sosny miały I klasę jakości. Do przedsiewnego ich zaprawiania użyto fungicydu „Sarfun T 65 DS". Siano mechanicznie profesjonalnym siewnikiem do siewu punktowego. W okresie wegetacyjnym nawożenie dolistne rozpoczęto po siedmiu tygodniach od siewu, nawozem „Bioecor" o stężeniu 0,5% i kontynuowano 5-krotnie w lipcu.

Kwasowość gleby w poszczególnych kombinacjach doświadczalnych pod koniec okresu wegetacyjnego wynosiła w kombinacjach: I (gleba kontrolna) pH – 5,73; II – pH 4,9; III – pH 5,86; IV – pH 5,48.

Fot. X.21.1. Sosna zwyczajna (1/0) w szkółce gruntowej w Nadleśnictwie Kłobuck, na kwaterze kontrolnej

Fot. X.21.2. Sosna zwyczajna (1/0) w szkółce gruntowej w Nadleśnictwie Kłobuck, na kwaterze, na której przed siewem do gleby wprowadzono 3 m^3/ar substratu torfowego z grzybem *H. crustuliniforme* – substrat przez rok był użytkowany do hodowli sosny w technologii sterowanej mikoryzacji w korycie

Materiał badawczy i metody

Pod koniec okresu wegetacyjnego (19.10.2005), z każdej kombinacji doświadczalnej pobrano odpowiednio po 40 sadzonek sosny zwyczajnej z całym systemem korzeniowym do analizy ich mikotrofizmu i po zabezpieczeniu systemu korzeniowego przed wysychaniem przewieziono do laboratorium. Każdą sadzonkę umieszczano w oddzielnej 200 ml kolbie Erlenmeyera odpowiednio znakując i zalewano płynem konserwującym FAA. Z korzeni II lub III rzędu każdej sadzonki oddzielnie wycinano 5 cm odcinki (w różnych miejscach systemu korzeniowego), każdorazowo poddając analizie mikroskopowej 100 cm korzenia. W przypadku, gdy sumaryczna długość korzeni bocznych była mniejsza, analizowano cały system korzeniowy. Z poszczególnych typów morfologicznych mikoryz sporządzano preparaty anatomiczne, po czym badano je określając ich przynależność do mikoryzy z infekcji zamierzonej (*Hebeloma*), mikoryz ektendotroficznych i pozostałych rodzajów ektomikoryz. Po zakończeniu badań mikotrofizmu sadzonek sosny oddzielnie suszono części nadziemne i korzenie w temperaturze 60°C przez 2 doby, po czym na elektronicznej wadze laboratoryjnej określano ich suchą masę z dokładnością do czwartego miejsca po przecinku. Wyniki poddano analizie statystycznej.

Omówienie wyników badań

Średnia wysokość części nadziemnej sadzonek sosny w poszczególnych kombinacjach doświadczalnych, w których do gleby wprowadzono substrat torfowy lub substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme*, była stosunkowo mało zróżnicowana i wahała się pomiędzy 5,2 i 5,4 cm oraz była wyraźnie większa w porównaniu z sadzonkami z kombinacji kontrolnej, w której sadzonki osiągały średnią wysokość równą 3,7 cm (tabela X.21.1.). Test Kruskal'a-Wallis'a wykazał statystyczną istotność tych różnic.

Długość korzenia głównego była bardziej zróżnicowana niż wysokość części nadziemnej, jednak wartość średnia tego parametru podobnie najmniejsza (4,7 cm) u sadzonek pochodzących z kontroli bezwzględnej. W kombinacjach doświadczalnych, w których do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme* po roku lub po dwóch latach wcześniejszego użytkowania w hodowli sosny, wartość tego parametru wynosiła odpowiednio 8,1 i 8,9 cm. Różnice w długości korzenia głównego sadzonek w poszczególnych kombinacjach doświadczalnych były istotne statystycznie.

Średnia średnica w szyi korzeniowej sadzonek sosny z kombinacji doświadczalnych, w których do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme* była nieznacznie większa (1,8 mm) w porównaniu z kombinacjami kontrolnymi (1,6 i 1,7 mm). Test Kruskal'a-Wallis'a wykazał, że stwierdzone różnice w wielkości tego parametru są statystycznie istotne.

Średnia suma długości korzeni bocznych była stosunkowo największa u sadzonek sosny w kombinacjach doświadczalnych, w których do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme* po roku lub po dwóch latach wcześniejszego użytkowania w hodowli sosny w technologii sterowanej mikoryzacji. Wartość tego parametru wynosiła odpowiednio 128,5 i 130,3 cm i była statystycznie istotnie większa w porównaniu z wartością tego parametru u sadzonek z kontroli bezwzględnej, wynoszącym jedynie 93,2 cm (tabela X.21.1.).

Stosunkowo duże zróżnicowanie stwierdzono w budowie systemu korzeniowego sadzonek sosny w poszczególnych kombinacjach doświadczalnych (tabela X.21.1., fot. X.21.3. i fot. X.21.4.). Jedynie w wypadku korzeni III rzędu różnice nie były istotne statystycznie. W wypadku korzeni II rzędu istotność zróżnicowania ich liczebności wykazano testem Kruskal'a-Wallis'a, a w wypadku korzeni szkieletowych (I rzędu) testem RIR Tukeya. Stosunkowo najmniejszą liczbę korzeni I rzędu (8,6), statystycznie istotną w porównaniu z kombinacjami doświadczalnymi, w których do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme,* niezależnie od okresu użytkowania, stwierdzono u sadzonek sosny w kombinacji kontrolnej. Podobnie w kombinacji, w której do gleby dodano torf, ale bez grzyba, liczba korzeni szkieletowych była statystycznie mniejsza w porównaniu z wielkością tego parametru u sadzonek sosny z kombinacji doświadczalnej, w której do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme*, ale po 2 latach wcześniejszego jego użytkowania w hodowli sosny.

Zróżnicowanie suchej masy części nadziemnej i suchej masy korzeni sadzonek

Tabela X.21.1.
Średnie parametry sadzonek sosny zwyczajnej (1/0) z kwater, na których przed siewem wprowadzono do gleby substrat hodowlany przerośnięty grzybnią *Hebeloma crustuliniforme* i z kwater kontrolnych

Kombinacja doświadczalna	Wysokość (cm)	Średnica w szyi korzeniowej (mm)	Długość korzenia głównego (cm)	Suma długości korzeni bocznych (cm)	Liczba korzeni bocznych rzędu:			Sucha masa (g)	
					I	II	III	części nadziemnej	korzeni
I	3,7	1,6	4,7	93,2	8,6	22,3	4,1	0,1650	0,1497
II	5,2	1,7	9,1	102,8	9,8	19,7	1,1	0,2571	0,1321
III	5,4	1,8	8,1	128,5	10,9	21,7	1,8	0,2661	0,1798
IV	5,3	1,8	8,9	130,3	12,5	25,7	1,9	0,2484	0,1289

Objaśnienie kombinacji doświadczalnych:
I – kontrola bezwzględna, gleba na poletku jedynie spulchniona glebogryzarką na głębokość około 10–15 cm.
II – 3 m³/ar torfu odkwaszonego z 15% udziałem wermikulitu i 10% perlitu (kontrola względna).
III – 3 m³/ar substratu hodowlanego torfowego przerośniętego grzybnią *H. crustuliniforme*, użytkowanego przez rok pod hodowlą sosny.
IV – 3 m³/ar substratu hodowlanego torfowego przerośniętego grzybnią *H. crustuliniforme* użytkowanego przez 2 lata pod hodowlą sosny.

Fot. X.21.3. Budowa systemu korzeniowego sadzonek sosny zwyczajnej (1/0) ze szkółki gruntowej w Nadleśnictwie Kłobuck, na kwaterze, na której przed siewem do gleby wprowadzono 3 m³/ar substratu torfowego z grzybem *H. crustuliniforme*

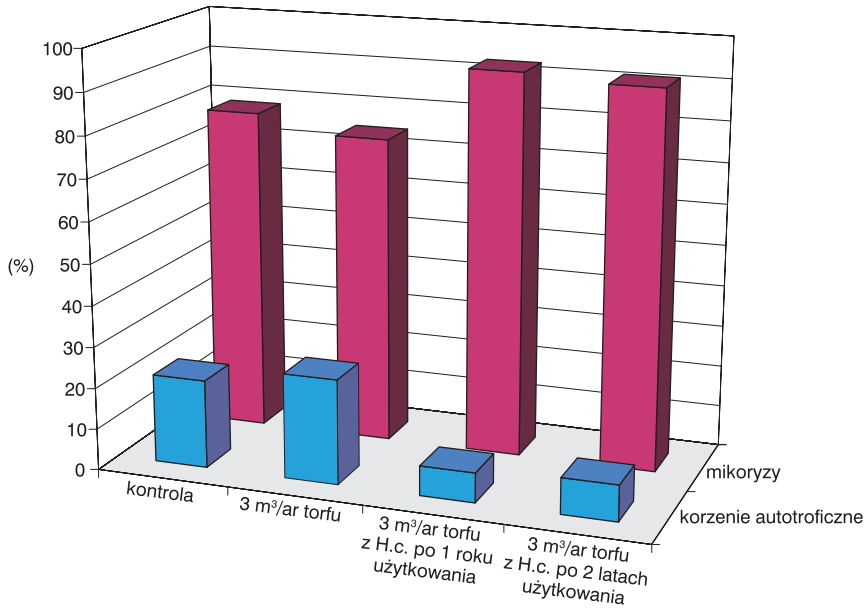
Fot. X.21.4. Budowa systemu korzeniowego sadzonek sosny zwyczajnej (1/0) ze szkółki gruntowej w Nadleśnictwie Kłobuck, na kwaterze kontrolnej

sosny w poszczególnych kombinacjach doświadczalnych było istotne statystycznie na poziomie $p<0,05$. Stosunkowo największą (0,4459 g) ogólną suchą masę sadzonek sosny stwierdzono w kombinacji doświadczalnej, w której do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme* po roku użytkowania pod hodowlą sosny w technologii sterowanej mikoryzacji. W tym wypadku zarówno sucha masa części nadziemnej jak i sucha masa korzeni była wyraźnie większa w porównaniu z pozostałymi kombinacjami doświadczalnymi (tabela X.21.1.). W kombinacji kontrolnej sucha masa części nadziemnej sadzonek sosny była stosunkowo najmniejsza i wynosiła jedynie 0,1650 g, zaś ogólna sucha masa tych sadzonek była również najmniejsza w porównaniu z pozostałymi kombinacjami doświadczalnymi i wynosiła 0,3147 g (tabela X.21.1.).

Analiza ilościowa i jakościowa korzeni troficznych sadzonek sosny zwyczajnej, poddanej i niepoddanej zabiegowi sterowanej mikoryzacji, wykazała wyraźne zróżnicowanie badanych parametrów w poszczególnych kombinacjach doświadczalnych. Zarówno mikoryzy jak i korzenie autotroficzne stwierdzono u wszystkich badanych sadzonek, jednak ich procentowy udział był wyraźnie zróżnicowany. U sadzonek pochodzących z kwatery kontrolnej jak i z kwatery, na której do gleby wprowadzono sam torf, procentowy udział korzeni autotroficznych był od 2,5- do 3,5-krotnie większy w porównaniu z sadzonkami sosny z kombinacji doświadczalnych, w których do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme*, wcześniej użytkowany przez rok lub przez dwa lata w hodowli sosny w tech-

nologii sterowanej mikoryzacji w korytach Dünemanna (ryc. X.21.1.). Odpowiednio procentowy udział mikoryz na korzeniach badanych sadzonek był większy w kombinacjach doświadczalnych, w których do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme* i wynosił 92,8% w kombinacji doświadczalnej, w której do gleby wprowadzono substrat po roku użytkowania i 91,3% w kombinacji doświadczalnej, w której do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme* po dwóch latach wcześniejszego użytkowania. Stosunkowo mniejszy udział mikoryz, bo wynoszący 78,6%, stwierdzono u sadzonek pochodzących z kombinacji kontrolnej (bezwzględnej) i 74,6% z kombinacji doświadczalnej (kontrola względna), w której do gleby wprowadzono jedynie torf, ale bez grzyba ektomikoryzowego (ryc. X.21.1.).

Morfologiczne zróżnicowanie mikoryz w poszczególnych kombinacjach doświadczalnych było podobne. Dominowały mikoryzy pojedyncze, których stosunkowo najwięcej (średnio 252) przypadało na jeden metr badanego odcinka korzenia u sadzonek sosny w kombinacji doświadczalnej, w której do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme* po roku użytkowania, a stosunkowo najmniej (średnio 120,9) w kombinacji doświadczalnej, w której do gleby wprowadzono sam torf. Mikoryzy pojedyncze, dychotomiczne i wielokrotne stwierdzano u wszystkich badanych sadzonek, w każdej kombinacji doświadczalnej z tym, że ten ostatni typ morfologiczny był stosunkowo najmniej licznie (25,2) spo-

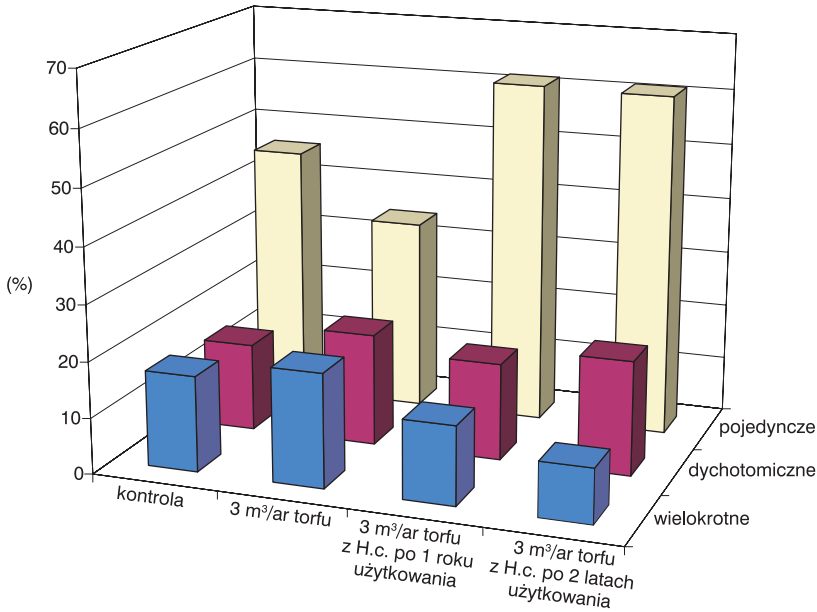


Ryc. X.21.1. Średni procentowy udział korzeni troficznych u sadzonek sosny zwyczajnej (1/0) z siewu punktowego, poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji z *Hebeloma crustuliniforme* (H.c.) w szkółce gruntowej Nadleśnictwa Kłobuck

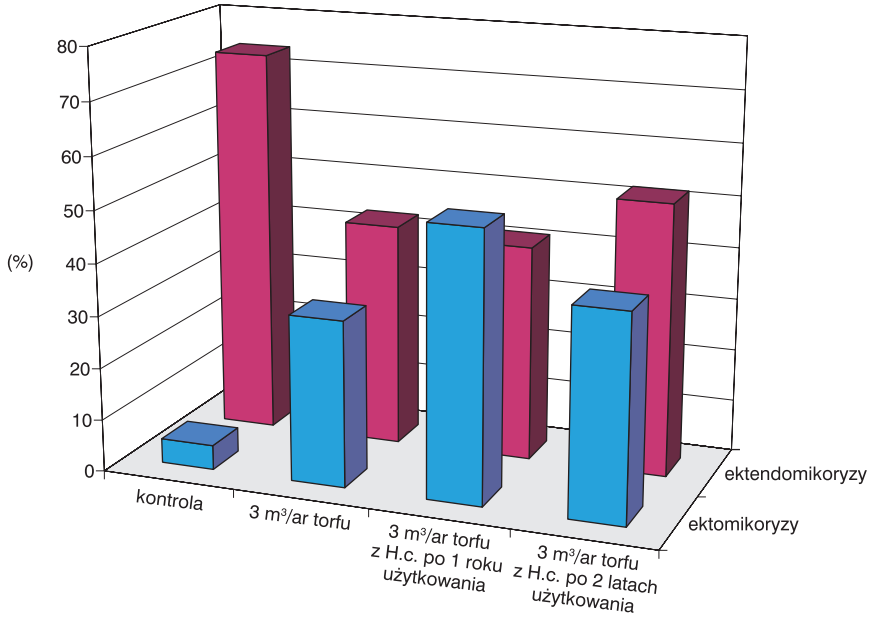
tykany u sadzonek sosny z kombinacji doświadczalnej, w której do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme*, ale po dwóch latach jego wcześniejszego użytkowania. Procentowy udział mikoryz pojedynczych był zawsze wyraźnie większy u sadzonek z kombinacji doświadczalnych, w których do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme*, w porównaniu z kombinacjami kontrolnymi, natomiast procentowy udział mikoryz dychotomicznych był podobny we wszystkich kombinacjach doświadczalnych (ryc. X.21.2.).

Ektendomikoryzy stwierdzono w mikotrofizmie wszystkich badanych sadzonek sosny niezależnie od kombinacji doświadczalnej, jednak procentowy udział tego typu mikoryzy był zróżnicowany. Stosunkowo najmniejszy (41,3%) u sadzonek z kombinacji doświadczalnej, w której do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme* po roku wcześniejszego użytkowania w hodowli sosny w technologii sterowanej mikoryzacji, a stosunkowo największy (73,9%) u sadzonek sosny z kombinacji kontrolnej (ryc. X.21.3. i fot. X.21.5.).

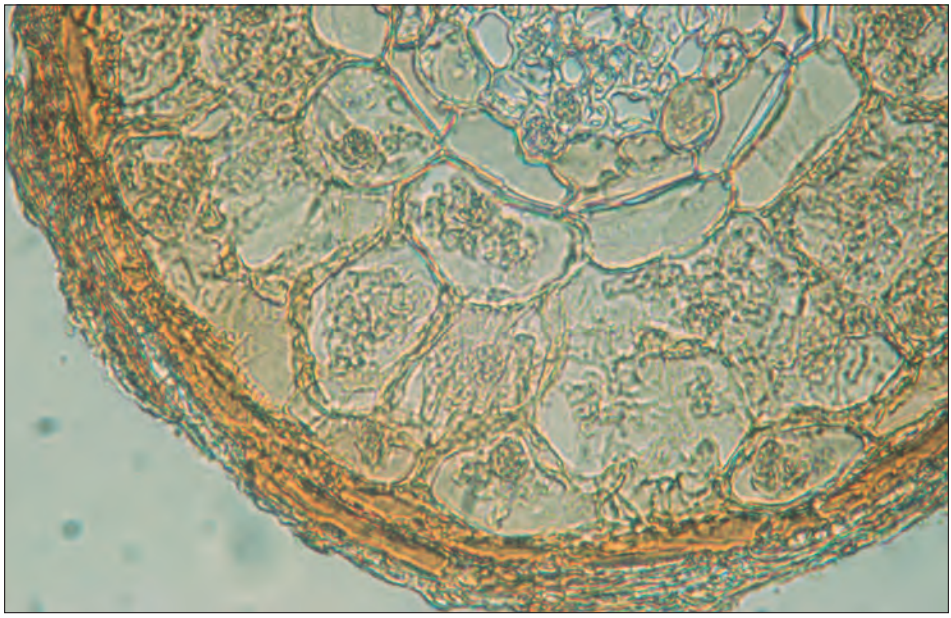
Ektomikoryzy w kombinacji kontrolnej stwierdzono tylko u 53% badanych sadzonek, a średni procentowy ich udział w mikotrofizmie tych sadzonek był znikomy i wynosił jedynie 4,7%. W pozostałych kombinacjach doświadczalnych ektomikoryzy stwierdzano u wszystkich sadzonek, a ich udział w mikotrofizmie badanych sadzonek był zróżnicowany i wynosił od 31,7% w wypadku sadzonek z kombinacji doświadczalnej, w której do gleby wprowadzono sam substrat torfowy, do 51,5%



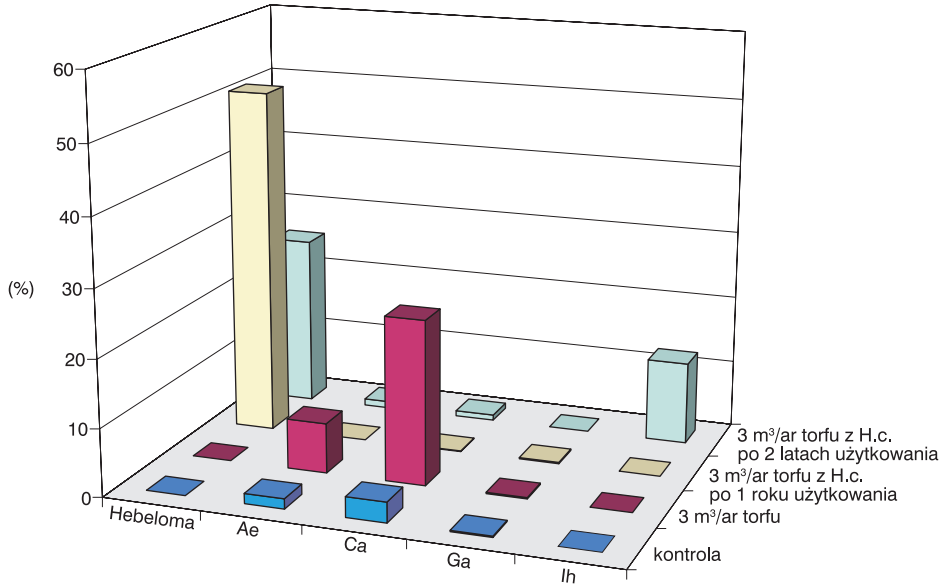
Ryc. X.21.2. Średni procentowy udział typów morfologicznych mikoryz u sadzonek sosny zwyczajnej (1/0) z siewu punktowego, poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji z *Hebeloma crustuliniforme* (H.c.) w szkółce gruntowej Nadleśnictwa Kłobuck



Ryc. X.21.3. Średni procentowy udział typów mikoryz u sadzonek sosny zwyczajnej (1/0) z siewu punktowego, poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji z *Hebeloma crustuliniforme* (H.c.) w szkółce gruntowej Nadleśnictwa Kłobuck



Fot. X.21.5. Przekrój poprzeczny przez ektendomikoryzę u sosny zwyczajnej (1/0) ze szkółki gruntowej w Nadleśnictwie Kłobuck, z kwatery kontrolnej (powiększenie 160x)

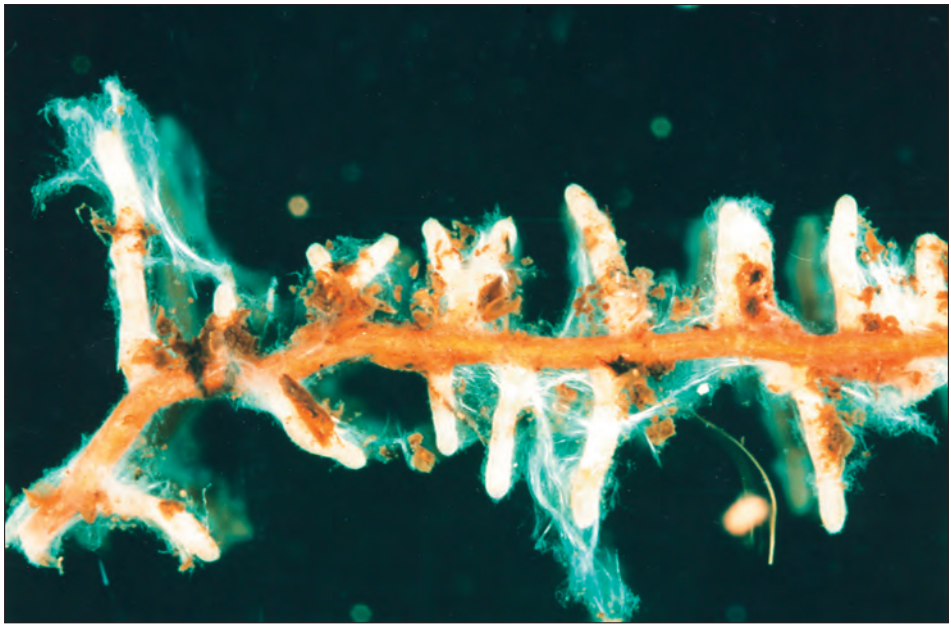


Ryc. X.21.4. Średni procentowy udział rodzajów ektomikoryz w mikrotrofizmie u sadzonek sosny zwyczajnej (1/0) z siewu punktowego, poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji z *Hebeloma crustuliniforme* (H.c.) w szkółce gruntowej Nadleśnictwa Kłobuck

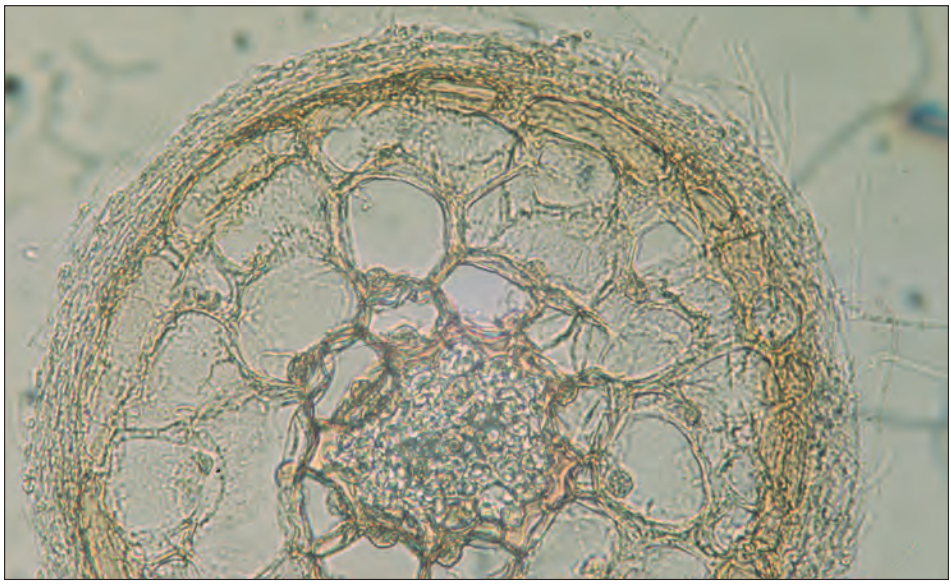
w wypadku sadzonek z kombinacji doświadczalnej, w której do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme* po roku wcześniejszego użytkowania w hodowli sosny w technologii sterowanej mikoryzacji (ryc. X.21.4.).

Wprowadzenie do gleby torfu, a zwłaszcza substratu torfowego z grzybem *H. crustuliniforme* wyraźnie zmieniło spektrum ektomikoryz. W kombinacji doświadczalnej, w której do gleby wprowadzono sam torf, procentowy udział ektomikoryzy „Ae" wzrósł z 1,5 do 7,4%, a ektomikoryzy „Ca" z 3,0 do 24,2%. W tym ostatnim wypadku ten rodzaj ektomikoryzy stwierdzono u 100% badanych sadzonek. W kombinacjach doświadczalnych, w których do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme* po jednym lub dwóch latach jego użytkowania w hodowli sosny w technologii sterowanej mikoryzacji, w pierwszym wypadku 100% sadzonek miało ektomikoryzy typowe dla tego grzyba, a w drugim 86,7% sadzonek. Procentowy udział tej ektomikoryzy w mikotrofizmie badanych sadzonek był stosunkowo duży i w pierwszym wypadku wynosił 51,2%, a w drugim 25,3% (ryc. X.21.4. i fot. X.21.6. oraz X.21.7.).

Ten dwukrotnie większy udział ektomikoryzy zamierzonej z grzybem *H. crustuliniforme* w mikotrofizmie sadzonek sosny w kombinacji doświadczalnej, w której do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme* po jednym roku, w porównaniu z substratem po dwóch latach użytkowania w hodowli sosny w technologii sterowanej mikoryzacji może mieć związek z wielkością inokulum tego grzyba podczas hodowli sosny w korytach. Jak wykazały badania, procento-



Fot. X.21.6. Mikoryzy sadzonek sosny zwyczajnej (1/0) ze szkółki gruntowej w Nadleśnictwie Kłobuck, z kwatery, na której przed siewem do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme* (powiększenie 15x)



Fot. X.21.7. Przekrój poprzeczny przez ektomikoryzę u sosny zwyczajnej (1/0) ze szkółki gruntowej w Nadleśnictwie Kłobuck, z kwatery, na której przed siewem do gleby wprowadzono substrat torfowy z grzybem *H. crustuliniforme* (powiększenie 160x)

wy udział ektomikoryz z grzybem *H. crustuliniforme* u sadzonek sosny hodowanych na substracie w pierwszym roku po wprowadzeniu zabiegu sterowanej mikoryzacji biopreparatem z tym grzybem wynosił ponad 90%, zaś w drugim roku już tylko około 55% (Kowalski 2007 L.c.). Wprowadzenie do gleby substratu torfowego z grzybem *H. crustuliniforme* po dwóch latach wcześniejszego użytkowania w hodowli sosny w technologii sterowanej mikoryzacji spowodowało, że w spektrum mikoryzowym pojawiły się ektomikoryzy rodzaju „Ia", niespotkane w pozostałych kombinacjach doświadczalnych. Ich występowanie stwierdzono u wszystkich badanych sadzonek sosny w tej kombinacji doświadczalnej. Procentowy udział tej ektomikoryzy w mikotrofizmie sosny był stosunkowo duży i wynosił 12,2% (ryc. X.21.4.). Jak wykazały badania, ten rodzaj ektomikoryzy („Ia") był już obecny w mikotrofizmie sadzonek sosny hodowanej w technologii sterowanej mikoryzacji w korycie Dünemanna, z którego następnie substrat był pobrany i wprowadzony do gleby (Kowalski 2007 L.c.).

Wyniki badań wskazują na możliwość biologicznej rewitalizacji gleby w szkółkach zdegradowanych mikrobiologicznie, w których w mikotrofizmie sosny dominują ektendomikoryzy. Wprowadzanie do gleby samego torfu, aczkolwiek pozytywnie wpływa na parametry hodowlane sadzonek, takie jak ich wysokość i średnica w szyi korzeniowej, to jednak w sposób istotny nie zmienia zaburzonego mikotrofizmu. Radykalną zmianę zachwianych stosunków mikrobiologicznych w glebie, wyrażającą się dominacją u sadzonek sosny ektomikoryz nad ektendomikoryzami, można uzyskać przy użyciu biopreparatu z grzybem *H. crustuliniforme*. Przedstawiona technologia znacznie poprawia liczebność i jakość sadzonek, jaką można uzyskać w szkółkach na glebach zdegradowanych po zastosowaniu polskiej technologii sterowanej mikoryzacji z grzybem *H. crustuliniforme*.

XI. Różnicowanie się w uprawach leśnych parametrów wzrostowych, żywotności i biomasy sadzonek drzew leśnych, poddanych i niepoddanych w szkółce kontenerowej zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor*

22. Cechy morfologiczno-rozwojowe oraz przeżywalność sadzonek różnych gatunków drzew leśnych w uprawach doświadczalnych na gruntach nieleśnych i leśnych o różnym stopniu degradacji

Dr inż. Kazimierz Szabla, Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych Katowice, ul. Huberta 43/45, 40-952 Katowice-Brynów

Wprowadzenie

W leśnictwie polskim nie było dotąd badań nad przyrodniczą i ekonomiczną zasadnością mikoryzacji sadzonek. Wraz z wdrożeniem sterowanej mikoryzacji sadzonek w coraz większej liczbie szkółek leśnych w Lasach Państwowych odpowiedź na pytanie, w jakim stopniu sterowana mikoryzacja wpływa na wzrost i rozwój sadzonek oraz ich przeżywalność w uprawach, stała się niezwykle istotna. Równie ważna jest też odpowiedź na pytanie, w jakich warunkach glebowych i siedliskowych sadzonki mikoryzowane powinny być stosowane, a zatem w jakich obszarach działalności gospodarki leśnej mikoryzacja sadzonek ma sens przyrodniczy i ekonomiczny.

W szkółce kontenerowej w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie, w 1999 roku, rozpoczęto na skalę gospodarczą szczepienia systemów korzeniowych sadzonek drzew leśnych grzybami symbiotycznymi, właściwymi dla wczesnych stadiów rozwojo-

wych różnych gatunków drzew leśnych. W tym też roku wyhodowano blisko milion sztuk sadzonek kilku podstawowych gatunków lasotwórczych, mikoryzowanych dwoma gatunkami grzybów, tj. *Laccaria bicolor* i *Hebeloma crustuliniforme*, z których założono pierwsze dwie uprawy doświadczalne. Wpływ sterowanej mikoryzacji sadzonek grzybami mikoryzowymi na ich wzrost i rozwój w uprawach, w różnych warunkach środowiskowych, badano w 20 uprawach doświadczalnych.

Materiał badawczy i metody

Uprawy zakładano w latach 1999–2002 na terenie Nadleśnictwa Rudy Raciborskie, Chrzanów i Świerklaniec (tabela XI.22.1.). Łącznie wysadzono 65 450 sadzonek sosny zwyczajnej, 8820 dębu szypułkowego, 7560 buka pospolitego i 9650 brzozy brodawkowatej. Badaniami objęto m.in. różnicowanie się parametrów wzrostu i rozwoju oraz przeżywalność w uprawach sadzonek wymienionych gatunków drzew hodowanych techniką kontenerową, z zakrytym systemem korzeniowym, poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji oraz sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym ze szkółki gruntowej. Sadzonki te posadzono na uprawach w różnych warunkach siedliskowych, mianowicie na: zrębach, gruntach porolnych, pożarzysku, rekultywowanych wyrobiskach piasku, powierzchniach leśnych w III strefie uszkodzeń przemysłowych i glebie industrialnej.

Tabela XI.22.1.
Charakterystyka upraw doświadczalnych

Nr uprawy	Nadleśnictwo, leśnictwo, oddział	Charakterystyka:		TSL*
		rodzaj uprawy	wprowadzony gatunek	
1	2	3	4	5
4/1999	Rudy Rac., Nędza 203h	grunt porolny	So 1/0KM H.C., So 1/0KM L.B., So 1/0K bm, So 2/0 otw	BMw
7/1999	Rudy Rac., Rudy 261i	zrąb leśny	So 1/0KM H.C., So 1/0KM L.B., So 1/0K bm	BMśw
1/2000	Rudy Rac., Kotlarnia 3c	grunt porolny	So 1/0KM H.C, So 1/0KM L.B., So 1/0K bm, So 2/0 otw	LŁ
2/2000	Rudy Rac., Borowiec 112d	zrąb leśny	Db 1/0KM H.C., Db 1/0KM L.B., Db 1/0K bm, Db 2/0 otw So 1/0KM H.C, So 1/0KM L.B., So 1/0K bm, So 2/0 otw	BMśw
3/2000	Rudy Rac., Stanica 214c	zrąb leśny	So 1/0KM H.C., So 1/0KM L.B., So 1/0K bm, So 2/0 otw	LMśw
4/2000	Rudy Rac., Solarnia 85c	pożarzysko	So 1/0KM H.C., So 1/0KM L.B., So 1/0K bm, So 2/0 otw	BMśw
5/2000	Chrzanów, Bukowno 62b	wyrobisko piaskowe po rekultywacji	So 1/0KM H.C., So 1/0KM L.B., So 1/0K bm, So 2/0 otw	Bśw

1	2	3	4	5
6/2000	Świerklaniec, Żyglinek 112d	zrąb leśny w III strefie uszkodzeń przemysłowych	Db 1/0KM H.C., Db 1/0KM L.B., Db 1/0K bm, Db 2/0 otw So 1/0KM H.C, So 1/0KM L.B., So 1/0K bm, So 2/0 otw	BMśw
1/2001	Rudy Rac., Kotlarnia 14m	pożarzysko	So 1/0KM H.C., So 1/0KM L.B., So 1/0K bm, So 2/0 otw	BMśw
2/2001	Rudy Rac., Krasiejów 165i	grunt porolny	So 1/0KM H.C., So 1/0KM L.B., So 1/0K bm, So 2/0 otw Bk 1/0KM H.C., B 1/0KM L.B., Bk 1/0K bm, Bk 2/0 otw	LMw
5/2001	Kopalnia „Kotlarnia”	wyrobisko piaskowe po rekultywacji	So 1/0KM H.C., So 1/0KM L.B., So 1/0K bm, So 2/0 otw Brz 1/0KM H.C, Brz 1/0K bm, Brz 2/0 otw	LMśw
6/2001	Świerklaniec, Żyglinek 87hk	zrąb leśny w III strefie uszkodzeń przemysłowych	Bk 1/0KM H.C., B 1/0KM L.B., Bk 1/0K bm, Bk 2/0 otw	BMśw
7/2001	Świerklaniec, Żyglinek 134f	rekultywacje w V strefie uszkodzeń przemysłowych	Św 1/0KM H.C., Św 1/0K bm; Brz 1/0KM H.C, B., Brz 1/0K bm, So 1/0KM H.C, So 1/0KM L.B., So 1/0K bm, So 2/0 otw	BMśw
1/2002	Rudy Rac., Nędza 179b	grunt porolny	Brz 1/0KM H.C., Brz 1/0KM L.B., Brz 1/0K bm, Brz 2/0 otw Db 1/0KM H.C., Db 1/0KM L.B., Db 1/0K bm, Db 2/0 otw So 1/0KM H.C, So 1/0KM L.B., So 1/0K bm, So 2/0 otw	LMśw
2/2002	Rudy Rac., Bargłówka 107f	zrąb w II strefie uszkodzeń przemysłowych	Bk 1/0KM H.C., Bk 1/0KM L.B., Bk 1/0K bm, Bk 2/0 otw Brz 1/0KM H.C, Brz 1/0KM L.B., Brz 1/0K bm, Brz 2/0 otw So 1/0KM H.C, So 1/0KM L.B., So 1/0K bm, So 2/0 otw	BMśw
4/2002	Rudy Rac., Lubieszów 28g	pożarzysko	So 1/0KM H.C., So 1/0KM L.B., So 1/0K bm, So 2/0 otw Brz 1/0KM H.C, Brz 1/0KM L.B., Brz 1/0K bm, Brz 2/0 otw Db 1/0KM H.C., Db 1/0KM L.B., Db 1/0K bm, Db 2/0 otw	BMśw
5/2002	Chrzanów, Bukowno 44f	wyrobisko piaskowe po rekultywacji	Brz 1/0KM H.C., Brz 1/0KM L.B., Brz 1/0K bm, Brz 2/0 otw So 1/0KM H.C, So 1/0KM L.B., So 1/0K bm, So 2/0 otw	Bśw
6/2002	Świerklaniec, Imielow 243i	zrąb leśny w III strefie uszkodzeń przemysłowych	Db 1/0KM H.C., Db 1/0KM L.B., Db 1/0K bm, Db 2/0 otw Brz 1/0KM H.C, Brz 1/0KM L.B., Brz 1/0K bm, Brz 2/0 otw	BMśw

Tabela XI.22.1. cd.

1	2	3	4	5
7/2002	Świerklaniec, Żyglinek 87hk	zrąb leśny w III strefie uszkodzeń przemysłowych	So 1/0KM H.C., So 1/0KM L.B., So 1/0K bm, So 2/0 otw	BMśw
8/2002	Świerklaniec, Żyglinek 134f	V strefa uszkodzeń przemysłowych	So 1/0KM H.C., So 1/0KM L.B., So 1/0K bm, So 2/0 otw	BMśw

Objaśnienia:
TSL – typ siedliskowy lasu;
1/0 KM H.C. – jednoletnia sadzonka z zakrytym systemem korzeniowym mikoryzowana grzybem *Hebeloma crustuliniforme*;
1/0 KM L.B. – jednoletnia sadzonka z zakrytym systemem korzeniowym mikoryzowana grzybem *Laccaria bicolor*;
1/0 K bm – jednoletnia sadzonka z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowana;
2/0 otw. – dwuletnia sadzonka z odkrytym systemem korzeniowym niemikoryzowana.

Uprawy doświadczalne zakładane były według planu rozmieszczenia poszczególnych gatunków drzew w czterech kombinacjach doświadczalnych, w trzech powtórzeniach. Kombinacje doświadczalne w obrębie jednej uprawy stanowiły:
– sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym szczepione grzybem *H. crustuliniforme*,
– sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym szczepione grzybem *L. bicolor*,
– sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym niepoddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji,
– sadzonki z odkrytym systemem korzeniowym ze szkółki gruntowej.

Sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym mikoryzowane i niemikoryzowane sadzono jako jednolatki (1/0), natomiast z odkrytym systemem korzeniowym były dwulatkami (2/0). W każdej kombinacji doświadczalnej sadzono po kilkaset sadzonek, zgodnie z przykładowo podanym schematem.

So 1/0KM *Hebeloma crustuliniforme*	So 1/0K kontenerowe niemikoryzowane	So 1/0K *Laccaria bicolor*	So 2/0 odkryty system korzeniowy
So 1/0K kontenerowe niemikoryzowane	So 1/0KM *Hebeloma crustuliniforme*	So 2/0 odkryty system korzeniowy	So 1/0KM *Hebeloma crustuliniforme*
So 1/0K *Laccaria bicolor*	So 2/0 odkryty system korzeniowy	So 1/0K *Laccaria bicolor*	So 1/0K kontenerowe niemikoryzowane

Corocznie, po zakończeniu sezonu wegetacyjnego, na wszystkich uprawach doświadczalnych mierzono parametry wzrostowe sadzonek z minionego okresu wegetacyjnego. Każdorazowo, według jednolicie przyjętego schematu, mierzono po 90 sadzonek z każdej kombinacji doświadczalnej, biorąc pod uwagę wysokość sa-

dzonki, roczny jej przyrost i średnicę w szyi korzeniowej. U sosny ponadto liczono pączki pędu szczytowego, pędy boczne ostatniego okółka oraz mierzono ich długość. Każdorazowo określano liczbę przepadłych sadzonek w kombinacji doświadczalnej. Wyniki z każdej uprawy doświadczalnej przedstawiono jako średnie z 5-letnich badań. Cechy biometryczne poddano analizie statystycznej (Szabla 2004).

Omówienie wyników badań

Uprawy doświadczalne z sosną zwyczajną:

- **Założone na gruncie leśnym**

Na uprawach założonych na zrębach w latach 1999–2002 sadzonki sosny zwyczajnej poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji wykazywały większe parametry przyrostowe w porównaniu z sadzonkami niepoddanymi temu zabiegowi. Na uprawach o nr.: 7/1999 i 2/2000 różnice w przyroście na wysokość były statystycznie istotne, jedynie w uprawie nr 2/2002 różnice w przyroście tego parametru były niewielkie i statystycznie nieistotne (ryc. XI.22.1.).

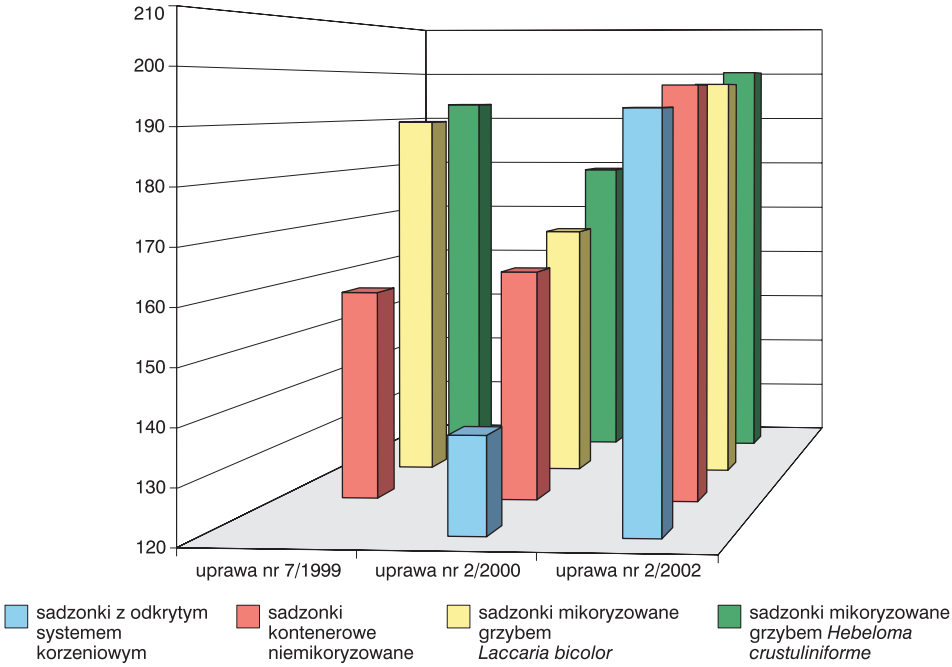
Na wszystkich uprawach największy przyrost wysokości osiągnęły sadzonki sosny mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* (ryc. XI.22.1.). Na przykład na uprawie nr 7/1999 sosna poddana sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* osiągnęła przyrost 193,2 cm, większy o 35 cm od przyrostu sadzonek sosny z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowanych. W uprawie 2/2000 różnice w przyroście pomiędzy sadzonkami mikoryzowanymi grzybem *H. crustuliniforme* i sadzonkami z odkrytym systemem korzeniowym były jeszcze większe i wynosiły 41,8 cm, co stanowi 30%.

Biorąc pod uwagę średni przyrost sosny ze wszystkich upraw na zrębach, w ramach poszczególnych kombinacji doświadczalnych stwierdzono, że sadzonki mikoryzowane osiągnęły przyrosty wysokości o ponad 15% większe od sadzonek niemikoryzowanych, a różnice te były statystycznie istotne (ryc. XI.22.1A.).

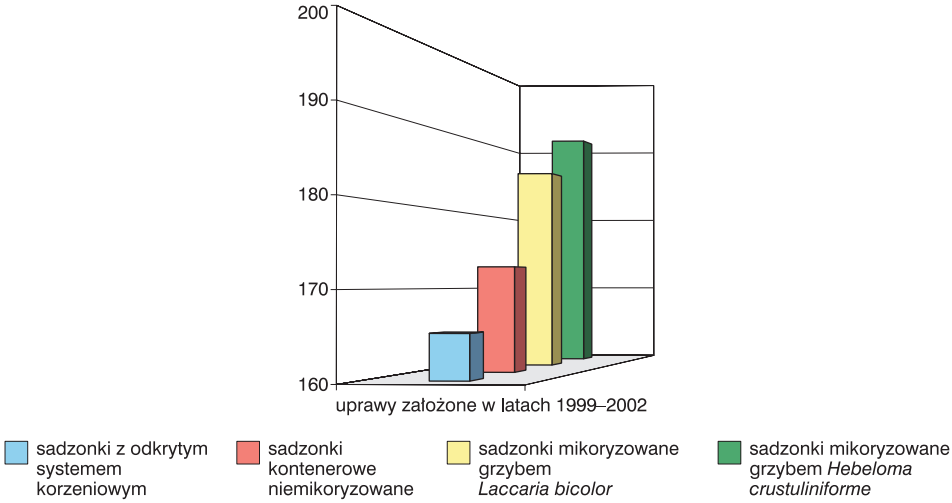
Stosunkowo największe przyrosty średnicy w szyi korzeniowej u sadzonek sosny po pięciu latach i regularnie w każdym roku stwierdzono u mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* (ryc. XI.22.2.).

Przyrost średnicy w szyi korzeniowej sadzonek sosny mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* w stosunku do przyrostu sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym na uprawie nr 2/2000 był większy o 28%, a na uprawie nr 2/2002 o 26,7%. Na tej ostatniej uprawie w przyroście na wysokość nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic, natomiast różnice w przyroście na grubość były istotne. Średnio u sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crystuliniforme* stwierdzono przyrost średnicy w szyi korzeniowej większy o 23,1%, a u sadzonek mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* o 17,5% w stosunku do sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym (ryc. XI.22.2A.), mimo że te ostatnie były o rok starsze.

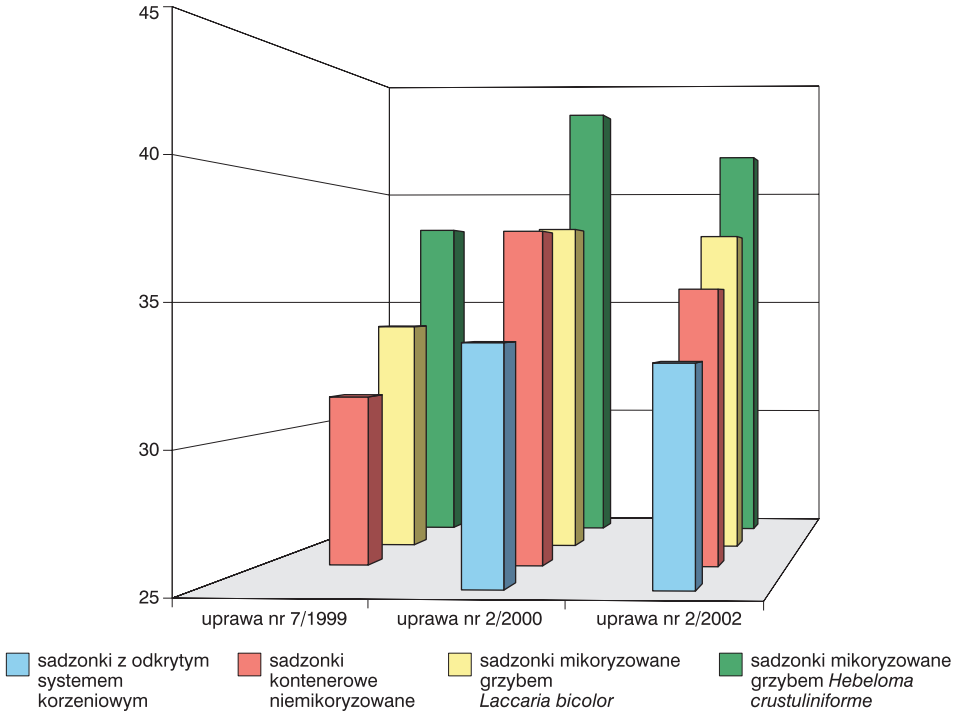
Także średnia długość pędów bocznych u sadzonek sosny mikoryzowanej była znacznie większa niż u sadzonek niepoddanych temu zabiegowi (ryc. XI.22.3. i XI.22.3A.), a różnice te były w każdej uprawie statystycznie istotne. Przykładowo, średnia długość pędów bocznych ostatniego okółka sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* oraz *L. bicolor* była o ponad 30% większa niż u sadzo-



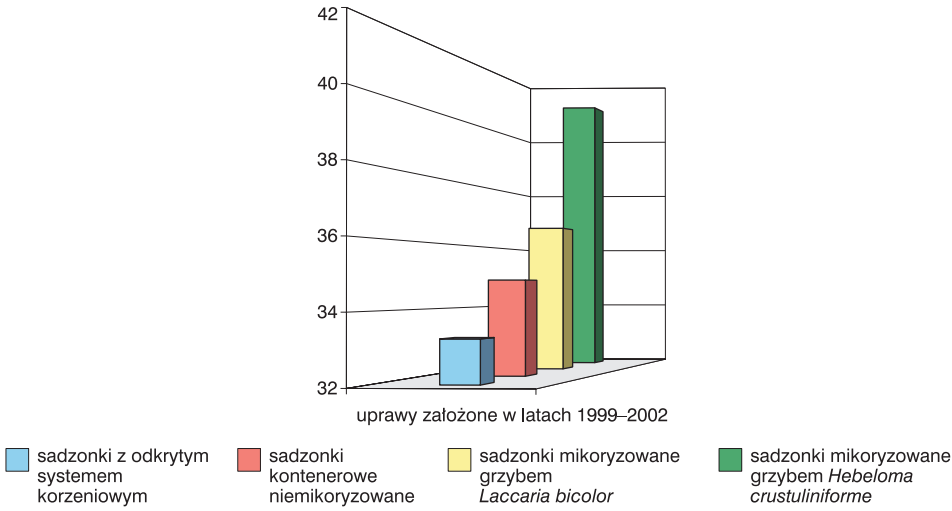
Ryc. XI.22.1. Średni przyrost wysokości (cm) pięcioletnich sadzonek sosny w uprawach założonych na zrębach



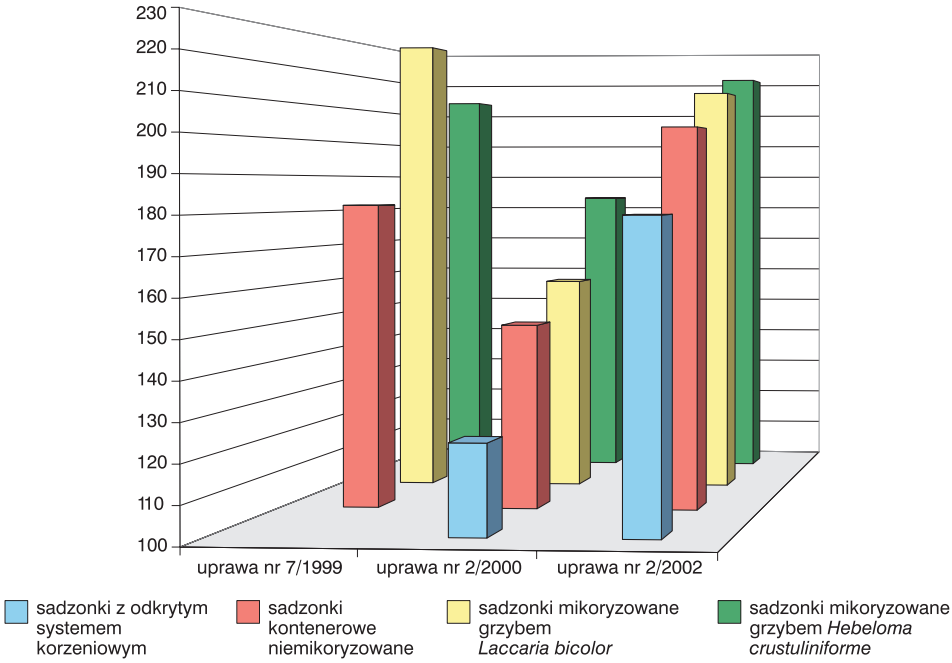
Ryc. XI.22.1A. Średni przyrost wysokości (cm) pięcioletnich sadzonek sosny ze wszystkich upraw na zrębach



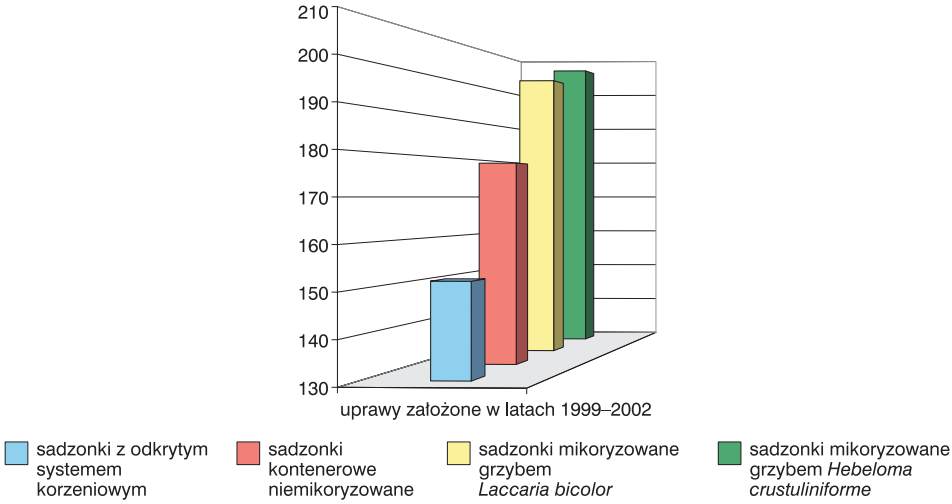
Ryc. XI.22.2. Średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej (mm) pięcioletnich sadzonek sosny w uprawach założonych na zrębach



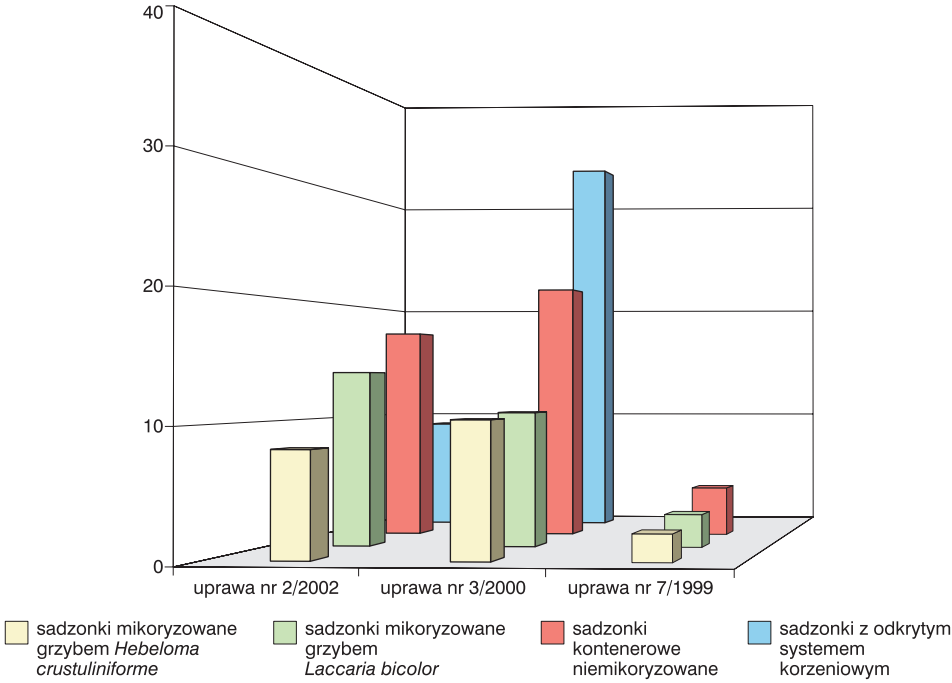
Ryc. XI.22.2A. Średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej (mm) pięcioletnich sadzonek sosny z wszystkich upraw założonych na zrębach



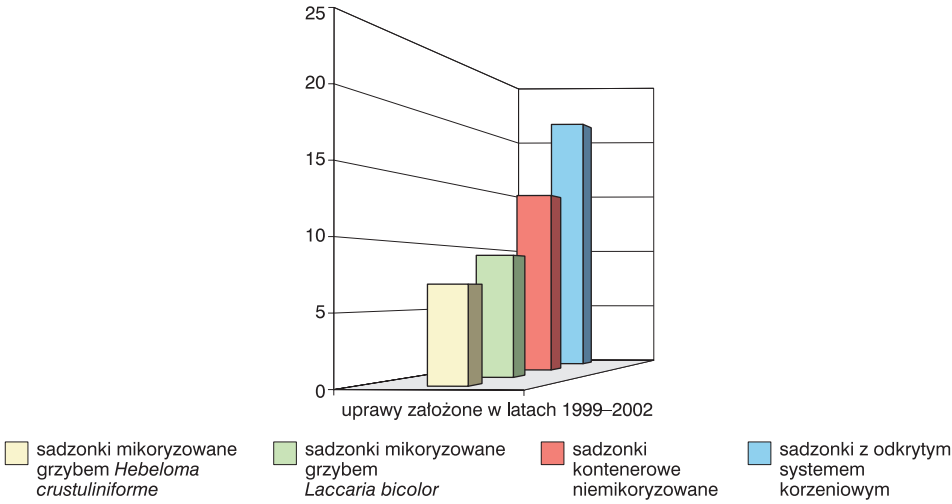
Ryc. XI.22.3. Suma średniej rocznej długości pędów bocznych ostatniego okółka (cm) pięcioletnich sadzonek sosny w uprawach założonych na zrębach



Ryc. XI.22.3A. Suma średniej rocznej długości pędów bocznych ostatniego okółka (cm) sadzonek sosny z wszystkich upraw na zrębach



Ryc. XI.22.4. Wypady po pięciu latach (%) sadzonek sosny w uprawach założonych na zrębach



Ryc. XI.22.4A. Wypady po pięciu latach (%) sadzonek sosny, średnia z wszystkich upraw założonych na zrębach

nek z odkrytym systemem korzeniowym i o 13% niż u sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowanych.

Badania wykazały wyraźnie pozytywny wpływ zabiegu sterowanej mikoryzacji, zwłaszcza grzybem *H. crustuliniforme*, na przeżywalność sadzonek w uprawach założonych na zrębach.

Na wszystkich uprawach wypady sadzonek sosny mikoryzowanej były zawsze statystycznie istotnie mniejsze niż sadzonek niemikoryzowanych. Największa różnica w przeżywalności sosny wystąpiła między sadzonkami mikoryzowanymi grzybami *L. bicolor* oraz *H. crustuliniforme*, a sadzonkami z odkrytym systemem korzeniowym na uprawie nr 3/2000 i wyniosła 22,5%. Na uprawie nr 2/2002 różnica w przeżywalności sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* i niemikoryzowanymi wyniosła blisko 10%. Generalnie na wszystkich uprawach w okresie badawczym największą, bo ponad 90%, przeżywalnością cechowały się sadzonki mikoryzowane, przy czym największą osiągnęły sadzonki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* (ryc. XI.22.4. i XI.22.4A.).

- **Założone na gruncie porolnym**

Różnicowanie się parametrów wzrostowych sadzonek sosny zwyczajnej, wyhodowanych różnymi technikami szkółkarskimi z uwzględnieniem zabiegu sterowanej mikoryzacji w uprawach na gruntach porolnych, badano na glebach stosunkowo żyznych, gdyż – jak wykazały badania siedliskowo-glebowe – były to potencjalne siedliska lasu łęgowego (1/2000), lasu mieszanego wilgotnego (2/2001), lasu mieszanego świeżego (1/2002) oraz boru mieszanego wilgotnego (4/1999).

Największą dynamikę przyrostu wysokości oraz grubości w szyi korzeniowej, na wszystkich uprawach i we wszystkich kombinacjach doświadczalnych, wykazywały sadzonki sosny zwyczajnej z zakrytym systemem korzeniowym, poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*. Różnice te w odniesieniu do sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* i niemikoryzowanych, a także do sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym były w każdym wypadku statystycznie istotne. W wypadku sadzonek mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* różnice w wymienionych przyrostach w stosunku do sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowanych były niewielkie i statystycznie nieistotne w odniesieniu do przyrostu na wysokość na uprawie 2/2001 oraz do przyrostu na grubość w szyi korzeniowej na uprawach 1/2000 i 2/2001 (ryc. XI.22.5. i XI.22.6.). Niewielkie różnice w przyroście w stosunku do sadzonek niemikoryzowanych lub ich brak mogą wynikać z faktu, że sadzonki w szkółce niepoddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji miały mikoryzy, między innymi, z grzybem *Laccaria* sp. z mikoryzacji przygodnej

Największe różnice w przyroście na wysokość oraz grubość w szyi korzeniowej w okresie pięcioletnim między sadzonkami mikoryzowanymi i niemikoryzowanymi stwierdzono na uprawie o najsłabszym siedlisku, tj. 4/1999. Na tej uprawie porównanie średnich wartości mierzonych parametrów za pomocą analizy wariancji w każdym wypadku było statystycznie istotne. Średni przyrost wysokości sadzonek sosny w tej uprawie wynosił odpowiednio: 219,8 cm w wypadku sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* oraz 201,7 cm mikoryzowanych grzy-

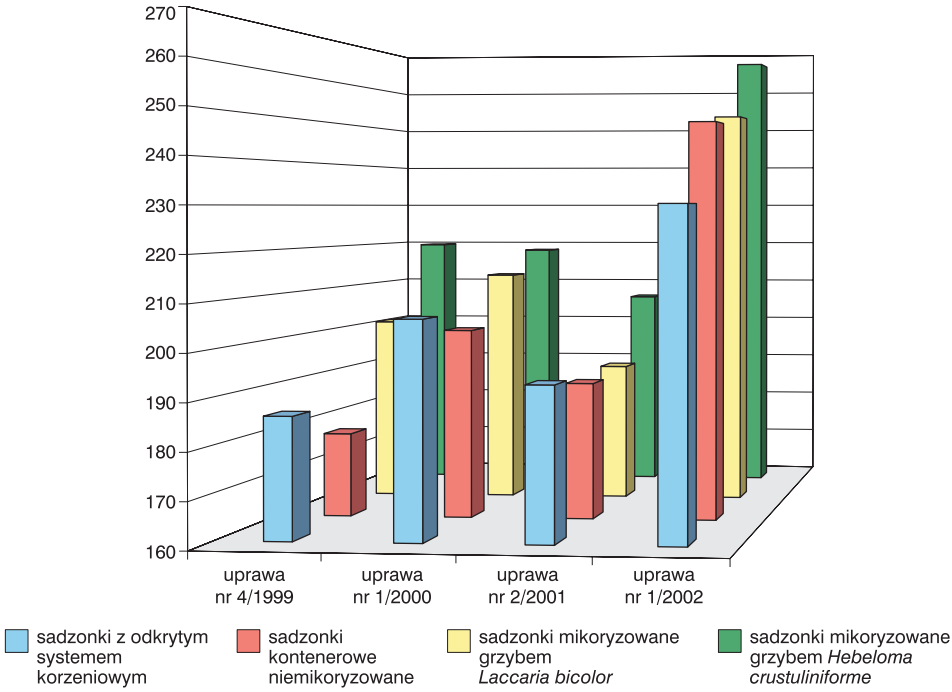
bem *L. bicolor*, a także 178,5 cm z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowanych i 186,1 cm z odkrytym systemem korzeniowym. Różnica w przyroście wysokości sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* wynosiła 118,1% w porównaniu z sadzonkami wysadzonymi w uprawach z odkrytym systemem korzeniowym pomimo tego, że te ostatnie – wyhodowane w szkółce gruntowej – były o rok starsze. Jeszcze większe różnice w tym okresie stwierdzono w przyroście grubości. Sadzonki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* wykazywały średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej 54,4 mm, a sadzonki z odkrytym systemem korzeniowym jedynie 39,6 mm, pomimo że były o rok starsze (ryc. XI.22.6.).

Średni przyrost na wysokość oraz grubość w szyi korzeniowej sadzonek sosny z wszystkich upraw na gruntach porolnych był w kolejności największy u sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme*, następnie mikoryzowanych grzybem *L. bicolor*, z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowanych, a najmniejszy u sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym.

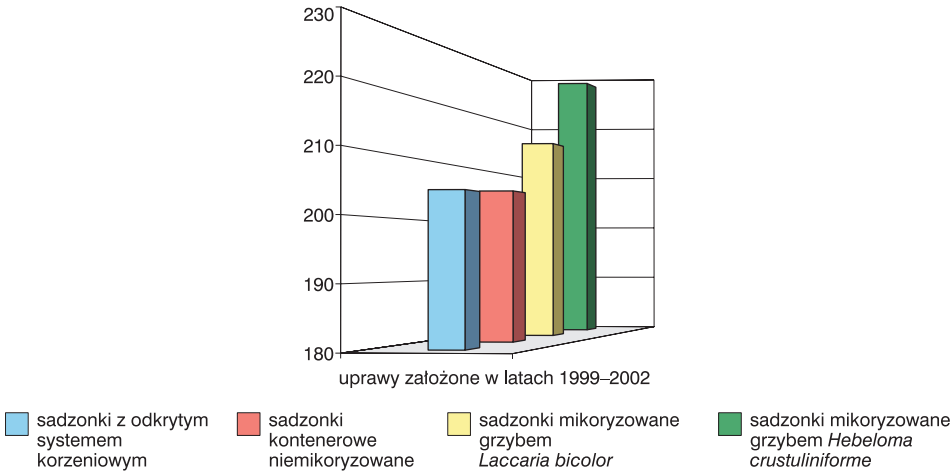
Różnica przyrostu na wysokość sadzonek sosny mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* i sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym (średnia z wszystkich upraw) wyniosła 11,6%, a w wypadku przyrostu na grubość aż 25,1% (ryc. XI.22.5A. i XI.22.6A.).

Podobnie średnia długość pędów bocznych ostatniego okółka sadzonek sosny mikoryzowanej, zwłaszcza grzybem *H. crustuliniforme*, na wszystkich uprawach była znacząco większa od sadzonek niemikoryzowanych, a różnice te w każdym wypadku były statystycznie istotne (ryc. XI.22.7.). Średnia suma długości pędów bocznych ostatniego okółka z wszystkich upraw wyniosła w wypadku sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* 243,7 cm, a u sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowanych 192,3 cm oraz sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym 191,8 cm. Różnica pomiędzy sadzonkami sosny mikoryzowanymi grzybem *H. crustuliniforme* i niemikoryzowanymi wynosiła blisko 27%.

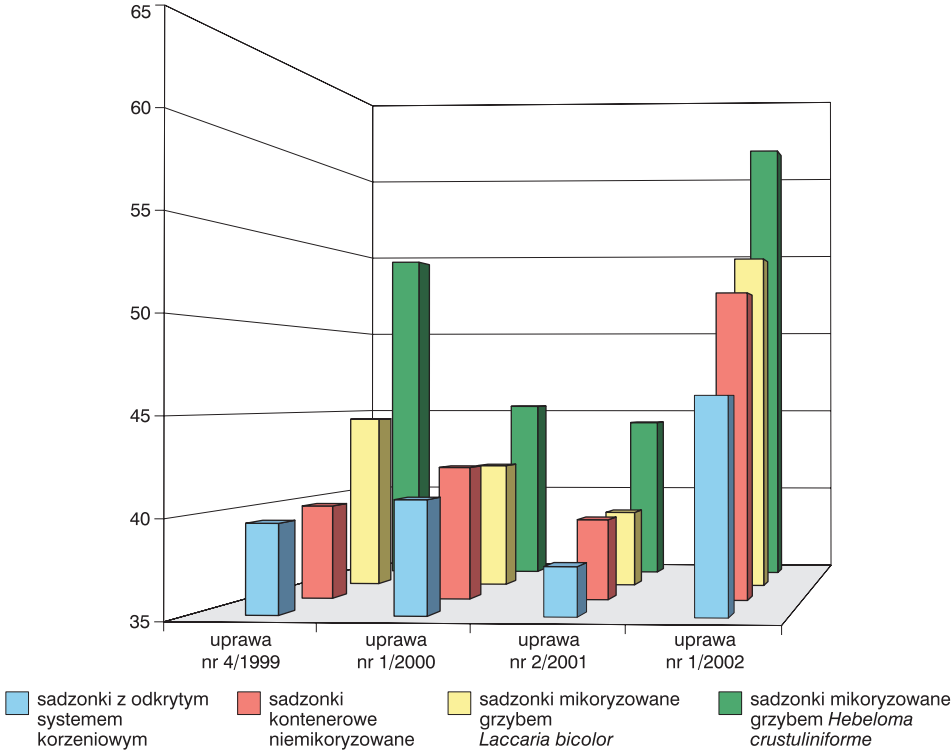
Różnice w przyroście na wysokość oraz grubość między sadzonkami sosny mikoryzowanymi i niemikoryzowanymi w kolejnych latach wzrostu w uprawach były znacząco zróżnicowane, przy czym największe w pierwszych latach. Dynamika średniego przyrostu sadzonek mikoryzowanych w pierwszych 2–3 latach ich wzrostu po posadzeniu była dużo większa niż sadzonek niemikoryzowanych. I tak na uprawie nr 4/1999 średni przyrost na wysokość po dwóch latach sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* wynosił 42,2 cm, sadzonek mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* 39,2 cm, sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowanych 33,3 cm, a sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym 32,2 cm i u tych ostatnich był mniejszy od sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* o 31%. Po trzech latach przyrosty te, w kolejności jak wyżej, przedstawiały się następująco: 89,4 cm, 82,6 cm, 76,9 cm, 74,3 cm, a różnica skrajnych wynosiła już tylko 20%. W wypadku średniego przyrostu na grubość różnice te były jeszcze większe. Analogicznie po dwóch latach wynosiły odpowiednio: 13,8 mm, 9,2 mm, 7,9 mm oraz 5,9 mm. Sadzonki sosny mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* miały średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej w stosunku do tego przyrostu u sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym aż o 134% większy. Po trzech latach przyrost średnicy w szyi korzeniowej wynosił odpowiednio:



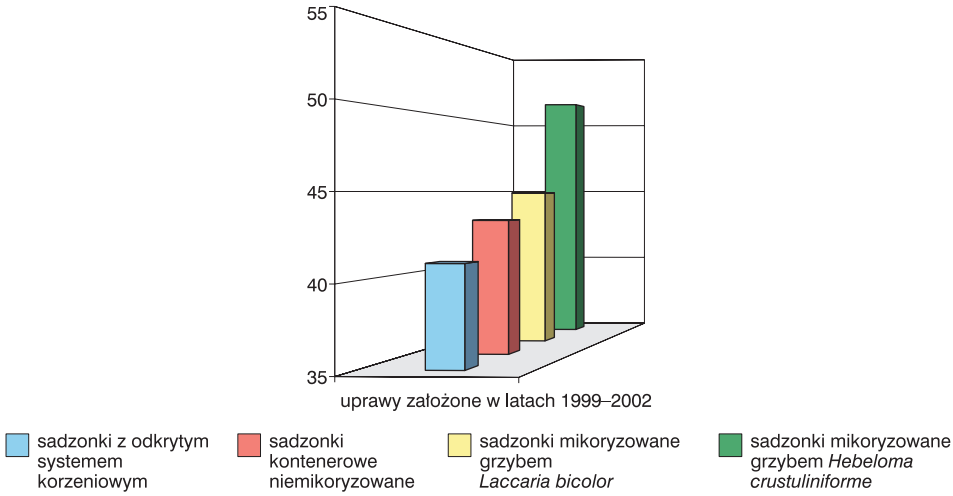
Ryc. XI.22.5. Średni przyrost wysokości (cm) pięcioletnich sadzonek sosny w uprawach założonych na gruntach porolnych



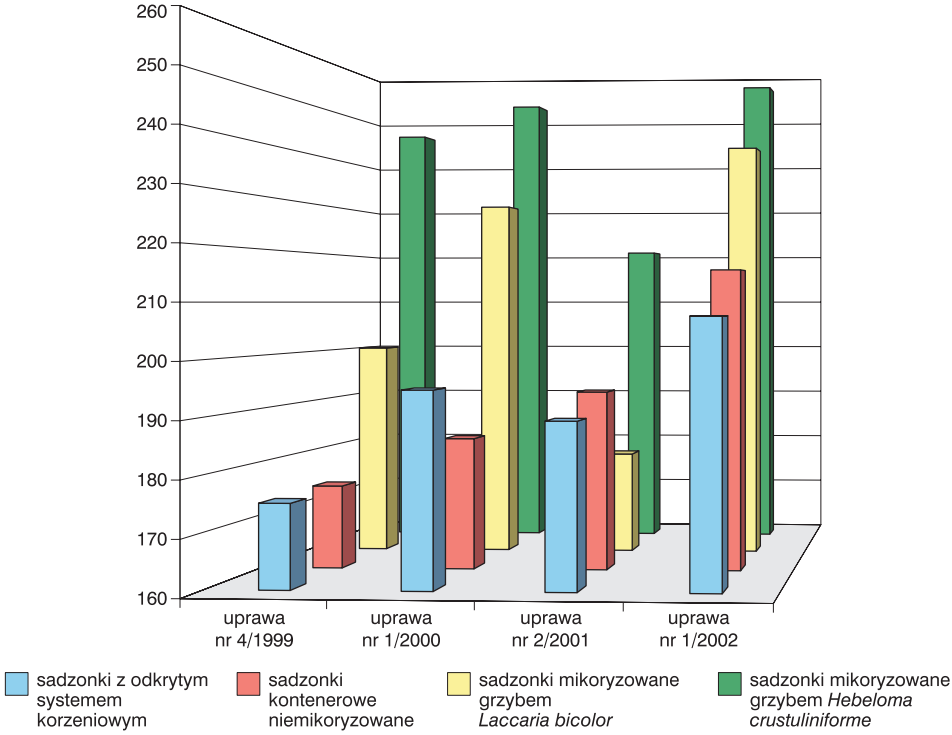
Ryc. XI.22.5A. Średni przyrost wysokości (cm) pięcioletnich sadzonek sosny na wszystkich uprawach założonych na gruntach porolnych



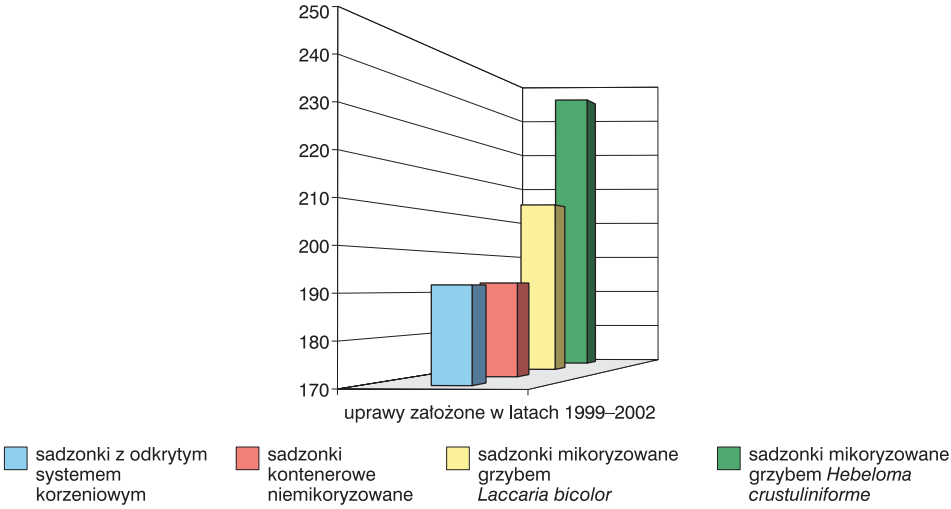
Ryc. XI.22.6. Średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej (mm) pięcioletnich sadzonek sosny w uprawach założonych na gruntach porolnych



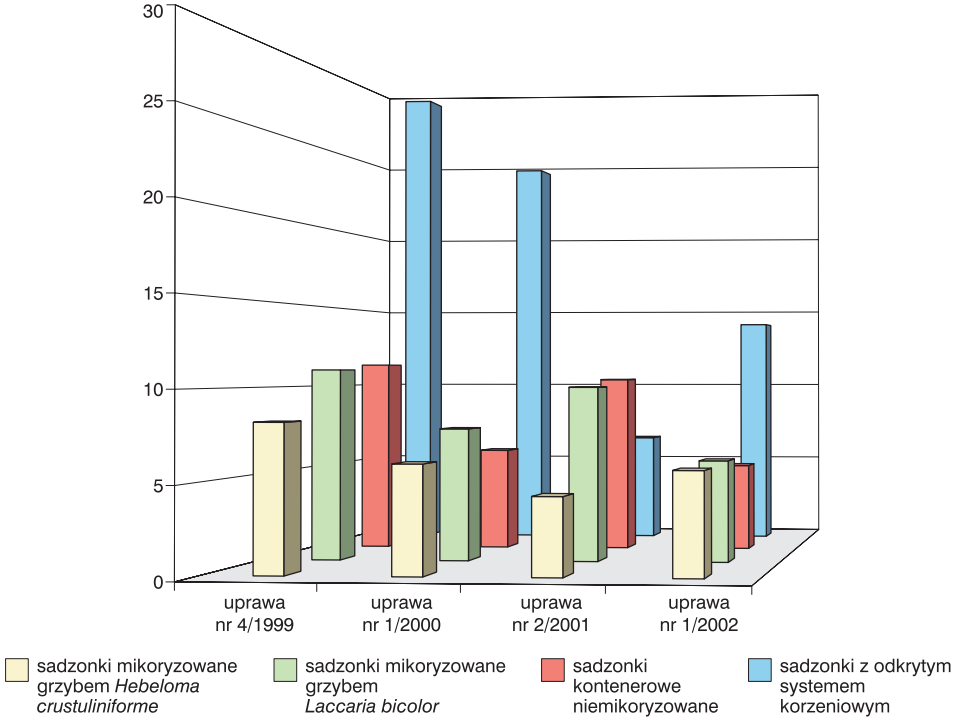
Ryc. XI.22.6A. Średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej (mm) pięcioletnich sadzonek sosny z wszystkich upraw założonych na gruntach porolnych



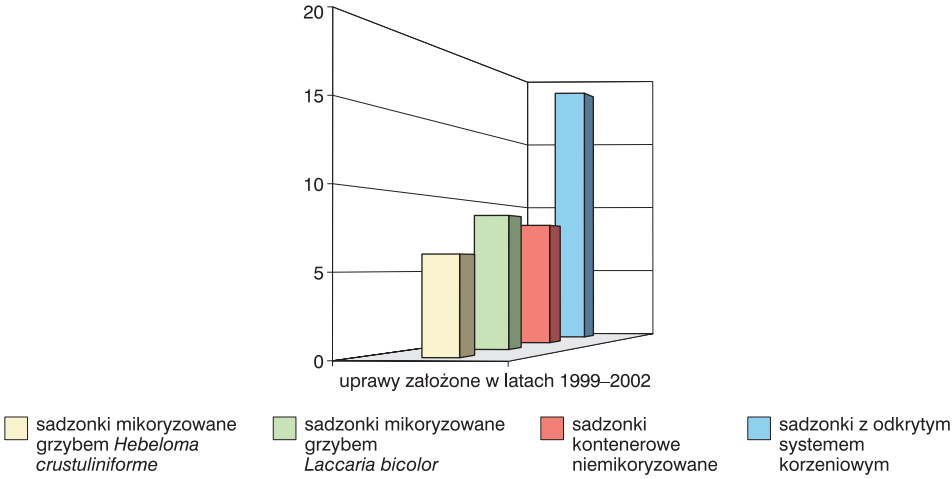
Ryc. XI.22.7. Suma średniej długości pędów bocznych ostatniego okółka (cm) pięcioletnich sadzonek sosny w uprawach założonych na gruntach porolnych



Ryc. XI.22.7A. Suma średniej długości pędów bocznych ostatniego okółka (cm) pięcioletnich sadzonek sosny z wszystkich upraw założonych na gruncie porolnym



Ryc. XI.22.8. Wypady po pięciu latach (%) sadzonek sosny w uprawach założonych na gruntach porolnych



Ryc. XI.22.8A. Wypady po pięciu latach (%) sadzonek sosny, średnia z wszystkich upraw założonych na gruntach porolnych

Fot. XI.22.1. Jedna z upraw doświadczalnych na gruntach porolnych – po prawej górujące wzrostem sadzonki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme*

25,9 mm, 19,6 mm, 18,1 mm i 16,1 mm, a różnice pomiędzy skrajnymi już tylko 61%. Zarówno w odniesieniu do przyrostu wysokości jak i średnicy w szyi korzeniowej różnice te z każdym następnym rokiem wzrostu w uprawie pomiędzy sadzonkami sosny mikoryzowanymi i niemikoryzowanymi zmniejszały się. Podobne proporcje w dynamice przyrostu występowały na wszystkich innych uprawach doświadczalnych.

Zabieg szczepienia systemów korzeniowych sadzonek sosny grzybami mikoryzowymi miał także znaczący wpływ na ich przeżywalność w uprawach, zwłaszcza w pierwszych latach po posadzeniu. Największą przeżywalnością w uprawach cechowały się w kolejności: sadzonki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* – 94%, z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowane 91,8%, mikoryzowane grzybem *L. bicolor* 91,4% i z odkrytym systemem korzeniowym 81,5% (ryc. XI.22.8A.). Analizując wpływ zabiegu sterowanej mikoryzacji sadzonek na ich wzrost i rozwój, a także przeżywalność w uprawach na gruntach porolnych można stwierdzić, że największe efekty dało użycie do zalesień sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* oraz że im słabsze siedlisko, tym wpływ zabiegu mikoryzacji był większy. W wypadku użycia do zalesień sadzonek mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* różnice w przyroście badanych cech oraz przeżywalności między sadzonkami mikoryzowanymi a niemikoryzowanymi nie były duże i w wielu wypadkach statystycznie nieistotne (ryc. XI.22.8. i XI.22.8A.).

- **Założone na glebie po wielkopowierzchniowym pożarze lasu**

Różnicowanie się parametrów wzrostowych sosny zwyczajnej w uprawach doświadczalnych badano na trzech powierzchniach (4/2000, 1/2001 i 4/2002) po wielkopowierzchniowym pożarze lasu w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie. Stosunkowo największe różnice w rocznych cyklach, w dynamice przyrostu na wysokość sosny pomiędzy poszczególnymi kombinacjami doświadczalnymi stwierdzono na uprawie 1/2001.

Średni przyrost wysokości sadzonek sosny mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* na tej uprawie wynosił 155,6 cm, a u sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji był o 33,8 cm mniejszy, co stanowi 27,7%. Analiza wariancji wykazała statystyczną istotność tej różni-

cy. Różnica w średnim przyroście na wysokość pomiędzy sadzonkami sosny z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowanymi i mikoryzowanymi grzybem *L. bicolor* wynosiła zaledwie 5,7 cm. Można to wyjaśnić u tych pierwszych obecnością mikoryz z mikoryzacji naturalnej (przygodnej), głównie grzybami z rodzaju *Laccaria* sp. Na pozostałych dwu uprawach, tj. 4/2000 i 4/2002 różnice w przyroście na wysokość sadzonek sosny nie były tak duże, chociaż statystycznie istotne. Wysokość sadzonek na uprawach po 5 latach uległa znacznemu wyrównaniu. Trzeba jednak podkreślić, że w pierwszych – zwłaszcza dwóch, trzech – latach różnice w przyroście pomiędzy sadzonkami mikoryzowanymi, zwłaszcza grzybem *H. crustuliniforme,* i sadzonkami niemikoryzowanymi, w szczególności z odkrytym systemem korzeniowym, były znaczne i statystycznie istotne. Dla przykładu, na uprawie 4/2000 przyrost sadzonek sosny mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* po trzecim roku wzrostu w uprawie wynosił 64,3 cm, a sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym był o 19,4 cm mniejszy i liczył 43,9 cm (ryc. XI.22.9.).

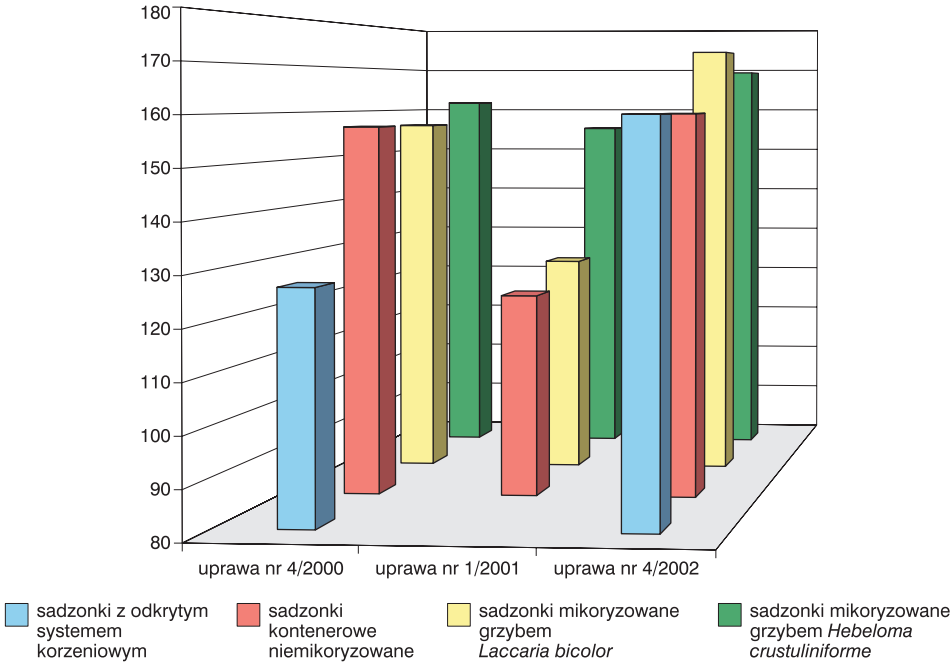
Największy średni przyrost wysokości z wszystkich upraw po pożarze wielkopowierzchniowym osiągnęły w kolejności sadzonki: mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme*, *L. bicolor*, z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowane, a najmniejszy z odkrytym systemem korzeniowym (ryc. XI.22.9A.).

Analizując średni przyrost grubości w szyi korzeniowej sadzonek sosny na tych samych uprawach można stwierdzić, że w każdym wypadku największe przyrosty średnicy w szyi korzeniowej osiągały sadzonki mikoryzowane, szczególnie grzybem *H. crustuliniforme* (ryc. XI.22.10.), a różnice te były zawsze statystycznie istotne. Największe różnice w tym parametrze stwierdzono u sadzonek sosny na uprawie 1/2001, gdzie średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* wynosił 40,1 mm i był o ponad 58% większy od przyrostu u sadzonek sosny z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowanych (28,9 mm) i większy o 30% od przyrostu średnicy sadzonek mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* (30,7 mm).

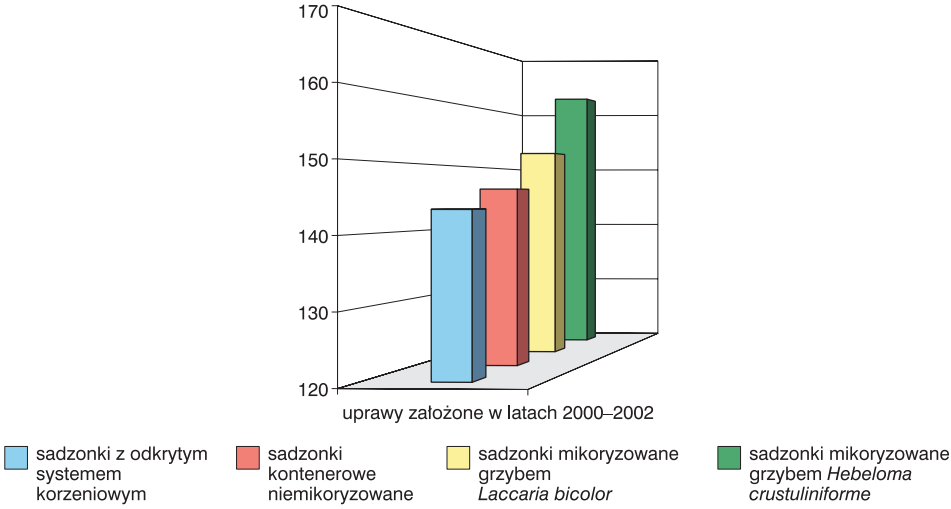
Także największą średnią sumę długości pędów bocznych ostatniego okółka na wszystkich uprawach osiągały sadzonki sosny mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme*, a następnie w kolejności – mikoryzowane grzybem *L. bicolor*, z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowane, a najmniejszą sadzonki z odkrytym systemem korzeniowym (ryc. XI.22.11. i XI.22.11A.). Analiza wariancji wykazała statystyczną istotność tych różnic.

We wszystkich uprawach założonych na pożarzysku sadzonki sosny poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* przyrastały na wysokość i na grubość w szyi korzeniowej zdecydowanie lepiej niż w innych kombinacjach doświadczalnych. Cechowały się większą sumą długości pędów bocznych w porównaniu z sadzonkami w pozostałych kombinacjach doświadczalnych, a analiza wariancji wykazała, że różnice te były wysoce statystycznie istotne. Tym samym potwierdzona została przydatność sadzonek mikoryzowanych tym gatunkiem grzyba do zalesiania powierzchni popożarowych.

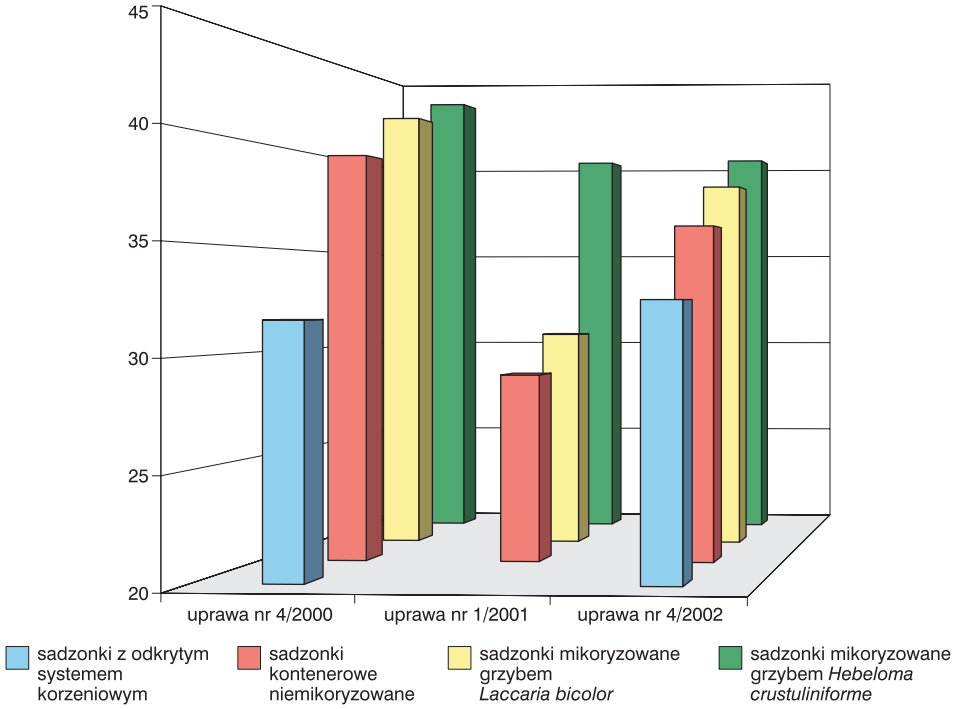
Sadzonki sosny mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* osiągnęły także największą przeżywalność w uprawach, aczkolwiek różnice te w stosunku do sadzonek mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* i sadzonek z zakrytym systemem korze-



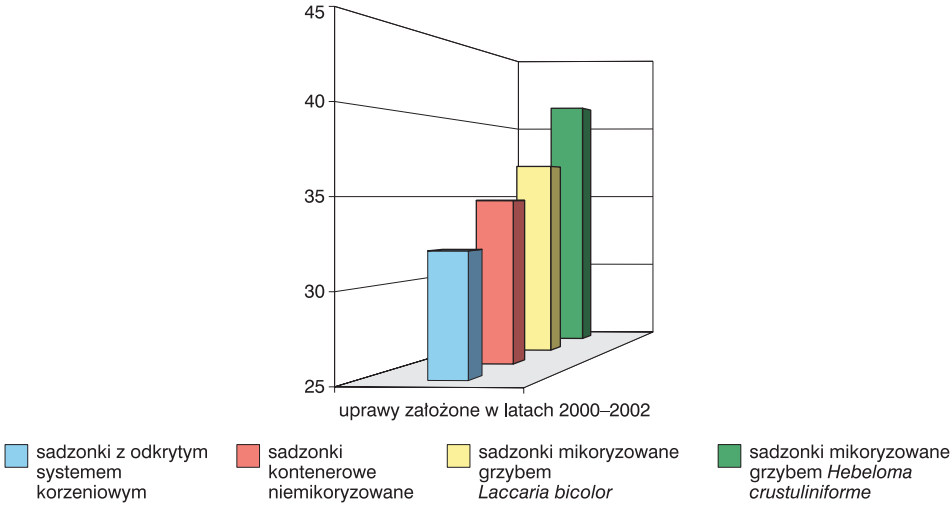
Ryc. XI.22.9. Średni przyrost wysokości (cm) pięcioletnich sadzonek sosny w uprawach założonych na glebie po wielkopowierzchniowym pożarze lasu



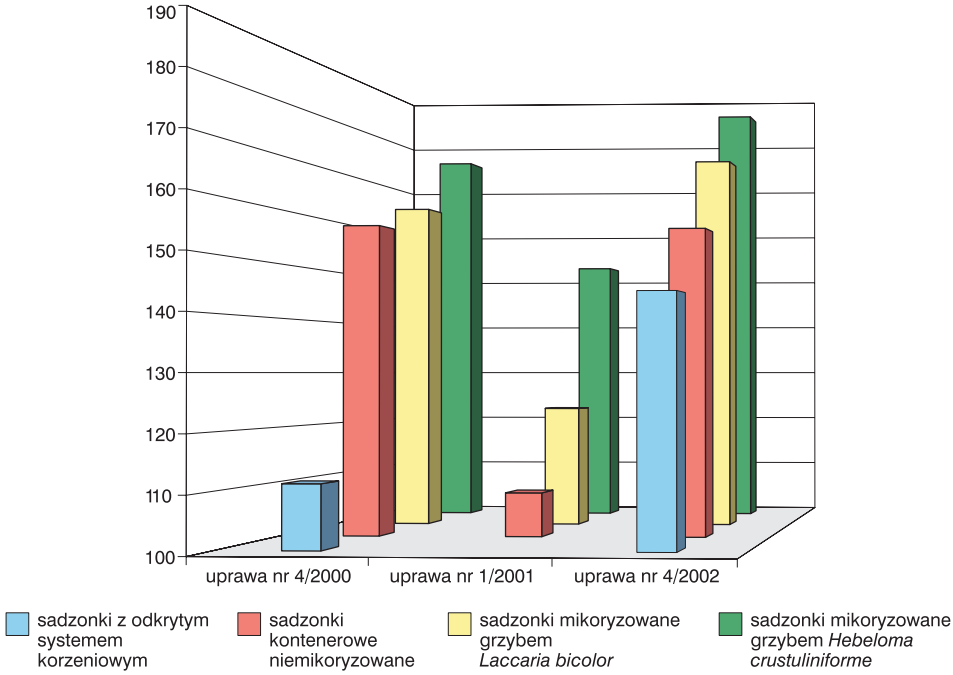
Ryc. XI.22.9A. Średni przyrost wysokości (cm) pięcioletnich sadzonek sosny z wszystkich upraw założonych na glebie po wielkopowierzchniowym pożarze lasu



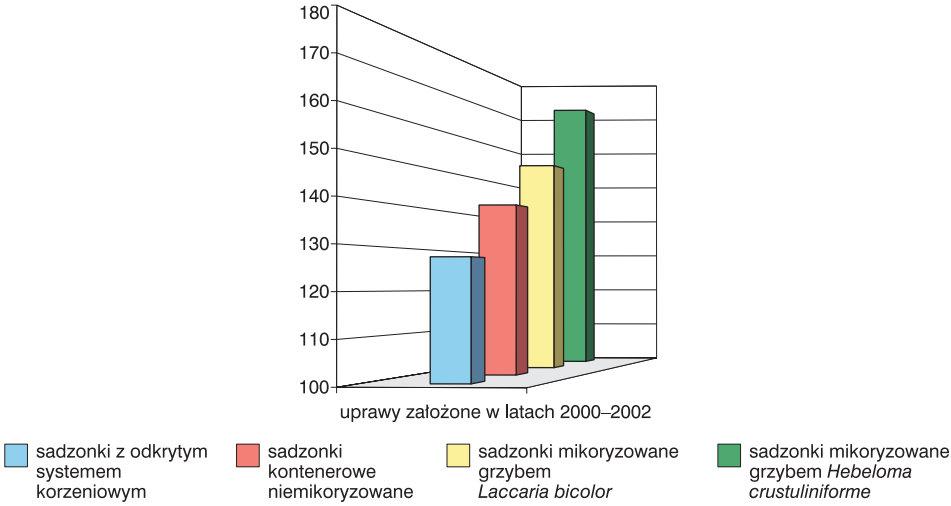
Ryc. XI.22.10. Średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej (mm) pięcioletnich sadzonek sosny w uprawach założonych na glebie po wielkopowierzchniowym pożarze



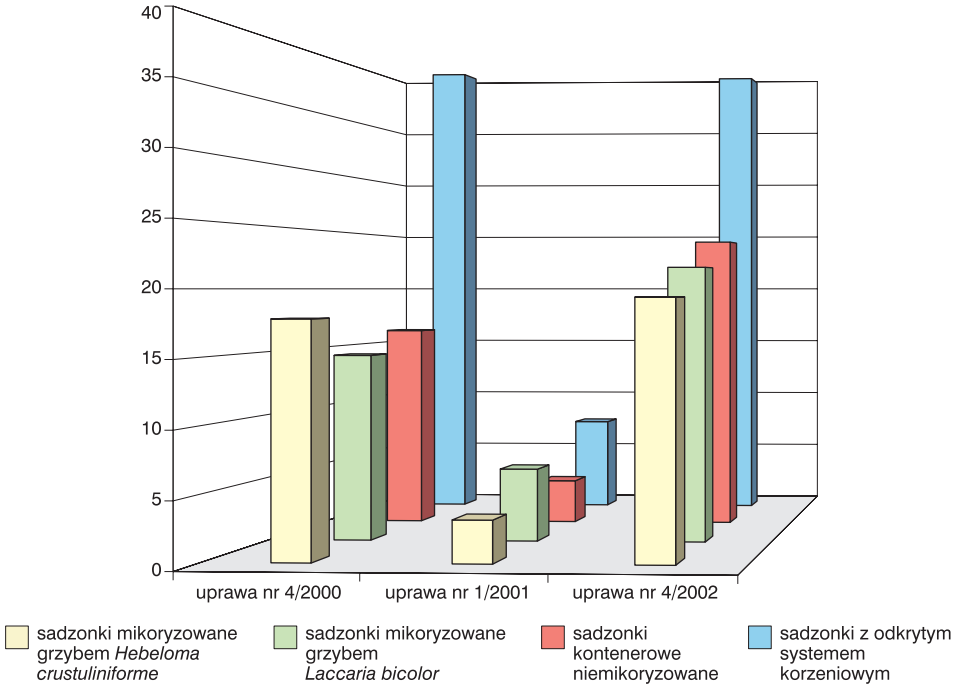
Ryc. XI.22.10A. Średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej (mm) pięcioletnich sadzonek sosny z wszystkich upraw założonych na glebie po wielkopowierzchniowym pożarze lasu



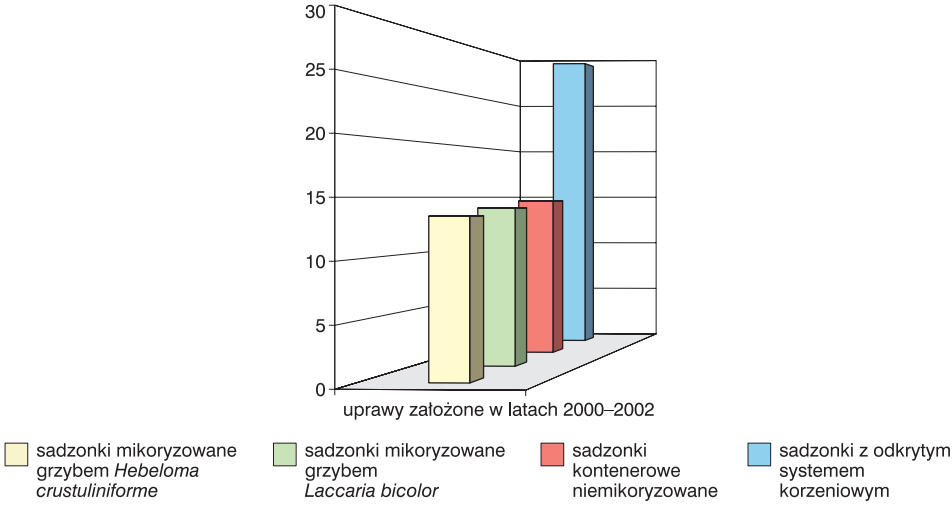
Ryc. XI.22.11. Suma średniej długości pędów bocznych ostatniego okółka (cm) pięcioletnich sadzonek sosny w uprawach założonych na glebie po wielkopowierzchniowym pożarze lasu



Ryc. XI.22.11A. Suma średniej długości pędów bocznych ostatniego okółka (cm) pięcioletnich sadzonek sosny z wszystkich upraw założonych na glebie po wielkopowierzchniowym pożarze lasu



Ryc. XI.22.12. Wypady po pięciu latach (%) sadzonek sosny w uprawach założonych na glebie po wielkopowierzchniowym pożarze lasu



Ryc. XI.22.12A. Wypady po pięciu latach (%) sadzonek sosny, średnia z wszystkich upraw założonych na glebie po wielkopowierzchniowym pożarze lasu

niowym niemikoryzowanych były niewielkie, rzędu 0,5%. Istotne statystycznie różnice w przeżywalności sadzonek wystąpiły między sadzonkami z odkrytym systemem korzeniowym i sadzonkami z zakrytym systemem korzeniowym (ryc. XI.22.12. i XI.22.12A.), zarówno mikoryzowanymi jak i niemikoryzowanymi.

- **Założone na rekultywowanych wyrobiskach po eksploatacji piasku**

Jak wykazały badania, gleby na poszczególnych uprawach doświadczalnych były pochodzenia antropogenicznego i tworzyły się w wyniku zapoczątkowanego procesu rekultywacji. Różniły się żyznością, gdyż uprawy doświadczalne nr 5/2000 i 5/2002 znajdowały się na potencjalnym borze świeżym (Bśw), zaś uprawa doświadczalna nr 5/2001 na potencjalnym siedlisku lasu mieszanego świeżego (LMśw).

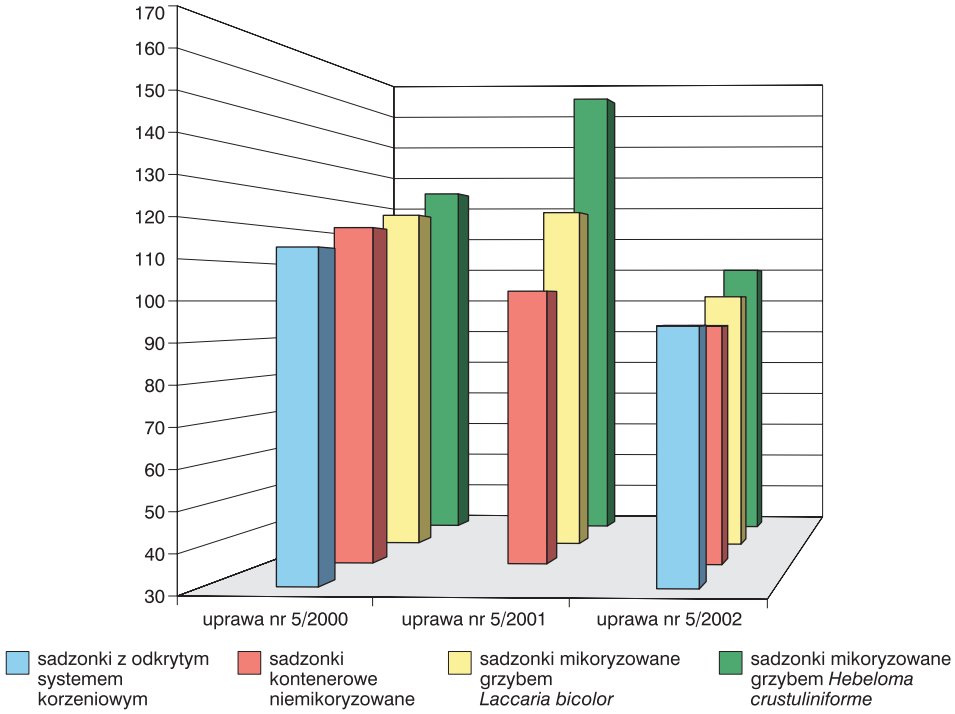
Sosna zwyczajna na każdej z trzech upraw doświadczalnych wykazywała stosunkowo największą dynamikę przyrostu wysokości na poletkach, na których wysadzono sadzonki wcześniej poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*, a porównanie wartości analizowanego parametru w poszczególnych kombinacjach doświadczalnych za pomocą analizy wariancji wykazało, że występujące różnice są statystycznie istotne (ryc. XI.22.13.).

Największe różnice w przyroście na wysokość stwierdzono na uprawie 5/2001. W badanym okresie sadzonki sosny szczepione grzybem *H. crustuliniforme* osiągnęły przyrost wysokości 162,8 cm, podczas gdy sadzonki sosny z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowane, w tych samych warunkach, tylko 102,6 cm, tj. przyrost o 60% mniejszy. Na pozostałych uprawach (5/2000 i 5/2002) różnica w przyroście na wysokość między sadzonkami mikoryzowanymi tym grzybem i sadzonkami w pozostałych kombinacjach doświadczalnych nie była tak duża, ale zawsze statystycznie istotna. W pierwszych latach wzrostu sosny w tych uprawach dynamika przyrostu sadzonek mikoryzowanych, zwłaszcza grzybem *H. crustuliniforme*, była zdecydowanie większa od ich przyrostu w pozostałych kombinacjach doświadczalnych i wyraźnie statystycznie istotna. Większe wyrównanie przyrostu na wysokość na tych dwóch uprawach nastąpiło dopiero w piątym roku (ryc. XI.22.13.).

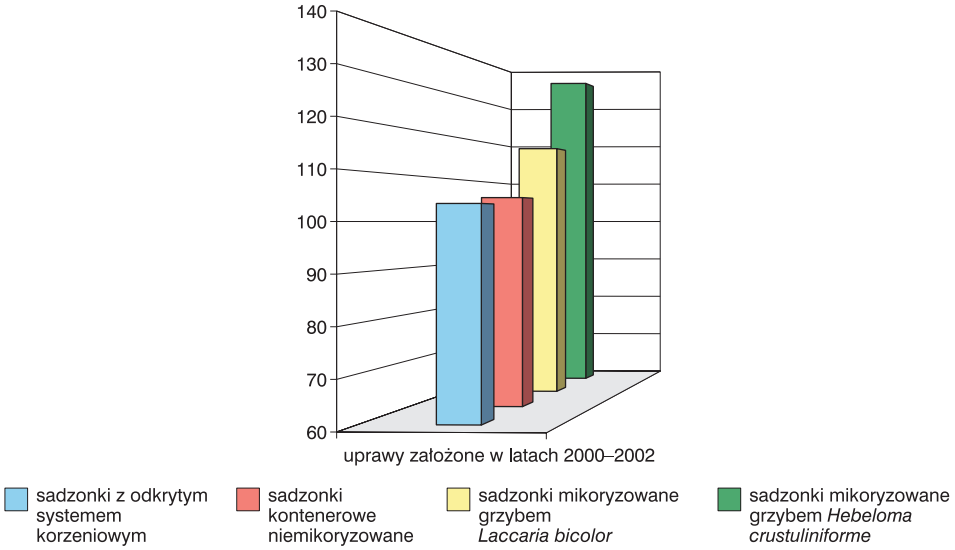
Średni przyrost wysokości sadzonek z wszystkich upraw na gruntach rekultywowanych w kolejności wynosił: 132,5 cm w wypadku sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme*, 117,2 cm mikoryzowanych grzybem *L. bicolor*, 105,2 cm u sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowanych i 103,6 cm u sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym (ryc. XI.22.13A.).

Największy średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej stwierdzono u sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* na wszystkich trzech uprawach doświadczalnych, a różnice te w stosunku do innych kombinacji doświadczalnych były statystycznie istotne (ryc. XI.22.14 i XI.22.14A).

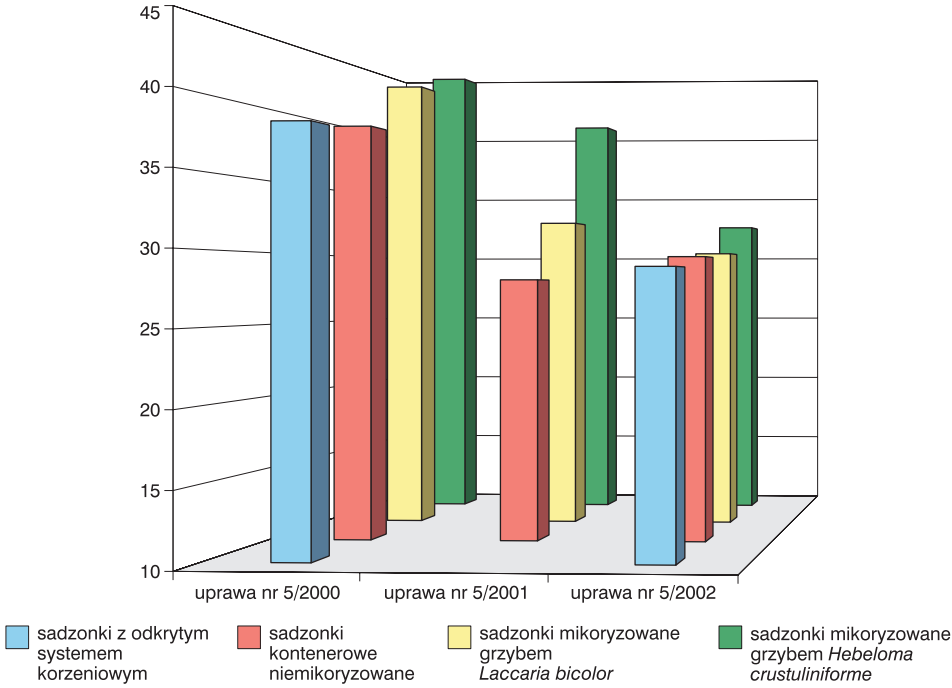
Także największą średnią sumą długości pędów bocznych ostatnich okółków cechowały się sadzonki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme*, a porównanie różnic w wartości analizowanego parametru w stosunku do pozostałych wariantów doświadczalnych za pomocą analizy wariancji wykazało, że występujące różnice są statystycznie istotne.



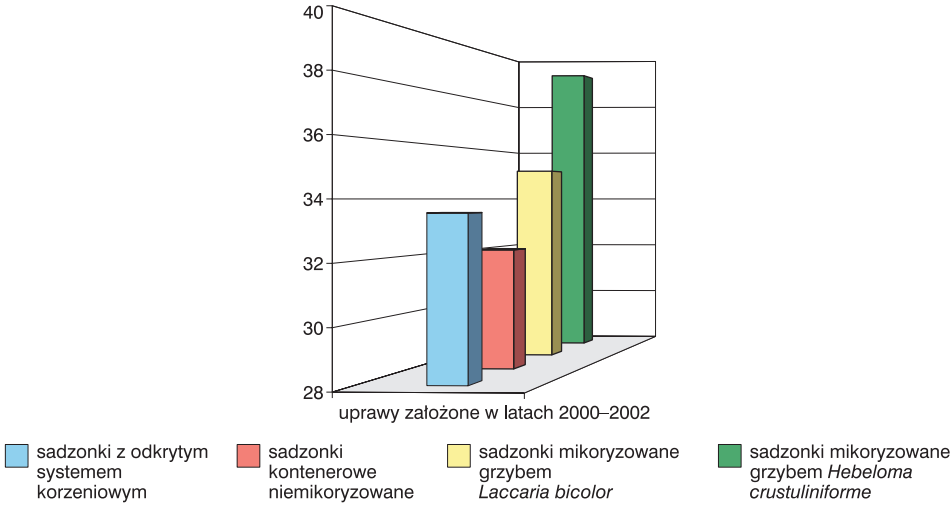
Ryc. XI.22.13. Średni przyrost wysokości (cm) pięcioletnich sadzonek sosny na powierzchniach założonych po eksploatacji piasku – rekultywowanych



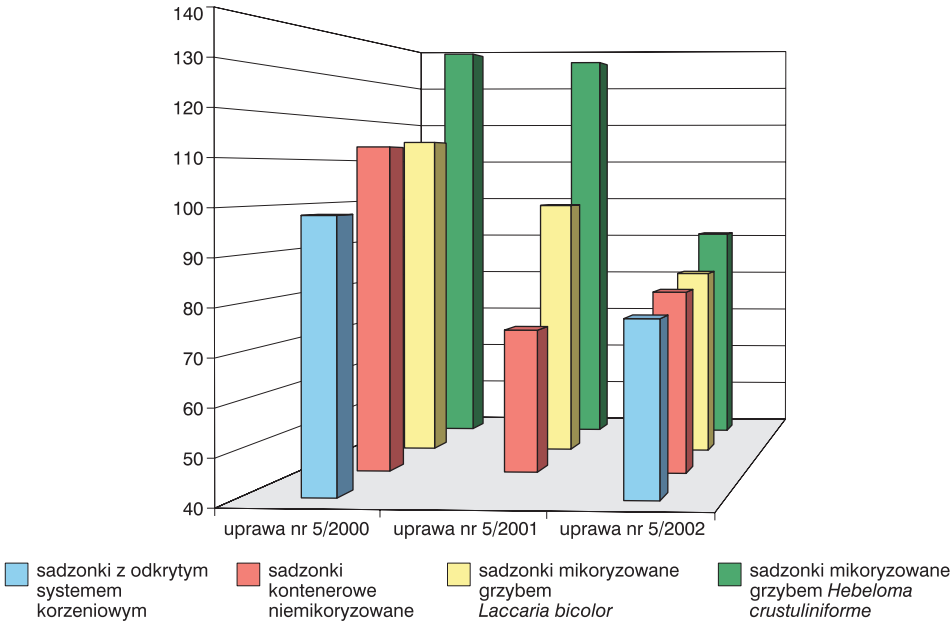
Ryc. XI.22.13A. Średni przyrost wysokości (cm) pięcioletnich sadzonek sosny z wszystkich upraw założonych na powierzchniach po eksploatacji piasku – rekultywowanych



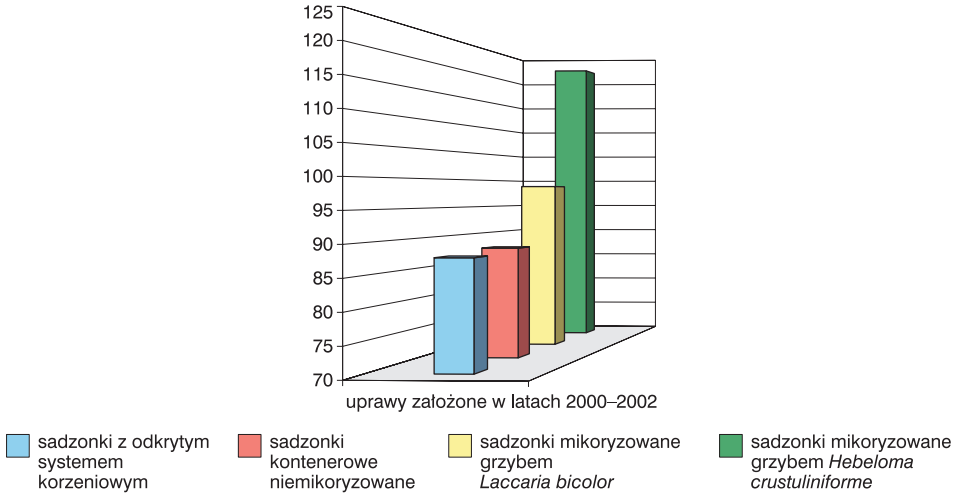
Ryc. XI.22.14. Średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej (mm) pięcioletnich sadzonek sosny w uprawach założonych na powierzchniach po eksploatacji piasku – rekultywowanych



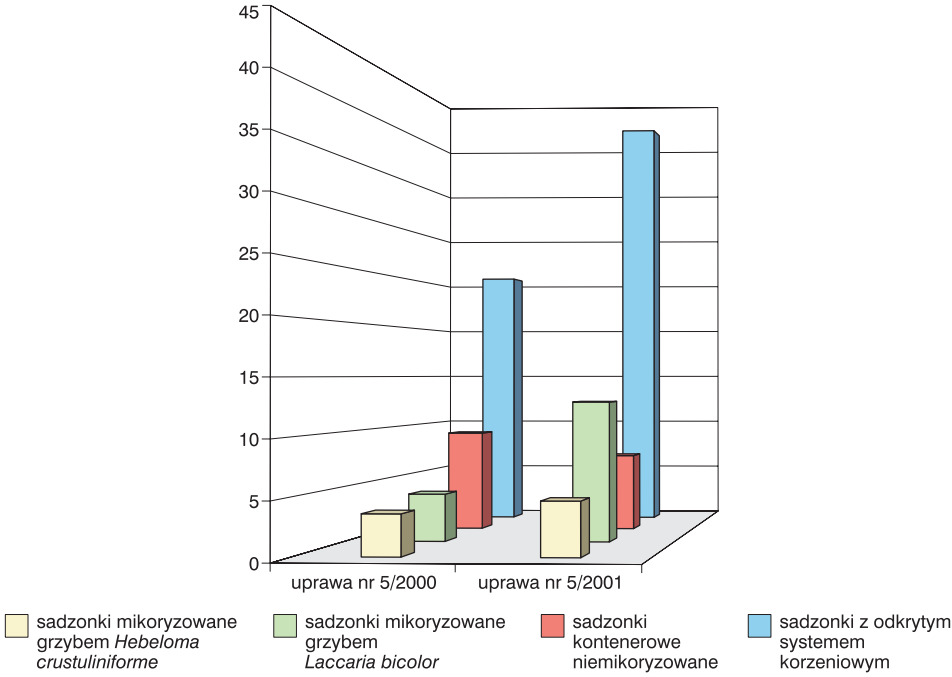
Ryc. XI.22.14A. Średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej (mm) pięcioletnich sadzonek sosny z wszystkich upraw założonych na powierzchniach po eksploatacji piasku – rekultywowanych



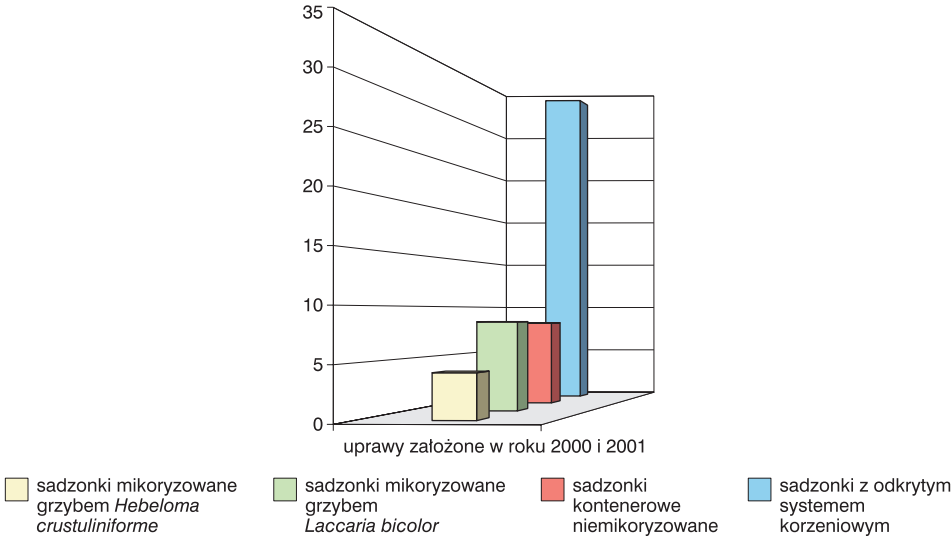
Ryc. XI.22.15. Suma średniej długości pędów bocznych ostatniego okółka (cm) pięcioletnich sadzonek sosny w uprawach założonych na powierzchniach po eksploatacji piasku – rekultywowanych



Ryc. XI.22.15A. Suma średniej długości pędów bocznych ostatniego okółka (cm) pięcioletnich sadzonek sosny z wszystkich upraw założonych na powierzchniach po eksploatacji piasku – rekultywowanych



Ryc. XI.22.16. Wypady po pięciu latach (%) sadzonek sosny w uprawach założonych na powierzchniach po eksploatacji piasku – rekultywowanych



Ryc. XI.22.16A. Wypady po pięciu latach (%) sadzonek sosny, średnia z wszystkich upraw założonych na powierzchniach po eksploatacji piasku – rekultywowanych

Przeżywalność sadzonek sosny mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* w ciągu 5 lat, w tak trudnych warunkach była bardzo duża – 95,6%, podobnie jak sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowanych i mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* i wynosiła kolejno 91,7% i 91,5%, podczas gdy sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym jedynie 66,7%.

- **Założone na powierzchniach leśnych (zrębach) zdegradowanych imisjami przemysłowymi w III strefie uszkodzeń przemysłowych**

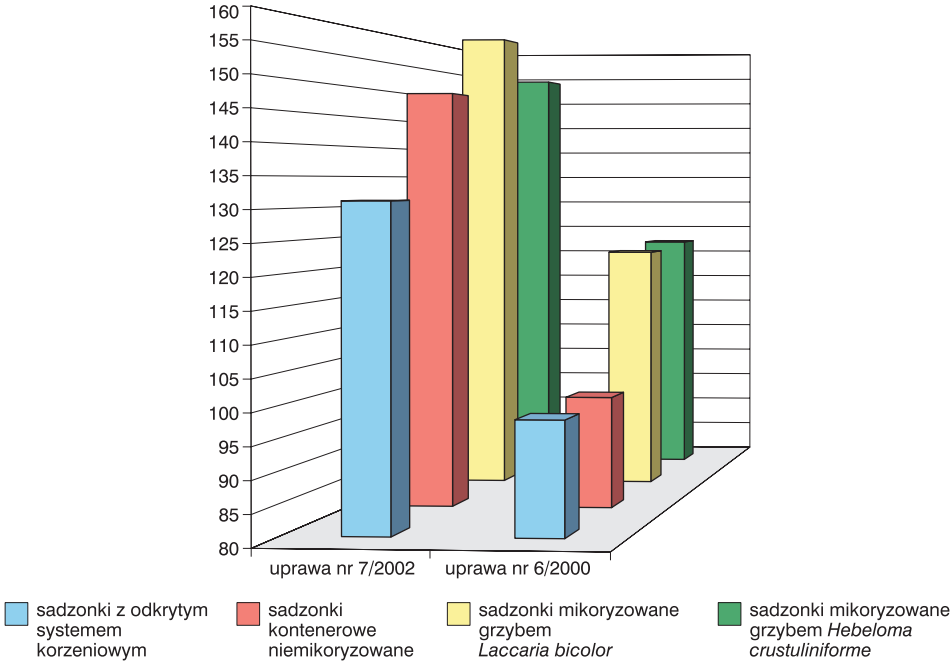
Badania glebowo-siedliskowe wykazały, że uprawy doświadczalne nr 6/2000 i 7/2002 zlokalizowano na siedlisku boru mieszanego świeżego, zdegradowanego w wyniku silnego oddziaływania emisji przemysłowych. Uprawy te założono na terenie Nadleśnictwa Świerklaniec, w pobliżu dużej aglomeracji przemysłowej.

Na uprawie nr 6/2000 różnice w przyroście na wysokość i grubość w szyi korzeniowej sadzonek sosny mikoryzowanych grzybami *H. crustuliniforme* oraz *L. bicolor* były niewielkie i statystycznie nieistotne. Różnice natomiast w tych parametrach między sadzonkami mikoryzowanymi oraz niemikoryzowanymi były duże i statystycznie istotne (ryc. XI.22.17 i XI.22.17A).

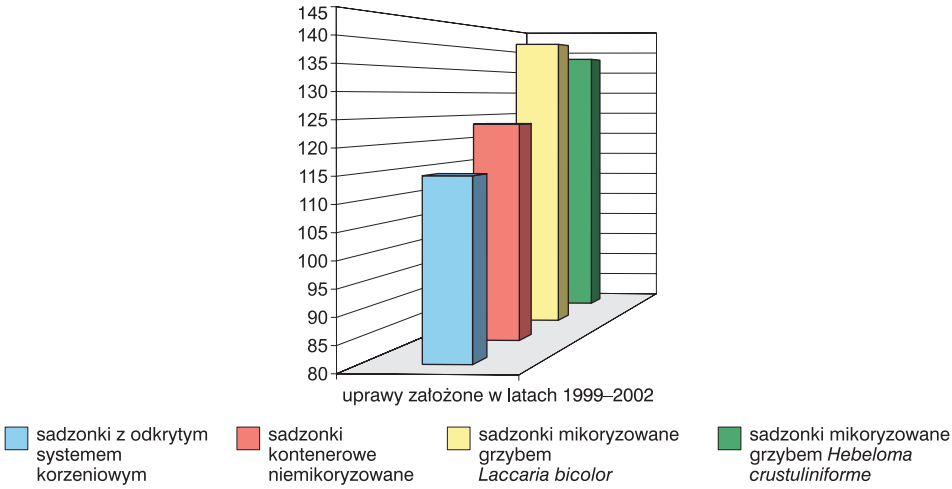
Na uprawie nr 7/2002 największy przyrost na wysokość osiągnęły w kolejności: sadzonki sosny mikoryzowane grzybem *L. bicolor* (159,8 cm), *H. crustuliniforme* (153,6 cm), sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowane (148,8 cm) i sadzonki z odkrytym systemem korzeniowym (131,2 cm). Średni przyrost grubości w szyi korzeniowej osiągnęły w kolejności sadzonki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* (39,5 mm), *L. bicolor* (36,8 mm), z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowane (32,3 mm) i odkrytym systemem korzeniowym (26,7 mm). Test Kruskal'a–Wallis'a wykazał, że porównywalne grupy kombinacji doświadczalnych różnią się statystycznie (ryc. XI.22.17. i XI.22.18.).

Na uprawie nr 7/2002 największą średnią sumę długości pędów bocznych ostatniego okółka stwierdzono u sadzonek sosny mikoryzowanych grzybem *L. bicolor*, jednak różnica w stosunku do sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* była niewielka (0,75%) i statystycznie nieistotna. Istotne natomiast różnice tego parametru wystąpiły między sadzonkami poddanymi zabiegowi sterowanej mikoryzacji obydwoma gatunkami grzybów i sadzonkami z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowanymi (średnia suma długości pędów bocznych była mniejsza o ponad 20%) i sadzonkami z odkrytym systemem korzeniowym (średnia suma długości pędów bocznych była mniejsza o ponad 40%). Na uprawie nr 6/2000 największą średnią sumę długości pędów bocznych stwierdzono u sadzonek sosny mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* – była ona większa o 5,5% od sadzonek mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* i 28% od sadzonek kontenerowych niemikoryzowanych, jak też aż o 38% od sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym. Analiza wariancji wykazała statystyczną istotność tych różnic (ryc. XI.22.19. i XI.22.19A.).

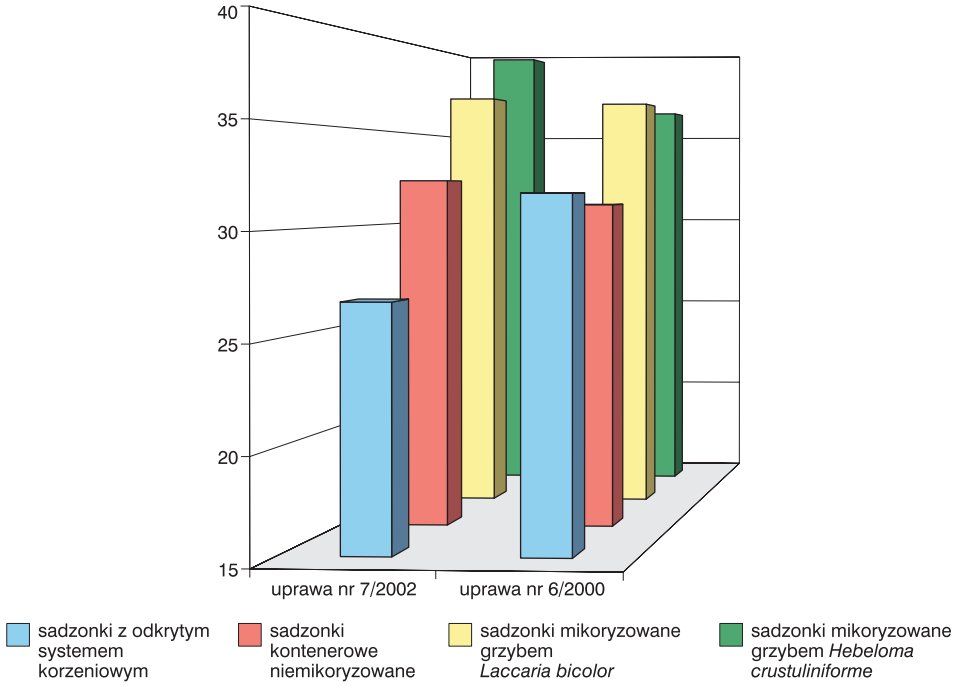
Przeżywalność po pięciu latach sadzonek kontenerowych mikoryzowanych i niemikoryzowanych na obu uprawach była duża (>94%), a różnica istotna wystąpiła między tą grupą sadzonek i sadzonkami z odkrytym systemem korzeniowym (ryc. XI.22.20. i XI.22.20A.).



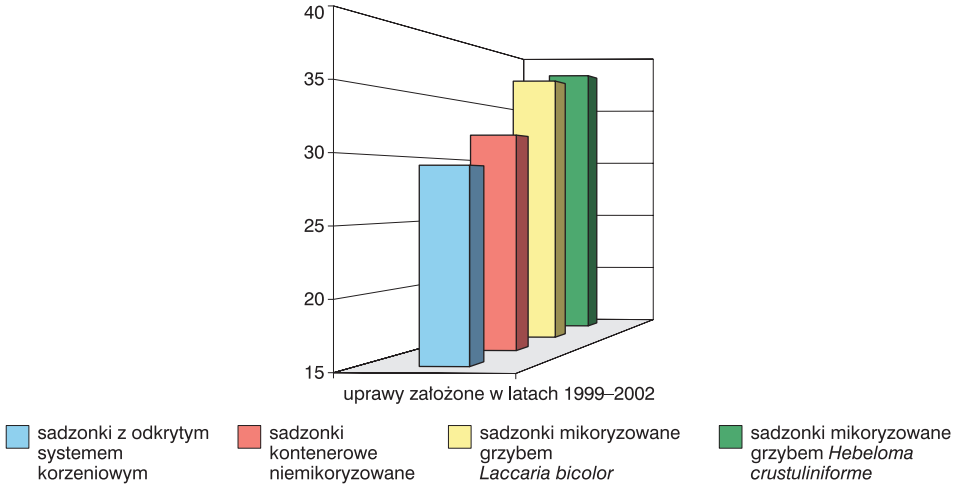
Ryc. XI.22.17. Średni przyrost wysokości (cm) pięcioletnich sadzonek sosny w uprawach założonych na glebach leśnych zdegradowanych imisjami przemysłowymi



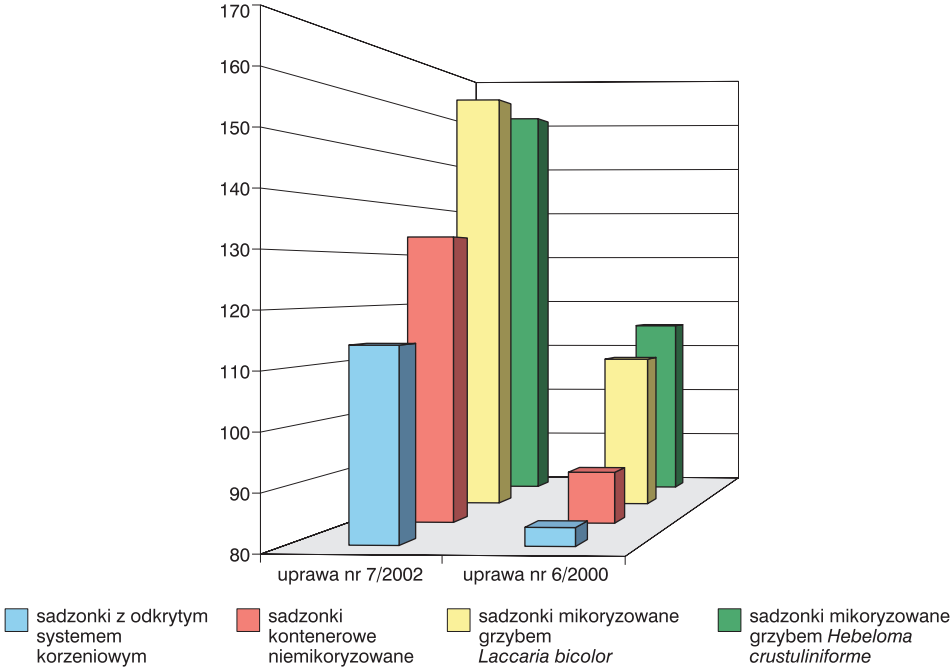
Ryc. XI.22.17A. Średni przyrost wysokości (cm) pięcioletnich sadzonek sosny z wszystkich upraw na glebach leśnych zdegradowanych imisjami przemysłowymi



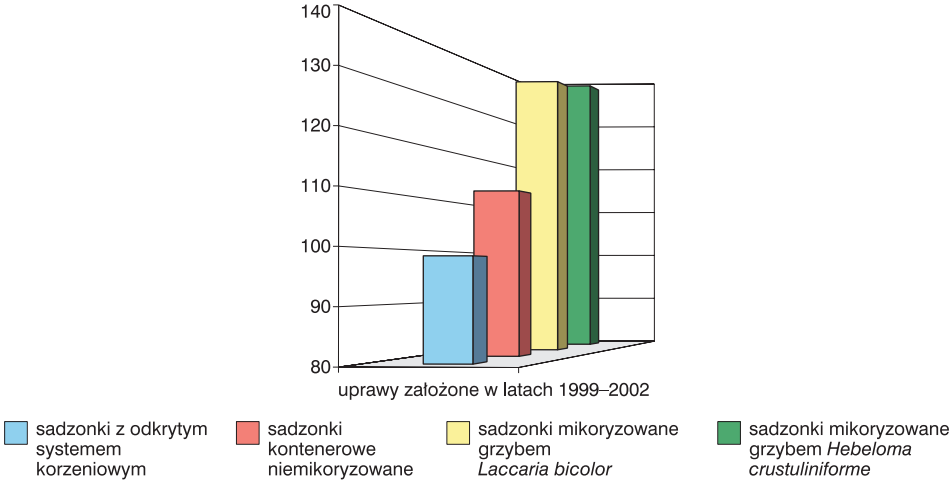
Ryc. XI.22.18. Średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej (mm) pięcioletnich sadzonek sosny w uprawach założonych na glebach leśnych zdegradowanych imisjami przemysłowymi



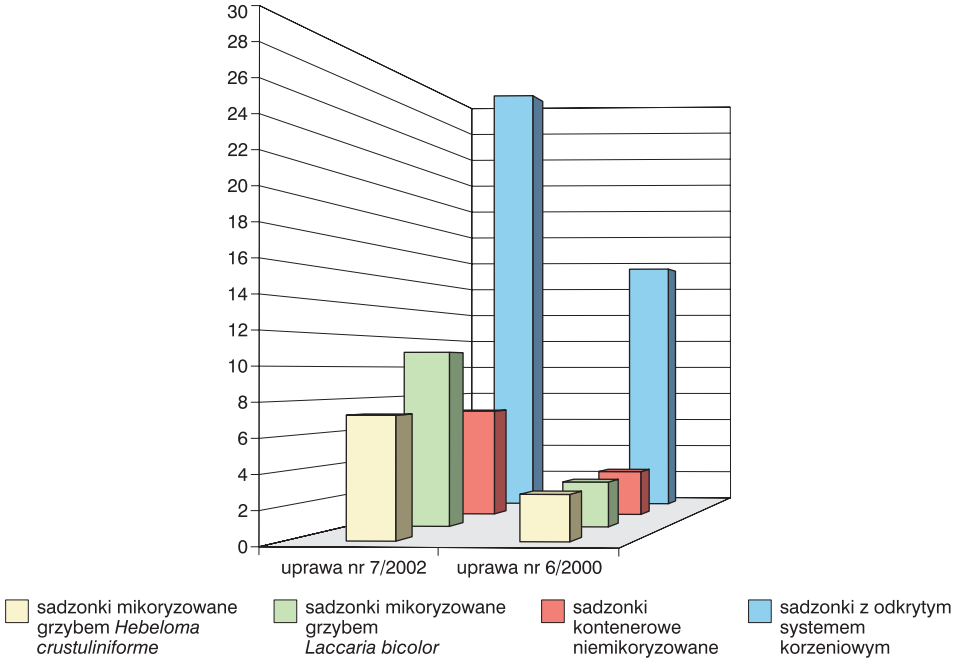
Ryc. XI.22.18A. Średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej (mm) pięcioletnich sadzonek sosny z wszystkich upraw założonych na glebach leśnych zdegradowanych imisjami przemysłowymi



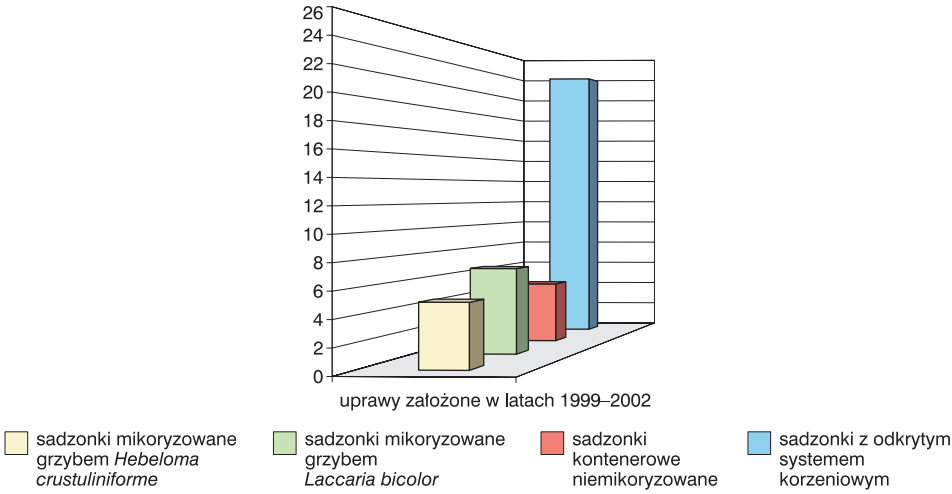
Ryc. XI.22.19. Suma średniej długości pędów bocznych ostatniego okółka (cm) pięcioletnich sadzonek sosny w uprawach założonych na glebie leśnej zdegradowanej imisjami przemysłowymi



Ryc. XI.22.19A. Suma średniej długości pędów bocznych ostatniego okółka (cm) pięcioletnich sadzonek sosny z wszystkich upraw założonych na glebie leśnej zdegradowanej imisjami przemysłowymi



Ryc. XI.22.20. Wypady po pięciu latach (%) sadzonek sosny w uprawach założonych na glebie leśnej zdegradowanej imisjami przemysłowymi



Ryc. XI.22.20A. Wypady po pięciu latach (%) sadzonek sosny, średnia z wszystkich upraw założonych na glebie leśnej zdegradowanej imisjami przemysłowymi

Analizując wyniki badań z upraw założonych na glebach leśnych zdegradowanych imisjami przemysłowymi można stwierdzić, że na tych powierzchniach badawczych wpływ zabiegu sterowanej mikoryzacji grzybem *L. bicolor* i *H. crustuliniforme* na wzrost oraz rozwój sadzonek sosny w uprawach był zbliżony, ale znacząco różny w porównaniu z sadzonkami niepoddanymi zabiegowi sterowanej mikoryzacji.

- **Założona na glebie industrialnej**

Założenie uprawy nr 8/2002 na glebie zatrutej metalami ciężkimi, w V strefie uszkodzeń przemysłowych z huty cynku i ołowiu w Miasteczku Śląskim, miało na celu przetestowanie tolerancji sadzonek sosny zwyczajnej poddanej zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* i *L. bicolor* na drastyczne skażenie metalami ciężkimi. Według badań Katedry Ekologii Lasu AR w Krakowie w poziomie Ah na tej powierzchni zawartość cynku (Zn) wynosiła od 1932,2 do 3259,7 mg/kg gleby, ołowiu (Pb) od 2708,2 do 4893,7 mg/kg gleby, a zawartość kadmu (Cd) od 25,8 do 40,3 mg/kg gleby. Zawartości progowe dla Zn, Pb i Cd przyjmuje się zwykle odpowiednio 250–300 mg/kg; 100 mg/kg i 3–5 mg/kg (Kabata–Pendias, Pendias 1999).

Badanie parametrów wzrostowych i rozwojowych sadzonek sosny wykazało, że w okresie dwóch sezonów wegetacyjnych przyrosty wysokości i średnicy w szyi ko-

Fot. XI.22.2. Uprawa doświadczalna na glebie industrialnej – V strefa uszkodzeń przemysłowych

rzeniowej były minimalne we wszystkich kombinacjach doświadczalnych. Niemniej sadzonki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* w porównaniu z sadzonkami z *L. bicolor* oraz sadzonek niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji z zakrytym i odkrytym systemem korzeniowym wykazywały zawsze większe średnie wartości mierzonych parametrów, a test Kruskal'a–Wallis'a wykazywał, że porównywane grupy kombinacji doświadczalnych różnią się statystycznie.

Na tej uprawie istotny wpływ mikoryzacji sadzonek uwidaczniał się w ich przeżywalności. Po dwóch latach od wysadzenia przeżywalność sadzonek sosny mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* wynosiła 82,2%, mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* 75,6%, z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowanych 63,9% i sadzonek sosny z odkrytym systemem korzeniowym zaledwie 5,8%. Po pięciu latach przeżyło 36,7% sadzonek sosny mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* i 25,6% sadzonek sosny mikoryzowanych grzybem *L. bicolor*. Sadzonki niemikoryzowane z zakrytym i odkrytym systemem korzeniowym w międzyczasie wypadły w 100%. Wyniki te nie uprawniają wprawdzie do wyciągania wniosków, że możliwa jest odbudowa lasu na tak silnie skażonych glebach przy użyciu sadzonek mikoryzowanych, potwierdzają jednak zasadność stosowania sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym mikoryzowanych odpowiednimi gatunkami i szczepami grzybów mikoryzowych do odbudowy lasu na glebach zdegradowanych imisjami przemysłowymi, pożarami oraz na różnego rodzaju nieużytkach i gruntach po rekultywacji.

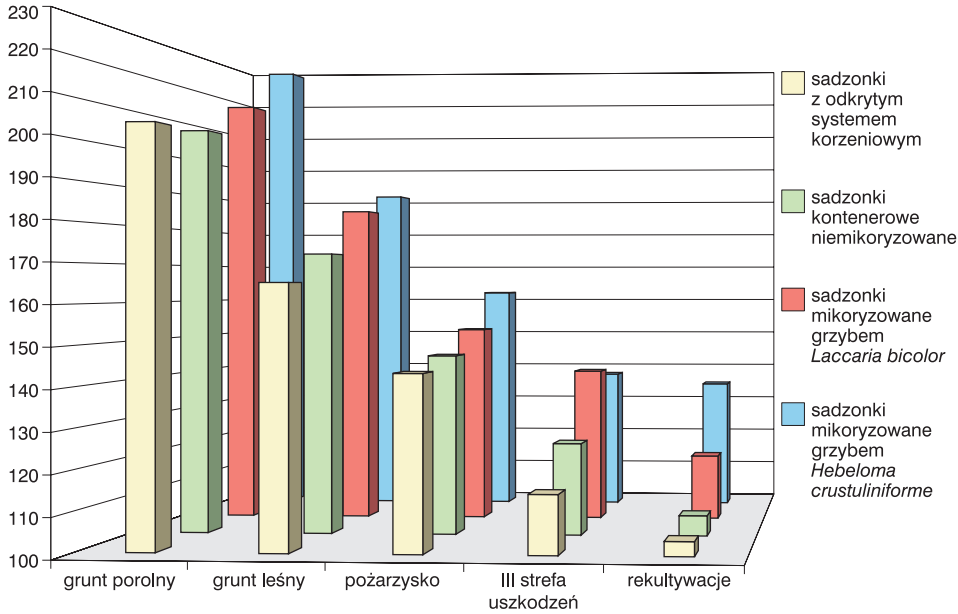
Podsumowanie wyników po pięciu latach badań upraw sosny zwyczajnej w poszczególnych kombinacjach doświadczalnych

Rozpatrując kształtowanie się parametrów przyrostowych sosny w grupach upraw na różnych rodzajach gruntów należy stwierdzić, że największe przyrosty wysokości osiągały kolejno sadzonki mikoryzowane i niemikoryzowane w uprawach na gruntach porolnych, następnie na zrębach leśnych, na pożarzysku, na gruntach leśnych zdegradowanych imisjami przemysłowymi oraz na gruntach rekultywowanych po eksploatacji piasku (ryc. XI.22.21.).

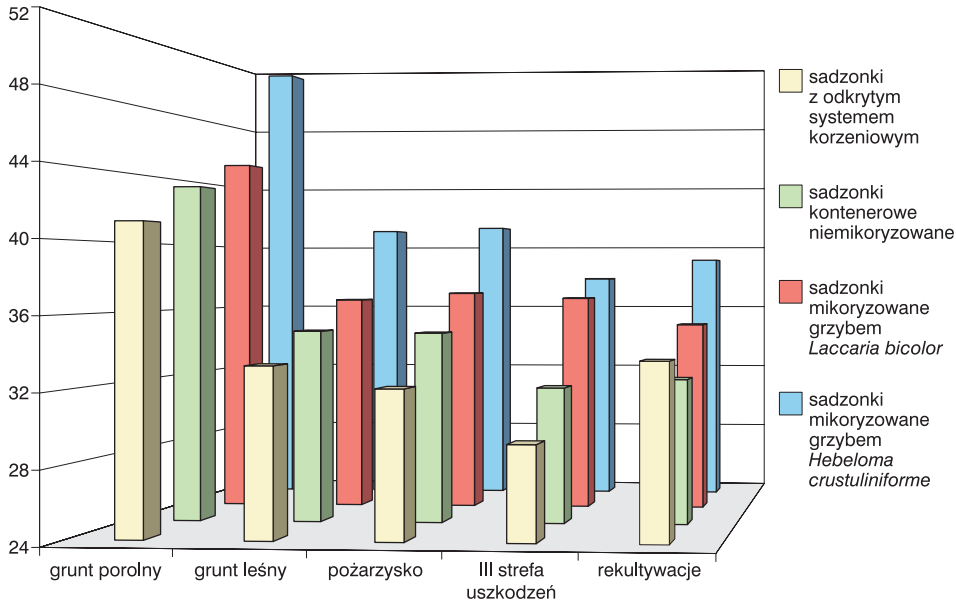
W tej samej kolejności można uszeregować uprawy z uwagi na sumę długości pędów bocznych i przyrostu średnicy w szyi korzeniowej, z jednym jednak wyjątkiem – najmniejsze przyrosty średnicy w szyi korzeniowej stwierdzono u sadzonek sosny w uprawie założonej na glebie leśnej zdegradowanej imisjami przemysłowymi (ryc. XI.22.22.).

W uprawach założonych na gruntach leśnych i nieleśnych o różnym stopniu degradacji stwierdzono, że średnio z wszystkich upraw (ryc. XI.22.21.) największe parametry przyrostu na wysokość, średnicy w szyi korzeniowej i długości pędów bocznych osiągnęły sadzonki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme*, następnie w kolejności malejącej – grzybem *L. bicolor*, kontenerowe niemikoryzowane oraz z odkrytym systemem korzeniowym. Analiza wariancji wykazała statystyczną istotność tych różnic.

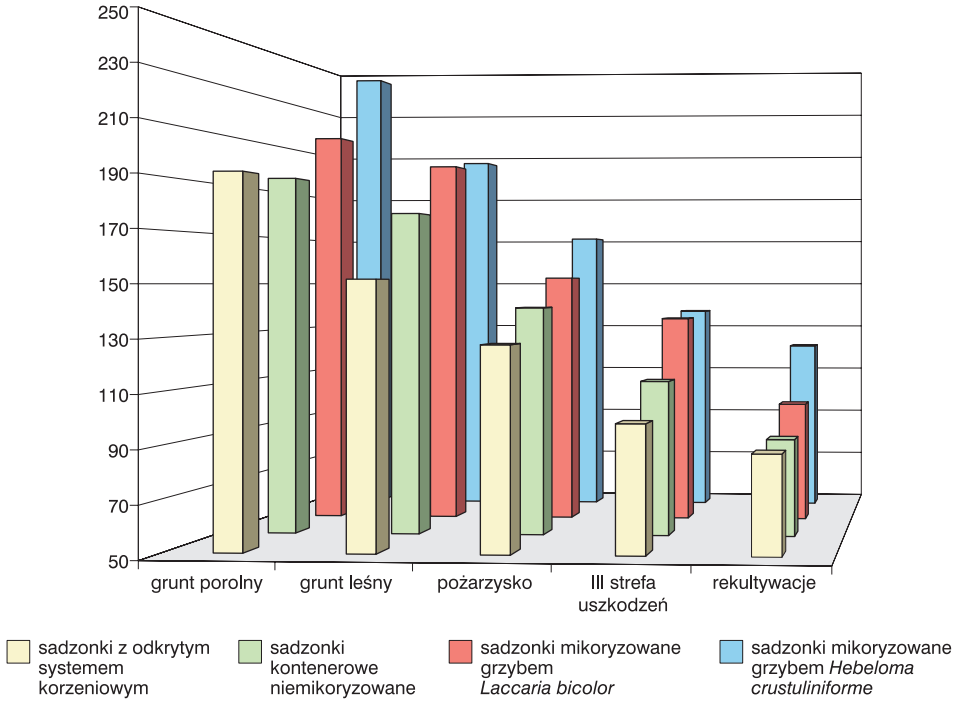
Największą średnio przeżywalność – blisko 92% – po pięciu latach z wszystkich upraw osiągnęły również sadzonki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme*.



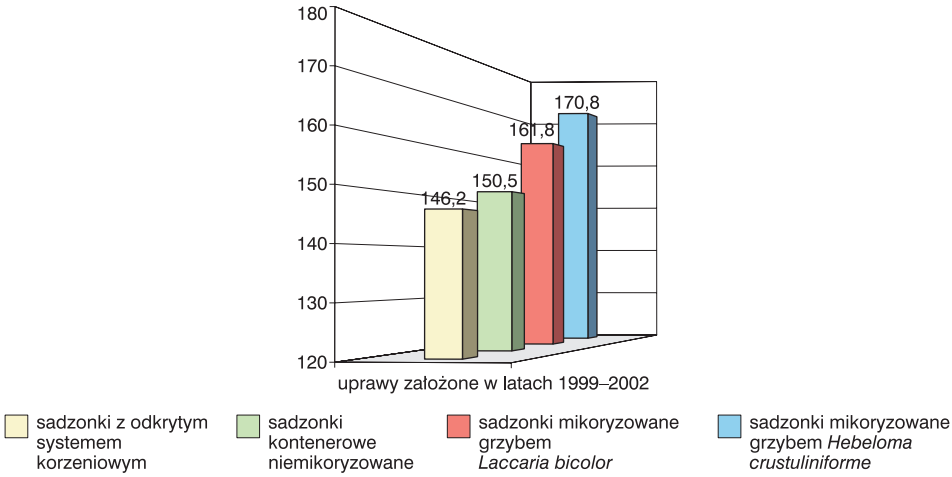
Ryc. XI.22.21. Średni przyrost wysokości (cm) pięcioletnich sadzonek sosny w poszczególnych grupach upraw z lat 1999–2002 w zależności od kategorii gruntu



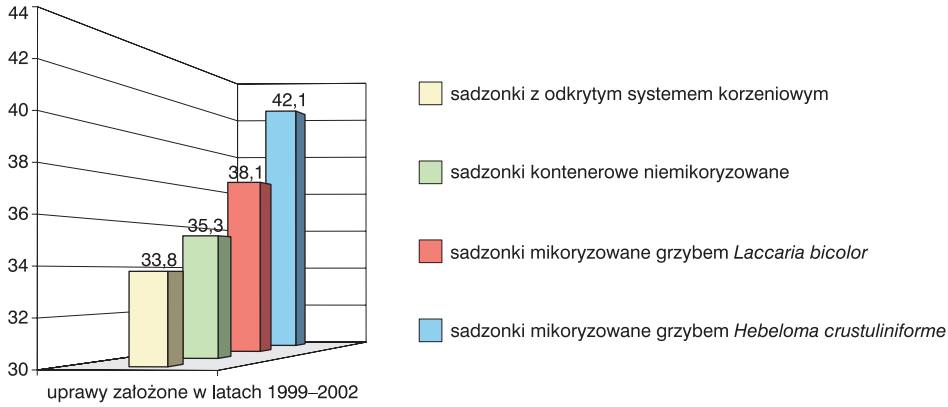
Ryc. XI.22.22. Średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej (mm) pięcioletnich sadzonek sosny w poszczególnych grupach upraw z lat 1999–2002 w zależności od kategorii gruntu



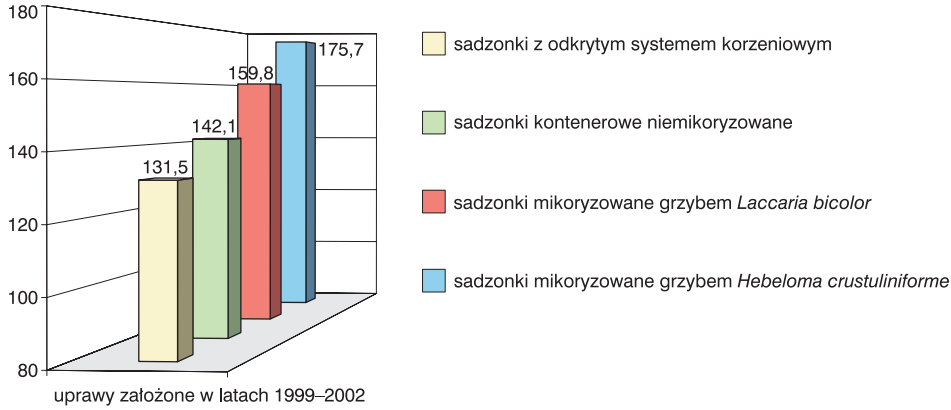
Ryc. XI.22.23. Średnia suma długości pędów bocznych ostatniego okółka (cm) pięcioletnich sadzonek sosny w poszczególnych grupach upraw z lat 1999–2002 w zależności od kategorii gruntu



Ryc. XI.22.24. Średni przyrost wysokości (cm) pięcioletnich sadzonek sosny z wszystkich upraw doświadczalnych z lat 1999–2002 (zestawienie zbiorcze)

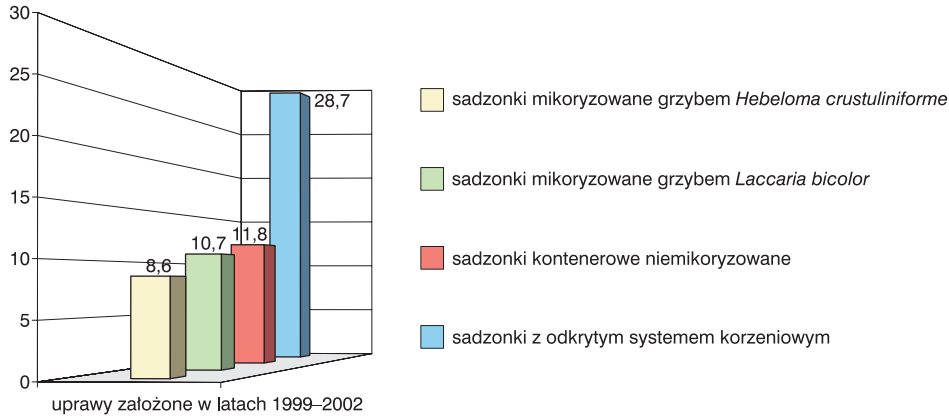


Ryc. XI.22.25. Średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej (mm) pięcioletnich sadzonek sosny z wszystkich upraw doświadczalnych z lat 1999–2002 (zestawienie zbiorcze)



Ryc. XI.22.26. Suma średniej długości pędów bocznych ostatniego okółka (cm) pięcioletnich sadzonek sosny z wszystkich upraw doświadczalnych z lat 1999–2002 (zestawienie zbiorcze)

Sadzonki sosny mikoryzowane, zwłaszcza tym grzybem, w stosunku do sadzonek niemikoryzowanych z zakrytym oraz odkrytym systemem korzeniowym cechowały się największą dynamiką przyrostu na wysokość i grubość w szyi korzeniowej w pierwszych dwóch, trzech latach po wysadzeniu. Różnice w przyroście sięgały nawet 50% i więcej. Sadzonki sosny niemikoryzowane osiągały przyrosty zbliżone do sadzonek mikoryzowanych dopiero w czwartym lub piątym roku wzrostu w uprawie. Fakt ten ma istotne znaczenie praktyczne i oznacza, że uprawy sosnowe z sadzonek mikoryzowanych, szczególnie grzybem *H. crustuliniforme*, w trzecim lub w czwartym roku wzrostu w uprawie nie wymagały już pielęgnacji gleby, co ma istotne znaczenie ekonomiczne.



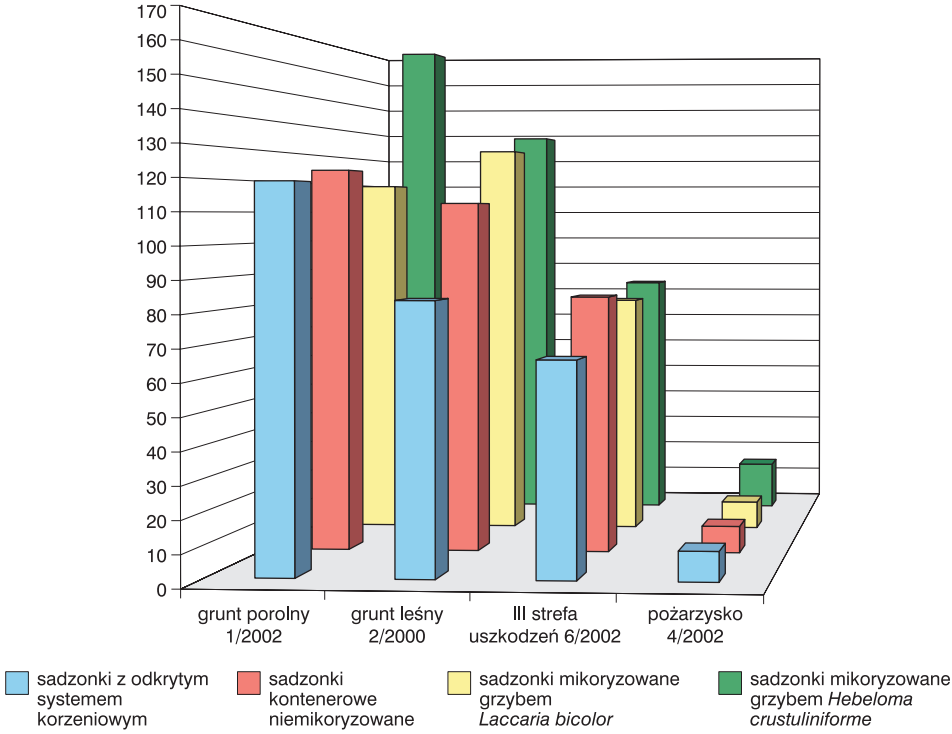
Ryc. XI.22.27. Wypady po pięciu latach (%) sadzonek sosny z wszystkich upraw doświadczalnych założonych w latach 1999–2002 (zestawienie zbiorcze)

Uprawy doświadczalne z dębem szypułkowym

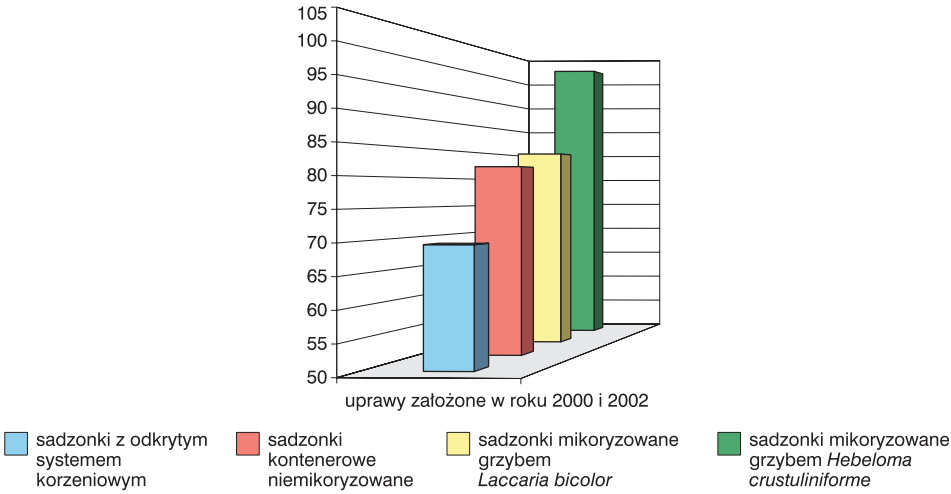
W latach 2000–2002 założono uprawy doświadczalne z udziałem dębu szypułkowego mając na celu, jak w wypadku sosny zwyczajnej, zbadanie wpływu sterowanej mikoryzacji na kształtowanie się parametrów wzrostowych i przeżywalności sadzonek. Sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym sadzone na uprawach były zawsze jednoroczne, z odkrytym systemem korzeniowym natomiast dwu- lub trzyletnie. Uprawy założono na: gruncie porolnym (nr 1/2002 – LMśw), zrębie po usunięciu starodrzewu (nr 2/2000 – BMśw), na gruncie leśnym zdegradowanym imisjami przemysłowymi w II strefie uszkodzeń (nr 6/2002 – BMśw) i wielkopowierzchniowym pożarzysku o całkowicie spalonej warstwie próchnicy (nr 4/2002 – BMśw).

Na wszystkich uprawach sadzonki dębu mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* uzyskały największe przyrosty na wysokość oraz średnicy w szyi korzeniowej. Największą różnicę w średnim przyroście wysokości stwierdzono na uprawie nr 4/2002 między sadzonkami mikoryzowanymi grzybem *H. crustuliniforme* i z zakrytym systemem korzeniowym, niepoddanymi zabiegowi sterowanej mikoryzacji. Sadzonki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* osiągnęły przyrost o 83% większy od sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowanych i o 75% od sadzonek mikoryzowanych grzybem *L. bicolor*. Na uprawie 1/2002, na gruncie porolnym, sadzonki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* uzyskały przyrost na wysokość 179,8 cm – był on większy od sadzonek mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* o 59,7 cm (42,6%), a na uprawie 2/2000 na zrębie różnica w przyroście pomiędzy sadzonkami mikoryzowanymi grzybem *H. crustuliniforme* i sadzonkami z odkrytym systemem korzeniowym wynosiła 61,4% (ryc. XI.22.28).

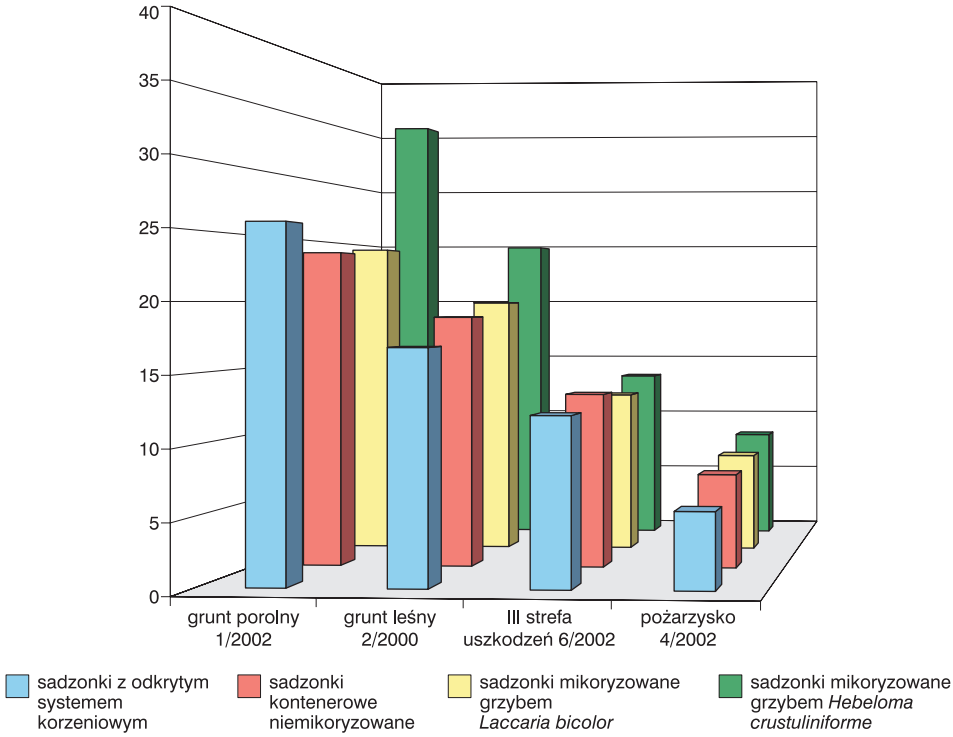
Średni przyrost w szyi korzeniowej sadzonek dębu mikoryzowanych, zwłaszcza grzybem *H. crustuliniforme*, był znacznie większy od sadzonek niemikoryzowa-



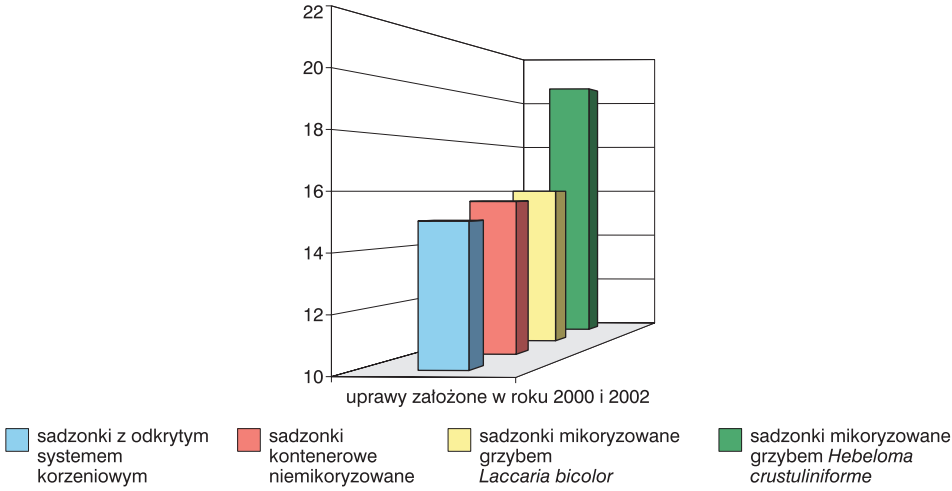
Ryc. XI.22.28. Średni przyrost wysokości (cm) pięcioletnich sadzonek dębu szypułkowego w uprawach założonych na różnych kategoriach gruntu



Ryc. XI.22.28A. Średni przyrost wysokości (cm) pięcioletnich sadzonek dębu szypułkowego we wszystkich uprawach doświadczalnych z lat 2000–2002



Ryc. XI.22.29. Średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej (mm) pięcioletnich sadzonek dębu szypułkowego w uprawach na różnych kategoriach gruntu

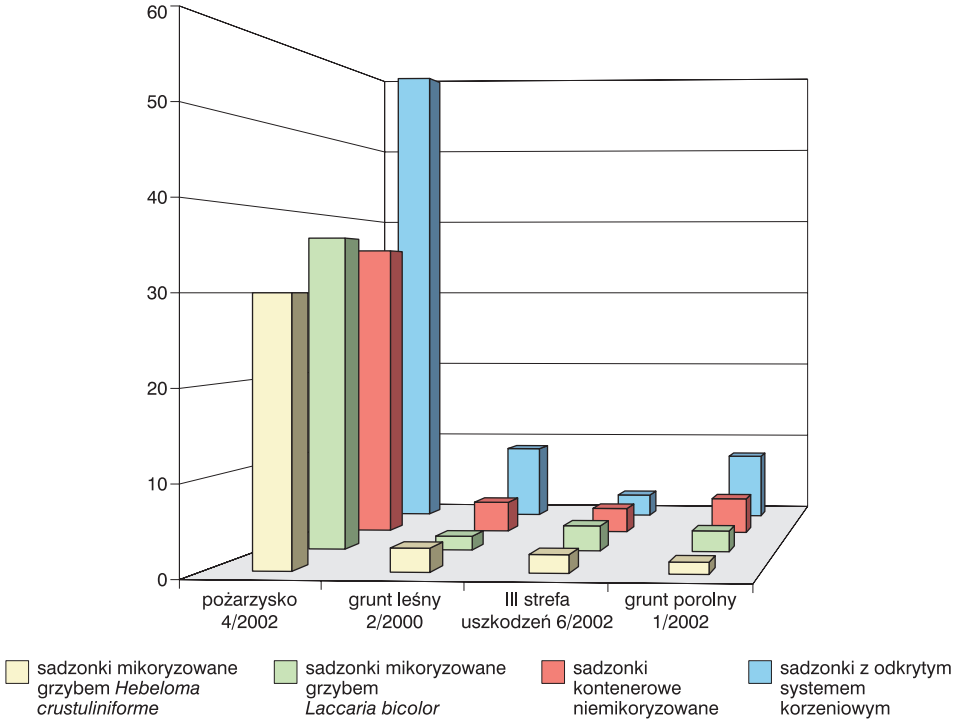


Ryc. XI.22.29A. Średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej (mm) pięcioletnich sadzonek dębu szypułkowego w uprawach doświadczalnych z lat 2000–2002

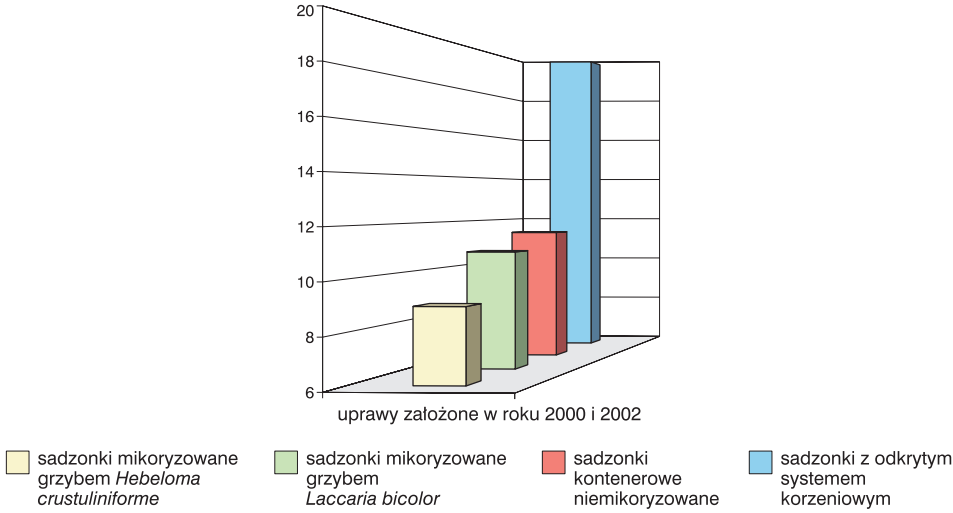
nych zarówno na gruncie porolnym, jak na zrębie i na pożarzysku. W wypadku sadzonek mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* różnice te były stosunkowo mniejsze. Najmniejsze różnice w przyroście, tak na wysokość jak i średnicy w szyi korzeniowej, między sadzonkami dębu mikoryzowanymi grzybem *H. crustuliniforme* i niemikoryzowanymi stwierdzono na uprawie założonej na glebie zdegradowanej imisjami przemysłowymi. Na wszystkich jednak uprawach różnice badanych parametrów przyrostowych między sadzonkami z *H. crustuliniforme* i mikoryzowanymi *L. bicolor* oraz niemikoryzowanymi były wysoce statystycznie istotne. Średni przyrost wysokości sadzonek dębu z *H. crustuliniforme*, z wszystkich upraw, był większy o 20% od przyrostu sadzonek z *L. bicolor*, a w stosunku do sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym aż o 47%. Średni przyrost średnicy sadzonek dębu z *H. crustuliniforme*, z wszystkich upraw, był o 37% większy od sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym i o 37% od sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowanych (ryc. XI.22.28A. i XI.22.29A.).

Różnice w obu badanych parametrach przyrostowych w uprawach między sadzonkami dębu mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* i sadzonkami z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowanych były niewielkie, przy czym na uprawach 1/2002, 6/2002, 4/2002 statystycznie nieistotne. Powodem mógł być fakt stwierdzenia mikoryzacji przygodnej z grzybem *Laccaria* sp. u sadzonek niepoddanych za-

Fot. XI.22.3. Uprawa doświadczalna z dębem szypułkowym – po lewej dąb mikoryzowany grzybem *H. crustuliniforme*



Ryc. XI.22.30. Wypady po pięciu latach sadzonek dębu szypułkowego w uprawach na różnych kategoriach gruntu



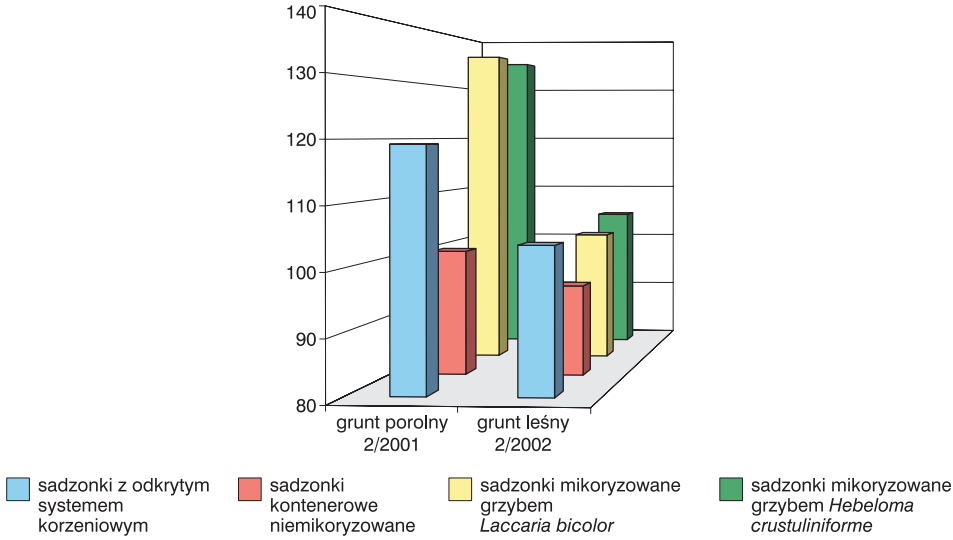
Ryc. XI.22.30A. Wypady (%) po pięciu latach sadzonek dębu szypułkowego z wszystkich upraw – zbiorczo

biegowi sterowanej mikoryzacji, ponieważ w otoczeniu szkółki kontenerowej, na której hodowano na otwartych polach sadzonki dębu szypułkowego, dość licznie występowały owocniki tych grzybów.

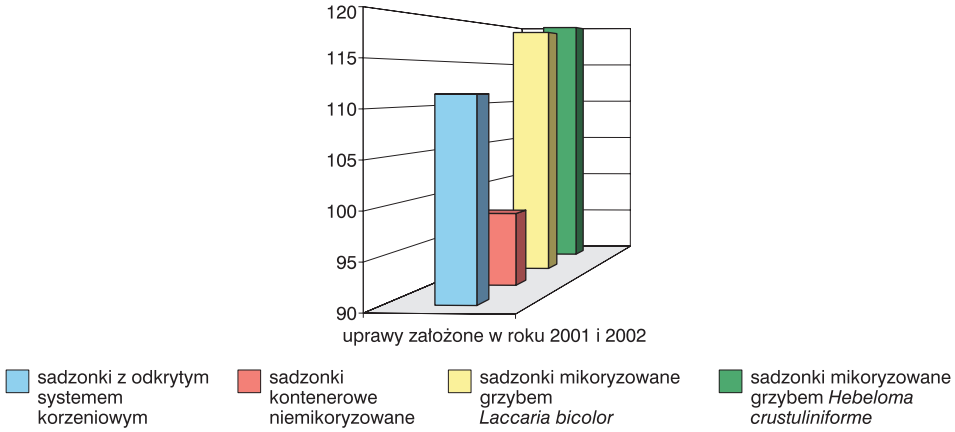
Największą przeżywalność w uprawach po 5 latach osiągnęły w kolejności sadzonki dębu: mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme*, *L. bicolor*, z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowane, a najmniejszą, o prawie 50% w stosunku do sadzonek mikoryzowanych, z odkrytym systemem korzeniowym. Największe straty stwierdzono w uprawie na wielkopowierzchniowym pożarzysku, założonej w ekstremalnych warunkach, na której przeżyło tylko 40% sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym. Największą natomiast przeżywalność na tej uprawie uzyskały sadzonki dębu z zakrytym systemem korzeniowym, mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme*, która po 5 latach wynosiła 70% (ryc. XI.22.30. i XI.22.30A.).

Uprawy doświadczalne z bukiem pospolitym

Badano uprawę założoną na gruncie porolnym (nr 2/2001 – LMw) i zrębie po usunięciu starodrzewu (nr 2/2002 – BMśw). Sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym były wysadzone jako jednolatki, a z odkrytym systemem korzeniowym jako dwulatki. Rozpatrując wielkość średniego przyrostu na wysokość sadzonek mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* i *H. crustuliniforme* można stwierdzić, że obydwa te gatunki w podobnym stopniu pozytywnie wpływały na przyrost wysokości. Między tymi kombinacjami doświadczalnymi nie było statystycznie istotnych różnic.

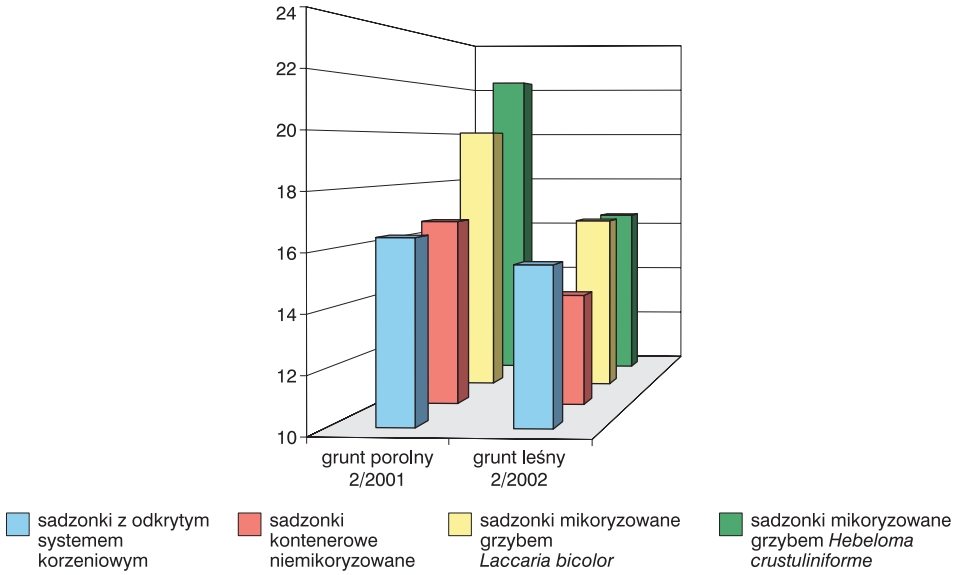


Ryc. XI.22.31. Średni przyrost wysokości (cm) pięcioletnich sadzonek buka pospolitego w uprawach założonych na różnych kategoriach gruntu

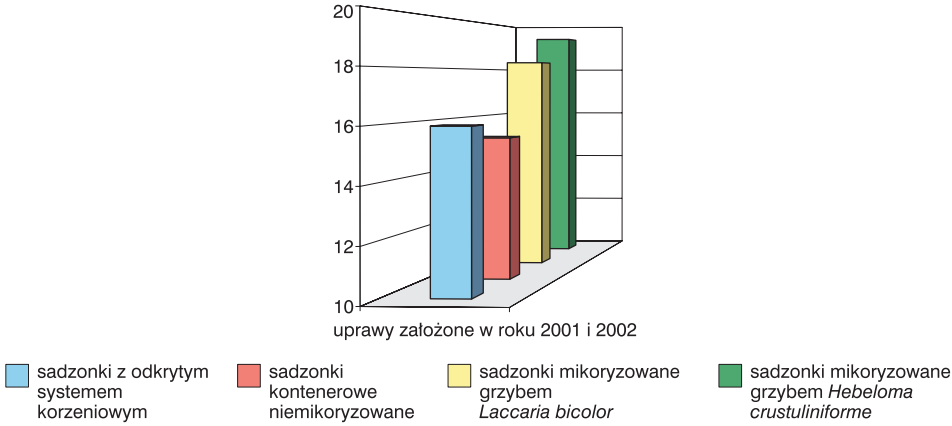


Ryc. XI.22.31A. Średni przyrost wysokości (cm) pięcioletnich sadzonek buka pospolitego we wszystkich uprawach doświadczalnych z lat 2001–2002

Analiza wariancji wykazała statystyczną istotność różnic między sadzonkami mikoryzowanymi i niemikoryzowanymi. Podobnie kształtowały się parametry przyrostowe średniej grubości w szyi korzeniowej. Na uprawie jak i na zrębie przyrost średnicy w szyi korzeniowej sadzonek buka mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* i *L. bicolor* był zbliżony. Jedynie w uprawie na gruncie porolnym przyrost

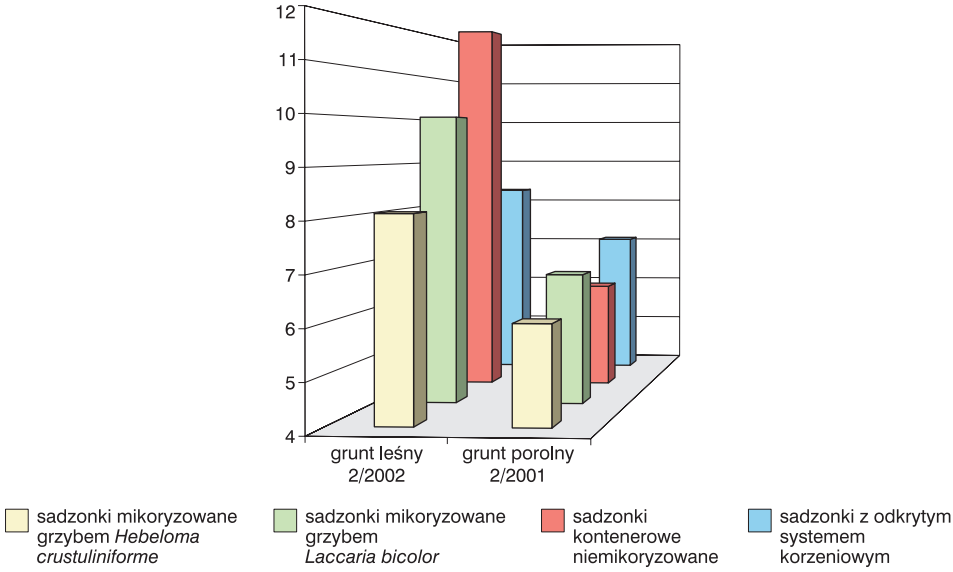


Ryc. XI.22.32. Średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej (mm) pięcioletnich sadzonek buka pospolitego w uprawach na różnych kategoriach gruntu



Ryc. XI.22.32A. Średni przyrost w szyi korzeniowej (mm) pięcioletnich sadzonek buka pospolitego we wszystkich uprawach doświadczalnych z lat 2001–2002

średnicy w szyi korzeniowej sadzonek buka mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* był największy, różnice natomiast między innymi kombinacjami doświadczalnymi były statystycznie istotne. W przeżywalności sadzonek buka nie stwierdzono istotnych różnic między różnymi kombinacjami doświadczalnymi.



Ryc. XI.22.33. Wypady (%) po pięciu latach sadzonek buka pospolitego w uprawach na różnych kategoriach gruntu

Uprawy doświadczalne z brzozą brodawkowatą

W pięciu uprawach doświadczalnych na: gruncie porolnym (nr 1/2002), pożarzysku (nr 4/2002), gruntach po rekultywacji (nr 5/2002), zrębie (nr 2/2002) oraz gruncie leśnym zdegradowanym imisjami przemysłowymi (nr 6/2002) posadzono sadzonki brzozy brodawkowatej w analogicznych kombinacjach doświadczalnych jak w wypadku wcześniej omówionych gatunków drzew. Analizując przyrosty tych sadzonek, zarówno wysokości jak i średnicy w szyi korzeniowej w poszczególnych latach, a także średnią sumę tych przyrostów po pięciu latach w uprawach w różnych wariantach doświadczalnych nie stwierdzono pozytywnego wpływu zabiegu sterowanej mikoryzacji sadzonek brzozy brodawkowatej grzybem *H. crustuliniforme* i *L. bicolor* na wzrost, jak też rozwój tych sadzonek w uprawach (tabela XI.22.2. i XI.22.3.).

W trzech uprawach sadzonki brzozy mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* osiągnęły najmniejsze przyrosty na wysokość, nawet mniejsze niż sadzonki z odkrytym systemem korzeniowym, a różnice te były statystycznie istotne. Tylko na uprawie nr 4/2002, założonej na pożarzysku, mikoryzacja sadzonek brzozy obydwoma gatunkami grzybów miała pozytywny wpływ na przyrost wysokości (tabela XI.22.2.). Średnio największy przyrost wysokości, a także średnicy w szyi korzeniowej z wszystkich upraw osiągnęły sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym niemikoryzowane i sadzonki z odkrytym systemem korzeniowym. Najmniejszy przyrost na wysokość oraz średnicy w szyi korzeniowej średnio z wszystkich upraw osiągnęły sadzonki brzozy mikoryzowane grzybem *L. bicolor* (tabela XI.22.2. i XI.22.3.).

Wypady sadzonek brzozy również nie były wyraźnie skorelowane z zabiegiem mikoryzacji. Największe wypady (39,5%) stwierdzono wśród sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym w uprawie nr 4/2002 na pożarzysku, a w uprawie nr 2/2002 najwięcej wypadów stwierdzono wśród sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* (tabela XI.22.4.).

Tabela XI.22.2.
Średni przyrost wysokości sadzonek brzozy brodawkowatej w uprawach na różnych kategoriach gruntów po pięciu latach (w cm)

Opis sadzonek	Grunt porolny 1/2002	Grunt leśny 2/2002	III strefa uszkodzeń 6/2002	Pożarzysko 4/2002	Rekultywacje 5/2002	Średnie z wszystkich upraw
Z odkrytym systemem korzeniowym	343,1	296,2	164,3	66,8	81,8	201,8
Kontenerowe niemikoryzowane	347,4	317,1	166,1	92,2	101,3	215,3
Mikoryzowane *Laccaria bicolor*	334,8	258,5	159,1	96,3	88,2	193,5
Mikoryzowane *Hebeloma crustuliniforme*	327,1	299,6	132,8	101,4	80,8	196,3

Tabela XI.22.3.
Średni przyrost średnicy w szyi korzeniowej sadzonek brzozy brodawkowatej w uprawach na różnych kategoriach gruntów po pięciu latach (mm)

Opis sadzonek	Grunt porolny 1/2002	Grunt leśny 2/2002	III strefa uszkodzeń 6/2002	Pożarzysko 4/2002	Rekultywacje 5/2002	Średnie z wszystkich upraw
Z odkrytym systemem korzeniowym	45,6	39,4	25,4	17,4	13,5	29,4
Kontenerowe niemikoryzowane	42,2	41,2	24,3	20,9	15,4	29,9
Mikoryzowane *Laccaria bicolor*	43,7	35,1	19,3	20,9	16,0	27,1
Mikoryzowane *Hebeloma crustuliniforme*	42,4	40,9	19,0	22,6	14,9	28,5

Tabela XI.22.4.
Wypady sadzonek brzozy brodawkowatej w uprawach na różnych kategoriach gruntów po pięciu latach (%)

Opis sadzonek	Pożarzysko 4/2002	Grunt leśny 2/2002	Grunt porolny 1/2002	Rekultywacje 5/2002	III strefa uszkodzeń 6/2002	Średnie z wszystkich upraw
Z odkrytym systemem korzeniowym	39,5	4,7	7,7	7,2	5,5	11,6
Kontenerowe niemikoryzowane	22,3	6,4	7,3	5,3	4,5	8,7
Mikoryzowane *Laccaria bicolor*	25,4	7,2	5,3	4,4	4,2	9,0
Mikoryzowane *Hebeloma crustuliniforme*	17,2	6,7	4,3	3,9	3,5	7,1

Synteza uzyskanych wyników

W wyniku pięcioletnich badań różnicowania się parametrów wzrostowych i żywotności sadzonek różnych gatunków drzew leśnych, poddanych oraz niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji biopreparatem z grzybem *H. crustuliniforme* jak też *L. bicolor* w kolejnych latach w uprawach, w różnych warunkach środowiskowych, można stwierdzić:

1. Sterowana mikoryzacja sadzonek miała istotny, pozytywny wpływ na różnicowanie się parametrów wzrostowych i żywotności sadzonek w uprawach dla ta-

kich gatunków jak sosna zwyczajna, dąb szypułkowy i buk pospolity. Sadzonki tych gatunków szczepione grzybami mikoryzowymi na każdym etapie wzrostu w uprawach osiągały większe przyrosty na wysokość i grubość w szyi korzeniowej, miały większą liczbę pędów bocznych i ich sumaryczną długość w każdych warunkach środowiskowych.

2. Pozytywny efekt sterowanej mikoryzacji sadzonek uwidaczniał się nie tylko w uprawach na glebach nieleśnych i leśnych zdegradowanych imisjami przemysłowymi, ale również wymiernie w uprawach na glebach leśnych niezdegradowanych.
3. Porównując wpływ dwóch różnych biopreparatów użytych do szczepienia sadzonek sosny, dębu i buka w szkółce można zauważyć, że stosunkowo większy, pozytywny wpływ na rozwój sadzonek tych gatunków w uprawach, w różnych warunkach środowiskowych, miał zabieg sterowanej mikoryzacji polskim biopreparatem z grzybem *H. crustuliniforme*.
4. Sterowana mikoryzacja sadzonek sosny, dębu i buka miała istotny wpływ na ich przeżywalność w uprawach. Badania wykazały, że w każdych warunkach środowiskowych przeżywalność w uprawach sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji była wymiernie większa od analogicznych sadzonek niepoddanych takiemu zabiegowi oraz zdecydowanie większa niż sadzonek wysadzonych w uprawę z odkrytym systemem korzeniowym. Im trudniejsze warunki hodowli jak też bardziej zdegradowana gleba, tym pozytywny wpływ zabiegu sterowanej mikoryzacji był większy.
5. Różnica przeżywalności w uprawach sadzonek sosny, dębu i buka z zakrytym systemem korzeniowym poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji w stosunku do sadzonek niepoddanych takiemu zabiegowi oraz większa dynamika wzrostu i rozwoju sadzonek szczepionych, zwłaszcza grzybem *H. crustuliniforme*, w pierwszych trzech latach po wysadzeniu w uprawy pozwala na stwierdzenie, że stosowanie sadzonek szczepionych, zwłaszcza tym grzybem, miało również uzasadnienie ekonomiczne.
6. Nie stwierdzono pozytywnego wpływu sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* i *L. bicolor* na różnicowanie się parametrów przyrostu sadzonek brzozy brodawkowatej.
7. Żyzność siedliska miała istotny wpływ na przeżywalność i różnicowanie się parametrów wzrostowych w uprawach sadzonek sosny, dębu i buka poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji, przy czym im uboższe w składniki pokarmowe siedlisko, tym bardziej widoczny był pozytywny wpływ zabiegu sterowanej mikoryzacji.
8. Badania wykazały bardzo dobrą adaptację grzyba *H. crustuliniforme* do gleb zdegradowanych, a także dużą tolerancję *H. crustuliniforme* i *L. bicolor* w odniesieniu do gleb skażonych metalami ciężkimi.
9. W pierwszych trzech latach na uprawie przyrost wysokości i średnicy w szyi korzeniowej mikoryzowanych sadzonek sosny zwyczajnej był znacznie większy (często 2–3-krotnie) od przyrostu sadzonek niemikoryzowanych. W każdym następnym roku różnice w przyrostach pomiędzy sadzonkami mikoryzowanymi i niemikoryzowanymi malały.

10. Przeżywalność w uprawach sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji, zwłaszcza grzybem *H. crustuliniforme*, była przeciętnie o około 5% większa niż sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym niepoddanych temu zabiegowi i o ponad 23–24% w porównaniu z sadzonkami wysadzonymi w uprawy z nagim systemem korzeniowym.
11. Badania wykazały, że przeżywalność niemikoryzowanych sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym na uprawach w różnych warunkach środowiskowych była przeciętnie od 18 do 25% większa niż sadzonek z nagim systemem korzeniowym.

Wyniki badań oraz doświadczenie potwierdzają hodowlaną i ekonomiczną sensowność sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych przeznaczonych do wysadzenia w szczególnie trudnych warunkach. Potwierdzają również potrzebę dalszych badań ze względu na olbrzymią różnorodność gatunkową i złożoność biocenozy glebowej. Przywracanie lasów na wielu obszarach, często ze zdegradowanymi glebami, jest jednym z najważniejszych zadań współczesnego leśnictwa. Wdrożenie do praktyki leśnej w Lasach Państwowych sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych było ważnym krokiem zarówno z poznawczego jak i gospodarczego punktu widzenia.

23. Biomasa sadzonek sosny zwyczajnej w uprawie doświadczalnej na rekultywowanym wyrobisku piasku i w terenie silnie skażonym imisjami przemysłowymi

Prof. dr hab. Stanisław Orzeł, Katedra Dendrometrii Akademii Rolniczej w Krakowie, Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Wprowadzenie

Za pionierów badań nad biomasą powszechnie uważani są Boysen–Jensen i Burger (Pardé 1980), publikujący swe pierwsze prace z tego zakresu w latach dwudziestych minionego wieku. Większe zainteresowanie oceną biomasy zauważa się od połowy XX wieku. Badania realizowano, zwłaszcza w ramach programów międzynarodowych (Cannell 1982, Pardé 1980, Sotoo 1982, Vyskot 1980), a główne ich ośrodki znajdowały się w Stanach Zjednoczonych, Japonii i Belgii (Pardé 1980). Szczegółowe pomiary biomasy pojedynczych drzew stanowiły materiał do opracowania rozwiązań modelowych. Przeważnie przy opracowywaniu wzorów empirycznych autorzy wychodzili z ogólnej postaci funkcji allometrycznej (Zianis i in. 2005).

Pomimo wieloletnich badań biomasy zainteresowanie oceną jej wielkości i produkcji nie słabnie (Gornowicz 2002, Grote 2002, Orzeł i Wysocki 2002, Orzeł i in.

2005a, b, 2006, Uri i in. 2003). Zasadniczym powodem wydaje się być coraz powszechniejsze stosowanie na szeroką skalę ekologicznych, odnawialnych źródeł energii. Biomasa roślinna stanowi podstawowe źródło czystej energii (Biedrzycka 2004, Johansson 1999, Vanninen i in. 1996), a zasadniczą rolę w produkcji biomasy odgrywają zbiorowiska leśne (Vyskot 1980, Weiner 1999).

Wiedza o wielkości biomasy stanowi cenne źródło informacji o bilansie węgla w ekosystemach leśnych i jest wykorzystywana przy modelowaniu jego zmian (Grote 2002, Kauppi i in. 1992). Aby oszacowanie takie było wiarygodne, niezbędne są szczegółowe badania udziału części składowych drzew w całkowitej ich biomasie. Konieczność taka wynika, między innymi, z istotnych zmian udziału poszczególnych części składowych w biomasie drzew związanych z wiekiem (Cunia i Briggs 1985) oraz ich zależności od wielu czynników zewnętrznych. Niewątpliwie takim czynnikiem jest różny sposób produkcji materiału sadzeniowego.

Pozytywny wpływ zabiegu sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych na udatność i jakość upraw został udokumentowany, szczegółowo opisany i nie budzi wątpliwości. Opis ten warto uzupełnić badaniami, których celem było określenie wielkości i struktury biomasy upraw sosnowych wyrosłych z sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji i niepoddanych takiemu zabiegowi.

Materiał badawczy i metody

Zbadano dwie uprawy doświadczalne założone przez Szablę (2004). Jedną (nr 5/2000) założono na rekultywowanym wyrobisku piasku w leśnictwie Bukowno (B), Nadleśnictwo Chrzanów, w oddz. 62B, zaś drugą (nr 6/2000) w Nadleśnictwie Świerklaniec (S), leśnictwo Żyglinek, oddz. 112d, położonym w bezpośrednim sąsiedztwie huty metali kolorowych w Miasteczku Śląskim. Uprawy te założono w 2000 roku, wprowadzając w trzech powtórzeniach sadzonki sosny zwyczajnej wyprodukowane:

1) sposobem tradycyjnym, tj. w gruntowej szkółce leśnej i wysadzone jako dwulatki z odkrytym systemem korzeniowym (O);
2) w szkółce kontenerowej w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie i wysadzone jako jednolatki z bryłką substratu hodowlanego odpowiednio:
   – niepoddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji (K),
   – poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Laccaria bicolor* (L),
   – poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* (H).

Z każdego powtórzenia, na przełomie sierpnia i września 2005 roku, pobrano do badań po 10 drzewek. Ogółem analizie poddano 240 sosen w wieku sześciu lat – po 120 z każdej uprawy, które wybrano sposobem losowania systematycznego. Na wylosowanych sosenkach zaznaczono poziom gleby, a następnie wydobyto je z całym systemem korzeniowym (fot. XI.23.1.).

Pomierzono długość (wysokość) strzałek z zaokrągleniem do 1 cm, grubość z korą przy podstawie (d_0) z zaokrągleniem do 0,1 cm oraz określono biomasę w stanie świeżym: drewna strzałek, gałęzi, korzeni i igliwia. W tym celu drzewka podzielono na część nadziemną i podziemną. Od strzałek odcięto wszystkie gałązki,

Fot. XI.23.1. Sosenka z uprawy założonej na wyrobisku piasku w Bukownie (B/H/1/5), wydobyta z całym systemem korzeniowym, z widocznym zaznaczonym miejscem poziomu gleby

Fot. XI.23.2. Strzałki drzewek przygotowane do transportu i suszenia

a od korzenia palowego korzenie boczne. Z gałązek oraz pędu głównego pozyskano igliwie oddzielnie dla każdego rocznika. W pierwszej kolejności pozyskiwano igliwie najstarszego rocznika. Pozyskane igliwie zapakowano do papierowych kopert, zapisując na nich rocznik igliwia oraz umownymi symbolami informację o: położeniu uprawy (B lub S), sposobie wyprodukowania materiału sadzeniowego (H, L, K, O), powtórzeniu (1, 2, 3) i numerze drzewka pobranego z danego powtórzenia (1, 2,..., 10). Ciężar igliwia (wraz z kopertami) zważono na platformowej wadze elektronicznej WPT/F 6 C z dokładnością do 2 gramów. Przy użyciu tej samej wagi określono ciężar wraz z korą drewna: strzałek, gałęzi, korzenia palowego i korzeni bocznych, dzieląc je uprzednio na odcinki (fragmenty) o długości około 45 cm. Tak przygotowane odcinki powiązano nierdzewnym drutem i zaopatrzono w etykiety, na których podano te same informacje o drzewie, jakie zapisano na kopertach, do których zapakowano igliwie (fot. XI.23.2.).

Zebrany materiał poddano dwuetapowemu procesowi suszenia. Pierwszy – długotrwały (nie krótszy niż 1,5 miesiąca w wypadku igliwia oraz 2,5 miesiąca gałęzi) – w temperaturze pokojowej, którego celem było uzyskanie stanu powietrznie su-

chego. Etap drugi, w temperaturze 105°C, w celu uzyskania stanu suchego poszczególnych komponentów. Czas suszenia ustalany był na bieżąco dla każdego komponentu biomasy drzew (igliwie, gałęzie, korzenie, drewno strzał) na podstawie prób ważenia. Ciężar w stanie suchym określono wagą laboratoryjną WPS 3100/C/2 z zaokrągleniem do 0,01 g.

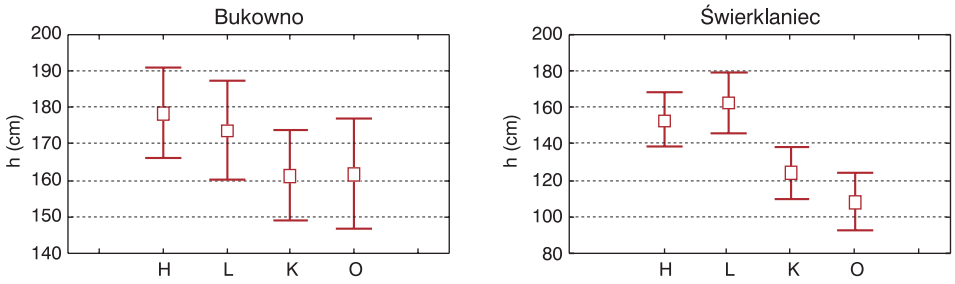
Opracowanie statystyczne wykonano programami pakietu Statistica – 6 (StatSoft 2005).

Omówienie wyników badań

Wysokość i grubość analizowanych drzewek. Wysokość i grubość to dwie najczęściej mierzone cechy drzew, od których bezpośrednio zależy wielkość biomasy. W dynamice zmian tych elementów biometrycznych zawiera się wiele informacji o szeroko rozumianych warunkach wzrostu w rozpatrywanym okresie. Jednorodność warunków siedliskowych na poletkach w każdej z analizowanych upraw stwarza znakomitą okazję do zbadania wpływu sposobu produkcji materiału sadzeniowego na wartości omawianych cech.

Z podanych w tabeli XI.23.1. wybranych charakterystyk analizowanych drzewek wynika, że zróżnicowanie ich wysokości i grubości związane było zarówno z miejscem założenia uprawy jak i sposobem produkcji materiału sadzeniowego. W obydwu uprawach średnia wartość tych cech, określona dla sosenek pochodzących z poletek, na których wprowadzono sadzonki poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji (H i L), była większa od rosnących na poletkach, na których sadzonki nie były poddane temu zabiegowi (K i O). W wypadku wysokości można nawet zaryzykować stwierdzenie o przynależności drzewek do dwóch odrębnych grup, z których jedną są sosenki wyrosłe z sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji, a drugą niepoddane takiemu zabiegowi (ryc. XI.23.1.).

Stwierdzone różnice w wysokości drzewek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji i niepoddanych takiemu zabiegowi w uprawie założonej na wyrobisku piasku w Bukownie były niezbyt duże – wynosiły średnio od 12,1 do 17,1 cm (tabe-



Ryc. XI.23.1. Średnie wysokości (z zaznaczonymi 95% przedziałami ufności) analizowanych sosenek w uprawie doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec dla różnych sposobów produkcji sadzonek (objaśnienia: H, L, K, O jak w tabeli XI.23.1)

la XI.23.1.). Uznać je można za przypadkowe, gdyż nie ma między nimi statystycznej różnicy na przyjętym poziomie istotności $\alpha = 0{,}05$. Znacznie większe rozbieżności w średniej wysokości analizowanych sosenek stwierdzono w wypadku uprawy znajdującej się w pobliżu huty metali kolorowych w Miasteczku Śląskim. Największą osiągnęły drzewka z poletek, na których wysadzono sadzonki mikoryzowane grzybem *L. bicolor* (162,7 cm). Przeciętnie o 9,4 cm niższe były sosenki z pole-

Tabela XI.23.1.
Statystyka wysokości i grubości przy podstawie wybranych sosenek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji (H i L) i niepoddanych takiemu zabiegowi (K i O) 6-letniej uprawy doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec

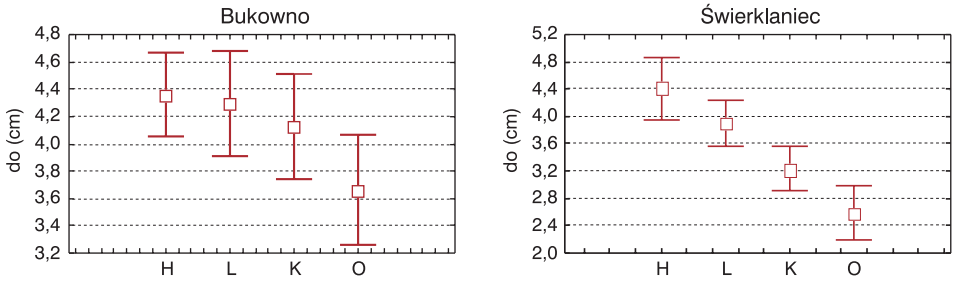
Cecha	Uprawa	Sposób produkcji sadzonek	Liczba drzew	Średnia	Min	Max	max/min	Współczynnik zmienności
Wysokość w cm	Bukowno	H	30	178,5	92,0	238,0	2,6	18,5
		L	30	173,9	115,0	253,0	2,2	20,8
		K	30	161,4	85,0	222,0	2,6	20,3
		O	30	161,8	60,0	237,0	4,0	24,9
		Razem	120	168,9	60,0	253,0	4,2	21,3
	Świerklaniec	H	30	153,3	60,0	233,0	3,9	25,2
		L	30	162,7	68,0	265,0	3,9	27,5
		K	30	124,4	38,0	203,0	5,3	30,9
		O	30	108,5	40,0	207,0	5,2	38,9
		Razem	120	137,2	38,0	265,0	7,0	33,7
Grubość przy podstawie w cm	Bukowno	H	30	4,36	2,3	5,5	2,4	18,7
		L	30	4,30	2,6	6,3	2,4	24,0
		K	30	4,12	1,8	6,0	3,3	25,1
		O	30	3,66	1,1	5,4	4,9	29,5
		Razem	120	4,11	1,1	6,3	5,7	24,8
	Świerklaniec	H	30	4,41	2,0	7,0	3,5	27,9
		L	30	3,89	2,4	5,9	2,5	23,4
		K	30	3,23	1,5	5,0	3,3	27,0
		O	30	2,59	0,7	4,8	6,9	40,4
		Razem	120	3,53	0,7	7,0	10,0	34,6

Objaśnienia:
H – sadzonki (1/0) wyhodowane techniką kontenerową i poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme*;
L – sadzonki (1/0) wyhodowane techniką kontenerową i poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Laccaria bicolor*;
K – sadzonki (1/0) wyhodowane techniką kontenerową i niepoddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji;
O – sadzonki (2/0) z odkrytym systemem korzeniowym wyhodowane w sposób tradycyjny w szkółce gruntowej.

tek, na których posadzono sadzonki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme*. Różnice te nie są istotne statystycznie. Znacznie niższe sosenki rosły natomiast na poletkach, na których materiał sadzeniowy nie był poddany zabiegowi sterowanej mikoryzacji. Analizowane drzewka z poletek, na których wysadzono sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym, wyprodukowane w kontenerach, były średnio o 38,3 cm (23,5%), a z poletek z odkrytym systemem korzeniowym o 54,2 cm (33,3%) niższe w porównaniu ze średnią wysokością drzewek z poletek, na których wysadzono sadzonki mikoryzowane grzybem *L. bicolor*. Różnice w stosunku do mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* wynoszą odpowiednio 28,9 cm (18,9%) i 44,8 cm (29,2%). Szczegółowa analiza statystyczna wykazała, że są to różnice istotne na poziomie $\alpha = 0,05$, co oznacza, że w wypadku tej uprawy, z prawdopodobieństwem nie mniejszym niż 95%, zaznaczył się pozytywny wpływ zabiegu sterowanej mikoryzacji sadzonek na ich wysokość w wieku 6 lat. Stwierdzenie to jest uprawnione przy poczynionym na wstępie założeniu o jednorodności warunków siedliskowych na obszarze wszystkich poletek rozpatrywanej uprawy oraz właściwym jej założeniu (prawidłowe przygotowanie gleby i posadzenie sadzonek w odpowiednim terminie).

W obydwu uprawach największą grubością przy podstawie charakteryzowały się sosenki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* (tabela XI.23.1.). W uprawie założonej na wyrobisku piasku średnia jej wartość była większa o 0,70 cm (19,1%) od grubości sosenek z poletek, na których wysadzono sadzonki wyprodukowane sposobem tradycyjnym (O). Wykazane różnice są istotne statystycznie na poziomie $\alpha = 0,05$.

Zdecydowanie większe rozbieżności między średnimi grubościami stwierdzono w uprawie położonej w pobliżu huty metali kolorowych (ryc. XI.23.2.). Tam również, podobnie jak w uprawie w Bukownie, największą grubość przy podstawie miały sosenki wyrosłe z sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*, cieńsze były sosenki mikoryzowane grzybem *L. bicolor* oraz na poletkach, na których wysadzono sadzonki wyprodukowane w kontenerach, ale niepoddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji, najcieńsze natomiast na



Ryc. XI.23.2. Średnie wartości grubości przy podstawie (z zaznaczonymi 95% przedziałami ufności) analizowanych sosenek w uprawie doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec dla różnych sposobów produkcji sadzonek (objaśnienia: H, L, K, O jak w tabeli XI.23.1)

poletkach, na których wysadzono sadzonki z odkrytym systemem korzeniowym (ryc. XI.23.2.). Różnice w średniej grubości były znaczne nie tylko między skrajnymi wielkościami. Z analizy statystycznej wynika, że sosenki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* były istotnie grubsze od rosnących na poletkach, na których wprowadzono sadzonki wyprodukowane zarówno systemem kontenerowym, ale niepoddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji, jak i tradycyjnym. Istotnie, na poziomie $\alpha = 0,05$, grubsze od wysadzonych z odkrytym systemem korzeniowym były również sosenki mikoryzowane grzybem *L. bicolor*.

Biomasa igliwia. Sosna na ogół utrzymuje igliwie do trzech lat. Tak też było w wypadku zdecydowanej większości, bo u 214 (89,2%) na 240, analizowanych sosenek. Trzeci rocznik igliwia najczęściej był wyraźnie zredukowany. W uprawie założonej na wyrobisku piasku w Bukownie zachowało go 96,7% drzewek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*, 86,7% grzybem *L. bicolor*, 83,3% wyrosłych z sadzonek wyprodukowanych w kontenerach, ale niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji oraz 93,3% z sadzonek pochodzących z tradycyjnych szkółek i wysadzonych z odkrytym systemem korzeniowym. W uprawie położonej w pobliżu huty metali kolorowych trzy roczniki igliwia zachowało odpowiednio: 93,3%, 93,3%, 90,0% oraz 80,0% sosenek. Z analizowanej próby 240 drzew czwarty rocznik igliwia zachowała tylko jedna sosenka z uprawy w Bukownie, mikoryzowana grzybem *H. crustuliniforme*.

Łączny ciężar świeżego igliwia sosenek z uprawy w Bukownie wynosił 137,80 kg. Masa igliwia takiej samej liczby, tj. 120 drzewek z uprawy założonej w pobliżu huty cynku i ołowiu w Miasteczku Śląskim, była prawie o 1/3 mniejsza – wynosiła 94,09 kg. Oznacza to, że ciężar świeżego igliwia jednego drzewka wynosił odpowiednio 1147,9 g oraz 784,1 g (tabela XI.23.2).

W wypadku obydwu upraw największą masę igliwia stwierdzono u sosenek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* – 37,85 kg (średnio 1261,6 g) w uprawie z Bukowna i 33,80 kg (1126,8 g) w uprawie w Świerklańcu, mniejszą u mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* odpowiednio 35,57 kg (1183,9 g) i 27,11 kg (903,5 g). Dalszą pozycję zajmowały drzewka z poletek, na których wprowadzono sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym wyprodukowane w kontenerach, ale niepoddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji – 32,90 kg (1096,7 g) i 19,34 kg (644,5 g). Wyraźnie najmniejszą masę świeżego igliwia pozyskano z sosenek wyrosłych z sadzonek wyprodukowanych sposobem tradycyjnym i wysadzonych w uprawę z odkrytym systemem korzeniowym – 31,48 kg (1049,4 g) i 13,85 kg (461,5 g).

Wykazana różnica między skrajnymi wartościami średnimi ciężaru świeżego igliwia drzewek z uprawy założonej w Bukownie wynosi 212,2 g (16,9%) i jak się okazało, jest ona statystycznie nieistotna. W Żyglinku natomiast świeża masa igliwia sosenek niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji, wyrosłych z sadzonek wprowadzonych z odkrytym systemem korzeniowym jest istotnie, bo średnio aż o 665,3 g (59,0%), mniejsza niż drzewek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme*. Ciężar igliwia sosenek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* w omawianej uprawie był także istotnie większy od wyrosłych z sadzonek wyprodukowanych systemem kontenerowym, ale niepodda-

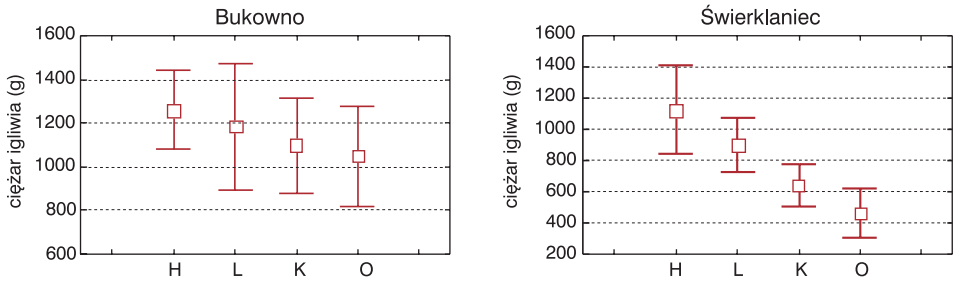
Tabela XI.23.2.
Wybrane statystyki świeżej i suchej masy igliwia sosenek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji (H i L) i niepoddanych temu zabiegowi (K i O) 6-letniej uprawy doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec

Igliwie	Uprawa	Sposób produkcji sadzonek	Liczba drzew	Ciężar w gramach			max/min	Współczynnik zmienności	Procentowy udział poszczególnych roczników		
				średnia	min	max			2005	2004	2003
Świeże	Bukowno	H	30	1261,6	319,0	2262,0	7,1	39,0	49,8	41,8	8,4
		L	30	1183,9	420,0	3126,0	7,4	65,7	54,2	40,2	5,6
		K	30	1096,7	228,0	2944,0	12,9	53,8	53,0	41,8	5,2
		O	30	1049,4	53,0	2749,0	51,9	58,5	49,8	40,9	9,3
		Razem	120	1147,9	53,0	3126,0	59,0	54,4	51,7	41,2	7,1
	Świerklaniec	H	30	1126,8	173,0	3723,0	21,5	67,7	47,6	38,5	13,9
		L	30	903,5	269,0	2084,0	7,7	51,0	48,8	39,2	12,0
		K	30	644,5	42,0	1558,0	37,1	57,6	49,7	36,2	14,1
		O	30	461,5	19,0	1763,0	92,8	91,9	48,8	38,6	12,6
		Razem	120	784,1	19,0	3723,0	195,9	73,9	48,5	38,3	13,2
Suche	Bukowno	H	30	494,6	130,0	911,1	7,0	39,5	44,7	45,1	10,2
		L	30	449,6	156,2	1142,1	7,3	64,2	49,7	43,5	6,8
		K	30	414,9	78,0	1018,6	13,1	51,6	48,2	45,5	6,3
		O	30	406,1	22,1	1088,4	49,2	58,3	45,2	43,8	11,0
		Razem	120	441,3	22,1	1142,1	51,7	53,5	46,9	44,5	8,6
	Świerklaniec	H	30	453,9	75,7	1548,5	20,5	69,6	43,5	41,0	15,5
		L	30	364,2	112,5	823,4	7,3	51,3	45,0	41,6	13,4
		K	30	258,9	19,3	637,6	33,0	57,3	45,6	38,5	15,9
		O	30	186,2	9,3	745,6	80,2	92,6	44,5	41,3	14,2
		Razem	120	315,8	9,3	1548,5	166,5	74,9	44,5	40,7	14,8

Objaśnienia: H, L, K, O – jak w tabeli XI.23.1.

nych temu zabiegowi, zaś mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* od wyrosłych z sadzonek wprowadzonych z odkrytym systemem korzeniowym (ryc. XI.23.3.).

Niezależnie od sposobu produkcji materiału sadzeniowego ciężar igliwia poszczególnych sosenek miał bardzo szeroki zakres wartości. Iloraz wartości skrajnych wynosił od 7,1 do 92,8, co świadczy o wyjątkowo dużej zmienności tej cechy (tabela XI.23.2.). Współczynnik zmienności wynosi od 39,0% (sosenki mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme* z uprawy założonej w Bukownie) aż do 91,9% (sosenki wyrosłe z sadzonek wyprodukowanych sposobem tradycyjnym z uprawy założonej w Nadleśnictwie Świerklaniec). Ogólnie zmienność ciężaru igliwia drzewek

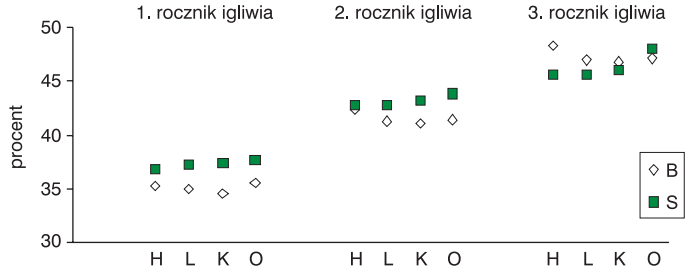


Ryc. XI.23.3. Średnie wartości ciężaru świeżego igliwia (z zaznaczonymi 95% przedziałami ufności) analizowanych sosenek w uprawie doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec dla różnych sposobów produkcji sadzonek (objaśnienia: H, L, K, O jak w tabeli XI.23.1)

z uprawy założonej w Świerklańcu (73,9%) jest znacznie większa niż uprawy w Bukownie (54,4%). W Nadleśnictwie Świerklaniec uzyskano też zarówno największą (3723 g) jak i najmniejszą (19 g) masę świeżego igliwia, jaką pozyskano z jednej sosenki (tabela XI.23.2.).

Świeża masa igliwia ostatniego rocznika stanowiła prawie 52% ogólnego ciężaru aparatu asymilacyjnego sosenek z uprawy założonej w Bukownie (tabela XI.23.2.). Średni udział rocznika drugiego kształtował się na poziomie około 41%, zaś rocznika trzeciego 7%. Udział pierwszego i drugiego rocznika w świeżej masie igliwia drzewek z uprawy w Świerklańcu był o około 3,5% mniejszy niż z uprawy w Bukownie. Niezależnie od sposobu produkcji materiału sadzeniowego udział igliwia trzeciego rocznika drzewek z uprawy założonej w pobliżu huty metali kolorowych w Miasteczku Śląskim był natomiast znacznie większy w porównaniu z rosnącymi w uprawie na wyrobisku piasku w Bukownie. Jest to rezultat nieoczekiwany, gdyż sprzeczny z ogólnym poglądem o znacznej defoliacji drzew rosnących w rejonach o silnym skażeniu przemysłowym.

Wykazane prawidłowości dotyczące wielkości i zmienności ciężaru świeżego igliwia przedstawiają się podobnie w odniesieniu do jego masy w stanie suchym (tabela XI.23.2.). Różnice natomiast występują w udziale suchej masy poszczególnych roczników igliwia w biomasie aparatu asymilacyjnego. Niezależnie od sposobu produkcji materiału sadzeniowego, udział ostatniego rocznika jest na ogół o ponad 4% mniejszy w porównaniu z jego udziałem w ciężarze igliwia świeżego. Większy jest natomiast udział igliwia drugiego i trzeciego rocznika w suchej niż w świeżej masie. Stwierdzone zależności wskazują na różną zawartość w nich wody. Z ilorazu suchej i świeżej masy igliwia poszczególnych roczników wynika, że im jest ono starsze, tym – niezależnie od sposobu produkcji materiału sadzeniowego – więcej w nim suchej masy, tzn. mniejsza zawartość wody. Sucha masa igliwia jednorocznego stanowi około 36% jego ciężaru w stanie świeżym (ryc. XI.23.4.). Więcej o około 6% zawarte jest jej w drugim, a o około 10% w trzecim roczniku. Sucha masa zawarta w poszczególnych rocznikach igliwia jest cechą mało zmienną. Współczynnik zmienności, określony dla poszczególnych sposobów produkcji materiału sadzenio-

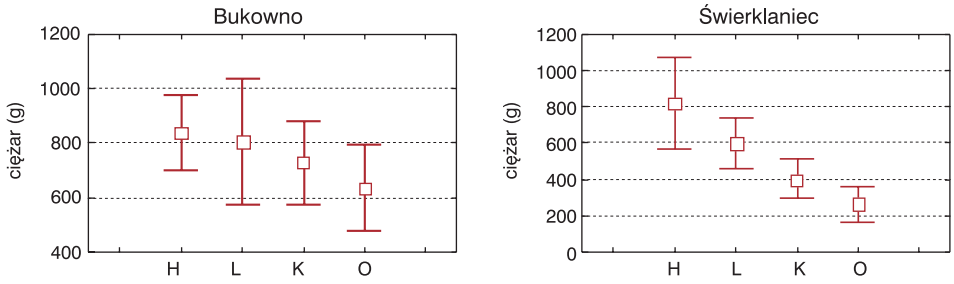


Ryc. XI.23.4. Procentowy udział suchej masy w poszczególnych rocznikach igliwia analizowanych sosenek z uprawy doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec dla różnych sposobów produkcji sadzonek (objaśnienia: H, L, K, O jak w tabeli XI.23.1)

wego, przyjmuje wielkości z przedziału od 3,5% do 13,1%. Na ogół najmniejszą zmienność wykazuje zawartość suchej masy w igliwiu rocznika drugiego (współczynnik zmienności od 3,5% do 6,7%).

Biomasa gałęzi. Duże zróżnicowanie wysokości i grubości wylosowanych sosenek (tabela XI.23.1.) istotnie decydowało o wielkości i zmienności poszczególnych komponentów ich biomasy. Świeża masa gałęzi sosenek z uprawy założonej na wyrobisku piasku w Bukownie była średnio dla każdego sposobu produkcji sadzonek większa od masy gałęzi drzewek rosnących w uprawie założonej w pobliżu huty cynku i ołowiu w Miasteczku Śląskim (tabela XI.23.3., ryc. XI.23.5.).

W obydwu uprawach zdecydowanie większą masę gałęzi miały sosenki poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji, zwłaszcza grzybem *H. crustuliniforme* (H). Niezależnie od sposobu produkcji sadzonek średni ciężar gałęzi sosenek z uprawy założonej na wyrobisku piasku w Bukownie był znacznie większy w porównaniu z drzewkami z uprawy w Świerklańcu. Różnice były szczególnie duże w przypadku sosenek niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji i, jak się okazało, są one



Ryc. XI.23.5. Średnie wartości ciężaru gałęzi w stanie świeżym (z zaznaczonymi 95% przedziałami ufności) analizowanych sosenek w uprawie doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec dla różnych sposobów produkcji sadzonek (objaśnienia: H, L, K, O jak w tabeli XI.23.1)

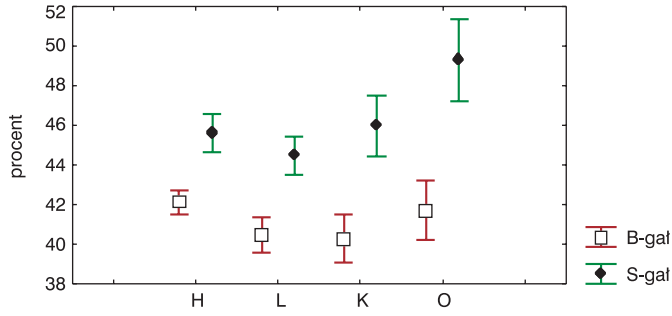
Tabela XI.23.3.
Wybrane statystyki świeżej i suchej masy gałęzi sosenek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji (H i L) i niepoddanych temu zabiegowi (K i O) 6-letniej uprawy doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec

Gałęzie	Uprawa	Sposób produkcji sadzonek	Liczba drzew	Średnia	Min	Max	max/min	Współczynnik zmienności
Świeże	Bukowno	H	30	839,5	174,0	1586,0	9,1	43,6
		L	30	804,9	210,0	2502,0	11,9	77,1
		K	30	729,2	86,0	1898,0	22,1	56,7
		O	30	637,3	10,0	1548,0	154,8	67,5
		Razem	120	752,7	10,0	2502,0	250,2	62,2
	Świerklaniec	H	30	820,9	92,0	3276,0	35,6	81,4
		L	30	596,1	134,0	1502,0	11,2	62,7
		K	30	403,5	22,0	1342,0	61,0	72,2
		O	30	264,0	6,0	1128,0	188,0	101,5
		Razem	120	521,1	6,0	3276,0	546,0	91,1
Suche	Bukowno	H	30	352,5	75,8	669,0	8,8	43,2
		L	30	320,7	88,6	943,8	10,7	74,7
		K	30	292,3	34,4	700,8	20,4	55,9
		O	30	261,7	6,0	590,1	98,4	66,7
		Razem	120	306,8	6,0	943,8	157,3	60,7
	Świerklaniec	H	30	371,7	46,1	1495,8	32,4	81,4
		L	30	361,5	69,4	659,1	9,5	61,8
		K	30	180,7	14,3	590,6	41,3	70,3
		O	30	122,4	3,5	533,8	152,5	99,8
		Razem	120	234,1	3,5	1495,8	427,4	90,7

Objaśnienia: H, L, K, O – jak w tabeli XI.23.1.

istotne statystycznie na przyjętym 5% poziomie istotności (ryc. XI.23.5.). Z analizy wynika ponadto, że w wypadku uprawy założonej w Bukownie ciężar gałęzi sosenek nie zależał od sposobu produkcji materiału sadzeniowego. Wprawdzie masa gałązek drzewek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji była znacznie większa niż niepoddanych temu zabiegowi, a zwłaszcza wyrosłych z sadzonek wyprodukowanych w sposób tradycyjny, jednak ze względu na dużą zmienność tej cechy stwierdzone różnice są statystycznie nieistotne na poziomie $\alpha = 0,05$.

Inaczej było w uprawie założonej w Nadleśnictwie Świerklaniec. Stwierdzone tendencje są wprawdzie podobne do wykazanych w uprawie założonej w Bukownie, jednak różnice w ciężarze gałęzi w zależności od sposobu produkcji materiału sa-



Ryc. XI.23.6. Procentowy udział suchej masy w gałęziach analizowanych sosenek z uprawy doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec dla różnych sposobów produkcji sadzonek (objaśnienia: H, L, K, O jak w tabeli XI.23.1)

dzeniowego były znacznie większe. Średnia masa gałęzi sosenek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji (H i L) była istotnie większa od wyrosłych z sadzonek wyhodowanych w sposób tradycyjny (O), a sosenek zaszczepionych grzybem *H. crustuliniforme* (H) również większa od wyrosłych z sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, lecz niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji (K).

Niezależnie od sposobu produkcji materiału sadzeniowego sucha masa gałęzi stanowi ponad 40% ich ciężaru w stanie świeżym (ryc. XI.23.6.). Z ryciny XI.23.6. wynika ponadto, że dla każdego sposobu produkcji materiału sadzeniowego w gałązkach sosenek z uprawy założonej w Bukownie zawartość suchej masy była o około 5% mniejsza niż rosnących w uprawie założonej w okolicach huty cynku i ołowiu w Miasteczku Śląskim.

Biomasa strzał. Masa świeżych strzał sadzonek z obydwu upraw miała dla każdego sposobu produkcji materiału sadzeniowego bardzo szeroki zakres wartości (tabela XI.23.4.). W uprawie doświadczalnej założonej w Bukownie minimalny ciężar analizowanych strzałek wynosił od 26 (O) do 210 g (L), zaś strzałek najcięższych od 1556 (K) do 2420 g (L). Najmniejszą wielkość uzyskał iloraz skrajnych ciężarów strzałek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *L. bicolor* (11,5), zaś największą (64,5) wyrosłych z sadzonek wyhodowanych sposobem tradycyjnym i wysadzonych z odkrytym systemem korzeniowym. Jeszcze większe zróżnicowanie w ciężarze świeżych strzałek występowało w uprawie założonej w Nadleśnictwie Świerklaniec. Minimalna ich masa wynosiła od 12 (O) do 92 g (L), zaś maksymalna od 1048 (K) do 2260 g (H). Iloraz najcięższej i najlżejszej strzałki wynosił od 22,4 (L) do 93,0 (O).

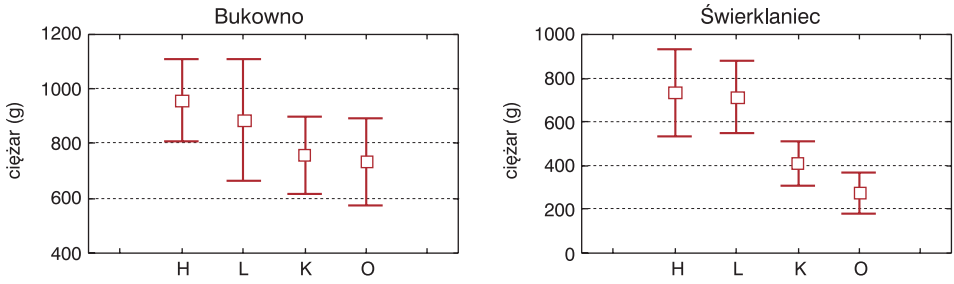
W obydwu uprawach masa strzałek sosenek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji była znacznie większa w porównaniu z sosenkami wyrosłymi z sadzonek niepoddanych takiemu zabiegowi (ryc. XI.23.7.). W wypadku uprawy założonej na wyrobisku piasku w Bukownie różnice, pomimo że były wyraźne, ze względu na dużą zmienność tej cechy okazały się statystycznie nieistotne na przyjętym 5% poziomie istotności. Zachodzące na siebie przedziały ufności określone dla wartości średnich (ryc. XI.23.7.) potwierdzają wynik testowania.

Tabela XI.23.4.
Wybrane statystyki świeżej i suchej masy strzałek sosenek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji (H i L) i niepoddanych temu zabiegowi (K i O) 6-letniej uprawy doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec

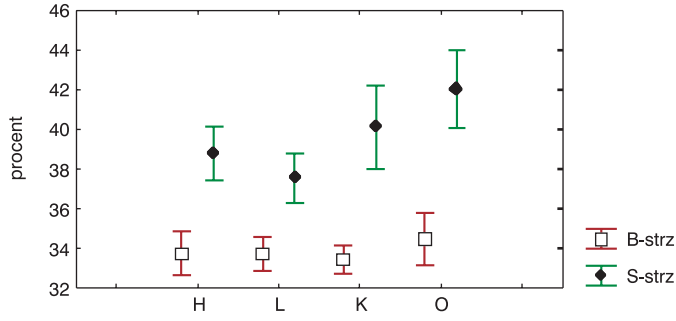
Strzałki	Uprawa	Sposób produkcji sadzonek	Liczba drzew	Ciężar w gramach			max/min	Współczynnik zmienności
				średnia	min	max		
Świeże	Bukowno	H	30	959,1	144,0	1842,0	12,8	41,7
		L	30	888,5	210,0	2420,0	11,5	67,3
		K	30	759,7	94,0	1556,0	16,6	50,1
		O	30	733,6	26,0	1676,0	64,5	58,8
		Razem	120	835,2	26,0	2420,0	93,1	55,6
	Świerklaniec	H	30	734,6	54,0	2260,0	41,8	72,0
		L	30	714,6	92,0	2062,0	22,4	60,8
		K	30	410,0	28,0	1048,0	37,4	67,4
		O	30	276,1	12,0	1116,0	93,0	92,1
		Razem	120	533,8	12,0	2260,0	188,3	81,1
Suche	Bukowno	H	30	316,9	59,1	597,1	10,1	39,8
		L	30	293,5	82,6	789,8	9,6	64,4
		K	30	251,3	31,3	490,3	15,7	47,7
		O	30	251,4	11,7	571,2	48,8	59,7
		Razem	120	278,3	11,7	789,8	67,5	53,8
	Świerklaniec	H	30	274,4	25,4	827,4	32,6	68,4
		L	30	260,0	41,8	745,0	17,8	58,2
		K	30	156,0	17,7	364,3	20,6	62,6
		O	30	108,0	6,5	343,9	52,9	84,0
		Razem	120	199,6	6,5	827,4	127,3	76,6

Objaśnienia: H, L, K, O – jak w tabeli XI.23.1.

Świeża masa strzałek sosenek niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji z uprawy założonej w sąsiedztwie huty cynku i ołowiu w Miasteczku Śląskim była średnio od około 1,7 (K) do około 2,6 (O) razy mniejsza od ciężaru sosenek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji (H i L). Te różnice w biomasie, pomimo dużej jej zmienności, okazały się statystycznie istotne na przyjętym poziomie $\alpha = 0,05$ (tabela XI.23.4., ryc. XI.23.7.). Brak natomiast statystycznie istotnych różnic między średnią wielkością świeżej masy strzałek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* (H) i *L. bicolor* (L), jak również między wyrosłymi z sadzonek wyprodukowanych sposobem tradycyjnym (O) i w kontenerach, ale niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji (K).



Ryc. XI.23.7. Średnie wartości świeżej masy strzałek (z zaznaczonymi 95% przedziałami ufności) analizowanych sosenek w uprawie doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec dla różnych sposobów produkcji sadzonek
(objaśnienia: H, L, K, O jak w tabeli XI.23.1)



Ryc. XI.23.8. Procentowy udział suchej masy w strzałach analizowanych sosenek z uprawy doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec dla różnych sposobów produkcji sadzonek (objaśnienia: H, L, K, O jak w tabeli XI.23.1)

Wykazane związki dotyczą również suchej masy strzałek (tabela XI.23.4.), stanowiącej średnio od 33,4 do 34,5% ich ciężaru w stanie świeżym (uprawa z Bukowna) oraz od 37,6 do 42,0% w wypadku uprawy ze Świerklańca (ryc. XI.23.8.). Zmienność zawartości suchej masy w ciężarze strzałek w stanie świeżym nie jest duża. Współczynnik zmienności wynosi dla poszczególnych sposobów produkcji materiału sadzeniowego uprawy w Bukownie od 5,7 do 10,4%, zaś uprawy w Świerklańcu od 8,8 do 14,0%.

W obydwu uprawach największy udział suchej masy w ciężarze strzałek świeżych stwierdzono u sosenek wyrosłych z sadzonek wyprodukowanych sposobem tradycyjnym. W uprawie założonej w Bukownie wykazane różnice były nieznaczne i, jak się okazało, statystycznie nieistotne. Natomiast w Świerklańcu mniejsza średnio o 4,4% zawartość suchej masy w strzałkach sosenek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *L. bicolor* (L) w porównaniu z wyrosłymi z sadzonek wyprodukowanych sposobem tradycyjnym (O) jest istotna statystycznie na poziomie $\alpha = 0,05$ (ryc. XI.23.8.). Okazało się ponadto, że niezależnie od sposobu pro-

dukcji materiału sadzeniowego zawartość suchej masy w strzałkach sosenek uprawy założonej w Nadleśnictwie Świerklaniec była istotnie większa niż rosnących w uprawie założonej na wyrobisku piasku w Bukownie. Badania nie dostarczyły danych na wyjaśnienie stwierdzonych różnic. Wydaje się, że szczegółowa analiza udziału kory w biomasie strzałek, a przede wszystkim drewna późnego w odkładanym corocznie przyroście grubości ułatwiłoby interpretację uzyskanych wyników.

Biomasa korzeni. Średni ciężar świeżej masy korzenia głównego (palowego) dla każdego sposobu produkcji sadzonek wysadzonych w uprawie założonej na wyrobisku piasku w Bukownie był wyraźnie większy niż w uprawie w Świerklańcu, założonej w okolicach huty metali kolorowych w Miasteczku Śląskim (tabela XI.23.5.).

Tabela XI.23.5.
Wybrane statystyki świeżej masy korzeni sosenek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji (H i L) i niepoddanych temu zabiegowi (K i O) 6-letniej uprawy doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec

Rodzaj części podziemnej	Uprawa	Sposób produkcji sadzonek	Liczba drzew	Średnia	Min	Max	max/min	Współczynnik zmienności
Korzeń główny (palowy)	Bukowno	H	30	231,2	36,0	442,0	12,3	44,9
		L	30	210,4	56,0	754,0	13,5	75,7
		K	30	201,1	24,0	534,0	22,3	58,5
		O	30	214,7	14,0	522,0	37,3	55,6
		Razem	120	214,4	14,0	754,0	53,9	58,6
	Świerklaniec	H	30	184,2	26,0	584,0	22,5	71,4
		L	30	158,4	40,0	436,0	10,9	55,4
		K	30	107,3	26,0	446,0	17,2	76,1
		O	30	126,7	6,0	418,0	69,7	76,9
		Razem	120	145,1	6,0	584,0	97,3	71,9
Cały system korzeniowy	Bukowno	H	30	390,9	59,0	728,4	12,3	44,8
		L	30	357,0	90,3	1084,6	12,0	75,5
		K	30	338,7	53,5	840,0	15,7	54,9
		O	30	341,8	14,0	933,5	66,7	58,9
		Razem	120	357,1	14,0	1084,6	77,5	58,7
	Świerklaniec	H	30	340,3	36,7	1387,9	37,8	79,8
		L	30	267,7	72,6	679,5	9,4	54,1
		K	30	180,6	18,8	602,2	32,0	67,1
		O	30	156,3	8,0	516,0	64,5	85,8
		Razem	120	236,2	8,0	1387,9	173,5	80,8

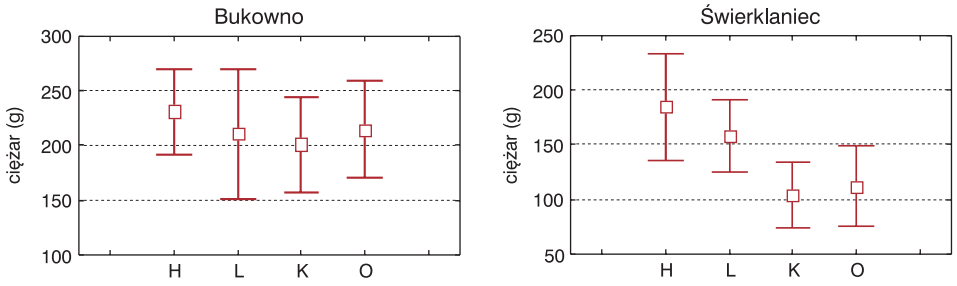
Objaśnienia: H, L, K, O – jak w tabeli XI.23.1.

W pierwszej ciężar ten wynosi od 201,1 do 231,2 g, zaś w drugiej od 107,3 do 184,2 g. Różnice między wartościami średnimi w wypadku sosenek z uprawy w Bukownie były nieznaczne i statystycznie nieistotne. W uprawie w Nadleśnictwie Świerklaniec, położonej w pobliżu huty cynku i ołowiu w Miasteczku Śląskim, średnia masa korzenia palowego sosenek wyrosłych z sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji była natomiast znacznie większa od niepoddanych temu zabiegowi. W wypadku sosenek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* wykazane różnice są na poziomie $\alpha = 0{,}05$ statystycznie istotne (ryc. XI.23.9.). W obydwu uprawach najmniejszą masę miał korzeń główny sosenek wyrosłych z sadzonek wyprodukowanych systemem kontenerowym, ale niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji (K).

Podobnie jak inne komponenty biomasy analizowanych sosenek, również masa ich korzeni palowych we wszystkich analizowanych próbach była cechą o dużej zmienności. Wskazuje na to zarówno rozstęp między wartościami skrajnymi, jak i iloraz tych wartości oraz współczynnik zmienności wynoszący dla poszczególnych grup od 44,9 do 76,9% (tabela XI.23.5.).

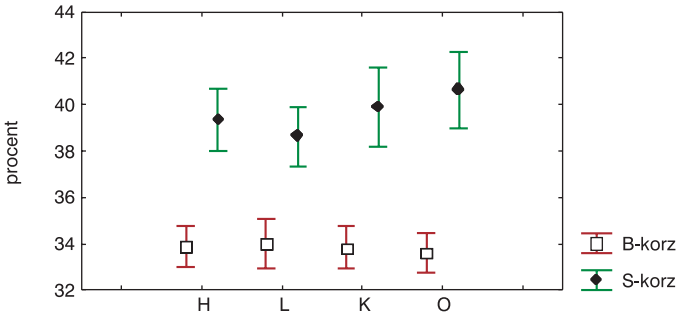
Związki pomiędzy sposobem produkcji materiału sadzeniowego i masą całego systemu korzeniowego analizowanych sosenek nie odbiegają zasadniczo od opisanych wyżej. Należy jednak zaznaczyć, że wyniki dotyczące ciężaru całego systemu korzeniowego należy traktować jako wielkości orientacyjne. Niejednokrotnie, zwłaszcza w wypadku uprawy założonej na wyrobisku piasku w Bukownie, z uwagi na bardzo rozległy zasięg korzeni bocznych (fot. XI.23.3.), splątanych z korzeniami innych, blisko rosnących drzewek, nie można było wydobyć wszystkich korzeni bocznych w obawie o uszkodzenie systemu korzeniowego drzewek sąsiednich.

Sucha masa stanowi od 27,5 do 40,8% świeżego ciężaru korzeni drzewek z uprawy założonej na wyrobisku piasku w Bukownie oraz od 31,5 do 52,8% sosenek z uprawy położonej w sąsiedztwie huty metali kolorowych. Zawartość suchej masy w korzeniach sosenek z uprawy założonej w silnie skażonym środowisku leśnym była średnio o około 6% większa od rosnących w uprawie w Bukownie. Dla każdego sposobu produkcji materiału sadzeniowego stwierdzone różnice są istotne statystycznie (ryc. XI.23.10.).



Ryc. XI.23.9. Średnie wartości świeżej masy korzeni palowych (z zaznaczonymi 95% przedziałami ufności) analizowanych sosenek z uprawy doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec dla różnych sposobów produkcji sadzonek (objaśnienia: H, L, K, O jak w tabeli XI.23.1)

Fot. XI.23.3. Przykład drzewka z bardzo długimi korzeniami bocznymi, wyrosłego z sadzonki poddanej zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *L. bicolor*, w uprawie w Bukownie (B/L/2/9) – korzeń zerwany w odległości 3,8 m od pnia, grubość w miejscu zerwania około 3 mm



Ryc. XI.23.10. Procentowy udział suchej masy korzeni analizowanych sosenek z uprawy doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec dla różnych sposobów produkcji sadzonek (objaśnienia: H, L, K, O jak w tabeli XI.23.1)

Udział komponentów w całkowitej biomasie analizowanych sosenek. Świeża masa analizowanych sosenek zawiera się w granicach od 45 aż do 10 647 g (tabela XI.23.6.). Sosenki poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji były znacznie cięższe od niepoddanych temu zabiegowi. Największą masę mają drzewka mikoryzowane grzybem *H. crustuliniforme*. W uprawie założonej na wyrobisku piasku w Bukownie były one średnio o 6,7% cięższe od mikoryzowanych grzybem *L. bicolor*, o 18,0% od wyhodowanych systemem kontenerowym, ale niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji i aż o około 25% od wyrosłych z sadzonek ze szkółki gruntowej, wysadzonych z odkrytym systemem korzeniowym (tabela XI.23.6.).

W uprawie nr 6/2000 w Nadleśnictwie Świerklaniec, założonej w pobliżu huty metali kolorowych w Miasteczku Śląskim, różnice w biomasie drzew były znacznie większe. Średnia masa drzewek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* była bowiem większa od mikoryzowanych grzybem *L. bicolor* o około 22%, od wyprodukowanych w kontenerach i wysadzonych z zakrytym systemem korzeniowym, ale niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji o ponad 84% i aż o 161% od sosenek wyrosłych z sadzonek ze szkółki gruntowej, wysadzonych z odkrytym systemem korzeniowym (ryc. XI.23.11.).

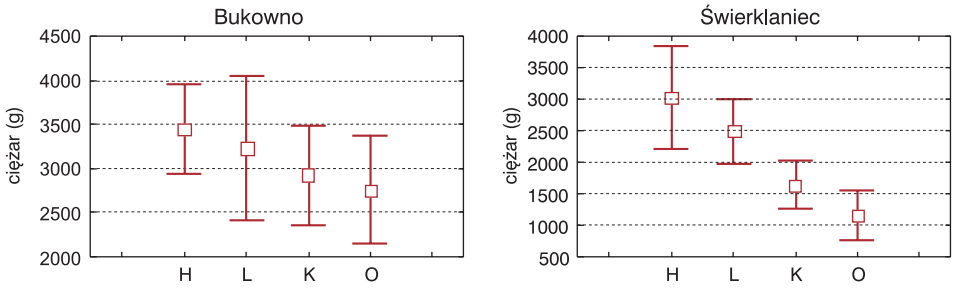
Tabela XI.23.6.
Wybrane statystyki świeżej i suchej masy sosenek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji (H i L) i niepoddanych temu zabiegowi (K i O) 6-letniej uprawy doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec

Drzewa	Uprawa	Sposób produkcji sadzonek	Liczba drzew	Średnia	Min	Max	max/min	Współczynnik zmienności
Świeża masa	Bukowno	H	30	3451,1	696,0	6318,6	9,1	39,5
		L	30	3234,4	1039,5	8944,3	8,6	68,2
		K	30	2924,4	464,8	7238,0	15,6	51,3
		O	30	2762,0	103,0	5947,5	57,7	58,6
		Razem	120	3093,0	103,0	8944,3	86,8	55,0
	Świerklaniec	H	30	3022,5	375,7	10646,9	28,3	72,3
		L	30	2481,9	606,8	6328,5	10,4	54,6
		K	30	1639,2	110,8	4434,2	40,0	62,6
		O	30	1157,9	45,0	4093,0	91,0	89,8
		Razem	120	2075,9	45,0	10646,9	236,6	75,6
Sucha masa	Bukowno	H	30	1293,6	287,7	2354,6	8,2	38,9
		L	30	1180,1	403,3	3150,7	7,8	65,8
		K	30	1071,5	162,2	2462,5	15,2	49,9
		O	30	1032,9	45,6	2241,7	49,2	55,2
		Razem	120	1144,5	45,6	3150,7	69,1	53,8
	Świerklaniec	H	30	1230,3	166,8	4374,1	26,2	72,2
		L	30	986,4	288,5	2480,3	8,6	57,7
		K	30	664,8	61,1	1814,6	29,7	60,9
		O	30	477,6	23,2	1778,4	76,7	88,3
		Razem	120	839,8	23,2	4374,1	188,5	78,0

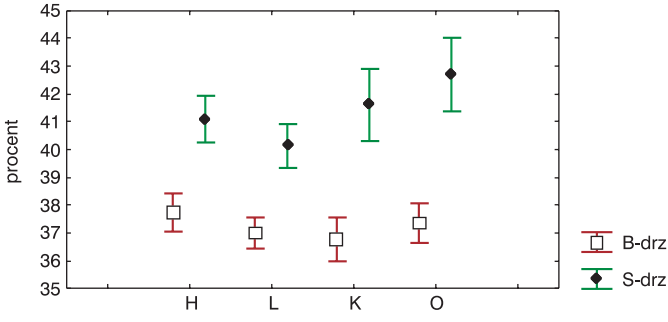
Objaśnienia: H, L, K, O – jak w tabeli XI.23.1.

Wykazane zależności między świeżym ciężarem sosenek wyrosłych z sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji i niepoddanych temu zabiegowi są adekwatne także dla ich ciężaru w stanie suchym. Zawartość suchej masy w sosenkach rosnących zarówno w uprawie założonej w Bukownie (wynosząca od 36,8 do 37,7%) jak i w Nadleśnictwie Świerklaniec (od 40,1 do 42,7%) ze statystycznego punktu widzenia nie zależy od sposobu produkcji materiału sadzeniowego. Istotny wpływ na jej udział ma natomiast położenie uprawy (ryc. XI.23.12.).

W ogólnej świeżej biomasie analizowanych sosenek, niezależnie od położenia uprawy, zasadniczą część stanowiła masa igliwia. Średni jego udział w ciężarze drzewek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji i niepoddanych temu zabie-



Ryc. XI.23.11. Średnie wartości świeżej masy (z zaznaczonymi 95% przedziałami ufności) analizowanych sosenek z uprawy doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec dla różnych sposobów produkcji sadzonek
(objaśnienia: H, L, K, O jak w tabeli XI.23.1.)



Ryc. XI.23.12. Procentowy udział suchej masy (z zaznaczonymi 95% przedziałami ufności) analizowanych sosenek z uprawy doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec dla różnych sposobów produkcji sadzonek
(objaśnienia: H, L, K, O jak w tabeli XI.23.1.)

gowi, rosnących w uprawie założonej w Bukownie wynosił od 37,1 do 39,2%, zaś w uprawie położonej w pobliżu huty cynku i ołowiu w Miasteczku Śląskim od 37,9 do 41,0% (tabela XI.23.7.). W wypadku pojedynczych drzew igliwie stanowiło od 26,1 aż do 54,9% ich ciężaru. Masa drewna strzał była tylko nieznacznie większa od masy gałęzi. Średni udział drewna strzał wahał się od 24,5 do 28,0%, zaś udział gałęzi od 20,2 do 26,2%. Z danych zestawionych w tabeli XI.23.7. wynika, że udział systemu korzeniowego w biomasie sześcioletnich sosen poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji oraz wyhodowanych systemem kontenerowym, ale niepoddanych temu zabiegowi, wynosi około 11%. Nieznacznie większy udział w ogólnej biomasie miał system korzeniowy sosenek wyrosłych z sadzonek wyprodukowanych w szkółce gruntowej w sposób tradycyjny.

Tabela XI.23.7.
Procentowy udział strzał, gałęzi, igliwia i korzeni w świeżej biomasie 6-letnich sosenek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji (H i L) i niepoddanych temu zabiegowi (K i O) uprawy doświadczalnej w Bukownie i Nadleśnictwie Świerklaniec

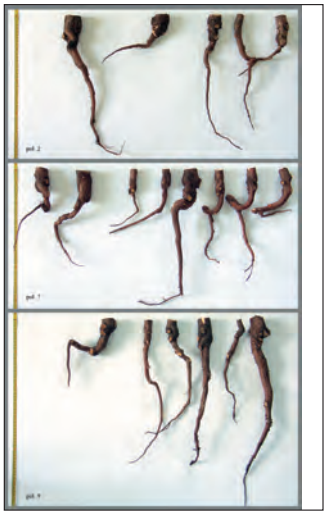
Uprawa	Sposób produkcji sadzonek	Strzały			Gałęzie			Igliwie			Korzenie		
		średnia	min	max	średnia	min	max	średnia	min	max	średnia	min	max
Bukowno	H	27,7	17,8	36,1	24,1	19,2	30,6	37,1	30,5	46,0	11,1	7,4	15,1
	L	27,8	19,2	35,3	23,9	19,1	30,6	37,6	27,6	44,6	10,7	7,7	15,0
	K	26,0	16,5	35,3	24,5	18,8	32,3	38,2	29,7	49,3	11,3	7,6	15,8
	O	26,5	16,0	34,2	21,7	9,7	29,2	39,2	31,8	51,5	12,6	9,3	16,5
	Razem	27,0	16,0	36,1	23,5	9,7	32,3	38,0	27,6	51,5	11,5	7,4	16,5
Świerklaniec	H	24,5	14,4	39,5	26,2	16,8	34,3	38,0	28,6	51,4	11,3	7,3	21,2
	L	28,0	11,3	38,8	23,2	16,8	30,6	37,9	26,1	53,4	10,9	8,2	15,8
	K	24,5	11,5	33,4	24,2	17,9	32,6	39,9	27,8	49,7	11,2	7,3	17,4
	O	24,6	11,8	40,4	20,2	11,5	28,6	41,0	26,7	54,9	14,2	9,5	19,0
	Razem	25,4	11,3	40,4	23,4	11,5	28,6	39,2	26,1	54,9	11,9	7,3	21,2

Objaśnienia: H, L, K, O – jak w tabeli XI.23.1.

Uwagi końcowe

Obiektywność oceny wpływu sposobu produkcji materiału sadzeniowego na procesy wzrostu i rozwoju drzew w pierwszych latach ich życia wymaga spełnienia wielu warunków. Za minimalne wymaganie należy uznać jednorodność warunków wzrostu na całym obszarze zakładanych upraw doświadczalnych. Ze szczegółowych badań siedliskowo-glebowych przed podjęciem decyzji o lokalizacji uprawy wynika, że warunek ten został spełniony (Krzaklewski i in. 2000). Drugie, oczywiste wymaganie dotyczy właściwego przygotowania gleby oraz poprawnego posadzenia sadzonek w odpowiednim terminie.

Przyjęcie bez zastrzeżeń, że wymagania te zostały spełnione, stanowiło nieodzowny warunek podjęcia badań nad wpływem sposobu produkcji materiału sadzeniowego na wielkość biomasy sosny w wieku 6 lat, rosnącej w uprawie doświadczalnej założonej na wyrobisku piasku w Bukownie i w Nadleśnictwie Świerklaniec, w warunkach silnych skażeń przemysłowych. Tylko w takim wypadku można mówić o wyłącznym wpływie badanego czynnika, jakim jest sposób produkcji materiału sadzeniowego na wielkość poszczególnych komponentów biomasy sosenek w wymienionych uprawach.



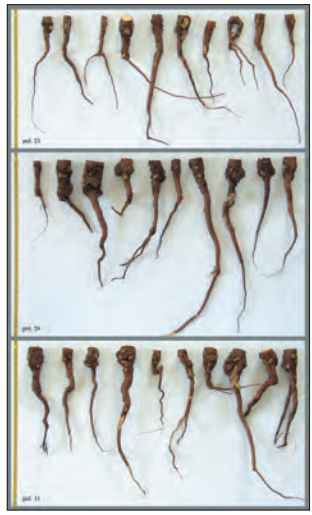
Fot. XI.23.4. Korzenie główne (palowe) sosenek wylosowanych z poletka 2, 7 i 9 uprawy doświadczalnej nr 5/2000, wyrosłe z sadzonek wyhodowanych w szkółce gruntowej i wysadzonych z odkrytym systemem korzeniowym

Fot. XI.23.5. Korzenie główne (palowe) sosenek wylosowanych z poletka 23, 28 i 30 uprawy doświadczalnej nr 6/2000, wyrosłe z sadzonek wyhodowanych w szkółce gruntowej i wysadzonych z odkrytym systemem korzeniowym

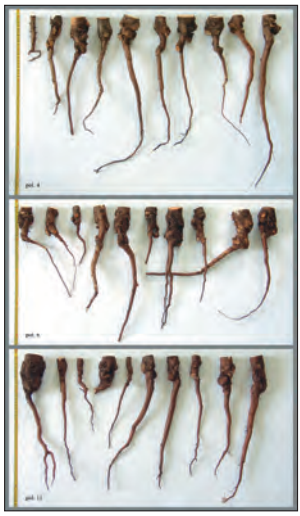
Fot. XI.23.6. Korzenie główne (palowe) sosenek wylosowanych z poletka 1, 3 i 8 uprawy doświadczalnej nr 5/2000, wyrosłe z sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*

Fot. XI.23.7. Korzenie główne (palowe) sosenek wylosowanych z poletka 24, 26 i 31 uprawy doświadczalnej nr 6/2000, wyrosłe z sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*

Fot. XI.23.8. Korzenie główne (palowe) sosenek wylosowanych z poletka 5, 10 i 12 uprawy doświadczalnej nr 5/2000, wyrosłe z sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *L. bicolor*



Fot. XI.23.9. Korzenie główne (palowe) sosenek wylosowanych z poletka 23, 26 i 31 uprawy doświadczalnej nr 6/2000, wyrosłe z sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *L. bicolor*



Fot. XI.23.10. Korzenie główne (palowe) sosenek wylosowanych z poletka 4, 6 i 11 uprawy doświadczalnej nr 5/2000, wyrosłe z sadzonek wyhodowanych w szkółce kontenerowej, lecz niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji

Fot. XI.23.11. Korzenie główne (palowe) sosenek wylosowanych z poletka 25, 27 i 32 uprawy doświadczalnej nr 6/2000, wyrosłe z sadzonek wyhodowanych w szkółce kontenerowej, lecz niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji

Wygląd korzeni palowych wylosowanych do badań drzewek zdaje się podważać słuszność przyjętego założenia o właściwym posadzeniu sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym (fot. XI.23.4. i XI.23.5.). W obydwu uprawach większość analizowanych sosenek wyrosłych z sadzonek wyhodowanych w sposób tradycyjny i wysadzonych z odkrytym systemem korzeniowym miała zdeformowany korzeń główny (palowy). Wskazuje to jednoznacznie na błędy popełnione przy zakładaniu uprawy, polegające na posadzeniu sadzonek z podwiniętym systemem korzeniowym. Błędy popełnione przy zakładaniu upraw miały niewątpliwy wpływ nie tylko na jej udatność, ale także wymiary i biomasę rosnących drzew. Na obecnym etapie badań ustalenie skali tego wpływu na wielkość biomasy drzew nie było jednak możliwe.

Przy sadzeniu sadzonek wyprodukowanych w szkółce kontenerowej i wysadzanych z bryłką substratu hodowlanego, opisanego wyżej błędu nie można popełnić. Sosenki wyrosłe z takich sadzonek, zarówno poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji (fot. XI.23.6.–XI.23.9.) jak i niepoddane takiemu zabiegowi (fot. XI.23.10.–XI.23.11.) w większości mają dobrze rozwinięty korzeń palowy. W wielu wypadkach jest on jednak nadmiernie rozrośnięty w miejscu bryłki z substratem hodowlanym.

24. Aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy zewnętrznej powierzchni korzeni mikoryzowych sadzonek sosny zwyczajnej, jak też fosfataz w glebie strefy ryzosferowej oraz pozaryzosferowej w uprawach na rekultywowanym wyrobisku piasku i w terenie silnie skażonym imisjami przemysłowymi

Dr hab. inż. Kazimierz Januszek, prof. AR
mgr inż. Ewa Błońska,
Katedra Gleboznawstwa Leśnego Akademii Rolniczej w Krakowie, al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Wprowadzenie

Aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy powierzchni korzeni ektomikoryzowych może być przydatna w ocenie dostępnego dla roślin fosforu w glebie. Wobec licznych dowodów na derepresję syntezy fosfataz w warunkach deficytu fosforu *in vitro* (Nannipieri i in. 1978), Aleksander i Hardy (1981) udokumentowali to zjawisko w warunkach polowych, otrzymując odwrotną korelację między aktywnością fosfatazy korzeni mikoryzowych świerka i koncentracją fosforu nieorganicznego w glebie, z której korzenie zostały wydobyte. Aktywność kwaśnej fosfomonoeste-

razy powierzchni korzeni ektomikoryzowych wydaje się być trafnym bioindykacyjnym testem pomocnym w ocenie warunków zanieczyszczenia przemysłowego środowiska (Rejšek 1991, Januszek i Januszek 2000).

Aktywność enzymów glebowych uważana jest za czuły wskaźnik oddziaływania czynników stresowych na środowisko glebowe, dlatego powszechnie używana jest do oceny stopnia zanieczyszczenia środowiska (Kiss 1997). Tyler (1976) stwierdził ujemną korelację między aktywnością fosfataz a koncentracją Zn i Cu w próchnicy typu mor gleb leśnych Szwecji i przedstawił mapę izolinii redukcji aktywności fosfataz w próchnicy mor gleb lasów świerkowych, w promieniu 4 km wokół fabryki brązu w Gusum na terenie Szwecji (Tyler 1975). Aktywność fosfataz w glebach została włączona jako jedna z właściwości monitoringu środowiska w Szwecji (Monitor 1990). W okresie klęski ekologicznej w Sudetach Zachodnich, w latach 1986–1988 porównano aktywność enzymatyczną w próchnicy typu mor gleb świerczyn Sudetów Zachodnich i Tatr na podłożu krystalicznym. W próchnicy gleb Sudetów Zachodnich w porównaniu z próchnicą tatrzańską stwierdzono statystycznie istotnie większą aktywność dehydrogenaz, inwertazy, ureazy oraz celulazy i istotnie mniejszą fosfataz (Januszek 1992, 1994).

Termin ryzosfera obejmuje strefę gleby, gdzie wydzieliny uwalniane z korzeni roślin mogą stymulować, hamować lub nie mieć wpływu na aktywność glebowych mikroorganizmów. Od 30 do 60% fotosyntetycznie wiązanego węgla może być przetransportowana do korzeni, a znaczna z tego porcja (40%) stanowić ryzodepozycję (Pinton i in. 2000). Obecność przyswajalnego węgla w glebie strefy ryzosferowej może stabilizować rozwój mikroorganizmów. Lynch (1982) uważa za prawdopodobne występowanie wszystkich składników komórek w ryzosferze. Liczba propagul mikroorganizmów w glebie strefy ryzosferowej może sięgać 109–1012 w jednym gramie (Pinton i in. 2000). Ryzosfera nie ma fizycznie precyzyjnie wytyczonych granic. Jej objętość zależy od wydajności wydzielin i odporności utylizacyjnej ryzodepozycji (Pinton i in. 2000). Według Burns'a (1985) rozmiary efektu ryzosferowego mogą mieć zakres od jednego milimetra w przypadku młodych, jednorocznych roślin, do wielu centymetrów u dojrzałych roślin z rozległym systemem korzeniowym.

Aktywności enzymatyczne w glebie strefy ryzosferowej są generalnie większe niż w glebie pozaryzosferowej. Szczególnie dużą aktywność w glebie strefy ryzosferowej (mikoryzosferowej) w porównaniu z glebą strefy pozaryzosferowej wykazują fosfatazy. Aktywność kwaśnej fosfatazy w glebie ryzoplanu 80-letnich drzew świerka pospolitego w Badenii-Wirtembergii była 2–2,5-krotnie większa w porównaniu z glebą pozaryzosferową (Häusling, Marschner 1989). Stosunek aktywności fosfataz w glebie ryzosferowej do niej w glebie pozaryzosferowej na gruntach porolnych w Karpatach fliszowych wynosił u olszy szarej 1,94:1, a u sosny zwyczajnej 2,92:1 (Januszek 1993). Fox i Comerfold (1992) stwierdzili w doświadczeniu wazonowym większą aktywność kwaśnej fosfatazy w glebie ryzosferowej sosny (*Pinus elliotii*) w porównaniu z pozaryzosferową, przy czym różnica w poziomie Bh była ponad 5-krotna.

Celem pracy było zbadanie aktywności kwaśnej fosfomonoesterazy zewnętrznej powierzchni korzeni ektomikoryzowych u sadzonek sosny zwyczajnej, które

przed posadzeniem na uprawach były poddane i niepoddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji z grzybem *Hebeloma crustuliniforme* lub *Laccaria bicolor*.

Materiał badawczy i metody

Do badań wytypowano dwie sześcioletnie uprawy doświadczalne sosny zwyczajnej, założone przez Szablę (2004) systemem bloków losowanych. Obie uprawy założono w 2000 r. z tym, że jedną (nr 5/2000) na terenie Nadleśnictwa Chrzanów, leśnictwo Bukowno, w oddz. 62B, a drugą (nr 6/2000) na terenie Nadleśnictwa Świerklaniec, leśnictwo Żyglinek, w oddz. 112d. Diagnostyka gleb i siedlisk na badanych powierzchniach została opracowana przez zespół naukowy pod kierunkiem prof. dr. hab. Wojciecha Krzaklewskiego (2000). Na podstawie tych badań stwierdzono występowanie na pierwszej badanej powierzchni (nr 5/2000) industrioziemu o niewykształconym profilu (Urbic Regosol), zbudowanego z piasku luźnego w obrębie piasków fluwioglacjalnych. Druga powierzchnia (nr 6/2000) została założona na zrębie leśnym w III strefie uszkodzeń przemysłowych w sąsiedztwie huty cynku i ołowiu w Miasteczku Śląskim. Na tej powierzchni stwierdzono występowanie gleby rdzawej bielicowej (Albic Arenosol), wykształconej z piasku słabogliniastego, zalegającego na piasku luźnym w obrębie piasków fluwioglacjalnych.

Na każdej powierzchni doświadczalnej wysadzono sadzonki sosny zwyczajnej w 4 kombinacjach, każda w trzech powtórzeniach:

- sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* (H.c.),
- sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Laccaria bicolor* (L.b.),
- sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym niepoddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji (k),
- sadzonki z odkrytym systemem korzeniowym ze szkółki gruntowej (o.s.k.).

Materiał do badań z powierzchni doświadczalnej nr 5/2000 (Chrzanów) pozyskiwano od 16 do 18.08.2005, natomiast z powierzchni doświadczalnej nr 6/2000 (Świerklaniec) od 5 do 6.09.2005. Do badań pobierano końcowe partie korzeni 10 sadzonek rozmieszczonych równomiernie na całym poletku. Do badań przeznaczano kolejną N/10-tą żywą sadzonkę (N – ilość żywych sadzonek na poletku). Odcięte końcowe partie korzeni wkładano do pojemników plastikowych, przysypując je glebą z miejsca pobierania. Łącznie do badań pobrano z każdej kombinacji 30 próbek korzeni, a ogółem z każdej powierzchni po 120 próbek korzeni.

Z obydwu powierzchni doświadczalnych pobierano również do badań glebę ze strefy ryzosferowej. Z odciętych końcowych partii korzeni otrząsano glebę związaną z zakończeniami korzeni. W trakcie pozyskiwania gleby ryzosferowej starano się, aby średnica warstwy gleby pozostająca wokół końcowych partii korzeni nie była grubsza niż 5 mm. Z każdego poletka powierzchni nr 5/2000 glebę ryzosferową pobierano z 4 sadzonek rozmieszczonych równomiernie na powierzchni. Równocześnie pobierano do badań 4 próbki gleby pozaryzosferowej, nieprzerośniętej korzeniami żadnych roślin. Z każdej kombinacji na powierzchni doświadczalnej nr 5/2000 pobrano do badań po 12 próbek gleby ryzosferowej i pozaryzosferowej.

Łącznie do badań z powierzchni doświadczalnej nr 5/2000 pobrano 48 próbek gleby ryzosferowej i 48 próbek gleby pozaryzosferowej. Z powierzchni doświadczalnej 6/2000 pobrano do badań po 5 próbek gleby ryzosferowej (z co drugiego drzewka wylosowanego do badań na poletku) i po 5 próbek gleby pozaryzosferowej z każdego poletka, a z każdej kombinacji po 15 próbek. Łącznie z powierzchni nr 6/2000 pobrano do badań 60 próbek gleby ryzosferowej i 60 próbek gleby pozaryzosferowej. Bezpośrednio po pobraniu próbki korzeni i gleb przechowywano w chłodni, w temperaturze 4°C.

Pobrane próbki korzeni bezpośrednio przed analizą opłukiwano w wodzie bieżącej, w celu pozbycia się cząstek gleby, a następnie w wodzie destylowanej. Zmoczone korzenie osuszano delikatnie bibułą filtracyjną. Z końcowej partii żywych, pogrubionych zakończeń korzeni, wizualnie ektomikoryzowych, odcinano końcówki o masie ściśle określonej – około 50 mg. W tak przygotowanych próbkach oznaczano aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy, metodą opisaną we wcześniejszej publikacji (Januszek, Błońska 2007 L.c.). Aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy przeliczano na 50 mg korzeni i wyrażano ją w μg p-nitro-fenolu (pNF) 50 mg korzeni^{-1} 1 godz.$^{-1}$.

Pozyskane próbki gleby ryzosferowej i pozaryzosferowej przesiewano przez sito o średnicy oczek 2 mm. W tak przygotowanych próbkach oznaczano aktywność fosfataz metodą Kramera i Erdei (1959). Oznaczoną aktywność fosfataz przeliczano na absolutnie suchą masę gleby, po uwzględnieniu jej wilgotności oznaczonej w każdej próbce metodą grawimetryczną. Aktywność fosfataz wyrażano w mg fenolu 5 g gleby^{-1} 2 godz.$^{-1}$.

W pobranych próbkach gleb, po wysuszeniu ich do stanu powietrznie suchego, oznaczano pH w wodzie i w 1M roztworze KCl. Próbki gleb ze strefy ryzosferowej, podobnie jak i ze strefy pozaryzosferowej, pozyskane z każdego poletka, łączono w równych objętościowo proporcjach i po dokładnym ich wymieszaniu oznaczano w nich koncentrację C organicznego metodą oksydometryczną Tiurina w modyfikacji Katedry Gleboznawstwa AR w Krakowie.

Do stwierdzenia istotności wpływu rodzaju wysadzanych sadzonek na aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy korzeni mikoryzowych, aktywności fosfataz w glebie ryzosferowej i pozaryzosferowej oraz pH gleby ryzosferowej stosowano analizę wariancji, po sprawdzeniu jednorodności wariancji testem Levene'a. Aby stwierdzić istotność różnic między poszczególnymi badanymi kombinacjami, stosowano test najmniejszej istotnej różnicy (NIR). W celu porównania rozkładów badanych właściwości między badanymi powierzchniami zastosowano nieparametryczny test Kołmogorowa i Smirnowa. Gwiazdki przy symbolach kombinacji oznaczają istotność rozkładów na poziomie: * – $0{,}01<p<0{,}05$; ** – $0{,}001>p>0{,}01$; *** – $p<0{,}001$.

Omówienie wyników badań

Na podstawie testu NIR stwierdzono istotne różnice w aktywności kwaśnej fosfomonoesterazy zewnętrznej powierzchni korzeni mikoryzowych (AKFZPKM) sadzonek sosny na powierzchni nr 5/2000 w Chrzanowie. Istotnie wiekszą AKFZPKM wykazały sadzonki, które przed wysadzeniem na uprawy poddane były

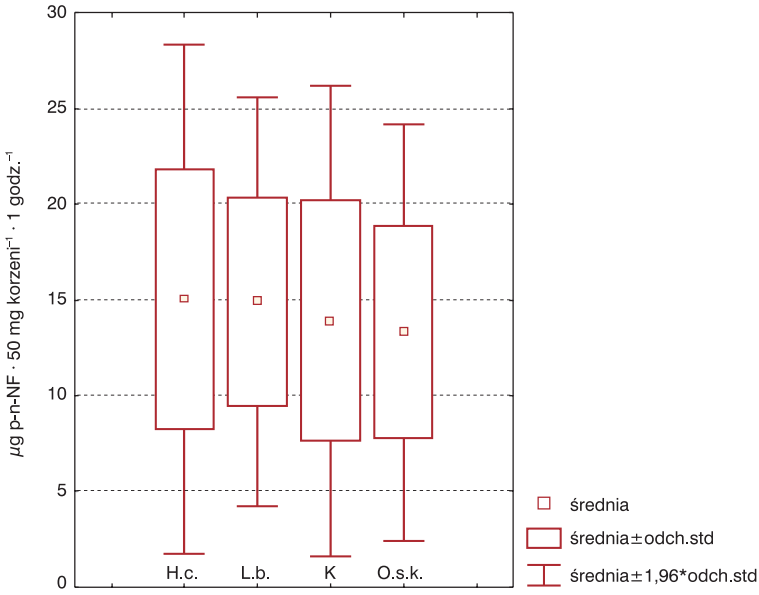
zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *L. bicolor* w porównaniu z AKFZPKM sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* oraz sadzonek posadzonych na uprawach z odkrytym systemem korzeniowym (ryc. XI.24.1.). Na powierzchni nr 6/2000 w Świerklańcu (AKFZPKM) sosna zwyczajna nie była istotnie zróżnicowana w badanych kombinacjach (ryc. XI.24.2.). Istotnie statystycznie wiekszą AKFZPKM sadzonek sosny zwyczajnej stwierdzono na powierzchni doświadczalnej w Chrzanowie niż w Świerklańcu (ryc. XI.24.1. i XI.24.2.). Najmniejszą różnicę w AKFZPKM między tymi powierzchniami stwierdzono w wypadku sadzonek sosny zwyczajnej, które przed wysadzeniem na uprawy poddane były zabiegowi sterowanej mikoryzacji z grzybem *H. crustuliniforme*, a największą w przypadku sadzonek mikoryzowanyh grzybem *L. bicolor* (tabela XI.24.1.). Różnice były bardziej istotne statystycznie w wypadku sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji (k) i sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym ze szkółki gruntowej (o.s.k.) – tabela XI.24.1.

Oznaczoną aktywność fosfataz w glebie metodą Kramera i Erdei należy traktować jako ogólną aktywność fosfataz w glebie powodujących hydrolizę fenylofosforanu dwusodowego. Aktywności fosfataz (AF) w glebie ryzosferowej sadzonek sosny zwyczajnej poszczególnych kombinacji doświadczalnych nie były zróżnicowane istotnie statystycznie (ryc. XI.24.3. i XI.24.4.). We wszystkich kombinacjach, zarówno na powierzchni doświadczalnej w Chrzanowie jak i w Świerklańcu, stwierdzono istotnie mniejszą aktywność fosfataz w glebie pozaryzosferowej niż w ryzosferowej (ryc. XI.24.3. i XI.24.4.). Największą wartość stosunku AF w glebie ryzosferowej w odniesieniu do AF w glebie pozaryzosferowej stwierdzono w wypadku sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme*, który na powierzchni doświadczalnej w Chrzanowie i Świerklańcu wynosił odpowiednio: 3,3 i 2,8, a najmniejszą w wypadku sadzonek, które były sadzone na uprawach z zakrytym systemem korzeniowym, ale bez zabiegu sterowanej mikoryzacji, wynoszszącym odpowiednio: 1,5 i 2,1 (tabela XI.24.2.). W wypadku sadzonek mikoryzowanych grzybem

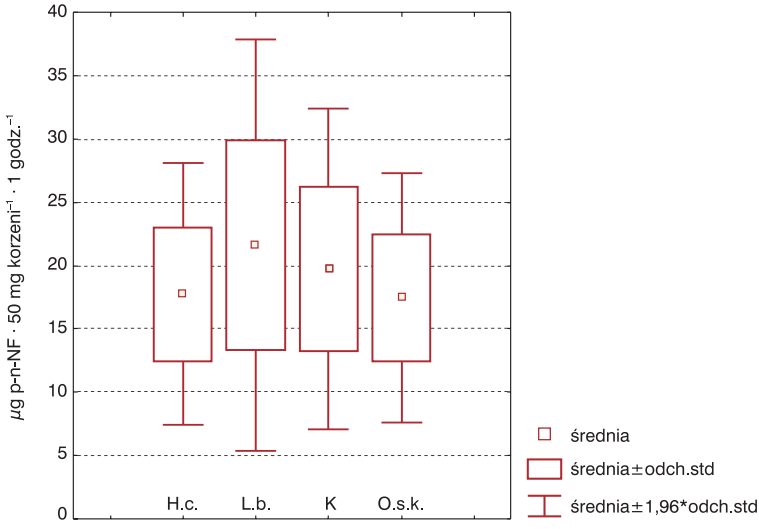
Tabela XI.24.1.
Różnica w aktywności kwaśnej fosfomonoesterazy zewnętrznej powierzchni korzeni mikoryzowych (AKFPKM) sadzonek sosny zwyczajnej, poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor* z uprawy doświadczalnej w Nadleśnictwie Chrzanów i Świerklaniec, wyrażona w procentach w odniesieniu do aktywności na powierzchni w Chrzanowie

Różnica w AKFPKM	Kombinacje doświadczalne			
	H.c.*	L.b.*	K**	O.s.k.**
%	15	31	30	23

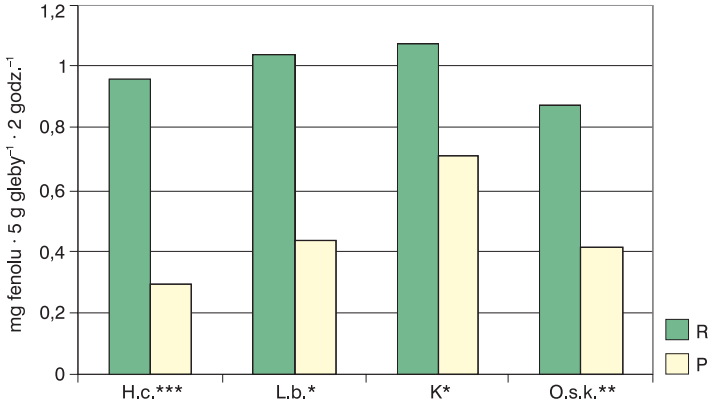
H.c. – sadzonki poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* w szkółce kontenerowej;
L.b. – sadzonki poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Laccaria bicolor* w szkółce kontenerowej;
K – sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym niepoddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji;
O.s.k. – sadzonki z odkrytym systemem korzeniowym ze szkółki gruntowej.



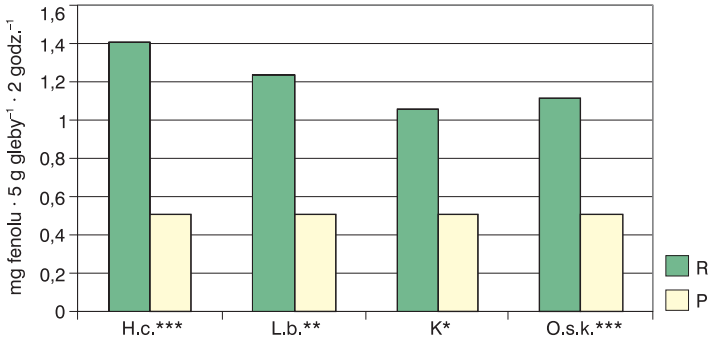
Ryc. XI.24.1. Aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy zewnętrznej powierzchni korzeni mikoryzowych sadzonek sosny zwyczajnej z uprawy doświadczalnej w Chrzanowie, poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji z grzybem *H. crustuliniforme* i *L. bicolor* (objaśnienia: H.c., L.b., K, O.s.k. jak w tab. XI.24.1.)



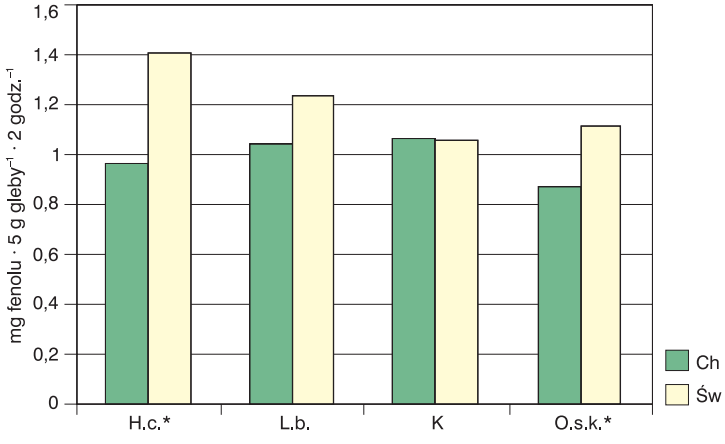
Ryc. XI.24.2. Aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy zewnętrznej powierzchni korzeni mikoryzowych sadzonek sosny zwyczajnej z uprawy doświadczalnej w Świerklańcu, poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji z grzybem *H. crustuliniforme* i *L. bicolor* (objaśnienia: H.c., L.b., K, O.s.k. jak w tab. XI.24.1.)



Ryc. XI.24.3. Aktywność fosfataz w glebie strefy ryzosferowej (R) oraz w glebie pozaryzosferowej (P) sadzonek sosny zwyczajnej z uprawy na powierzchni doświadczalnej w Chrzanowie (objaśnienia: H.c., L.b., K, O.s.k. jak w tab. XI.24.1.)



Ryc. XI.24.4. Aktywność fosfataz w glebie strefy ryzosferowej (R) oraz w glebie pozaryzosferowej (P) sadzonek sosny zwyczajnej z uprawy na powierzchni doświadczalnej w Świerklańcu (objaśnienia: H.c., L.b., K, O.s.k. jak w tab. XI.24.1.)



Ryc. XI.24.5. Aktywność fosfataz w glebie strefy ryzosferowej (R) sadzonek sosny zwyczajnej z uprawy na powierzchni doświadczalnej w Chrzanowie (Ch) i Świerklańcu (Św) – (objaśnienia: H.c., L.b., K, O.s.k. jak w tab. XI.24.1.)

Tabela XI.24.2.
Stosunek aktywności fosfataz w glebie strefy ryzosferowej do aktywności fosfataz w glebie pozaryzosferowej sadzonek sosny zwyczajnej poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor* z uprawy doświadczalnej w Nadleśnictwie Chrzanów i Świerklaniec

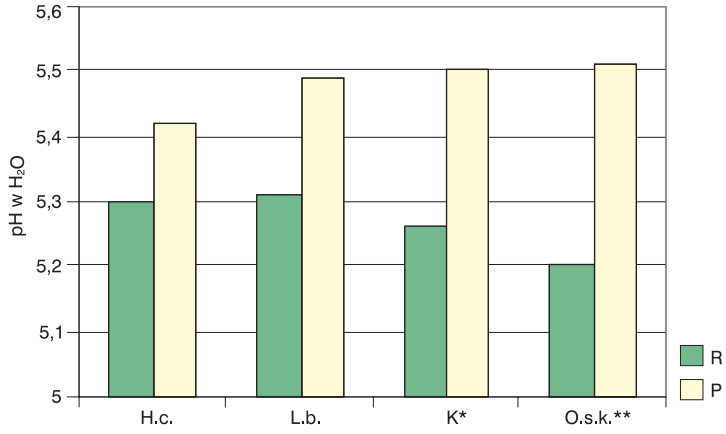
Powierzchnia doświadczalna	Kombinacje doświadczalne			
	H.c.	L.b.	K	O.s.k.
Chrzanów	3,3	2,4	1,5	2,1
Świerklaniec	2,8	2,5	2,1	2,2

Oznaczenia jak w tabeli XI.24.1.

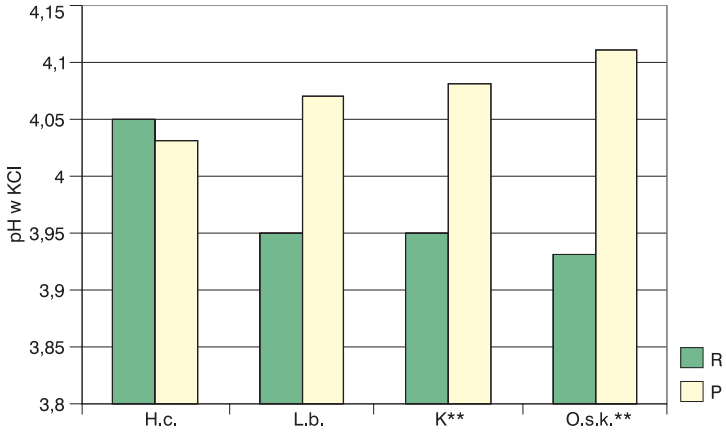
H. crustuliniforme oraz sadzonek z okrytym systemem korzeniowym bez sterowanej mikoryzacji istotnie większą aktywność fosfataz w glebie ryzosferowej stwierdzono na powierzchni doświadczalnej w Świerklańcu niż w Chrzanowie (ryc. XI.24.5.). W pozostałych kombinacjach doświadczalnych nie odnotowano istotnych różnic w AF w glebie ryzosferowej między badanymi powierzchniami. Przyczyną takiego stanu może być indywidualna zdolność grzyba do wydzielania fosfataz, większa aktywność fosfataz w glebie pozaryzosferowej na powierzchni w Świerklańcu niż w Chrzanowie (średnia aktywność odpowiednio: 0,5 i 0,46 mg fenolu/5 g gleby/2 godz.) lub większy głód fosforowy na powierzchni w Świerklańcu niż w Chrzanowie.

Odczyn gleby ryzosferowej oraz pozaryzosferowej na powierzchni w Chrzanowie był silnie kwaśny, natomiast na powierzchni w Świerklańcu bardzo silnie kwaśny (ryc. od XI.24.6. do XI.24.9.). Gleba ryzosferowa w porównaniu z pozaryzosferową była istotnie statystycznie bardziej zakwaszona w wypadku sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, ale bez zabiegu sterowanej mikoryzacji (k) i sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym (o.s.k.) na powierzchni w Chrzanowie (ryc. XI.24.6. i XI.24.7.), a na powierzchni w Świerklańcu w wypadku pH gleby w H_2O sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* (ryc. XI.24.8.), gdzie stwierdzono największą różnicę wynoszącą 0,32 jednostki pH (tabela XI.24.3.).

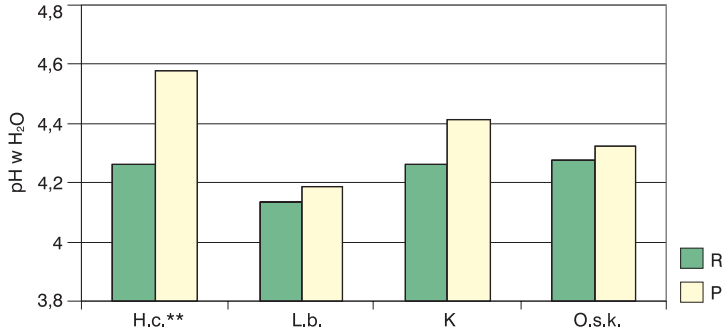
Koncentracja $C_{org.}$ w glebie ryzosferowej sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* na powierzchni w Chrzanowie była istotnie większa niż w glebie ryzosferowej sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym i wynosiła odpowiednio: 0,30 i 0,19% $C_{org.}$ (ryc. XI.24.10.). Koncentracja $C_{org.}$ w glebie ryzosferowej sadzonek w pozostałych kombinacjach, zarówno na powierzchni w Chrzanowie jak i Świerklańcu, nie była istotnie zróżnicowana (ryc. XI.24.10. i XI.24.11.). Koncentracja $C_{org.}$ w glebie ryzosferowej była istotnie większa w porównaniu z koncentracją $C_{org.}$ w glebie pozaryzosferowej we wszystkich badanych kombinacjach razem wziętych (ryc. XI.24.10. i XI.24.11.). Największą wartość stosunku $C_{org.}$ w glebie ryzosferowej w odniesieniu do $C_{org.}$ w glebie pozaryzosferowej (2,8) stwierdzono w wypadku sadzonek mikoryzowanych grzybem *H. crustuliniforme* na powierzchni doświadczalnej w Świerklańcu, a najmniejszą wartość tego stosunku (1,5) w wy-



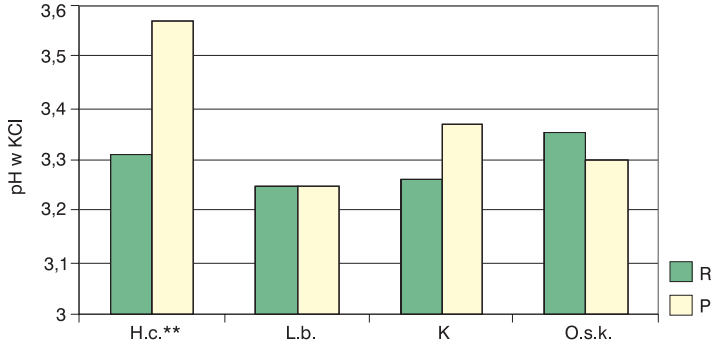
Ryc. XI.24.6. pH w H_2O gleby strefy ryzosferowej (R) oraz pozaryzosferowej (P) sadzonek sosny zwyczajnej z uprawy na powierzchni doświadczalnej w Chrzanowie (objaśnienia: H.c., L.b., K, O.s.k. jak w tab. XI.24.1.)



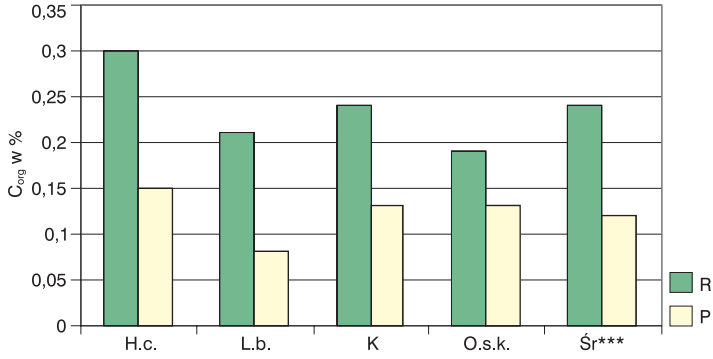
Ryc. XI.24.7. pH w KCl gleby strefy ryzosferowej (R) oraz pozaryzosferowej (P) sadzonek sosny zwyczajnej z uprawy na powierzchni doświadczalnej w Chrzanowie (objaśnienia: H.c., L.b., K, O.s.k. jak w tab. XI.24.1.)



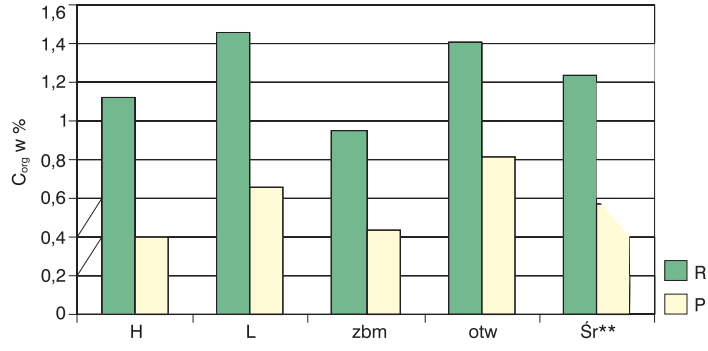
Ryc. XI.24.8. pH w H_2O gleby strefy ryzosferowej (R) oraz pozaryzosferowej (P) sadzonek sosny zwyczajnej z uprawy na powierzchni doświadczalnej w Świerklańcu (objaśnienia: H.c., L.b., K, O.s.k. jak w tab. 24.1.)



Ryc. XI.24.9. pH w KCl gleby strefy ryzosferowej (R) oraz pozaryzosferowej (P) sadzonek sosny zwyczajnej z uprawy na powierzchni doświadczalnej w Świerklańcu (objaśnienia: H.c., L.b., K, O.s.k. jak w tab. XI.24.1.)



Ryc. XI.24.10. Koncentracja C_{org} w glebie strefy ryzosferowej (R) i pozaryzosferowej (P) sadzonek sosny zwyczajnej z uprawy na powierzchni doświadczalnej w Chrzanowie (objaśnienia: H.c., L.b., K, O.s.k. jak w tab. XI.24.1.)



Ryc. XI.24.11. Koncentracja C_{org} w glebie strefy ryzosferowej (R) i pozaryzosferowej (P) sadzonek sosny zwyczajnej z uprawy na powierzchni doświadczalnej w Świerklańcu (objaśnienia: H.c., L.b., K, O.s.k. jak w tab. XI.24.1.)

Tabela XI.24.3.
Różnica w wartościach pH gleby pozaryzosferowej i pH gleby strefy ryzosferowej sadzonek sosny zwyczajnej poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor* z uprawy doświadczalnej w Nadleśnictwie Chrzanów i Świerklaniec

pH w:	H.c.	L.b.	K	O.s.k.
	jednostki pH			
	powierzchnia w Chrzanowie			
H_2O	0,12	0,18	0,24	0,31
KCl	–0,02	0,12	0,13	0,18
	powierzchnia w Świerklańcu			
H_2O	0,32	0,06	0,16	0,04
KCl	0,25	0,00	0,11	–0,05

Oznaczenia jak w tabeli XI.24.1.

Tabela XI.24.4.
Stosunek koncentracji C_{org} w glebie strefy ryzosferowej do koncentracji C_{org} w glebie pozaryzosferowej sadzonek sosny zwyczajnej poddanych i niepoddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* i *Laccaria bicolor* z uprawy doświadczalnej w Nadleśnictwie Chrzanów i Świerklaniec

Powierzchnia doświadczalna	Kombinacje doświadczalne				
	H.c.	L.b.	K	O.s.k.	średnia
Chrzanów	2,0	2,6	1,8	1,5	2,0
Świerklaniec	2,8	2,2	2,2	1,7	2,2

Oznaczenia jak w tabeli XI.24.1.

padku sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym bez sterowanej mikoryzacji na powierzchni doświadczalnej w Chrzanowie (tabela XI.24.4.).

Różnica w wartościach pH między glebą pozaryzosferową i ryzosferową wynika głównie z ilości wydzielanych kwasów organicznych przez grzyby mikoryzowe do strefy mikoryzosferowej. Wallander i Wickman (1999) stwierdzili dodatnią korelację między koncentracją kwasu cytrynowego oraz biomasą grzybów (ergosterolu) w glebie. W roztworze glebowym z sadzonkami sosny mikoryzowanej grzybem *Suillus variegatus* stwierdzono większą koncentrację kwasu cytrynowego i szczawiowego niż w roztworze glebowym gleby z sadzonkami niekolonizowanymi grzybem.

Największa różnica w wartościach pH, jaką stwierdzono na powierzchni w Świerklańcu w wypadku sadzonek, które przed wysadzeniem na uprawy były poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme*, może wynikać ze wzmożonej zdolności tego grzyba do wydzielania kwasów organicznych na powierzchni doświadczalnej w Świerklańcu, co może potwierdzać większy stosunek

$C_{org.}$ w glebie strefy ryzosferowej w odniesieniu do pozaryzosferowej (tabela XI.24.4.). Wydzielone kwasy są przydatne w chelatowaniu wolnego glinu i metali ciężkich. Gleba na powierzchni w Świerklańcu jest bardziej zakwaszona i z większą koncentracją metali ciężkich niż gleba na powierzchni w Chrzanowie, co wynika z badań Krzaklewskiego i in. (2000).

Istotnie większa aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy zewnętrznej powierzchni korzeni mikoryzowych na powierzchni doświadczalnej w Chrzanowie niż w Świerklańcu potwierdza przydatność tej cechy do oceny zanieczyszczenia środowiska w większym stopniu niż aktywność fosfataz w glebie. Najmniejsza różnica w aktywności kwaśnej fosfomonoesterazy zewnętrznej powierzchni korzeni z mikoryzą u sadzonek, które przed wysadzeniem na uprawy poddane były zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme,* między powierzchniami w Chrzanowie i w Świerklańcu jest zapewne efektem indywidualnej cechy tego grzyba do syntezy większej ilości fosfatazy kwaśnej w warunkach skażenia gleby metalami ciężkimi.

Z badań wynika, że korzystniejsze warunki glebowe do rozwoju sadzonek zostały stworzone w wypadku tych poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji niż bez tego zabiegu. Na powierzchni doświadczalnej w Chrzanowie korzystniejsze warunki rozwoju stwierdzono w przypadku sadzonek szczepionych grzybem *L. bicolor*, a na powierzchni w Świerklańcu szczepionych grzybem *H. crustuliniforme*. Większa przydatność grzyba *H. crustuliniforme* do mikoryzacji sadzonek sosny zwyczajnej przeznaczonych do wysadzania na powierzchnie skażone metalami ciężkimi wynika z:

- zrównanej z innymi sadzonkami aktywności kwaśnej fosfatazy zewnętrznej powierzchni korzeni mikoryzowych na powierzchni w Świerklańcu,
- największego stosunku aktywności fosfataz w glebie ryzosferowej w odniesieniu do aktywności fosfataz w glebie pozaryzosferowej,
- istotnie większej aktywności fosfataz w glebie ryzosferowej sadzonek na powierzchni w Świerklańcu niż w Chrzanowie,
- istotnej i największej różnicy w wartościach pH w H_2O gleby strefy pozaryzosferowej i pH gleby ryzosferowej na powierzchni w Świerklańcu,
- największej wartości stosunku koncentracji $C_{org.}$ w glebie ryzosferowej w odniesieniu do koncentracji $C_{org.}$ w glebie pozaryzosferowej na powierzchni w Świerklańcu.

Za większą przydatnością grzyba *L. bicolor* do mikoryzacji sadzonek sosny zwyczajnej przeznaczonych do wysadzania na piaszczystych industrioziemach o niewykształconym profilu przemawiają następujące właściwości:

- największa aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy zewnętrznej powierzchni korzeni mikoryzowych na powierzchni w Chrzanowie,
- większa różnica w wartościach pH między glebą pozaryzosferową i ryzosferową na powierzchni w Chrzanowie,
- większy stosunek koncentracji $C_{org.}$ w glebie strefy ryzosferowej do koncentracji $C_{org.}$ w glebie pozaryzosferowej na powierzchni w Chrzanowie.

XII. Ekonomiczne uwarunkowania hodowli sadzonek różnych gatunków drzew leśnych, poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji

Dr inż. Kazimierz Szabla, Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Katowicach,
ul. Św. Huberta 45/43, 40-952 Katowice

Mgr inż. Robert Pabian, Nadleśnictwo Rudy Raciborskie,
ul. Rogera 1, 47-430 Rudy Raciborskie

Kierunki postępu w polskim szkółkarstwie leśnym są wytyczane względami przyrodniczymi, technicznymi oraz ekonomicznymi, nieprzypadkowo wymienionymi w tej kolejności. Względy ekonomiczne nie są, jak dotąd, najważniejszym determinantem postępu technicznego naszego szkółkarstwa, jak to się dzieje w wielu krajach zachodniej Europy.

Rachunek ekonomiczny w takich krajach jak Szwecja, Finlandia, czy Francja wpłynął na dość szybką ewolucję szkółkarstwa leśnego od sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym hodowanych w gruncie, w kierunku sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, czyli z tzw. bryłką. W Szwecji już ponad 80% wykorzystywanych do odnowień sadzonek to te z zakrytym systemem korzeniowym. W Finlandii udział ten przekracza obecnie 95% i wynika z zupełnie odmiennego niż w Polsce spojrzenia na koszty sadzonek. W Skandynawii i innych krajach sadzonki traktowane są jako jedna z wielu części składowych ogólnego kosztu założenia i wyprowadzenia uprawy leśnej. Celem hodowlanym bowiem jest uprawa leśna o zadowalającym pokryciu sadzonkami dobrej jakości. Wyliczono, że użycie w praktyce leśnej sadzonek dających o wiele większe gwarancje przeżywalności i możliwość ograniczenia innych zabiegów ochronnych oraz pielęgnacyjnych, obniża w efekcie koszty osiągnięcia efektu hodowlanego, którym jest stabilna uprawa leśna o dobrym, określonym przez zasady hodowlane pokryciu sadzonkami.

Nowoczesne technologie w szkółkarstwie kontenerowym ograniczają w szkółce kosztowne prace ręczne poprzez mechanizację większości etapów produkcji i eliminację najbardziej pracochłonnych procedur. Przy rosnącym deficycie siły roboczej i nieuchronnym zwiększaniu się kosztów prac ręcznych efektem jest to, że koszty

hodowli sadzonek z bryłką w wielu wypadkach już dzisiaj nie są znacząco większe od kosztów hodowli sadzonek ze szkółek gruntowych. Z tych powodów w krajach Europy Zachodniej ewolucja szkółkarstwa tradycyjnego w kierunku technologii kontenerowych była – oprócz względów przyrodniczych – wyznaczana przede wszystkim względami ekonomicznymi.

W polskim leśnictwie funkcjonuje pewne uproszczenie w podejściu do produkcji szkółkarskiej. Ten rodzaj działalności gospodarczej traktuje się jako niezależny od dalszych procesów hodowlanych lub jako cel sam w sobie. Odpowiedzialność szkółkarza kończy się najczęściej „na bramie" szkółki i wszystkie analizy ekonomiczne w Lasach Państwowych dotyczą tylko tego etapu. Hodowla sadzonek jest jednak tylko jednym z elementów pracy leśnika – etapem w hodowli lasu, której celem jest kształtowanie przez człowieka ekosystemu leśnego na miarę jego wiedzy, oczekiwań i odpowiedzialności. Zasadniczym etapem kształtowania ekosystemu leśnego jest zakładanie upraw leśnych jako następstwa wymuszonego lub planowanego użytkowania głównego lasu wszędzie tam, gdzie odnowienie to nie może się odbyć siłami natury, a następnie pielęgnowanie i ochrona tak założonych upraw. W takim ujęciu jakość sadzonek służących do odnowień i zalesień ma zasadnicze znaczenie, tym bardziej że w polskim leśnictwie odnowienia przez sadzenie obejmują ponad 90% powierzchni wszystkich odnowień, co jest wynikiem wielu uwarunkowań.

Wyhodowane w szkółkach leśnych z nasion właściwego pochodzenia sadzonki powinny zatem mieć nie tylko określoną jakość, mierzoną parametrami fizycznymi jak wysokość części nadziemnej i grubość w szyi korzeniowej, ale także właściwą budowę systemu korzeniowego oraz spełniać wymagania genetyczne i mikrobiologiczne. Koszt produkcji sadzonek nie powinien być więc rozpatrywany w oderwaniu od pozostałych kosztów ponoszonych na założenie i wyprowadzenie upraw leśnych do określonego wieku, co jest celem jednego z etapów hodowli lasu, lecz powinien być rozpatrywany jako składowa tego kosztu, a analiza ekonomiczna nie może kończyć się na etapie posadzenia sadzonek na uprawach. Stąd oczywisty wniosek, że do analizy ekonomicznej w praktyce leśnej szerzej powinien być stosowany rachunek ciągniony i suma kosztów, a nie tylko koszty jednostkowe, czy poszczególne ich składniki.

Koszty wytworzenia sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym w szkółkach kontenerowych wciąż są w Polsce od 2 do 5 razy większe od kosztów hodowli sadzonek w szkółkach gruntowych, na co wpływ ma przede wszystkim relatywnie mały koszt pracy rąk ludzkich. Stąd też m.in. udział produkcji sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym w skali kraju wynosi zaledwie 5%, a sadzonki poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji stanowią zaledwie ułamek procenta. Kilkunastoletnie polskie doświadczenia i obserwacje wielu upraw doświadczalnych pozwalają stwierdzić, że stosowanie w gospodarce leśnej zmikoryzowanych sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym może obniżyć koszty założenia i prowadzenia uprawy leśnej do wieku np. 5 lat. Dzieje się tak dlatego, że stosowanie tych sadzonek pozwala na:

- Zmniejszenie pracochłonności i co za tym idzie, kosztów sadzenia w wyniku zastosowania specjalnych kosturów.

- Obniżenie liczby sadzonek na 1 ha uprawy do dolnej granicy przewidzianej zasadami hodowli lasu.
- Wyeliminowanie, albo znaczne ograniczenie potrzeby poprawek w zakładanych uprawach z uwagi na ponad 90% przeżywalność sadzonek z bryłką.
- Skrócenie okresu pielęgnacji gleby w uprawach założonych z sadzonek kontenerowych, mikoryzowanych, o co najmniej 2 lata z uwagi na dużo większą dynamikę wzrostu tych sadzonek.
- Uniknięcie strat w wyniku przesuszenia systemu korzeniowego w czasie transportu sadzonek.
- Zabezpieczenie sadzonek przeciw szkodom od zwierzyny i owadów w szkółce, co jest znacznie mniej kosztowne niż analogiczne zabezpieczenie po wysadzeniu w uprawie.

Doświadczenia w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie – stosującym w największym rozmiarze sadzonki kontenerowe ze wszystkich nadleśnictw w Polsce – wskazują, że ciągniony koszt do wieku 5 lat wyprowadzenia upraw i ich udatności powyżej 90%, założonych sadzonkami kontenerowymi, jest przeciętnie o 15–20%, a w wypadku sadzonek mikoryzowanych 20–25% mniejszy od analogicznego kosztu upraw zakładanych z użyciem sadzonek tradycyjnych. Pomimo że sadzonki kontenerowe są kilkakrotnie droższe od przeciętnych sadzonek gruntowych, zastosowanie ich w odnowieniach przynosi 1,0–2,0 tys. zł oszczędności na każdym odnowionym hektarze. Trzeba jednak zaznaczyć, że siedliska tego nadleśnictwa zaliczane są do najbardziej zdegradowanych emisjami przemysłowymi i pożarami, stąd warunki odnowienia są bardzo trudne.

Fot. XII.1. Sadzonki sosny zwyczajnej zabezpieczone repelentami na szkółce

W uprawach zakładanych w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie z wykorzystaniem sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym można było niekiedy zrezygnować z przygotowania gleby. Większość upraw nie wymagała poprawek, a sporadyczne wypady były spowodowane żerem owadów lub zwierzyny na skutek złego zabezpieczenia. Zgryzione nawet na bezpieńkę sadzonki (również sosny) wykazywały dużą zdolność regeneracji. Uprawy, pomimo znacznego zachwaszczenia, były pielęgnowane zwykle tylko przez pierwsze 2 lata. Skutkiem tego znacząco obniżył się rozmiar i koszt poprawek oraz pielęgnacji gleby.

Koszt wytworzenia w 2005 roku biopreparatu w laboratorium Nadleśnictwa Rudy Raciborskie wyniósł 15,70 zł za 1 litr, a w LBG Kostrzyca 18,60 zł za 1 litr. Technicznie najtrudniejszym etapem jest rozmnażanie grzybni. Warunkiem sukcesu jest wyposażenie laboratorium w wysokiej klasy sprzęt laboratoryjny, stąd konieczność poniesienia znacznych nakładów inwestycyjnych, a później dużego odpisu amortyzacyjnego. Udział amortyzacji w kosztach produkcji biopreparatu jest więc znaczny i w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie przekracza 27% (2,20 zł/l). W kosztach produkcji istotny udział mają ponadto koszty materiałów (22%), robocizny (20%) oraz energii (5%).

W wypadku sterowanej mikoryzacji sadzonek kontenerowych koszt biopreparatu przypadający na 1 sadzonkę wynosił od 0,01 do 0,04 zł w zależności od wielkości pojemnika. Nie jest to jedyny koszt zmikoryzowania sadzonki. Pozostałe to koszty prac podczas inokulacji (połączenia biopreparatu z substratem hodowlanym) oraz wynikające z potrzeby modyfikacji składu substratu hodowlanego w celu poprawy warunków rozwoju grzybni. Sumaryczny, przeciętny koszt sterowanej mikoryzacji 1 sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie wynosił w 2004 roku 0,06 zł (tabela XII.1.), co stanowiło 18% kosztu produkcji sadzonki sosny (0,32 zł). Z uwagi na malejący odpis amortyzacyjny koszty produkcji biopreparatu będą się więc obniżać (tabela XII.1.). Strukturę rodzajową kosztów sterowanej mikoryzacji w wybranych trzech szkółkach leśnych przedstawia tabela XII.2.

W Nadleśnictwie Rudy Raciborskie od początku istnienia szkółki kontenerowej rejestruje się i analizuje koszty produkcji sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym. Strukturę kosztów wytworzenia sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym bez mikoryzy oraz mikoryzowanych obrazują ryciny XII.1 i XII.2.

Z danych tabelarycznych wynika, że udział odpisu amortyzacyjnego w kosztach produkcji w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie jest bardzo duży. Jest to konsekwencją wyposażenia szkółki w drogie środki trwałe. Stąd w innych szkółkach leśnych, słabiej doposażonych, koszty produkcji sadzonek mogą być mniejsze, a różnice między poszczególnymi producentami znaczne (tabela XII.3.). Malejący z roku na rok odpis amortyzacyjny daje możliwość stopniowego obniżania technicznego kosztu wytworzenia sadzonek. Dla przykładu, w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie roczny odpis amortyzacyjny w 2006 roku wynosił ponad 900 tys. zł (0,15 zł/szt. przy produkcji 6 mln szt.), ale już w 2007 roku wyniesie on tylko 400 tys. zł (0,07 zł/szt.). Porównanie kosztów produkcji sadzonek kontenerowych poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *H. crustuliniforme* przedstawia tabela XII.3.

Tabela. XII.1.
Przeciętne koszty mikoryzacji sadzonek w szkółkach leśnych w 2005 r. (w zł/szt.)

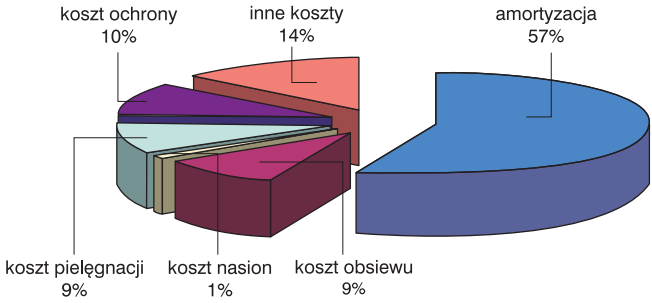
Szkółka w nadleśnictwie	Sadzonki kontenerowe	Sadzonki w korytach	Sadzonki w gruncie
Rudy Raciborskie	0,06	–	–
Jabłonna	0,08	–	–
Oleszyce	0,08	–	–
Gidle	0,06	–	–
Śnieżka	0,05	–	–
Olkusz	–	0,06	–
Siewierz	–		0,02
Wichrowo	–	0,12	
Gorlice	–	0,85	
Świdnik	–	0,26	
Nowy Targ		0,20	

Tabela XII.2.
Struktura kosztów mikoryzacji sadzonek w wybranych szkółkach

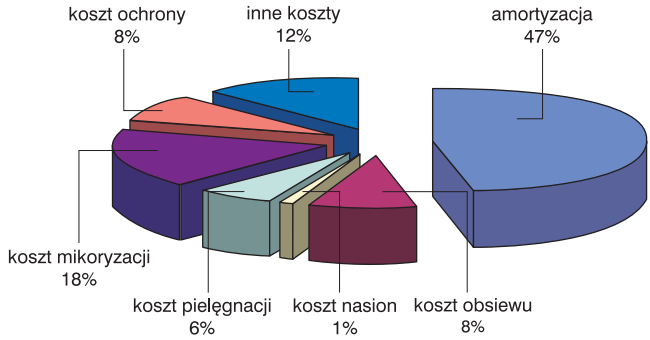
Rodzaj kosztów	Nadleśnictwo Rudy Raciborskie, sadzonki kontenerowe	Nadleśnictwo Olkusz, sadzonki w korytach	Nadleśnictwo Siewierz, sadzonki w gruncie
Modyfikacja substratu	24%	29%	–
Transport substratu	–	2%	9%
Biopreparat	62%	61%	22%
Transport biopreparatu	–	1%	19%
Inokulacja podłoża	14%	7%	–
Rewitalizacja gleby		–	50%

Tabela XII.3.
Porównanie kosztów produkcji sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji grzybem *Hebeloma crustuliniforme* w szkółkach kontenerowych w nadleśnictwach, w 2005 roku

Szkółka w nadleśnictwie	So 1/0	Md 1/0	Św1/0	Db 1/0	Bk 1/0
Rudy Raciborskie	0,32	0,32	0,32	0,67	0,67
Jabłonna	0,24	0,32	0,32	0,39	–
Oleszyce	0,28	0,32	0,33	0,32	0,32
Gidle	–	–	–	0,40	0,40
Śnieżka	0,27	0,31	0,38	0,40	0,40



Ryc. XII.1. Struktura kosztów produkcji sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym w szkółce kontenerowej Nadleśnictwa Rudy Raciborskie



Ryc. XII.2. Struktura kosztów produkcji mikoryzowanych sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym w szkółce kontenerowej Nadleśnictwa Rudy Raciborskie

Do analizy porównawczej przyjęto przeciętne koszty potrzebne na założenie i prowadzenie uprawy leśnej do drugiej oceny udatności, tj. do 5 roku. W tym celu założono kilkadziesiąt upraw porównawczych z podstawowymi gatunkami lasotwórczymi (Szabla 2004, 2007 L.c.). Przedstawione przez Szablę (2007 L.c.) i potwierdzone wynikami badań wnioski mają swój skutek ekonomiczny w postaci wymiernych korzyści finansowych uzyskiwanych w trakcie 5-letniego okresu prowadzenia uprawy.

Analizę przeciętnych, rzeczywistych kosztów w rachunku ciągnionym, ponoszonych w warunkach Górnego Śląska, zawierają tabele XII.4. i XII.5. Ujęte w nich koszty jednostkowe sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym i pracochłonność, to wartości uśrednione dla RDLP Katowice, natomiast koszty jednostkowe sadzonek kontenerowych, to koszty rzeczywiste ponoszone w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie. Pozostałe koszty, tj. przygotowania gleby przed odnowieniem, transportu sadzonek, grodzenia przed zwierzyną lub zabezpieczenia chemicznego od drugiego roku były takie same bez względu na rodzaj zastosowanych sadzonek, więc zostały w tabelach pominięte.

Tabela XII.4.
Porównanie przeciętnych kosztów założenia i wyprowadzenia 1 ha uprawy sosnowej o pokryciu powyżej 90% w zależności od rodzaju sadzonek

Składnik kosztu, jednostka miary	Sadzonki z odkrytym systemem korzeniowym 2/0			Sadzonki kontenerowe niemikoryzowane 1/0 K			Sadzonki kontenerowe mikoryzowane 1/0 KM		
	liczba	koszt jedn.	koszt całkow.	liczba	koszt jedn.	koszt całkow.	liczba	koszt jedn.	koszt całkow.
Sadzonki (szt.)	10 000	0,10	1000,00	8000	0,26	2080,00	8000	0,32	2560,00
Sadzenie (rg)	230	10,50	2415,00	184	10,50	1932,00	8000	184	1932,00
Poprawki:	30%			10%			0%		
• Przygot. gleby (rg)	142	10,50	1491,00	47	10,50	493,00	0	0	0
• Sadzonki (szt)	3000	0,10	300,00	800	0,26	208,00	0	0	0
• Sadzenie (rg)	85	10,50	892,00	23	10,50	242,00	0	0	0
Pielęgnacja gleby (rg)	5-krot. 180	10,50	1890,00	3-krot. 108	10,50	1134,00	3-krot. 108	10,50	1134,00
Chemiczne zabezpieczenie przed zwierzyną									
• Repelent (kg)	75,00	5,20	390,00	25	5,20	130,00	25	5,20	130,00
• Robocizna (rg)	14	10,50	147,00	4	10,50	42,00	4	10,50	42,00
Razem koszty			**8525,00**			**6261,00**			**5798,00**

Objaśnienia: 2/0 – dwuletni cykl hodowlany; 1/0 – jednoroczny cykl hodowlany; szt. – sztuki; rg – roboczogodziny.

Tabela XII.5.
Porównanie przeciętnych kosztów założenia i wyprowadzenia 1 ha uprawy dębu szypułkowego o pokryciu powyżej 90% w zależności od rodzaju sadzonek

Składnik kosztu, jednostka miary	Sadzonki z odkrytym systemem korzeniowym 2/0			Sadzonki kontenerowe niemikoryzowane 1/0 K			Sadzonki kontenerowe mikoryzowane 1/0 KM		
	liczba	koszt jedn.	koszt całkow.	liczba	koszt jedn.	koszt całkow.	liczba	koszt jedn.	koszt całkow.
Sadzonki (szt.)	8000	0,25	2000,00	7000	0,65	4550,00	7000	0,65	4550,00
Sadzenie (rg)	184	10,50	1932,00	161	10,50	1690,00	161	10,50	1690,00
Poprawki:	30%			10%			0%		
• Przygot. gleby (rg)	114	10,50	1197,00	33	10,50	346,00	0	0	0
• Sadzonki (szt)	2400	0,25	600,00	700	0,65	455,00	0	0	0
• Sadzenie (rg)	68	10,50	714,00	20	10,50	210,00	0	0	0
Pielęgnacja gleby (rg)	8-krot. 288	10,50	3024,00	5-krot. 180	10,50	1890,00	5-krot. 180	10,50	1890,00
Razem koszty			**9467,00**			**9141,00**			**8130,00**

Objaśnienia jak w tabeli XII.4.

Fot. XII.2. Sadzonka świerka, hodowanego w systemie 0,5/1, w uprawie na początku trzeciego sezonu wegetacyjnego

Jak wynika z danych, użycie do odnowienia lasu droższych, kontenerowych i poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji sadzonek może mieć także uzasadnienie ekonomiczne. W wyniku analizy kosztu ciągnionego, po pięciu latach koszt wyprowadzenia 1 ha uprawy sosnowej był mniejszy o 2727,00 zł, a uprawy dębowej o 1337,00 zł w stosunku do upraw zakładanych z wykorzystaniem sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym. Ostatecznym potwierdzeniem tych wyliczeń jest struktura kosztów w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie, charakteryzująca się minimalnym kosztem poprawek (2% powierzchni odnowień) i malejącym kosztem pielęgnowania gleby.

Biorąc pod uwagę różnicę w kosztach ponoszonych na wyprowadzenie uprawy do wieku 5 lat, stosowanie do odnowień sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym i poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji będzie ekonomicznie uzasadnione do momentu, w którym koszt hodowli sadzonki sosny nie przekroczy 0,65 zł za 1 szt., a sadzonki dębu 0,84 zł za 1 szt. Jeszcze wyraźniej ekonomiczna przewaga sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji nad sadzonkami wysadzonymi na uprawy z odkrytym systemem korzeniowym uwidacznia się na przykładzie konkretnych, badanych powierzchni doświadczalnych (Szabla, 2004, 2007 L.c.). Wiadomo również, że im trudniejsze warunki środowiskowe, w których przyszło funkcjonować uprawie, tym przewaga sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym nad sadzonkami z odkrytym systemem korzeniowym jest wyraźniejsza. Do wyliczeń w poniższych tabelach przyjęto średnie koszty jednostkowe w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie:

- koszt odnowień sadzonkami z odkrytym systemem korzeniowym – 4,0 tys. zł/ha,
- koszt odnowień sadzonkami kontenerowymi – 5,0 tys. zł/ha,
- koszt poprawek sadzonkami z odkrytym systemem korzeniowym – 3,0 tys. zł/ha,
- koszt poprawek sadzonkami kontenerowymi – 3,5 tys. zł./ha.

A oto przykłady.

Tabela XII.6.
Efekty ekonomiczne po pięciu latach stosowania sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji w uprawie (5/2001) w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie na terenie rekultywowanym, po działalności Kopalni Piasku Kotlarnia

Wyszczególnienie	Sosna	
	sadzonki ze szkółki gruntowej	sadzonki kontenerowe
Rozmiar wypadów (%)	41,20	4,70
Nakłady utracone (tys. zł/ha)	1,65	0,24
Nakłady konieczne do odtworzenia (tys. zł/ha)	1,20	0,00
Razem straty (tys. zł/ha)	**2,85**	**0,24**

Tabela XII.7.
Efekty ekonomiczne po pięciu latach stosowania sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji w uprawie (5/2000) na terenie rekultywowanym po działalności kopalni piasku w Nadleśnictwie Chrzanów

Wyszczególnienie	Sosna	
	sadzonki ze szkółki gruntowej	sadzonki kontenerowe
Rozmiar wypadów (%)	25,4	3,60
Nakłady utracone (tys. zł/ha)	1,02	0,18
Nakłady konieczne do odtworzenia (tys. zł/ha)	0,60	0,00
Razem straty (tys. zł/ha)	**1,62**	**0,18**

Tabela XII.8.
Efekty ekonomiczne po pięciu latach stosowania sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji w uprawie (1/2002) – zalesienie gruntu porolnego, oddz. 179b, leśnictwo Nędza, Nadleśnictwo Rudy Raciborskie

Wyszczególnienie	Sosna		Świerk	
	sadzonki ze szkółki gruntowej	sadzonki kontenerowe	sadzonki ze szkółki gruntowej	sadzonki kontenerowe
Rozmiar wypadów (%)	14,6	5,8	12,6	5,4
Nakłady utracone (tys. zł/ha)	0,58	0,29	0,50	0,27
Nakłady konieczne do odtworzenia (tys. zł/ha)	0,30	0,00	0,30	0,00
Razem straty (tys. zł/ha)	**0,88**	**0,29**	**0,80**	**0,27**

Tabela XII.9.
Efekty ekonomiczne po pięciu latach stosowania sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji w uprawie (4/2002) – odnowienie pożarzyska, oddz. 28g, leśnictwo Lubieszów, Nadleśnictwo Rudy Raciborskie

Wyszczególnienie	Sosna		Brzoza	
	sadzonki ze szkółki gruntowej	sadzonki kontenerowe	sadzonki ze szkółki gruntowej	sadzonki kontenerowe
Rozmiar wypadów (%)	39,7	19,6	39,5	17,2
Nakłady utracone (tys. zł/ha)	1,59	0,98	1,58	0,86
Nakłady konieczne do odtworzenia (tys. zł/ha)	0,90	0,35	0,90	0,35
Razem straty (tys. zł/ha)	**2,49**	**1,33**	**2,68**	**1,21**

Tabela XII.10.
Efekty ekonomiczne po sześciu latach stosowania sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji w uprawie (1/1999) – zalesienie gruntu porolnego w oddz. 203h, leśnictwo Nędza, Nadleśnictwo Rudy Raciborskie

Wyszczególnienie	Sosna	
	sadzonki ze szkółki gruntowej	sadzonki kontenerowe
Rozmiar wypadów (%)	29,0	8,2
Nakłady utracone (tys. zł/ha)	1,16	0,41
Nakłady konieczne do odtworzenia (tys. zł/ha)	0,60	0,00
Razem straty (tys. zł/ha)	**1,76**	**0,41**

Przedstawiona analiza jest specyficzna jedynie dla średnich warunków RDLP Katowice, a w szczególności warunków występujących w lasach Nadleśnictwa Rudy Raciborskie. Tego rodzaju wyliczenia powinny być standardem w praktyce leśnej i każdorazowo poprzedzać decyzję o zastosowaniu w konkretnych warunkach sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym.

Ekonomiczna opłacalność nie jest jedynym argumentem przemawiającym za stosowaniem materiału sadzeniowego z zakrytym systemem korzeniowym, mikoryzowanego. Często uzyskanie efektu hodowlanego przy użyciu tradycyjnych sadzonek z odkrytym systemem korzeniowym jest utrudnione lub wręcz niemożliwe. Dowodem na to jest fakt, że sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym, pomimo wysokich cen, znajdują nabywców z firm zajmujących się rekultywacją terenów w kierunku leśnym. Wykonawca rekultywacji zobowiązany jest udzielić trzyletniej gwarancji na nasadzenie. Prywatni przedsiębiorcy szybko wyliczyli, że bardziej

Fot. XII.3. Sadzonka dębu szypułkowego po trzech sezonach wzrostu w uprawie (wzrost dziewczynki 135 cm) – uprawa nie wymaga już pielęgnacji

opłacalne jest zainwestowanie w dobry materiał sadzeniowy na starcie, aniżeli późniejsze kilkakrotne poprawianie upraw.

Wyniki badań oraz ich analiza ekonomiczna umożliwiają zdefiniowanie obszarów stosowania sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym, które były poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji. Sadzonki takie powinny być wykorzystywane do nasadzeń przede wszystkim tam, gdzie nakładają się korzyści przyrodnicze i ekonomiczne, to jest na terenach:

- zniszczonych, np. działalnością górniczą, rekultywowanych w kierunku leśnym;
- II i III strefy uszkodzeń przemysłowych;
- po całkowitych i częściowych pożarach lasu, szczególnie jeśli spaleniu uległa warstwa próchniczna gleby;
- o glebach zdegradowanych, industrogennych, silnie zachwaszczonych, skażonych chemicznie;
- o glebach silnie szkieletowych, w wyższych położeniach górskich;
- gleb porolnych;
- gdzie prowadzona jest przebudowa drzewostanów.

W wyniku pięcioletnich badań upraw doświadczalnych można stwierdzić, że sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym, poddane zabiegowi sterowanej mikoryzacji cechuje duża zdolność adaptacji do trudnych warunków glebowych, a także bardzo duża przeżywalność i znacznie większa dynamika wzrostu niż sadzonek niemikoryzowanych. Rachunek ekonomiczny wykazuje przewagę sadzonek poddanych zabiegowi sterowanej mikoryzacji z zakrytym systemem korzeniowym nad sadzonkami niepoddanymi temu zabiegowi i zdecydowaną przewagę nad sadzonkami z odkrytym systemem korzeniowym. Tak więc w polskich warunkach, na terenach trudnych, stosowanie sadzonek gwarantujących wysoką przeżywalność znajduje również uzasadnienie ekonomiczne. Biorąc pod uwagę poprawę skuteczności odnowienia oraz obniżenie pozostałych kosztów prowadzenia późniejszej uprawy, rachunek ekonomiczny dowodzi, że wykorzystanie na starcie droższych sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym jest tym bardziej opłacalne, im trudniejsze są

warunki odnawianej powierzchni. Tak jest w wypadku upraw zakładanych w warunkach Górnego Śląska, gdzie użycie sadzonek z bryłką i wzbogaconych w odpowiednią mikoryzę przynosi nie tylko obniżenie kosztów, ale też w wielu wypadkach umożliwia odnowienie zdegradowanych terenów. Z tych samych powodów sadzonki mikoryzowane z zakrytym systemem korzeniowym zaczynają być również coraz szerzej stosowane na terenach poklęskowych, w górach oraz przebudowie drzewostanów.

Na pozostałym obszarze sadzonki z odkrytym systemem korzeniowym, ze szkółki gruntowej, mogą być wystarczająco dobrym materiałem sadzeniowym i powinny być stosowane przynajmniej dopóty, dopóki koszty ich hodowli pozostawać będą na dotychczasowym, relatywnie niskim poziomie.

Literatura

Agerer R., 1991: Characterisation of ectomycorrhiza. [W:] Methods in microbiology, vol. 23, J. R. Norris, D. J. Read, A. K. Varma (red.), Academic Press, London, s. 25–73

Agerer R., 2001: Exploration types of ectomycorrhizae. Mycorrhiza 11 (2), s. 107–114

Aleksandrowicz-Trzcińska M., 2002: Wpływ fungicydów na wzrost i kolonizację mikoryzową sadzonek sosny pospolitej (*Pinus sylvestris* L.) hodowanych w kontenerach, Wydawnictwo SGGW Warszawa 2002, s. 1–113

Aleksandrowicz-Trzcińska M., 2003: Wpływ fungicydów stosowanych w szkółkach otwartych i kontenerowych na rozwój i przeżywalność mikoryz, dokumentacja końcowa pracy wykonanej na zlecenie DGLP, Warszawa

Aleksandrowicz-Trzcińska M., Grzywacz A., 1997: The effect of fungicides used in the protection of forest seedlings tree on the growth of ectomycorrhizal fungi, Acta Mycol. 32 (2), s. 315–322

Alexander I. J., Hardy K., 1981: Surface phosphatase activity of Sitka Spruce mycorrhizas from a serpentine site, Soil Biol. Biochem. 13, s. 301–305

Allen M., Moore Jr T. S., Christensen M., 1980: Phytohormone changes in *Bouteloua gracilis* infected by vesicular-arbuscular mycorrhizae: I. Cytokinin increases in the host plant, Can. J. Bot. 58, s. 371–374

Allen M., Moore Jr T. S., Christensen M., 1982: Phytohormone changes in *Bouteloua gracilis* infected by vesicular-arbuscular mycorrhizae: II. Altered levels of gibberellin like substances and abscisic acid in the host plant, Can. J. Bot. 60, s. 468–471

Amicucci A., Zambonelli A., Giomaro G., Potenza L., Stocchi V., 1998: Identification of ectomycorrhizal fungi of the genus *Tuber* by species-specific ITS primers, Mol. Ecol. 7, s. 273–277

Amicucci A., Guidi C., Zambonelli A., Potenza L., Stocchi V., 2000: Multiplex PCR for the identification of white *Tuber* species, FEMS Microbiol Lett 189, s. 265–269

Bareja J., 1999: Zasięg przebiegu autostrad A-1, A-2, A-3, A-4 i A-12 przez lasy w Polsce, materiały Rady Leśnictwa MOŚZNiL „Autostrady, drogi szybkiego ruchu na terenach leśnych"

Bartlett E. M., Lewis D. H., 1973: Surface phosphatase activity of mycorrhizal roots of beech, Soil Biol. Biochem. 5, s. 249–257

Baxter J. W., Dighton J., 2005: Phosphorus source alters host plant response to ectomycorrhizal diversity, Mycorrhiza 15, s. 513–523

Bending G. D., Read D. J., 1995: The structure and function of the vegetative mycelium of ectomycorrhizal plants. V. Foraging behaviour and translocation of nutrients from exploited litter, New Phytol. 130, s. 401–409

Berft M., 2000: Działania Lasów Państwowych na rzecz poznania i wdrożenia mikoryzacji sadzonek drzew leśnych, Postępy Techniki w Leśnictwie, 76, s. 44–49

Bertini L., Potenza L., Zambonelli A., Amicucci A., Stocchi V., 1998a: Restriction fragment length polymorphism species-specific patterns in the identification of white truffles, FEMS Mikrobiol. Lett. 164, s. 397–401

Bertini L., Agostini D., Potenza L., Rossi I., Zeppa S., Zambonelli A., Stocchi V., 1998b: Molecular markers for the identification of the ectomycorrhizal fungus *Tuber borchii*, New Phytol. 139, s. 565–570

Biedrzycka A., 2004: „Biblia „zielonych" producentów. Energia elektryczna i cieplna ze współspalania, Energia Gigawat 11, s. 33–36

Björkman E., 1940: Mycorrhiza in pine and spruce seedlings grown under varied radiation intensities in rich soils with or without nitrates added, Medd. J. Stat. Skogs-Foersekanstalt 32, s. 23–74

Bokor R., 1958: The true mycorrhizae of Oak and inducement of artificial symbiosis. Erdeszettud. Kozl. 1, s. 93–118

Bollen G. J., Fuchs A., 1970: On the specificity of the *in vitro* and *in vivo* antifungal activity of benomyl, Neth. J. Pl. Path 76, s. 299–312

Borecki Z., 1981: Materiały do zajęć specjalizacyjnych z fitopatologii. Część IV. Fungicydy stosowane w ochronie roślin, skrypt SGGW-AR Warszawa

Borecki Z., 1996: Nauka o chorobach roślin, PWRiL Warszawa

Bowen G. D., 1966: An annotated bibliography of Australian studies on microbial interactions with tree genera, Austr. For. 30, s. 199–211

Bowen G. D., 1994: The ecology of ectomycorrhiza formation and functioning, Plant Soil 159, s. 61–67

Boyd C. D., Hellenbrand K. E., 1990: Assessment of the effect of myccorhizal fungi on drought tolerance of conifer seedlings, Can. J. Bot. 69, s. 1764–1771

Brundrett M., Bougher N., Dell B., Grove T., Malajczuk N., 1996: Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. Australian Centr. Intern. Agricult. Resea, ACIAR Monograph 32, s. 1–374

Burns R. G., 1985: The rhizosphere: microbial and enzymatic gradients and prospects for manipulation, Pedologie 35 (3), s. 283–295

Byrdy S., Górecki K., Łaszcz E., 1976: Pestycydy, PWRiL Warszawa

Cannell M. G. R., 1982: World Forest Biomasss and Primary Production Data, Academic Press London, pp. 391

Castellano M. A., Trappe J. M., 1985: Ectomycorrhizal formation and plantation performance of Douglas-fir nursery stock inoculated with *Rhizopogon* spores, Can. J. For. Res. 15, s. 613–617

Chalot M., Battut P. M., Botton B., Le Tacon F., Garbaye J., 1988: Recent advances in physiological and practical aspects of ectomycorrhizal effects on tree development, Acta Ecol. 9, s. 333–351

Chattopadhyay R., Raj S. K., 1991: Soil temperature and rhizosphere mycoflora of groundnut plants (*Arachis hypogaea* L.) developed from fungicide treated seeds, Environ. Ecol. 9, (3), s. 575–579 (abstr.)

Corrêa A., Strasser R. J., Martins-Loução M. A., 2006: Are mycorrhiza always beneficial? Plant Soil 279 (1–2), s. 65–73

Cudlin P., Mejstřik V., Skoupý J., 1983: Effect of pesticides on ectomycorrhizae of *Pinus sylvestris* seedlings, Plant a. Soil 71, s. 353–361

Cunia T., Briggs R. D., 1985: Forcing additivity of biomass tables: use of generalized least squares method, Canad. J. For. Res. 15, s. 23–28

Dahm H., Strzelczyk E., 1995: Impact of vitamins on cellulolytic, pectolytic and proteolytic activity of mycorrhizal fungi, Symbiosis 18, s. 233–250

Daten zur Natur, 1997: Bundesamt für Naturschutz, Bonn

Davies F.T., Potter J. R., Linderman R. G., 1993: Drought resistance of mycorrhizal pepper plants independent of leaf P concentration – response in gas exchange and water relations, Phys. Plant. 87 (1), s. 45–53

Dell B., Malajczuk N., Bougher N. L., Thomson G., 1994: Development and function of *Pisolithus* and *Scleroderma* ectomycorrhizas formed *in vitro* with *Allocasuarina*, *Casuarina* and *Eucalyptus*, Mycorrhiza 5, s. 129–138

Demir S., 2004: Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper, Turk. J. Biol. 28, (2–4), s. 85–90

Dighton J., 1983: Phosphatase production by mycorrhizal fungi, Plant and Soil 71, s. 455–462

Dodd J. C., Thomson B. D., 1994: The screening and selection of inoculant arbuscular-mycorrhizal and ectomycorrhizal fungi, Plant and Soil 159, s. 149–158

Dominik T., 1956: Projekt nowego podziału mikoryz ektotroficznych oparty na cechach morfologiczno-anatomicznych, Rocz. Nauk Leśn. 14, s. 223–245

Dominik T., 1958: Próby przeszczepiania mikrobiocenozy glebowej drzewostanów sosnowych na tereny rolne, Prace IBL 177, s. 5–43

Dominik T., 1961: Studium o mikoryzie, Folia Forest. Polon., Ser. A (5), s. 1–160

Dominik T., 1961a: Badania nad przeszczepianiem mikrobiocenoz gleb leśnych na tereny rolne, Prace IBL, s. 210

Dominik T., 1961b: Próby naturalnego wyizolowania grzybów mikoryzowych z gleb rolnych i nieużytków okolicy Szczecina, Prace IBL, s. 227

Dominik T., 1969: Key to ectotrophic mycorrhizae, Fol. Forest. Polon. 15, s. 309–321

Drogoszewski B., 1992: Chemiczne zwalczanie chwastów. [W:] Szkółkarstwo leśne, R. Sobczak (red.), Wydawnictwo Świat Warszawa, s. 156–164

Eccher A., Rambelli A., 1966: The influence of mycorrhizal inoculation on the development of *Pinus radiata*, Pubbl. Cent. Sper. For. Roma 9, s. 11–22

El Karkouri K., Selosse M. A., Mousain D., 2006: Molecular markers detecting an ectomycorrhizal *Suillus collinitus* strain on *Pinus halepensis* roots suggest successful inoculation and persistence in Mediterranean nursery and plantation, FEMS Microbiol. Ecol. 55, s. 146–158

Enzyme nomenclature, 1992: Published for the IU BMB by Academic Press, Inc.

Evers F. H., Bucking W., 1976: Mineral Analyses. [In:] Modern Methods in Forest Genetics, Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, s. 165–168

Fedotova N. I., 1956: The infection of acorns wit mycorrhiza for shelterbelt sowings near Stavropol, Bjullet. Naucno-Issledovat, Instit. Selsk. Hozjaj. 1/2, s. 13–34

Fonder W., 2007: Polski model szkółkarstwa leśnego [W:] Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w polskim szkółkarstwie leśnym, CILP Warszawa

Fonder W., Berft M., 1988: Szkółkarstwo w Lasach Państwowych – stan oraz kierunki rozwoju, Postępy Techn. w Leśn. 65, s. 7–17

Fonder W., i inni., 1999: Krajowa konferencja hodowlana, Wydział Gospodarki Leśnej GDLP (materiał powielany), Szczecin-Pogorzelice

Fournier M., Churin J. L., Fontaine F., Colin F., Garbaye J., 2003: Bilan croissance-qualite d'un essai de mycorhization controlee sur Chene pedoncule, 16 ans apres plantation, Rev. For. Franc. 55, s. 25–33

Fox T. R., Comerford N. B., 1992: Rhizosphere phosphatase activity and phosphatase hydrolyzable organic phosphorus in two forested spodosols, Soil Biol. Biochem. 24 (6), s. 579–583

Frank A. B., 1885: Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernaehrung gewisser Baeume durch unterirdische Pilze, Bericht. Deutsch. Bot. Gesell. Berlin, s. 128–145

Freeman F. W., White D. P., Bukowac M. J., 1964: Uptake and differential distribution of C14 – labeled simazine in red and white pine seedlings, Forest Sci. 10 (3), s. 330–334

Gagné A., Jany J.-L., Bousquet J., Khasa D.P., 2006: Ectomycorrhizal fungal communities of nursery-inoculated seedlings outplanted on clear-cut sites in northern Alberta, Can. J. For. Res. 36, s. 1684–1694

Garbaye J., 1984: Competitivite des champignons ectomycorhiziens. Premiers resultats et application a la selection de souches pour la mycorhization controlee du hetre et du chene rouvre dans le nord-est de la France, Rev. For. Franc. 36, s. 33–43

Gardes M., Bruns T., 1993: ITS primers with enhanced specifity for basidiomycetes – application to the identification of mycorrhizas and rusts, Mol. Ecol. 2, s. 113–118

Garrido N., 1984: Notes on *Scleroderma citrinum* Pers. (*Mycota-Gasteromycetes*) in *Pinus radiata* forests in Chile, Nova Hedwig. 40, s. 511–516

Gemma J. N., Koske R. E., Roberts E. M., Jackson N., Antonis K., 1997: Mycorrhizal fungi improve drought resistance in creeping bentgrass., Journal of Turfgrass Scien. 73, s. 15–29

Gibson I. A. S., 1963: Eine Mitteilung über die Kiefernmykorrhiza in den Wäldern Kenias. Mykorrhiza, Intern, Mykorrhizasymposium, Weimar, 1960, Jena

Giertych M. J., 2001: The influence of shade on phenolic compounds in Scots pine, Dendrobiol. 46, s. 21–26

Giertych M. J., Karolewski P., 1993: Changes in phenolic compounds content in needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings following short term exposition to sulphur dioxide, Arboretum Kórnickie 38, s. 43–51

Giertych M. J., Karolewski P., 1994: Udział związków fenolowych reakcji sosny na działanie zanieczyszczeń przemysłowych. [W:] Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe, III Krajowe Sympozjum, Kórnik 23–26 maja 1994, s. 493–498

Giertych M. J., Werner A., 1996: Phenolic compounds in needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) damaged by industrial pollution, Arboretum Kórnickie 41, s. 146–172

Giri B., Kapoor R., Mukerji K. G., 2003: Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinity on growth, biomass, and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*, Biol Fert Soils 38, s. 170–175

Gornowicz R., 2002: Wpływ pozyskiwania biomasy sosny pospolitej (*Pinus sylvestris* L.) na wycofywanie pierwiastków biogennych ze środowiska leśnego, Roczn. AR w Poznaniu, Rozprawy Naukowe 331, s. 1–96

Gorzelak A., 1986: Badania warunków wzrostu i produkcji siewek niektórych gatunków drzew leśnych w namiotach foliowych, Prace IBL nr 653

Gorzelak A., 1993: Model szkółkarstwa polskiego – prognoza rozwoju produkcji szkółkarskiej w leśnictwie, Postępy Techn. w Leśn. 53

Gorzelak A., 1998: Ogólne zasady hodowania sadzonek z zakrytym systemem korzeniowym w niektórych pojemnikach, Postępy Techn. w Leśn. 65, s. 62–76

Gorzelak A., (red.), **1999:** Zalesienia terenów porolnych, IBL Warszawa

Gorzelak A., 2000: Zastosowanie inspektów, szklarni i namiotów foliowych w produkcji sadzonek drzew oraz krzewów leśnych i ozdobnych, Bogucki Wydaw. Nauk.

Goszczyński W., 1993: Zoocydy w ochronie roślin, Wydawnictwo SGGW Warszawa.

Grote R., 2002: Foliage Branch Biomass Estimation of Coniferous and Deciduous Tree Species, Silva Fennica 36 (4), s. 779–788

Grzywacz A., 1993: Chemiczna ochrona szkółek leśnych przed chorobami, Post. Tech. w Leśn. 53, s. 53–59

Grzywacz A., (red.), **1994:** Polska polityka kompleksowej ochrony zasobów leśnych, Fundacja „Rozwój SGGW" Warszawa, t. I i II

Grzywacz A., 1999: Gatunkowa różnorodność biologiczna grzybów, Zeszyty Naukowe AR w Krakowie 348, s. 23–38

Grzywacz A., 1999: Stan i potrzeby w zakresie mikoryzacji sadzonek drzew leśnych w Polsce, ekspertyza wykonana na zlecenie Instytutu Dendrologii PAN i DGLP w Warszawie (maszynopis)

Grzywacz A., 2002: Grzyby, hasło w Wielkiej Encyklopedii Powszechnej PWN Warszawa, tom 10.

Grzywacz A., 2002a: Problemy zalesień w wielofunkcyjnym rozwoju obszarów wiejskich, Postępy Nauk Roln., z. 3

Hacskaylo E., Palmer J. G., 1957: Effects of several biocides on growth and incidence of mycorrhizae of pine, Forest Sci. 7, s. 376–379

Hanover J. W., Wilkinson R. C., 1970: Chemical evidence for introgressive hybridization in *Picea*, Silvae Genetica 19, s. 17–22

Harley J. L., 1937: Ecological observations on the micorrhiza of beech, J. Ecol. 25, s. 421–423

Hatch A. B., 1936: The role of mycorrhizas in afforestation, J. Forest. 34, s. 22–29

Häusling M., Marschner H., 1989: Organic and inorganic soil phosphates and acid phosphatase activity in the rhizosphere of 80-year-old Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] trees. Biol. Fertil. Soils 8, s. 128–133

Hilszczańska D., 2002: Mycorrhizal fungi in Scots pine cultures after seedlings out planting on post-agricultural lands, Folia For. Polon., Ser. A – Forestry 44, s. 97–102

Hilszczańska D., Sierota Z., 1998: Możliwości stymulowania naturalnej mikoryzacji siewek w szkółkach leśnych, Postępy Tech. w Leśn. 65, s. 40–44

Ho I., Zak B., 1979: Acid phosphatase activity of six ectomicorrhyzal fungi, Can. J. Bot. 57, s. 1203–1205

Iloba C., 1983: The influence of age and application methods on the susceptibility of pine and spruce ectomycorrhization to thiram treatment, Trop. Ecol. 24 (2), s. 153–161

Ingleby K., Last F. T., Mason P. A., 1985: Vertical distribution and temperature relations of sheathing mycorrhizas of *Betula* spp. Growing on coal spoil, For. Ecol. Manag. 12, s. 279–285

Instrukcja Ochrony Lasu, 2004: Centrum Informacyjne Lasów Państwowych Warszawa

Januszek K., 1992: Aktywność enzymatyczna butwin wybranych gleb świerczyn Sudetów Zachodnich i Tatr, Zesz. Nauk. AR w Krakowie 269, Leśnictwo 22, s. 81–101

Januszek K., 1993: La influencia del aliso gris (*Alnus incana* (L.) Moench) y el pino común (*Pinus silvestris* L.) en la activadad enzimática de los suelos en Polonia meridional. [W:] XI Intern. Sympos. on Environ. Biogeochem., Sept. 27 – Oct. 1, Salamanca, s. 121–128

Januszek K., 1994: Aktywność fosfataz w glebach leśnych Sudetów Zachodnich oznaką skażenia środowiska? Prace IBL ser. B 21, s. 163–172

Januszek K., Januszek R. A., 2000: Aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy powierzchni korzeni mikoryzowych sosny pospolitej oznaką skażenia środowiska, Sylwan 4, s. 87–92

Januszek K., Błońska E., 2007: Aktywność kwaśnej fosfomonoesterazy zewnętrznej powierzchni korzeni siewek sosny pospolitej, szczepionych i nieszczepionych grzybami ektomikoryzowymi. [W:] Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w polskim szkółkarstwie leśnym, CILP Warszawa (L.c.)

Jany J. L., Bousquet J., Gagné A., Khasa D. P., 2006: Simple sequence repeat (SSR) markers in the ectomycorrhizal fungus *Laccaria bicolor* for environmental monitoring of introduced strains and molecular ecology applications, Mycol. Res. 110, s. 51–59

Jeffries P., 1999: *Scleroderma.* [In:] Ectomycorrhizal Fungi, Key Genera in Profil. (Eds) J. W. G. Cairney, S. M. Chambers, Springer

Johansson T., 1999: Dry matter and increment in 21- to 91-year-old common alder and grey alder and some practical implications, Can. J. For. Res. 29 (11), s. 1690–1697

Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa

Kagan-Zur V., Freeman S., Luzzati Y., Roth-Bejerano N., Shabi E., 2001: Survival of introduced *Tuber melanosporum* mycorrhizas at two sites in Israel as measured by its occurrence on mycorrhizas, Plant Soil 229, s. 159–166

Kamieński Fr., 1881: Narzędzia odżywcze korzeniówki, Kraków

Karolewski P., Giertych M. J., 1996: Fenole jako bioindykatory stopnia skażenia środowiska i wrażliwości roślin. [W:] Ekofizjologiczne aspekty reakcji roślin na działanie abiotycznych czynników stresowych, s. 145–151

Kauppi P.E., Mielikäinen K., Kuusela K., 1992: Biomass and carbon budget of European forests, 1971–1990, Science 256, s. 70–74

Kelley W. D., 1982: Effect of triadimefon (Bayleton) on ectomycorrhizae of loblolly and slash pines in Alabama, Forest Sci. 28, s. 232–236

Kessel S. L., 1927: Soil organisms. The dependence of certain pine species on a biological soil factor, Emp. For. J. 6, s. 70–74

Kessel, S. L., Stoate T. N., 1938: Pine nutrition: an account of investigations and experiments in connection with the growth of exotic conifers in Western Australian plantations, Perth, West, Australia For. Depart. Bull. 50

Kieliszewska–Rokicka B., 1998: Wpływ stresu na mikoryzy. [W:] Biologia świerka pospolitego, PAN, Inst. Dendrol., s. 287–302

Kieliszewska-Rokicka B., Rudawska M., Leski T., 1994: Wpływ glinu na wzrost grzybni i aktywność kwaśnej fosfatazy ektomikoryzowych symbiontów sosny. [W:] Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe, R. Siwecki (red.), Instyt. Dendrol. PAN, II Krajowe Sympozjum, Kórnik 23–26 maja 1994, Wyd. Sorus Poznań, 1996, s. 471–479

Kirk P. M., Cannon P. F., David J. C., Stalpers J. A., 2001: Dictionary of the fungi, CAB International, Wallingford, Oxon, IX ed.

Kiss S., 1997: Enzymology of soils affected by industrial emmisions, Studia Univ. Babeş-Bolyai, Biologia XLII (1–2), s. 3–62

Kowalski S., 1974: Badania nad syntezą mikoryzową sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w warunkach laboratoryjnych, PTPN, Wydz. Nauk Roln. i Leśn. Prace Kom. Nauk Roln. i Kom. Nauk Leśn., 38, s. 79–121

Kowalski S., 1987: Wpływ przygotowania gleby na mikotrofizm drzew w drzewostanach przebudowywanych w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym, Sylwan 8, s. 19–30

Kowalski S., 1997: Praktyczne aspekty mikotrofizmu w szkółkach leśnych, Sylwan 6, s. 5–16

Kowalski S., 1998: Mikoryzy. Choroby drzew leśnych (11), PWRiL, Poznań, s. 1–20

Kowalski S., 1998a: Potrzeby i możliwości mikoryzowania sadzonek drzew leśnych w szkółkach kontenerowych, Postępy Techn. w Leśn. 65, s. 30–39

Kowalski S., 2000: Znaczenie mikoryzy dla drzew leśnych oraz problemy związane z projektem wprowadzania polskiej, kompleksowej mikoryzacji, Postępy Techn. w Leśn. 76, s. 16–23

Kowalski S., 2004: Stosowanie biopreparatu z grzybami mikoryzowymi w pojemnikowej hodowli drzew leśnych. [W:] Dlaczego mikoryza jest szansą sukcesu dla roślin ogrodniczych i leśnych, Wieś Jutra, s. 23–32

Kowalski S., 2005: Stosowana mikoryzacja sadzonek w szkółkach otwartych, Bibl. Leśn. 221, Wyd. Świat Warszawa, s. 1–14

Kowalski S., 2006: Ocena rozwoju polskiej, sterowanej mikoryzacji sadzonek drzew leśnych wraz z wdrożeniem wyników badań, sprawozdanie końcowe pracy wykonanej na zamówienie ministra środowiska, Kraków, s. 1–207

Kowalski S., 2006a: Znowelizowana technologia sterowanej mikoryzacji biopreparatem wermikulitowo-torfowym z grzybem *Hebeloma crustuliniforme* sadzonek drzew leśnych hodowanych metodą kontenerową oraz w inspektach i skrzyniach w szkółkach otwartych, DGLP Warszawa, 2006, s. 1–31

Kowalski S., 2007: Charakterystyka ilościowa i jakościowa mikoryz siewek sosny poddanej i niepoddanej zabiegowi sterowanej mikoryzacji z grzybem *Hebeloma crustuliniforme*. [W:] Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w polskim szkółkarstwie leśnym,. CILP, Warszawa, L.c.

Kowalski S., Szabla K., 2003: Mikoryza i praktyczne możliwości jej wykorzystania w hodowli świerka pospolitego *Picea abies* (L.) Karst. [W]: Grzywacz A. (red.): Drzewostany świerkowe – stan, problemy, perspektywy rozwoju, PTL Ustroń-Jaszowiec, s. 51–62

Kowalski S., Walczyk J., Tylek P., 2005: Single-seed sowing in the treatment of controlled mycorrhization of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) grown on the peat substratum in channels, EJP Agric. Univ., Series Forest. 8 (1)

Kraigher H., David E., 1994: Cytokinins in needles and exudates of mycorrhizal spruce seedlings. International Conference on Mycorrhizae (ICOM1), August 4–9 (http://plantbio.berkeley.edu/~bruns/icom.html)

Kraj W., 2007: Dynamika zawartości barwników fotosyntetycznych u siewek sosny pospolitej (*Pinus sylvestris* L.) szczepionych i nieszczepionych grzybami ektomikoryzowymi. [W:] Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w polskim szkółkarstwie leśnym, CILP Warszawa (L.c.)

Krajowy program zwiększania lesistości, 1995: Maszynopis MOŚZNiL, Warszawa

Kramer R., Erdei G., 1959: Primenenie metoda opredeleniâ aktivnosti fosfatazy v agrohimičeskih issledovaniâh, Počvoved. 9, s. 99–102

Krzaklewski W., 1998: Rekultywacja gruntów leśnych zdewastowanych przez kopalnie. Materiały Rady Leśnictwa MOŚZNiL „Szkody przemysłowe w lasach, ich rekompensaty oraz należności za wyłączenie gruntów z produkcji leśnej”

Krzaklewski W., Barszcz J., Pietrzykowski M., Pająk M., 2000: Charakterystyka gleb i ocena warunków siedliskowych powierzchni doświadczalnych Katedry Fitopatologii Leśnej AR w Krakowie w nadleśnictwach: Rudy Raciborskie, Chrzanów i Świerklaniec, Katedra Ekologii Lasu AR w Krakowie, s. 1–21

Kubiak J., 2006: Wybrane problemy mikoryzacji roślin dla potrzeb rolnictwa zrównoważonego, Zeszyty Probl. Post. Nauk Roln. 508, s. 87–96

Lamb A. F. A., 1966: Impressions of tropical pines and hardwoods in some eastern countries, Oxford, Common. Fores. Instit.

Lamb R. J., Richards B. N., 1974: Inoculation of pines with mycorrhizal fungi in natural soils I. Effects of density and time of application of inoculum and phosphorus amendments on mycorrhizal infection, Soil Biol. Biochem. 6, s. 167–171

Lane C. J., Shearin A. T., 1972: Aldrin affects nematodes and mycorrhizal growth on loblolly pine seedlings, Forest Sci. 18 (4), s. 319–320

Le Tacon F., Garbaye J., Carr G., 1987: The use of mycorrhizas in temperate and tropical forests, Symbiosis 3, s. 179–206

Le Tacon F., Jung G., Mugnier J., Michelot P., Mauperin Ch., 1985: Efficiency in a forest nursery of an ectomycorrhizal fungus inoculum produced in a fermentor and entrapped in polymeric gels, Can. J. Bot. 63, s. 1664–1668

Leśnictwo. Informacje i opracowania statystyczne GUS, roczniki 1995–2005, GUS Warszawa

Levisohn I., 1956: Growth stimulation of forest tree seedlings by the activity of free-living mycorrhizal mycelia, Forestry 29, s. 53–59

Lichtenthaler H. K., Wellburn A. R., 1985: Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents, Biol. Soc. Trans. 11, s. 591–592

Liu R., Li M., Meng X., 2000: Effects of AM fungi on endogenous hormones in corn and cotton plants, Mycosystem 19, s. 91–96

Lynch J. M., 1982: The Rhisosphere. [W:] Experimental Microbial Ecology, R.G. Burns and J.H. Slater (red.), Blackwell Scien. Public. Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne

Ławrynowicz M., 1988: Grzyby, t. XVIII, PWN Warszawa – Kraków

MacFall J., Slack S. A., Iyer J., 1991: Effects of *Hebeloma arenosa* and phosphorus fertility on root acid phosphatase activity of red pine (*Pinus resinosa)* seedlings, Can. J. Bot. 69, s. 380–383

Malcolm R. E., 1983: Assesment of phosphatase activity in soils, Soil Biol. Biochem. 15 (4), s. 403–408

Martin F., Selosse M. A., Le Tacon F., 1999: The nuclear rDNA intergenic spacer of the ectomycorrhizal basidiomycete *Laccaria bicolor*: structural analysis and allelic polymorphism, Microbiol. 145, s. 1605–1611

Marx D. H., 1976: Synthesis of ectomycorrhizae on loblolly pine seedlings with basidiospores of *Pisolithus tinctorius*, Forest Sci. 22, s. 13–20

Marx D. H., 1980: Ectomycorrhizal fungus inoculation: a tool for improving forestation practices. [In:] Mikola P. (eds) Tropical mycorrhiza research, Oxford Univers, Press NY, s. 13–71

Marx D. H., 1991: The practical significance of ectomycorrhizae in forest establishment. [In:] Ecophysiology of ectomycorrhizae of forest trees, The Marcus Wallenberg Found. Symp. Proc. 7, s. 54–90

Marx D. H., Bell W., 1985: Formation of *Pisolithus* ectomycorrhizae on loblolly pine seedlings with spore pellet inoculum applied at different times, U.S.D.A.F., Serv. Res. Pap. SE-249

Marx D. H., Bryan W. C., Davey C. B., 1976: Growth and ectomycorrhizal development of pine seedlings in nursery soils infested with the fungal symbiont *Pisolithus tinctorius*, Forest Sci. 22, s. 91–100

Marx D. H., Cordell C. E., 1989: The use of specific ectomycorrhizas to improve artificial forestation practices. [In:] Biotechnology of fungi for improving plant growth, Symp. Br. Myc. Soc., Sussex, Cambridge Univ. Pr., s. 1–25

Marx D. H., Cordell C. E., France R. C., 1986: Effects of triadimefon on growth and ectomycorrhizal development of loblolly and slash pines in nurseries, Phytopathol. 76, s. 824–831

Marx D. H., Cordell C. E., Kenney D. S., Mexal J. G., Artiman J. D., Riffle J. W., Molina R. J., 1984: Commercial vegetative inoculum of *Pisolithus tinctorius* and inoculatio techniques for development of ectomycorrhizae on bare-root tree seedlings, Forest Sci., Monograph 25, Suppl. Forest Sci. 30 (3), s. 1–101

Marx D. H., Kenney D. S., 1982: Production of ectomycorrhizal fungus inoculum. [In:] Schenck N. C. (ed.), Methods and principles of mycorrhizal research, Am. Phytopath. Soc., St Paul, Minn., s. 131–146

Marx D. H., Mexal J. G., Morris W. G., 1979: Inoculation of nursery seedbeds with *Pisolithus tinctorius* spores mixed with hydromulch increases ectomycorrhizae and growth of loblolly pines, South. J. Appl. For. 3, s. 175–178

Marx D. H., Rowan S. J., 1981: Fungicides influence growth and development of specific ectomycorrhizae on loblolly pine seedlings, Forest Sci. 27, s. 167–176

Marx D. H., Ruehle J. L., Cordell C. E., 1991: Methods for studying nursery and field response of trees to specific ectomycorrhiza. [In:] Technicgues for Mycorrhizal Research. (edit.) Norris J. R., Read D., Varma A. K. Acad. Press. 17, s. 383–412

Marx D. H., Ruehle J. L., Kenney D. S., Cordell C. E., Riffle J. W., Molina R. J., Pawuk W. H., Navratil S., Tinus R. W., Goodwin O. C., 1982: Commercial vegetative inoculum of *Pisolithus tinctorius* and inoculatio techniques for development of ectomycorrhizae on container-grown tree seedlings, Forest Sci. 28 (2), s. 373–400

Massicote H. B., Molina R., Luoma D. L., Smith J. E., 1994: Biology of the ectomycorrhizal genus *Rhizopogon*. II. Patterns of host-fungus specificity following spore inoculation of diverse hosts grown in monoculture and dual culture, New. Phytol. 126, s. 677–690

Mathur N., Vyas A., 1995: Influence of VA mycorrhizae on net photosynthesis and transpiration of *Ziziphus mauritiana*, J. Plant Phys. 147 (3–4), s. 328–330

Mauperin Ch., Mortier F., Garbaye J., Le Tacon F., Carr G., 1987: Viability of an ectomycorrhizal inoculum produced in a liquid medium and entrapped in a calcium alginate gel, Can. J. Bot. 65, s. 2326–2329

McElhinney C., Mitchell D. T., 1993: Phosphatase activity of four ectomicorrhizal fungi found in a Sitka spruce-Japanese larch plantation in Ireland, Mycol. Res. 97 (6), s. 725–732

Melin E., 1921: Über die Mykorrhzenpilze von *Pinus silvestris* L. und *Picea abies* (L.) Karst, Svensk Bot. Tidskr. 15

Melin E., 1922: Untersuchungen über die Larix-Mycorrhiza I. Synthese der Mycorrhiza in Reinkultur, Svensk. Bot. Tids. 16, s. 161–196

Mello A., Garnero L., Bonfante P., 1999: Specific PCR primers as a reliable tool for the detection of white truffles in mycorrhizal roots, New Phytol. 141, s. 511–516

Mikola P., 1970: Mycorrhizal inoculation in afforestation, Inter. Rev. For. Res. 3, s. 123–196

Mikola P., 1973: Application of mycorrhizal symbiosis in forestry practice. [W:] Marks G. C., Kozlowski T. T. (ed.): Ectomycorrhizae Their Ecology and Physiology, Acad. Press, N.Y. 1973, s. 383–411

Mishustin E. N., Shemakhanova N. M., 1964: Effectiveness of mycorrhizal inoculation in practical forestry, Izv. Akad. Nauk SSSR (Ser. biol.) 29, s. 57–71

Mojko M. F., 1966: Factors affecting the growth of *Quercus robur* seedlings, Lesn. Żurnal 9, s. 46–47

Monitor, 1990: Environmental monitoring in Sweden, Swedish Environmental Protection Agency, INFORMS

Morte A., Lovisolo C., Schubert A., 2000: Effect of drought stress on growth and water relations of the mycorrhizal association *Helianthemum almeriense – Terfezia claveryi*, Mycorrhiza 10 (3), s. 115–119

Moser M., 1958: Die kunstliche mykorrhizaimpfung an Forestpflanzen. I. Erfahrungen bei der Reinkultur von mycorrhizapilzen, Forstw. Cbl. 77, s. 32–40

Mullins K. B., Faloona F. A., 1987: Specific synthesis of DNA in vitro via polymerase-catalyzed chain reaction, Met. Enz. 155, s. 35–50

Nakaz J. P., Gould W. D., Klein D. A., 1987: Origin and expression of phosphatase activity in a semi-arid grassland soil, Soil Biol. Biochem. 19 (1), s. 13–18

Nannipieri P., Johanson R. L., Paul E. A., 1978: Criteria for measurement of microbial growth and activity in soil, Soil Biol. Biochem. 10, s. 223–229

Orzeł S., Forgiel M., Socha J., Ochał W., 2005a: Biomass and annual production of common alder stands of the Niepołomice Forest, El. J. Pol. Agr. Univ. Forestry 8 (1)

Orzeł S., Ochał W., Forgiel M., Socha J., 2006: Biomasa i roczna produkcja drzewostanów dębowych Puszczy Niepołomickiej, Sylwan 5, s. 30–43

Orzeł S., Socha J., Forgiel M., Ochał W., 2005b: Biomass of underbrush and conditions for its occurrence in stands of the Niepołomice Forest, El. J. Pol. Agr. Univ. Forestry 8 (1)

Orzeł S., Wysocki P., 2003: Struktura i przyrost biomasy wybranych drzewostanów sosnowych Nadleśnictwa Kłobuck, Acta Sci. Pol. Silv. Colend. Ratio et Industr. Lignaria 2 (2), s. 61–70

Pachlewska J., 1968: Badania nad syntezą mikoryzową sosny (*Pinus silvestris* L.) w czystych kulturach na agarze, Prace IBL 345, s. 1–76

Pachlewski R., 1953: Badania mikotrofizmu siewek modrzewia polskiego i sudeckiego w naturalnych i sztucznych warunkach rozwoju, Acta Soc. Bot. Pol. 22

Pachlewski R., 1983: Grzyby symbiotyczne i mikoryza sosny (*Pinus silvestris* L.), Prace IBL 615, s. 3–132

Pachlewski R., 1988: Potrzeby mikoryzacji sadzonek, Prace IBL, Seria B 8, s. 9–14

Pachlewski R., 1993: Mikoryzacja sadzonek w szkółkach leśnych, Postępy Techn. w Leśn. 53

Pachlewski R., Pachlewska J., 1960: Badania morfologiczno-anatomiczne mikoryz sosny (*Pinus silvestris* L.) w szkółkach leśnych, Prace IBL 395, s. 3–66

Pachlewski R., Pachlewska J., 1974: Studies on symbiotic properties of mycorrhizal fungi on pine (*Pinus silvestris* L.) with the aid of the method of mycorrhizal synthesis in pure cultures on agar, Forest Res. Inst. Warsaw 1974, s. 1–228

Palmer E., Pitman N., 1961: Trees of southern Africa, Balkema, Amsterdam, Cape Town

Pan H., Lundgren L. N., 1995: Phenolic extractives from root bark of *Picea abies*, Phytochem. 39 (6), s. 1423–1428

Paolocci F., Rubini A., Granetti B., Arcioni S., 1999: Rapid molecular approach for a reliable identification of *Tuber* spp. ectomycorrhizae, FEMS Microb. Ecol. 28, s. 23–30

Paolocci F., Rubini A., Riccioni C., Granetti B., Arcioni, S., 2000: Cloning and characterisation of two repeated sequences in the symbiotic fungus *Tuber melanosporum* Vitt., FEMS Mikrob. Ecol. 34, s. 139–146

Paradi I., Bratek Z., Lang F., 2003: Influence of arbuscular mycorrhiza and phosphorus supply on polyamine content, growth and photosynthesis of *Plantago lanceolata*, Biol. Plant. 46 (4), s. 563–569

Pardé J., 1980: Forest Biomass, Forest. Abst. 41 (8), s. 343–362

Parlade J., Alvarez I. F., 1993: Coinoculation of aseptically grown Douglas fir with pairs of ectomycorrhizal fungi, Mycorrhiza 3, s. 93–96

Parlade J., Alvarez I. F., Pera J., 1996: Inoculation of containerized *Pseudotsuga menziesii* and *Pinus pinaster* seedlings with spores of five species of ectomycorrhizal fungi, Mycorrhiza 6, s. 237–245

Parlade J., Alvarez I. F., Pera J., 1999: Coinoculation of containerized Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) and maritime pine (*Pinus pinaster*) seedlings with the ectomycorrhizal fungi *Laccaria bicolor* and *Rhizopogon* spp., Mycorrhiza 8, s. 189–195

Pawuk W. H., Ruehle J. L., Marx D. H., 1980: Fungicide drenches affect ectomycorrhizal development of container-grown *Pinus palustris* seedlings, Can. J. For. Res. 10, s. 61–64

Pinton R., Varanini Z., Nannipieri P., 2000: The rhizosphere as a site of biochemical interactions among soil components, plants, and microorganisms. [W:] The Rhizosphere. Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface, R. Pinton, Z. Varanini, P. Nannipieri (red), Marcel Dekker, Inc., New York Basel, s. 1–17

Polska Norma, 1999: Materiał sadzeniowy. Sadzonki drzew i krzewów do upraw leśnych i na plantacje, PN-R-67025

Prusinkiewicz Z., 1990: Wpływ kwaśnych deszczów i rodzaju gleby (podłoża) na stężenie pierwiastków biofilnych w organach asymilacyjnych i korzeniach oraz na cechy biometryczne sadzonek kilku gatunków drzew leśnych. [W:] Ekolo-

giczne podstawy gospodarki leśnej i kształtowanie zdolności lasu do pełnienia wielostronnych funkcji, Sem. Nauk., Zamczysko 1990, SGGW-AR Warszawa, s. 31–42

Puchniarski T. H., 2000: Krajowy program zwiększania lesistości. Poradnik od A do Z, PWRiL Warszawa

Pushkinskaja O. I., Mishustin E. N., 1963: Measures which promote growth and mycorrhiza formation on *Pinus* and *Quercus* in the conditions of the forest steppe zone of the USSR. [W:] Mycorrhiza, Weimar 1960, s. 469–479

Rachwald H., 1996: Wstępna ocena zawartości makro- i mikroskładników w igłach świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst) w Puszczy Białowieskiej, Prace IBL, Ser. A 814, s. 25–36

Reddy S. M., Natarajan K., 1997: Coinoculation of ectomycorrhizal fungi on *Pinus patula* seedlings in a nursery, Mycorrhiza 7, s. 133–138

Redlak K., Dam H., Ciesielska A., Strzelczyk E., 2001: Enzymatic activity of ectendomycorrhizal fungi, Biol. Fertil. Soils 33, s. 83–90

Rejšek K., 1991: Acid phosphomonoesterase activity of ectomicorrhizal roots in Norway Spruce pure stands exposed to pollution, Soil Biol. Bioch. 23 (7), s. 667–671

Richter D. L., Bruhn J. N., 1987: *Scleroderma* spp. Ectomycorrhizae for use in greenhouse and nursery to increase *Pinus resinosa* outplanting success, Mycol. Soc. Am. Newsl. 38, s. 45

Rouillon R., Poulain C., Bastide J., Coste C. M., 1989: Degradation of the herbicide chlorprophan by some ectomycorrhizal fungi in pure culture, Agric. Ecosys. Environ. 28, s. 421–424

Rudawska M., 1985: Sugar metabolism of ectomycorrhizal Scots pine seedlings as influenced by different nitrogen forms and level. Physiological and genetical aspects of mycorrhizae. Proceedings of the 1st Europ. Symp. on Mycorrhizae, Dijon, 1–5 July 1985, s. 389–394

Rudawska M., 1993: Mikoryza. [W:] Biologia sosny zwyczajnej, red. Białobok S., Boratyński A., Bugała W., Sorus, Poznań-Kórnik, s. 137–182

Rudawska M., 1997: Znaczenie mikoryzacji we wzroście i rozwoju sosny, Sylwan nr 6

Rudawska M. (red.), **2000:** Ektomikoryza – jej znaczenie i zastosowanie w leśnictwie, Inst. Dendr. PAN Kórnik, s. 1–102

Rudawska M., Gay G., 1995: Effect of an IAA overproducer mutant of the fungus *Hebeloma cylindrosporum* Romagnesi on the early stages of ectomycorrhizal infection and carbohydrate content in seedlings of *Pinus pinaster* (Ait.), Sol. Acta Soc., Bot. Pol. 64 (3), s. 255–264

Sabor J., 1998: Nasiennictwo i szkółkarstwo. [W:] Biologia świerka pospolitego, PAN, Inst. Dendr., s. 170–191

Sabor J., 1998: Szkółkarstwo leśne w programach selekcji drzew leśnych, Postępy Techn. w Leśn. 65, s. 18–29

Sabor J., 2000: Nasiennictwo, szkółkarstwo i selekcja drzew leśnych. Cz. III. Podstawy selekcji drzew, Wyd. AR w Krakowie

Sarjala T., Potila H., 2005: Effect of ectomycorrhizal fungi on nitrogen mineralization and the growth of Scots pine seedlings in natural peat, Plant and Soil 269, s. 171–180

Satoo T., 1982: Forest biomass. Martinus Nijhoff / Dr W. Junk Publishers, The Hague, s. 152

Schenck N. C., (ed.), **1984:** Methods and principles of mycorrhizal research. The Amer. Phytopath. Soc., Minnesota 55121, USA, 2-nd Print, s. 131–146

Schinner F., Mitterer M., Bayer H., 1981: Der Einfluss von Fungiziden auf die Mikrobielle Aktivitaet Eines Bodens, Z. Pflanzenernahr. Bodenkd. 144 (5), s. 463–471

Schnaider Z., 1992: Ochrona przed szkodliwymi owadami. [W:] Szkółkarstwo leśne, R. Sobczak (red.), Wydawnictwo Świat, Warszawa, s. 156–164

Selosse M. A., Costa G., Di Battista C., Le Tacon F., Martin F., 1996: Meiotic segregation and recombinaison of the intergenic spacer of the ribosomal DNA in the ectomycorrhizal basidiomycete *Laccaria bicolor*. Current Gen. 30, s. 332–337

Selosse M. A., Jacquot D., Bouchard D., Martin F., Le Tacon F., 1998: Temporal persistence and spatial distribution of an American strain of the ectomycorrhizal basidiomycete *Laccaria bicolor* in a French plantation, Mol. Ecol. 7, s. 561–573

Selosse M. A., Martin F., Bouchard D., Le Tacon F., 1999: Structure and dynamics of experimentally introduced and naturally occurring *Laccaria* sp. discrete genotypes in a Douglas fir plantatio, Appl. Environ. Microbiol. 65, s. 2006–2014

Shemakhanova N. M., 1961: Dejstvie cistyh kultur gribov-mikorizoobrazovatelej na razvitie sejancev sosny i duba. Izv. Akad. Nauk SSSR, (Ser. biol.) 3, s. 363–376

Shemakhanova N. M., 1962: Mycotrophy of woody plants, US Dept. Commerce, Transl. TT 66-51073 (1967), Washington, DC

Sierota Z., 1997: Ochrona szkółek przed grzybami pasożytniczymi, Sylwan 5, s. 5–13

Smith J. R., Ferry B. W., 1979: The effects of simazine, applied for weed control, on the mycorrhizal development of Pinus seedlings, Ann. Bot. 43, s. 93–99

Smith S. E., Read D. J., 1997: Mycorrhizal symbiosis, Academic Press, II ed.

Sobotka A., 1968: Vliv aplikace nekterych biocidu v lesnich školkách na krátkébocni koreny jednoletych semenácku borovice lesni, Vyzk. Ust. Lesn. Hospod. Mysliv. 36, s. 63–76

Song H., 2005: Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms, E. J. of Botany 1 (3), s. 44–48

South D. B., Kelley W. D., 1982: The effect of selected pesticides on short – root development of greenhouse – grown *Pinus taeda* seedlings, Can. J. For. Res. 12, s. 29–35

Speir T. W., Ross D. J., 1978: Soil phosphatase and sulphatase. [W:] Soil enzymes, R.G. Burns (red.), Acad. Press Inc. (London) Ltd., s. 197–250

StatSoft, Inc., 2005: STATISTICA (data analysis software system), version 7.1.

Stenström E., Ek M., Unestam T., 1986: Prolonged effects of initally introduced mycorrhizae of plants after outplanting. [In:] (Eds). V. Gianinazzi-Pearson & S. Gianinazzi, Physiological and genetical aspects of mycorrhizae, Proc. 1st Europ. Symp. on Mycorrhizae, Dijon, s. 503–506

Stępniewska H., 2004: Mikoryzy siewek jodły (*Abies alba* Mill.) hodowanych na substracie trocinowo-torfowym w szkółce Feleczyn w Nadleśnictwie Nawojowa, Sylwan 6, sd. 10–17

Stępniewska H., Drabek E., Fedynkiewicz M., 2004: Mikoryzy siewek świerka (*Picea abies* (L.) Karst.) hodowanych na podłożach trocinowo-torfowych o różnym okresie użytkowania, Sylwan 10, s. 13–22

Sudhakara Reddy M., Natarajan K., 1995: Effects of the fungicide Dithane M-45 on the growth and mycorrhizal formation of *Pinus patula* seedlings, Soil Biol. Wioch. 27, s. 1503–1504

Summerbell R. C., 1988: Benomyl – tolerant microfungi associated with mycorrhizae of black spruce, Can. J. Bot. 66 (3), s. 553–557

Suszka B., 2000: Nowe techniki i technologie w nasiennictwie leśnym, Wyd. Nauk. Bogucki s.c.

Suszka B., Muller C., Bonnet-Masimbert M., 1994: Nasiona leśnych drzew liściastych – od zbioru do siewu, Wyd. Nauk. PWN

Suz L. M., Martin M. P., Colinas C., 2006: Detection of *Tuber melanosporum* DNA in soil, FEMS Microbiol. Lett. 254, s. 251–257

Sylvia D. M., 2000: Short root densities and surface phosphatase activities of ectomycorrhizal morphotypes in a Slash Pine plantation, J. Sustain, For. 11 (3), s. 83–93

Szabla K., 2000: Cel, potrzeby i praktyczna realizacja hodowli sadzonek mikoryzowanych w szkółce kontenerowej Nadleśnictwa Rudy Raciborskie, Post. Techn. w Leśn. 76, s. 24–33

Szabla K., 2004: Wpływ biopreparatów z grzybami ektomikoryzowymi na kształtowanie się mikoryz, wzrost i rozwój sadzonek wybranych gatunków drzew leśnych w szkółce kontenerowej i uprawach, w różnych warunkach środowiska, praca doktorska, AR w Krakowie, Wydz. Leśny, s. 1–206

Szabla K., 2005: Mikoryzacja sadzonek, a efekty hodowlane w uprawach, Wyd. CILP Warszawa

Szabla K., Pabian R., 2002: Problemy produkcji sadzonek górskich gatunków domieszkowych w szkółce kontenerowej Nadleśnictwa Rudy Raciborskie, Zesz. Nauk. AR w Krakowie nr 394

Szabla K., Pabian R., 2003: Szkółkarstwo kontenerowe. Nowe technologie i techniki w szkółkarstwie leśnym, CILP, Warszawa 2003, s. 1–212

Szczygieł K., 1988: Przyrost siewek świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) niektórych rodzimych proweniencji (wyniki badań w komorach fitotronowych i w szkółce), Prace IBL 657, s. 3–29

Tabatabai M. A., 1982: Soil enzymes. [In:] Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, Agronomy Monograph 9 (2nd Ed.), ASA-SSSA, 677 S. Segoe Rd,. Madison, WUI 53711, USA

Tarafdar J. C., Claassen N., 1988: Organic phosphorus compounds as a phosphorus source for higher plants through the activity of phosphatases produced by plant roots and microorganisms, Biol. Fertil. Soils 5, s. 308–312

Theodorou C., 1971: Introduction of mycorrhizal fungi into soil by spore inoculation of seed, Aust. For. 35, s. 17–22

Theodorou C., Bowen G. D., 1973: Inoculation of seeds and soil with basidiospores of mycorrhizal fungi, Soil Biol. Biochem. 5, s. 765–71

Theodorou C., Skinner M. F., 1976: Effects of fungicides on seed inocula of basidiospores of mycorrhizal fungi, Austr. For. Res. 7, s. 53–58

Thomas G. W., Jackson R. M., 1983: Growth responses of Sitka spruce seedlings to mycorrhizal inoculation, New Phytol. 95, s. 223–229

Thomas T. H., 1973: Growth regulatory effects of three benzimidazole fungicides on the germination of celery seeds, Ann. Appl. Biol. 76, s. 237–241

Tomaszewski K., Fonder W., 1999: Doświadczenia, przebieg i udział Lasów Państwowych w realizacji Krajowego Programu Zwiększania Lesistości, materiały Rady Leśnictwa MOŚZNiL „Zalesiania gruntów porolnych"

Trappe J. M., 1977: Selection of fungi for ectomycorrhizal inoculation in nurseries, Ann. Rev. Phytopat. 15, s. 203–222

Trappe J. M., 1983: Effects of the herbicides bifenox, DCPA, and napropamide on mycorrhiza development of ponderosa pine and Douglas-fir seedlings in six western nurseries, Forest Sci. 29, s. 464–468

Trappe J. M., Molina R., Castellano M., 1984: Reactions of mycorrhizal fungi and mycorrhiza formation to pesticides, Ann. Rev. Phytopat. 22, s. 331–359

Tyler G., 1975: Effects of heavy metal pollution on decomposition in forest soils. II. Decomposition rate, mineralization of nitrogen and phosphorus, soil enzymatic activity, Staten Naturvårdsverk, PM 542 E, s. 1–47

Tyler G., 1976: Heavy metal pollution, phosphatase activity and mineralization of organic phosphorus in forest soil, Soil Biol. Biochem. 8, s. 327–332

Unestam T., Chakravarty P., Damm E., 1989: Fungicides: in vitro tests not useful for evaluating effects on ectomycorrhizae, Agric. Ecosys. Environ. 28, s. 535–538

Uri V., Tullus H., Lõhmus K., 2003: Nutrient allocation, accumulation and above-ground biomass in grey alder and hybrid alder plantations, Silva Fennica 37 (3), s. 301–311

Vanin S. I., 1949: Mikoriza i je znachenie dlya stepnogo lesorazvedeniya (Mycorrhiza and its importance of steppe aforestation), Priroda, Moskva, 38, s. 32–37

Vanninen P., Ylitalo H., Sievänen R., Mäkaelä A., 1996: Effects of age and site quality on the distribution of biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Trees 10, s. 231–238

Veselkov I. M., 1975: Artificial propagation of *Boletus edulis* in forests, Rastitelnye Resursy 11 (4), s. 574–578

Vodnik D., Gogala N., 1994: Seasonal fluctuations of photosynthesis and its pigments in 1-year mycorrhized spruce seedlings, Mycorrhiza 4 (6), s. 277–281

Vyskot M., 1980: Bilance biomasy hlavních lesních dřevin, Lesnictví 26 (10), s. 849–882

Walczyk J., 2007: Siew punktowy nowym rozwiązaniem technologicznym w szkółkach leśnych. [W:] Ektomikoryzy. Nowe biotechnologie w polskim szkółkarstwie leśnym, CILP Warszawa, (L.c.)

Walczyk J., Tylek P., 2000: Pomiar wymiarów geometrycznych igieł siewek świerka za pomocą techniki wideo-komputerowej, Inżyn. Roln. 7, s. 183–188

Walczyk J., Tylek P., 2004: Sowing Scots pine seed with a modified single-seed seeder under controlled conditions, EJ of Pol. Agric. Univ. Ser. Forest 7 (2)

Walczyk J., Tylek P., 2005: Mechanizacja produkcji w szkółkach gruntowych mikoryzowanych sadzonek na potrzeby zalesień gruntów porolnych, Inżyn. Roln. 10, s. 403–409

Walczyk J., Tylek P., 2005a.: Mechanizácia mikorizácie a presnej sejby semien na vegetačných plochách. Trendy vo výskume a vývoji poľnohospodárskych strojov a technógií v ekosystéme kultúrnej krajiny, Dudince, 2–3 jún.

Walendzik J., 1975: Wytyczne nawożenia szkółek leśnych, Zakład Gleboznawstwa i Nawożenia IBL, Warszawa-Sękocin

Walendzik R. L., Szołtyk G., 1992: Nawożenie mineralne i wapnowanie. [W:] Szkółkarstwo leśne, red. R. Sobczak

Wallander H., Wickman T., 1999: Biotite and microcline as potassium sources in ectomycorrhizal and non-mycorrhizal *Pinus sylvestris* seedlings, Mycorrhiza 9, s. 25–32

Weber J., Díez J., Selosse M. A., Tagu D., Le Tacon F., 2002: SCAR markers to detect mycorrhizas of an American *Laccaria bicolor* strain inoculated in European Douglas-fir plantations, Mycorrhiza 12, s. 19–27

Weiner J., 1999: Życie i ewolucja biosfery, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa

Wesoły W., 1998: Produkcja sadzonek w kontenerach typu Hico, Post. Techn. w Leśn. 65, s. 58–61

White T. J., Bruns T., Lee S., Taylor J., 1990: Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. [W:] PCR protocols. A guide to methods and applications. M.A. Innis., D.H. Gelfaud, J.J. Sninsky, T.J. White (ed.) Acad. Press, San Diego, s. 315–322

Wilde S. A., Persidsky D. J., 1954: Effect of biocides on the development of ectotrophic mycorrhizae on Monterey pine seedlings, Agron. Austr., Nov., s. 8–12

Wojewoda W., 2003: Checklist of polish larger *Basidiomycetes*, Inst. Bot. im. W. Szafera PAN, Kraków

Zianis D., Muukkonen P., Mäkipää R., Mencuccini M., 2005: Biomass and stem volume equations for tree species in Europe, Silva Fennica, monogr. 4, s. 1–63