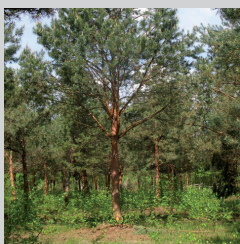


Plantacje nasienne drzew leśnych w Polsce



Warszawa 2022

Plantacje
nasienne
drzew leśnych
w Polsce

Wydano na zlecenie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych

Warszawa 2023

Wydawca

© Centrum Informacyjne Lasów Państwowych

ul. Grójecka 127

02-124 Warszawa

tel. 22 185 53 53

e-mail: cilp@cilp.lasy.gov.pl

www.cilp.lasy.gov.pl

Zespół autorski

Przewodniczący zespołu: prof. Jan Kowalczyk (Instytut Badawczy Leśnictwa w Sękocinie). Członkowie zespołu: prof. Władysław Chałupka (Instytut Dendrologii PAN w Kórniku), dr inż. Jacek Banach (Uniwersytet Rolniczy w Krakowie), dr hab. Kinga Skrzyszewska (Uniwersytet Rolniczy w Krakowie), dr inż. Cezary Bystrowski (Instytut Dendrologii PAN w Kórniku), prof. dr hab. Andrzej Lewandowski (Instytut Dendrologii PAN w Kórniku), prof. dr hab. Jarosław Burczyk (Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy), prof. UAM dr hab. Lech Urbaniak (Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu), prof. UAM dr hab. Ewa Chudzińska (Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu), mgr Anetta Lewandowska-Wosik (Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu), dr hab. Daniel J. Chmura (Instytut Dendrologii PAN w Kórniku), Recenzja: dr hab. Leszek Bolibok (Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie)

Redakcja i korekta

Aleksandra Tomicka-Kaiper

Korekta

Matylda Pawłowska

Koordinacja procesu wydawniczego (CILP)

Paulina Król

Opracowanie graficzne, fotoedycja i przygotowanie do druku

ADP Darek Peplowski

Druk i oprawa

ORWLP w Bedoniu

ISBN 978-83-65659-76-7

Plantacje nasienne drzew leśnych w Polsce

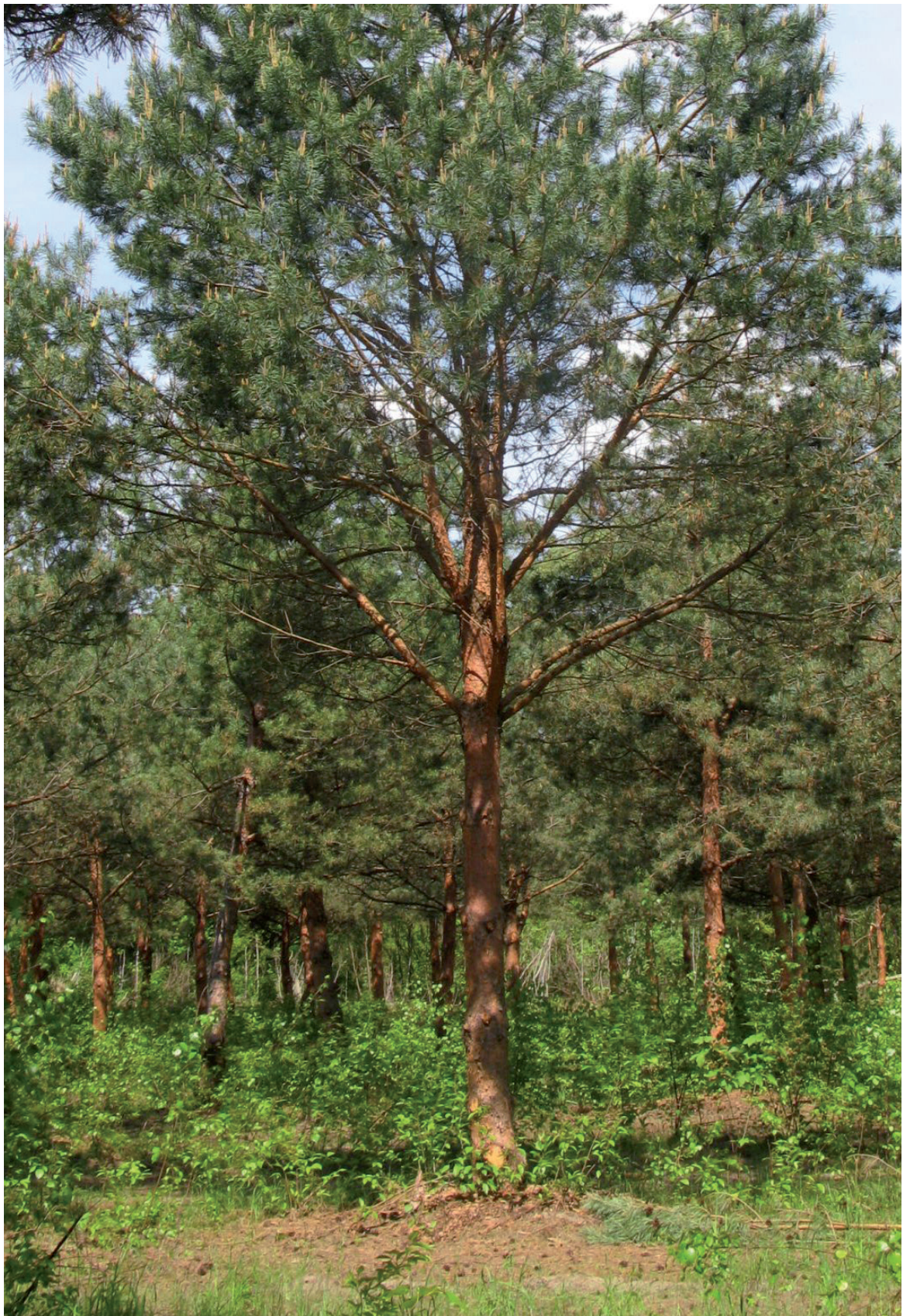


Warszawa 2023

Wstęp	9
I. Przegląd najważniejszych problemów badawczych dotyczących plantacji nasiennych i ich prowadzenia – rys historyczny	11
Wstęp	13
1. Europa	13
1.1. Geneza badań w zakresie genetyki drzew leśnych.	13
1.2. Początki selekcji indywidualnej dla plantacji nasiennych.	14
1.3. Definicja plantacji nasiennych.	15
1.4. Dobór podkładki i lokalizacja plantacji.	15
1.5. Stymulacja kwitnienia na plantacjach nasiennych.	15
2. Polska	16
2.1. Początki genetyki drzew leśnych w okresie międzywojennym	16
2.2. Początki selekcji drzew leśnych w Kórniku po II wojnie światowej.	18
2.3. Podział obowiązków między Zakład Dendrologii i Pomologii PAN a Instytut Badawczy Leśnictwa.	20
2.4. Początek wyboru drzew doborowych w Kórniku	21
2.5. Pierwsze klonalne plantacje nasienne	28
2.6. Promocja idei wyboru drzew doborowych i zakładania plantacji nasiennych.	33
2.7. Dorobek kórnickiej placówki naukowej w zakresie selekcji indywidualnej	35
2.8. Początki prac nad plantacjami nasiennymi w Instytucie Badawczym Leśnictwa	36
2.9. Selekcja indywidualna zadaniem Instytutu Badawczego Leśnictwa	36
2.10. Efekty działań Instytutu Badawczego Leśnictwa na polu selekcji indywidualnej	38
Zakończenie	38
Podsumowanie	39
II. Stan obecny plantacji nasiennych w Polsce i ich kategoryzacja	43
1. Wprowadzenie	45
2. Wyniki kategoryzacji plantacji nasiennych w Polsce	48
3. Przykłady plantacji nasiennych z różnych kategorii	48
4. Wyniki ankiety na temat plantacji nasiennych w Polsce	52
Podsumowanie	53

III. Zakładanie i prowadzenie plantacji nasiennych	55
1. Wybór materiału i przygotowanie sadzonek do zakładania plantacji nasiennych	57
2. Zakładanie i prowadzenie plantacji nasiennych i plantacyjnych upraw nasiennych	58
2.1. Wybór powierzchni pod plantacje a warunki glebowe.	59
2.2. Izolacja plantacji	60
2.3. Przygotowanie gleby.....	60
3. Sadzenie plantacji nasiennej i plantacyjnej uprawy nasiennej.	61
4. Pielęgnowanie gleby, szczepów i sadzonek	64
5. Ogławianie drzew i formowanie koron	65
6. Wydajność plantacji nasiennych – stymulacja kwitnienia i obradzania drzew na plantacjach	67
7. Likwidacja plantacji nasiennych	70
Podsumowanie	70
IV. Zbiór szyszek i nasion na plantacjach nasiennych	73
1. Ocena obradzania i statystyka urodzaju	75
2. Sposoby zbioru nasion i szyszek	77
2.1. Zbiór z ziemi	78
2.2. Sekatory	80
2.3. Drabiny	81
2.4. Otrząsanie (strącanie)	82
2.5. Platformy hydrauliczne	84
2.6. Inne sposoby zbioru na plantacjach	87
2.7. Zasady BHP przy zbiorze	88
3. Oznaczanie i certyfikacja nasion z plantacji nasiennych	92
Podsumowanie	92
V. Profilaktyka i ochrona plantacji nasiennych	97
Wstęp	99
1. Zanim powstanie plantacja nasienne, czyli działania profilaktyczne	100
2. Wielkość plantacji a jej ochrona przed szkodnikami	100
3. Wpływ lokalizacji plantacji i jej sąsiedztwa na efektywność zwalczania fitofagów	101
4. Propozycja dwóch strategii prowadzenia zabiegów zwalczania szkodników na plantacjach nasiennych	104
5. Integrowane metody ochrony plantacji nasiennych	105
6. Przegląd ważniejszych fitofagów szyszek i nasion wybranych gatunków drzew iglastych	105
6.1. Ważniejsze szkodniki nasion i szyszek gatunków iglastych.	106
6.1.1. Fitofagi szyszek i nasion sosny zwyczajnej (<i>Pinus sylvestris</i>)	106
6.1.2. Fitofagi szyszek i nasion świerka zwyczajnego (<i>Picea abies</i>)	109
6.1.3. Fitofagi szyszek i nasion jodły zwyczajnej (<i>Abies alba</i>)	110
6.1.4. Fitofagi szyszek i nasion modrzewia europejskiego (<i>Larix decidua</i>)	112
6.1.5. Szkodniki szyszek i nasion daglezi zielonej (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)	114

VI. Zmienność genetyczna i przebieg procesów reprodukcyjnych na plantacjach nasiennych	119
1. Zmienność genetyczna plantacji nasiennych	121
2. Przebieg procesów reprodukcyjnych	124
2.1. Samozapłodnienie	125
2.2. Zanieczyszczenie plantacji nasiennych obcym pyłkiem	126
2.3. Zmienność sukcesu reprodukcyjnego	130
Podsumowanie	131
VII. Zastosowanie metod analiz molekularnych DNA do certyfikacji leśnego materiału rozmnożeniowego	135
Wprowadzenie	137
1. Uwarunkowania prawne	138
2. Podstawowe metody badania markerów molekularnych DNA	140
2.1. Ekstrakcja DNA z tkanek roślinnych	140
2.2. Reakcja PCR i elektroforeza w żelu agarozowym	141
2.3. Analiza wyników	142
3. Identyfikacja leśnego materiału rozmnożeniowego na podstawie analiz molekularnych	142
3.1. Zastosowanie markerów DNA do identyfikacji gatunkowej drzew leśnych	143
3.2. Badanie mieszańców	144
3.3. Zastosowanie markerów molekularnych do certyfikacji nasion z drzew matecznych	145
3.4. Zastosowanie markerów DNA do identyfikacji osobniczej i populacyjnej drzew leśnych oraz określenie pochodzenia i bogactwa genetycznego populacji	145
Podsumowanie	148
VIII. Zysk genetyczny z plantacji nasiennych	151
1. Oczekiwany i zrealizowany zysk genetyczny	153
2. Różnice między zyskiem oczekiwanym a zrealizowanym i ograniczenia dla zysku genetycznego	157
3. Przykłady zrealizowanego zysku genetycznego	159
4. Praktyczne wykorzystanie zysku genetycznego	167
Podsumowanie	169



Wstęp

Plantacje nasienne obejmują grupy wyselekcjonowanych klonów lub rodów, zagospodarowane i izolowane w sposób minimalizujący dopływ pyłku ze źródeł zewnętrznych. Celem plantacji nasiennych jest uzyskanie obfitych zbiorów łatwych do pozyskania nasion o podwyższonej wartości genetycznej. Zysk genetyczny z plantacji nasiennych przekłada się również na korzyści praktyczne. Jednak innego efektu spodziewamy się ze strony gatunków produkcyjnych, które są przedmiotem prac selekcyjnych, a innego ze strony gatunków domieszkowych i biocenotycznych, dla których również zakładamy plantacje. W przypadku gatunków takich jak sosna zwyczajna spodziewamy się, że plantacje poprawią jakość, produktywność i odporność przyszłych lasów. Plantacje gatunków domieszkowych, takich jak lipa drobnolistna mają przede wszystkim dostarczyć różnorodnych genetycznie nasion. Zastępują źródła nasion, często składające się z małej grupy drzew o wątpliwych parametrach jakościowych. Plantacje nasienne są nierozzerwalnie związane z programami hodowli selekcyjnej drzew leśnych – mają pełnić rolę końcowego ogniwa systemu hodowli selekcyjnej. Nasiona z plantacji wykorzystuje się w pracach nad udoskonalaniem drzew, a wyniki tych prac znajdują zastosowanie w praktyce leśnej. Często jednak nie zdajemy sobie z tego w pełni sprawy i nie doceniamy roli plantacji. Może to wynikać z irracjonalnego przeświadczenia o „odmienności” nasion z plantacji w stosunku do nasion z drzewostanów wyselekcjonowanych (WDN) i znanego pochodzenia (GDN) oraz niesłusznego przekonania o znacznym zawężeniu zakresu zmienności genetycznej w potomstwie plantacji.

Wcześniej nasiona z plantacji mogły być wykorzystywane przy zakładaniu upraw pochodnych w blokach (jako domieszka nie większa niż 20%), w uprawach pochodnych tylko dla plantacji oraz w uprawach rozproszonych. W *Programie zachowania leśnych zasobów genowych i hodowli selekcyjnej drzew w Polsce na lata 2011–2035* odsetek ten zwiększono, dążąc do co najmniej 40% oraz poszerzając możliwości zakładania upraw z nasion, które pochodzą tylko z plantacji nasiennych.

Prawie wszystkie polskie plantacje nasienne powstały na bazie drzew matecznych wyselekcjonowanych fenotypowo, są to więc plantacje pierwszej generacji. Mamy nadzieję, opartą na badaniach oceniających efektywność selekcji fenotypowej, że selekcja wykonana jedynie według fenotypu przekłada się również na poprawę cech dziedzicznych, dając zysk genetyczny [J. Kowalczyk 2002, 2005]. Świadczą o tym również wyniki

badan z innych krajów [Cheliak i in. 1988; Alatalo i in. 1990; Munguía-Rosas i in. 2011]. Niewątpliwie plantacje są także bardzo cennymi obiektami chroniącymi zmienność genetyczną drzew leśnych, stanowiąc swego rodzaju banki genów *in vivo*.

Pomimo że plantacje nasienne mają być ogniwem, które przekazuje wyniki prac nad udoskonalaniem drzew leśnych do praktyki, to w wielu przypadkach nie zawsze ta funkcja jest realizowana. W Polsce prace nad testowaniem drzew matecznych zostały rozpoczęte stosunkowo niedawno, ale w wielu krajach, w których prace selekcyjne są bardziej zaawansowane niż w Polsce, funkcjonują już plantacje drugiej i trzeciej generacji (Szwecja, USA, Australia i Nowa Zelandia). Nasiona z takich obiektów charakteryzują się wysoką wartością genetyczną [Funda 2012; Miller, DeBell 2013; Suraj i in. 2019], są też droższe w porównaniu z tymi pochodzącymi z innych baz nasiennych.

Choć plantacje nasienne pełnią tak ważną rolę w hodowli selekcyjnej drzew leśnych i poczyniono w tej dziedzinie znaczne nakłady finansowe, w literaturze polskojęzycznej nie ma zbyt wielu opracowań na temat tych obiektów. Zwykle wspomina się o plantacjach w kontekście prowadzonych tam zabiegów czy też wykorzystania nasion z plantacji [Białobok 1971; Fonder i in. 2007; Jan Kowalczyk i in. 2011; Jan Kowalczyk, Marek Rzońca 2018]. Nie prowadzono również w Polsce zbyt wielu badań poświęconych ich wykorzystaniu. Badania molekularne na plantacjach nasiennych dotyczyły głównie zanieczyszczenia obcym pyłkiem i przepływu genów. W przeszłości prowadzono również prace związane ze stymulacją kwitnienia i obradzania drzew na plantacjach nasiennych, co jest szczególnie ważne w przypadku gatunków słabo obradzających takich jak świerk [Bonnet-Masimbert i in. 1998]. Do niewyjaśnionych do końca problemów należy, często podnoszona, tematyka zawężania lub też wzbogacania zmienności genetycznej upraw na skutek stosowania nasion z plantacji [Adams i in. 1997; J. Burczyk i in. 2000; DiFazio i in. 2004].

Wydaje się więc, że wraz z wchodzeniem w okres obradzania młodych plantacji i uzyskiwaniem wyników na temat wartości hodowlanej tych obiektów w programie testowania [Sabor i in. 2004; Kowalczyk i in. 2016] plantacje nasienne będą stanowić coraz bardziej znaczące źródło nasion dla gospodarki leśnej. Niniejsze opracowanie zbiorowe zestawia podstawową wiedzę na temat plantacji nasiennych. Mamy nadzieję, że przyczyni się do pełniejszego naświetlenia tematyki związanej z prowadzeniem plantacji nasiennych w warunkach polskich, a tym samym – do prowadzenia ich przez praktyków leśników w taki sposób, aby zoptymalizować wykorzystanie wielkiego potencjału tej bazy nasiennej.

Prof. Jan Kowalczyk
Instytut Badawczy Leśnictwa
w Sękocinie Starym



Przegląd
najważniejszych
problemów
badawczych
dotyczących
plantacji nasiennych
i ich prowadzenia
– rys historyczny

Wstęp

Lasy, zagospodarowane przez leśników, są nieprzerwanym źródłem produkcji drewna i innych użytków. Zapewnienie trwałości użytkowania lasu wiąże się dzisiaj nieodłącznie z rozpoznaniem i ulepszaniem jego wartości genetycznej i hodowlanej oraz z jakością wytwarzanego i użytkowanego surowca drzewnego. Istotnym elementem realizacji tych zadań jest selekcja drzew leśnych, a jednym z podstawowych ogniw łańcucha selekcyjnego stały się plantacje nasienne.

We współczesnym gospodarstwie leśnym plantacje nasienne pełnią funkcję łącznika między wyselekcjonowaną populacją hodowlaną a drzewostanem produkcyjnym, w którym, w wymiarze przyrostowym, realizuje się zysk genetyczny [Prescher 2007]. W kontekście wielkiego znaczenia przypisywanego współcześnie plantacjom nasiennym warto przypomnieć pewne fakty historyczne dotyczące selekcji indywidualnej drzew leśnych oraz powstania idei plantacji i jej realizacji w leśnej praktyce hodowlanej.

1. Europa

1.1. Geneza badań w zakresie genetyki drzew leśnych

Początkiem idei genetycznego ulepszania drzew leśnych były z pewnością negatywne doświadczenia hodowlane z używaniem do odnowień nasion z niekontrolowanego zbioru z drzew niskopiennych, o szerokich koronach, obficie obradzających łatwo dostępne szyszki. Zdaniem Bertila Lindquista [1948], tak zbierane przez wiele pokoleń nasiona, używane następnie do odnowień siewem lub do produkcji sadzonek w szkółkach, spowodowały większą degenerację genetyczną drzewostanów niż selektywne cięcia płądrownicze. W tej sytuacji należało podjąć niezbędne kroki dla przywrócenia lasom utraconej zmienności genetycznej i poprawy jakości przyszłych drzewostanów. Drogą do tego celu miały stać się osiągnięcia genetyki i wprowadzenie do lasu metod hodowli wykorzystującej mechanizmy genetyczne, takie jak selekcja najlepszych ras i osobników różnych gatunków drzew leśnych czy produkcja nasion i sadzonek o wyższej jakości genetycznej.

Na początku XX wieku duński uczony Adolf Opperman przypomniał wyniki wcześniejszych badań nad dziedziczeniem cech u drzew leśnych, prowadzonych przez

Henriego-Louisa Duhamela we Francji już w połowie XVIII wieku [Larsen 1956]. Kolejnym etapem na tej drodze były badania Philippe'a Andrégo de Vilmorina we Francji – na początku XIX wieku wyróżnił on u sosny zwyczajnej rasy klimatyczne, zakładając pierwsze doświadczenie proveniencyjne [Giertych 1991].

Tak więc początek XX wieku, a w szczególności wykorzystanie metody kontrolowanego krzyżowania w badaniach nad dziedziczeniem cech jakościowych różnych gatunków drzew leśnych (prowadzone m.in. przez Carla Syracha-Larsena w Danii – pierwsze kontrolowane krzyżówki wykonano w tym kraju w 1924 roku, Burgera w Szwajcarii, Alfreda Denglera w Niemczech, Hermana Nilssona-Ehlego, N. Sylvena i Helge Johnssona w Szwecji oraz Olliego Heikinheimo i C. Muhle Larsena w Finlandii), przyniósł podstawy teoretyczne do praktycznych działań zmierzających do tworzenia programów genetycznego ulepszania drzew leśnych w wielu krajach [Lindquist 1948]. W Szwecji dyskusje na ten temat rozpoczęły się w 1931 roku i stały się początkiem praktycznych działań zmierzających do powstania takiego programu [Lindquist 1948]. Pierwszym etapem tej drogi były kontrolowane krzyżówki międzyosobnicze różnych gatunków drzew leśnych. W 1930 roku zapoczątkowano w Danii kontrolowane krzyżowanie modrzewia w szerszej skali, a w 1934 roku wykonano pierwsze szczepienia jesionu przy wykorzystaniu wyselekcjonowanych osobników drzew matecznych, wówczas nazwanych drzewami hodowlanymi (*breeding-trees*) [Larsen 1956].

W kontekście wyżej podanych informacji warto przypomnieć, że pierwsze na świecie kontrolowane krzyżówki modrzewia europejskiego z japońskim zostały wykonane na ziemiach polskich przez Solomona Kurdianiego w Instytucie Gospodarstwa Wiejskiego i Leśnictwa w Puławach, w leśnictwie doświadczalnym Ruda [Oleksyn 1985, 1991]. Kurdiani był Gruzinem, który studiował leśnictwo w Puławach (wówczas Nowej Aleksandrii), gdzie następnie pracował naukowo do 1914 roku. W 1908 roku opublikował swoje prace na temat ras sosny zwyczajnej oraz metodyki szczepienia drzew leśnych [Kurdiani 1908a, 1908b]. Z pewnością dokonania Kurdianiego należą do najwcześniejszych, jeśli nie pierwszych w Europie. Badacz ten był także autorem pionierskiej pracy na temat organizacji selekcji drzew leśnych w Rosji [Kurdiani 1912].

1.2. Początki selekcji indywidualnej dla plantacji nasiennych

W 1899 roku szwedzki leśnik V.T. Örtenblad nawoływał do aktywnego działania na polu ulepszania drzew leśnych poprzez stosowanie selekcji osobniczej, jednak ten postulat nie znalazł wówczas wykonawców [Larsen 1956]. Kontynuatorem tej idei był inny badacz szwedzki, Gunnar Andersson, który w 1906 roku zachęcał usilnie leśników do selekcji dobrych nasienników w najlepszych drzewostanach i ich rozmnażania na szeroką skalę przez szczepienie [Larsen 1956, Feilberg i Søegaard 1975].

W 1909 roku duński botanik Wilhelm Johannsen wprowadził i zdefiniował dwa znaczące pojęcia – genotyp i fenotyp [Roll-Hansen 2009]. Według Johannssena, genotypem jest to, co osobnik dziedziczy od rodziców, natomiast fenotyp to efekt reakcji genotypu na warunki zewnętrzne środowiska. To klasyczne rozróżnienie, niezwykle ważne także dla genetyki drzew leśnych, dało podstawy dla selekcji indywidualnej i stało się w Danii punktem wyjścia dla powstania idei i praktyki wyboru drzew doborowych [Larsen 1956].

Duńskie idee, przeniesione następnie na grunt szwedzki przez Jensena w latach 1942 i 1945, stały się w tym kraju podstawą do opracowania szeroko zakrojonego programu plantacji nasiennych [Prescher 2007]. Więcej informacji na temat historii tworzenia i realizacji programów zakładania plantacji nasiennych na świecie znaleźć można w opracowaniu Feilberga i Søegaarda [1975].

1.3. Definicja plantacji nasiennych

Obiekty selekcyjne, które po polsku nazywamy plantacjami nasienne, historycznie określane były w języku angielskim wieloma różnymi terminami: *seed-garden*, *seed-plantation*, *seed-source-garden*, *seed orchard* [Larsen 1956] czy też *plantation for seed production* [Lindquist 1948]. W Polsce przyjęła się od początku nazwa *plantacja nasienna*. Niezależnie jednak od nazewnictwa od początku podkreślano ścisły związek idei plantacji nasiennych i hodowli drzew leśnych w rozumieniu genetycznym (*forest tree breeding*) z rozmnażaniem wegetatywnym (tworzeniem klonów) i z kontrolowanymi krzyżowaniami, a Larsen [1956] wręcz z naciskiem podkreślał, że w leśnictwie produkcja nasion na potrzeby odnowień powinna być oddzielona od produkcji drewna.

W 1958 roku Zobel i in. [1958] zaproponowali następującą definicję: „Plantacja nasienna (seed orchard) jest to plantacja założona z potomstwa drzew o wysokiej wartości genetycznej, izolowana w celu ograniczenia zapylenia pyłkiem zewnętrznym o niższej jakości genetycznej i intensywnie prowadzona w celu uzyskania częstych i obfitych urodzajów nasion, łatwo dostępnych do zbioru”. Ta definicja została powszechnie przyjęta w nomenklaturze OECD [2001] i obowiązuje także w naszej ustawie o leśnym materiale rozmnożeniowym z 2001 roku [Ustawa... 2001].

1.4. Dobór podkładki i lokalizacja plantacji

Z czasem, wzorem praktyki sadowniczej, oprócz selekcji drzew doborowych do szczepień zaczęto także zwracać uwagę na dobór podkładki [Schmidting 1973; Krusche i Melchior 1977; Melchior 1987]. Ważnym problemem w przypadkach niektórych gatunków drzew leśnych stało się także zjawisko niezgodności zrazu z podkładką [Copes 1970; Sweet i Thulin 1973].

Po obserwacjach masowego obumierania kwiatów niektórych gatunków drzew leśnych na plantacjach nasienne zaczęto zwracać uwagę na lokalizację tych obiektów i unikać terenów mniej lub bardziej narażonych na lokalne przymrozki w porze kwitnienia i embriogenezy, siedlisk niedostatecznie żyznych i z występującymi cyklicznie okresami suszy i innych czynników zewnętrznych [Werner 1975].

1.5. Stymulacja kwitnienia na plantacjach nasienne

Powstawaniu plantacji nasiennych towarzyszyła u początków entuzjastyczna nadzieja, że nasiona o wyższej wartości genetycznej staną się łatwo dostępne i będą wytwarzane w większych ilościach [Giertych 1987]. W przypadku kwitnienia okazało się jednak, że te założenia były zbyt optymistyczne. Plantacje nasienne wchodzą bowiem w okres obfitego kwitnienia żeńskiego i męskiego oraz obradzania nasion zwykle w wieku kilkunastu lat, zachowując przy tym okresowość podobną do drzewostanów [Chałupka i Wesoly 2000].

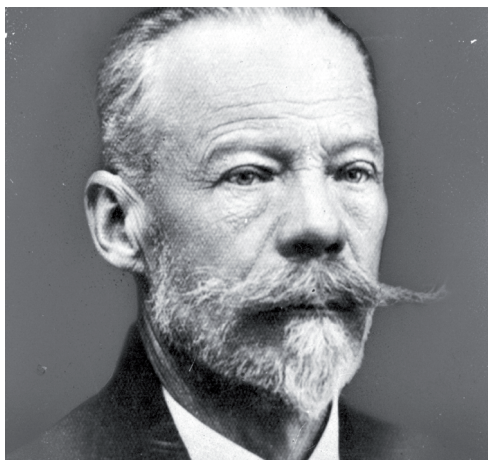
Problem ten dostrzeżono już w latach 30. ubiegłego wieku, próbując przyspieszyć kwitnienie szczepów głównie przez zabiegi strangulacji i obrączkowania [Lindquist 1948]. Z biegiem czasu rozszerzano paletę zabiegów mechanicznych [Chałupka 1985a], nawożenia mineralnego, a także podjęto na szeroką skalę próby stymulacji z użyciem różnorodnych regulatorów wzrostu, a szczególnie giberelin [Chałupka 1985b]. Liczne doświadczenia w zakresie stymulacji kwitnienia i obradzania nasion pozwoliły na wskazanie możliwości ich praktycznego zastosowania na plantacjach nasiennych [Chałupka 2008a], m.in. na skalę praktyczną stosowano gibereliny w stymulacji kwitnienia świerka pospolitego w Szwecji [Almqvist 2008].

W Polsce także prowadzono wiele doświadczeń z różnymi metodami stymulacji kwitnienia na plantacjach nasiennych, jednak nie wyszły one w zasadzie poza fazę eksperymentalną (w skali praktycznej na niektórych gospodarczych plantacjach nasiennych podejmuje się jedynie ogławianie szczepów oraz nawożenie mineralne).

2. Polska

2.1. Początki genetyki drzew leśnych w okresie międzywojennym

Idea genetycznego ulepszania drzew leśnych także w Polsce ma dość głębokie korzenie. W 1925 roku powstała Fundacja Zakłady Kórnickie, w ramach której – z woli fundatora, Władysława Zamoyskiego – przewidziano utworzenie Zakładu Badania Drzew i Lasu. W niezwykle interesującym programie aktywności Działu Biologii Lasu tego zakładu, opracowanym przez wybitnego leśnika polskiego, prof. Stanisława Sokołowskiego (ryc. 1), znalazł się m.in. nowoczesny i dalekosiężny projekt badań genetycznych drzew leśnych. W części tego programu umieszczono punkt A.2, który zawierał zadanie badawcze: *Rasy klimatyczne i odmiany drzew leśnych, zmienność i dziedziczność cech, pochodzenie nasion, hodowla wartościowych ras* (podkr. W.Ch.) [Chałupka 2008b] (ryc. 2).



Ryc. 1. Prof. Stanisław Sokołowski

Dział Biologii Lasu nie rozpoczął, niestety, przewidzianych badań przed II wojną światową. Co prawda zagadnienia genetyczne (hybrydyzacja i selekcja odmian) pojawiły się w pracach zakładu, dotyczyły jednak głównie topoli oraz gatunków drzew owocowych i ozdobnych [Chałupka 2006].

Zagadnienia selekcji drzew leśnych pojawiły się także w programie działania Instytutu Badawczego Lasów Państwowych w Warszawie, który powstał w 1930 roku. 28 grudnia 1933 roku, zarządzeniem Dyrekcji Naczelnej Lasów Państwowych, dokonano podziału Polski na okręgi nasienne dla sosny pospolitej, polecono wybór drzewostanów nasiennych

Program działalności Działu biologii lasu..

I. Liczliśko

- A. Gleba: instalacja metod badania gleb leśnych;
wpływ różnych gatunków na budowę i fizyczne
właściwości gleby.
- B. Klimat: czynniki klimatyczne w lesie,
klimat kręgowy i gniazd.

II Flora

A. Drzewa.

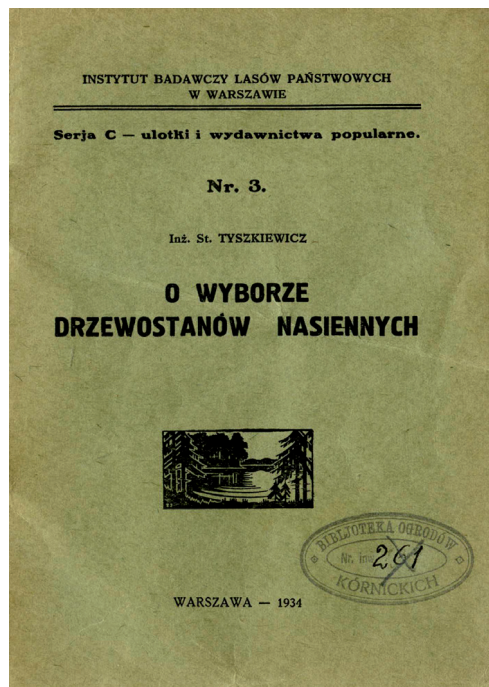
- J. Rasy klimatyczne i odmiany drzew leśnych,
zniesienie i dziedzielnienie cech, pochodzenie
nasienia.

Ryc. 2. Fragment planu badań dla Zakładu
Badania Drzew i Lasu w Kórniku, autorstwa prof.
Stanisława Sokotowskiego

i opracowano ogólne zasady gospodarki nasiennej [Tyszkiewicz 1962]. Swego rodzaju komentarzem do tego zarządzenia była publikacja pt. *O wyborze drzewostanów nasiennych* (ryc. 4) autorstwa Stanisława Tyszkiewicza [1934]. Autor przybliżył w niej czytelnikom zasady selekcji populacyjnej, sugerując, że „o wyborze drzewostanów nasiennych musi decydować ich pochodzenie oraz jakość”. Podkreślał także, że rozpoznanie naturalnych odmian sosny umożliwi w przyszłości „tworzenie ras, najodpowiedniejszych ze względów hodowlano-gospodarczych”, a dla pełniejszej charakterystyki wybranych drzewostanów



Ryc. 3. Prof. Stanisław Tyszkiewicz
(lata 30. XX wieku)



Ryc. 4. Okładka broszury Stanisława Tyszkiewicza z 1934 roku

nasiennych należy sprawdzić ich wartość przez oceny potomstwa [Tyszkiewicz 1934].

Warto zauważyć, że tego typu badania rozpoczynały się wówczas także w innych krajach Europy [Larsen 1956], co oznacza, że w początkach tzw. stosowanej genetyki drzew leśnych polskie działania w niczym nie odstawały od ówczesnych kierunków badań.

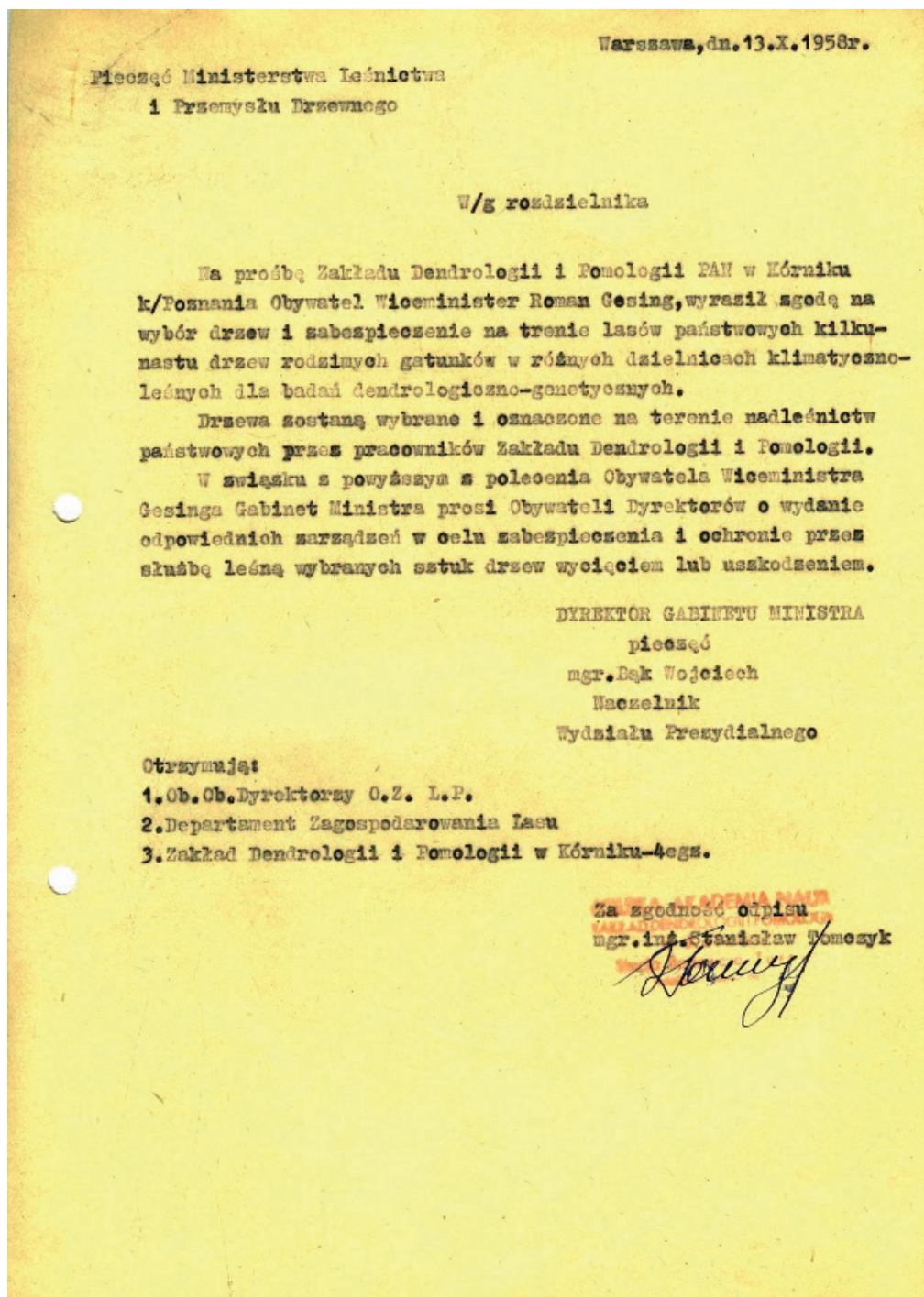
2.2. Początki selekcji drzew leśnych w Kórniku po II wojnie światowej

W 1952 roku, po włączeniu kórnickiej placówki naukowej do Polskiej Akademii Nauk, powrócono do przedwojennej tematyki badań genetycznych, a w programach badań Zakładu Dendrologii i Pomologii pojawiła się także genetyka drzew leśnych.

Ich inspiratorami byli ówczesny dyrektor Zakładu, dr Stefan Białobok, oraz jego zastępca, doc. Zdzisław Wilusz, który był jednocześnie kierownikiem Stacji Doświadczalnej w Turwi, należącej wówczas do Zakładu

Dendrologii i Pomologii PAN w Kórniku. Już 8 maja 1952 roku zorganizowano w Kórniku pierwszą konferencję, na której dyskutowano zaproponowaną przez doc. Wilusza metodykę badania ekotypów sosny zwyczajnej (warto podkreślić, że konferencja odbywała się w okresie narzucanej naukom przyrodniczym tzw. nowej biologii, wymyślonej przez niektórych uczonych radzieckich, kwestionujących zasady klasycznej genetyki ks. Gregora Mendla i Thomasa Morgana). Oprócz pracowników Zakładu w konferencji wzięli udział przedstawiciele innych ośrodków naukowych: doc. Eugeniusz Ilmurzyński, doc. Waław Krajski, doc. Maksymilian Kreutzinger, prof. Leon Mroczkiewicz i prof. Stanisław Tyszkiewicz z Instytutu Badawczego Leśnictwa oraz prof. Zygmunt Czubiński i prof. Konstanty Stecki z Uniwersytetu Poznańskiego [Wilusz 1962]. Jak wspomniano wyżej, przedmiotem dyskusji naukowców był opracowany przez doc. Wilusza w 1951 roku projekt badań ekotypów sosny zwyczajnej, w którym postulował on wybór drzewostanów o najlepszych cechach gospodarczych, a następnie wybór drzew doborowych w obrębie tych drzewostanów. Referat ten, z wprowadzonymi następnie uzupełnieniami, został opublikowany trzy lata później [Wilusz 1955].

Podczas konferencji w Kórniku zaznaczyły się dwa podejścia do zastosowania w leśnictwie osiągnięć nauk genetycznych. W Instytucie Badawczym Leśnictwa preferowano koncepcję selekcji populacyjnej, która dawała możliwość zachowania nieuszczerplonych zasobów genowych i utrzymania bogatej bazy wartościowych rodzimych



Ryc. 5. Pismo Ministerstwa Leśnictwa i Przemysłu Drzewnego wyrażające zgodę na wybór drzew doborowych

drzewostanów. Ta forma selekcji, zdaniem naukowców z IBL, pozwalała także na ulepszanie jakości kolejnych generacji przez reprodukcję zachowanych drzewostanów oraz zachowanie trwałości przyszłych lasów [Korczyk, niepubl.]. W Zakładzie Dendrologii i Pomologii PAN w Kórniku uważano natomiast, że podstawowym celem selekcji powinna być jej efektywność, mierzona zyskiem genetycznym, którą można najsukcesyjnie osiągnąć poprzez selekcję indywidualną [Chałupka 2006].

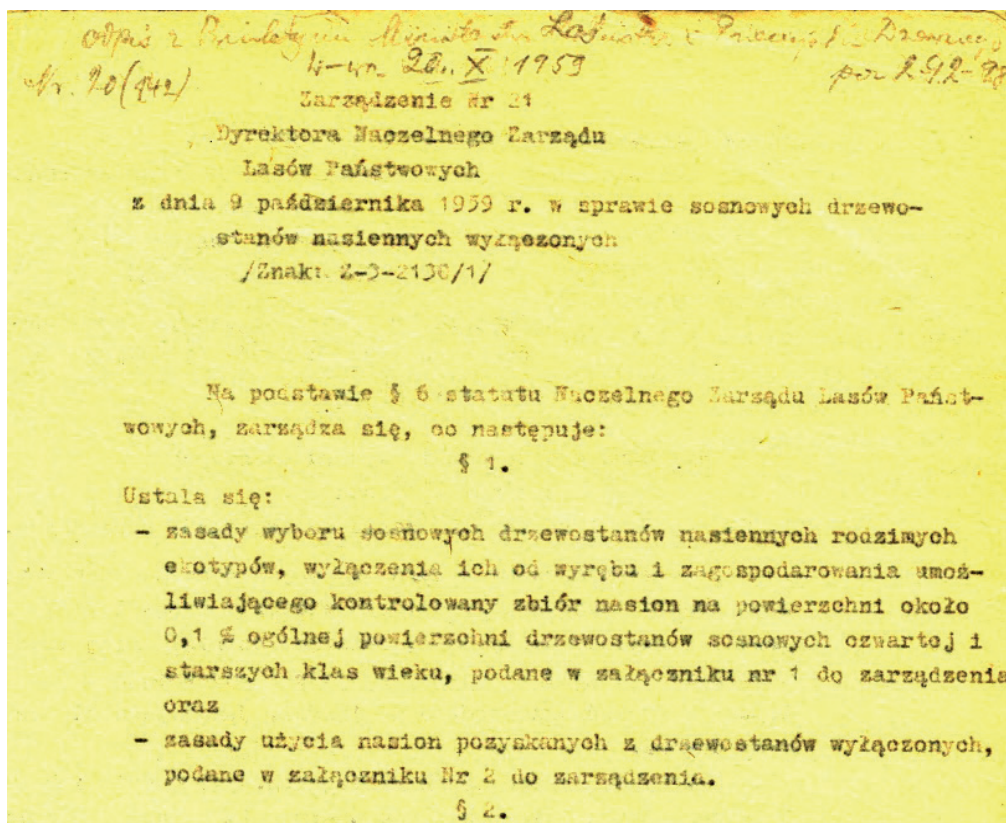
Wypada w tym miejscu podkreślić szczególną pasję, z jaką podchodził do problematyki genetyki drzew leśnych doc. Wilusz, stale pogłębiający swoją wiedzę teoretyczną i praktyczną w tym zakresie. W 1957 roku wziął on udział w Międzynarodowym Kongresie Genetyków Drzew Leśnych w Berlinie, a w 1958 roku wyjechał na własny koszt do Szwecji, gdzie poznał – jak pisał: „dokładnie zarówno problematykę dotyczącą ekotypów drzew, jak też zastosowanie jej w praktyce” [Wilusz 1961]. Dzięki temu wyjazdowi doc. Wilusz nawiązał także owocne kontakty z wieloma wybitnymi genetykami szwedzkimi, m.in. Olafem Langletem, Åke Gustafsonem i Bertilem Lindquistem. Ten ostatni przybył do Kórnika jeszcze w tym samym roku i przeprowadził szkolenie dla kilku pracowników Zakładu Dendrologii i Pomologii w zakresie podstaw genetyki i metodyki badań genetycznych drzew leśnych oraz metodyki wyboru drzew doborowych. Pod nadzorem prof. Lindquista pracownicy Zakładu dokonali także, w 1958 roku, na terenie Puszczy Białowieskiej oraz Okręgowych Zarządów Lasów Państwowych w Olsztynie, Poznaniu, Gdańsku i Krakowie wyboru pierwszych w Polsce drzew doborowych według kryteriów szwedzkich.

W 1959 roku doc. Wilusz wyjechał ponownie do Szwecji, a także do Danii, gdzie nawiązał współpracę z wybitnymi genetykami drzew leśnych – profesorem Carlem Syrachem-Larsenem i doktorem Barnerem, dyrektorem Stacji Genetycznego Uszlachetniania Drzew w Humlebaek [Wilusz 1961].

2.3. Podział obowiązków między Zakład Dendrologii i Pomologii PAN a Instytut Badawczy Leśnictwa

Dyskusja na konferencji kórnickiej w 1952 roku i odmienne koncepcje selekcji drzew leśnych prawdopodobnie przyczyniły się do swoistego podziału pracy między Zakładem Dendrologii i Pomologii PAN w Kórniku a Instytutem Badawczym Leśnictwa w Warszawie. Znalazło to swój formalny wyraz w decyzjach Ministerstwa Leśnictwa i Przemysłu Drzewnego w latach 1958 i 1959. Odpowiadając na postulat Zakładu Dendrologii i Pomologii PAN w Kórniku, pismem z dnia 13 października 1958 roku (nr G.M.-1-099/199/58) (ryc. 5), Ministerstwo udzieliło Zakładowi zgody na wybór drzew doborowych wszystkich gatunków rodzimych, występujących na całym terenie Lasów Państwowych.

Niespełna rok później, z datą 9 października 1959 roku, ukazało się zarządzenie nr 21 Dyrektora Naczelnego Zarządu Lasów Państwowych (NZLP) w sprawie sosnowych drzewostanów nasiennych wyłączonych, powierzające Instytutowi Badawczemu Leśnictwa zadania w zakresie selekcji populacyjnej (Zarządzenie... 1959, ryc. 6). Równocześnie powołana została stała Komisja ds. uznawania drzewostanów nasiennych pod przewodnictwem prof. Stanisława Tyszkiewicza, w skład której wchodził przedstawiciel IBL i NZLP.



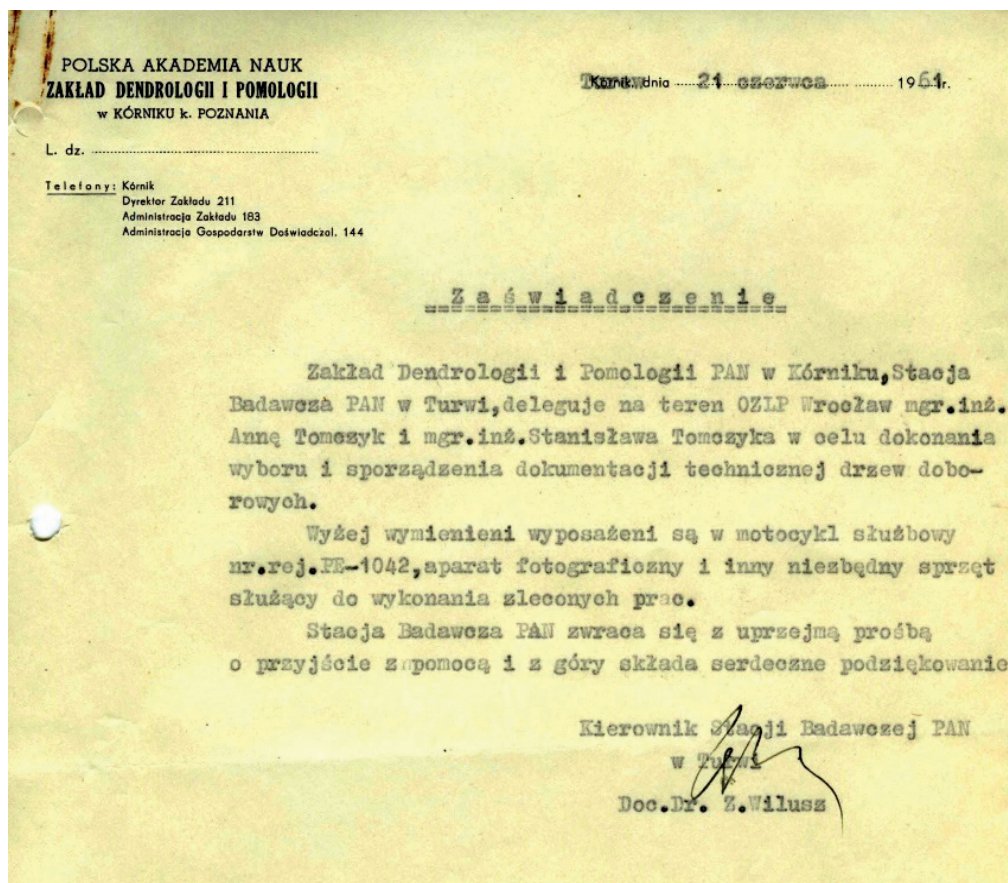
Ryc. 6. Fragment zarządzenia Dyrektora Naczelnego Zarządu Lasów Państwowych w sprawie wyboru wyłączonych drzewostanów nasiennych

2.4. Początek wyboru drzew doborowych w Kórniku

Wybór drzew doborowych na zlecenie Lasów Państwowych stał się jednocześnie zadaniem naukowym Zakładu Dendrologii i Pomologii, ponieważ na posiedzeniu 21 października 1958 roku Rada Naukowa tego Zakładu zatwierdziła temat badań pt. *Wybór drzew doborowych różnych gatunków w niektórych krainach klimatyczno-leśnych*. Cel podejmowanych badań określono następująco: „Ażeby zachować najlepsze osobniki drzew różnych rodzimych gatunków i form dla gospodarki narodowej, zachodzi pilna potrzeba wyboru ich i zabezpieczenia przed wycięciem. Drzewa te w niedalekiej przyszłości będą rozmnażane wegetatywnie, co da możliwość wykorzystania ich przez gospodarstwo leśne, a także będą ważnym obiektem badań naukowych” [Białobok i in. 1958].

Powołując się na decyzję ministerstwa, prof. dr Białobok skierował 27 października 1958 roku pismo do wszystkich okręgowych zarządów Lasów Państwowych z informacją o rozpoczęciu wyboru drzew jesienią tegoż roku i z prośbą o pomoc w pracach terenowych (ryc. 7) (Archiwum ID PAN, ryc. 7).

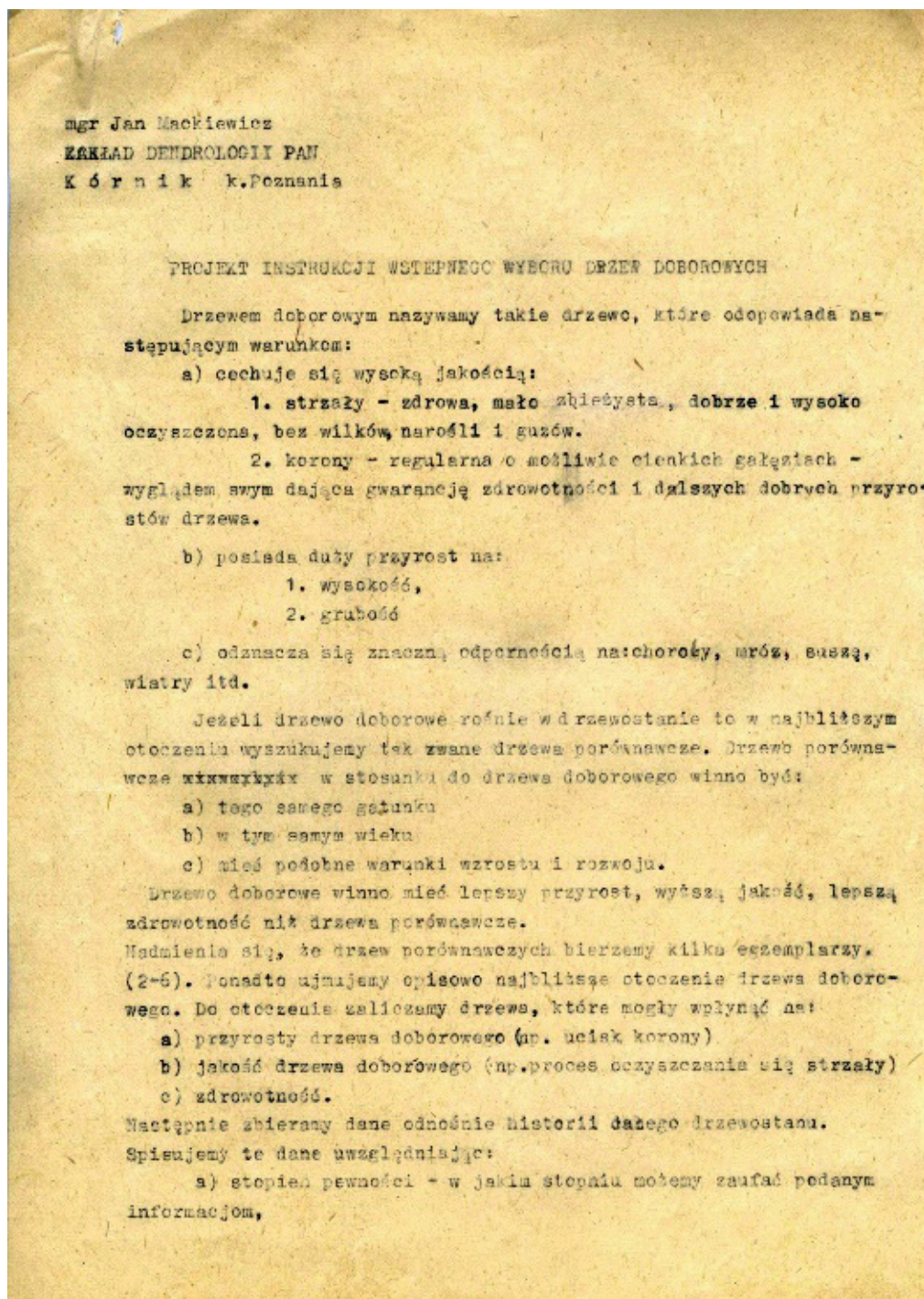
Pracownicy Zakładu, pod bezpośrednim kierownictwem doc. Wilusza, rozpoczęli systematyczny wybór drzew doborowych w 1959 roku według kryteriów, których



Ryc. 7. Pismo delegujące pracowników Zakładu Dendrologii i Pomologii PAN do prac terenowych przy wyborze drzew doborowych

pierwszy projekt opracował pracownik Zakładu, mgr Jan Mackiewicz (ryc. 8). Wybrano wówczas pierwszą grupę 381 osobników spośród 18 krajowych gatunków drzew leśnych na terenie piętnastu okręgowych zarządów Lasów Państwowych. Prócz tego do ewidencji Zakładu włączono 48 drzew świerka pospolitego, wybranych jesienią 1958 roku przez dr. Olafa Langleta i dr. Enara Anderssona [Białobok i Wilusz 1959]. Wstępnego wyboru i opisu drzew dokonywali szczegółowo poinstruowani pracownicy administracji Lasów Państwowych (ryc. 9a, b); w tym ostatnim przypadku drzewa były później weryfikowane przez pracowników Zakładu [Chałupka 2006].

Dalsze kontakty z genetykami szwedzkimi oraz pierwsze doświadczenia praktyczne w wyborze drzew doborowych doprowadziły do zmian kryteriów selekcji proponowanych i dyskutowanych podczas wspomnianej konferencji w Kórniku w 1952 roku [Wilusz 1962]. Pierwotny projekt mgr. Mackiewicza, przedyskutowany najpierw w Zakładzie, został następnie przedłożony do publicznej dyskusji – wraz z wzorem karty opisowej drzewa (Archiwum ID PAN) [Białobok i in. 1958] (ryc. 10a, b). Krytyczne uwagi do opracowanej w Kórniku metodyki przedstawili pracownicy Instytutu Badawczego



Ryc. 8. Fragment pierwszego projektu instrukcji wyboru drzew doborowych autorstwa mgr. Jana Mackiewicza

INSTRUKCJA

wyboru drzew doborowych

Drzewo doborowe w stosunku do otaczających drzew tego samego wieku i gatunku powinno wyróżniać się niżej wymienionymi cechami.

1. **Wysokość** — większa aniżeli drzew sąsiednich.
2. **Pierśnica** — większa aniżeli drzew sąsiednich.
3. **Korona** — symetryczna, regularnie ukształtowana, wysoko osadzona i stosunkowo smukła.
4. **Gałęzie** — cienkie, krótkie, regularnie rozmieszczone
5. **Strzała** — (pień) prosta, gonna, dobrze oczyszczona, bez rozwidleń i innych wad. Masa oczyszczonego pnia winna przedstawiać surowiec wysokiej wartości technicznej.
6. **Obładanie nasion** — obfite, stosunkowo częste i regularne.
7. **Zdrowotność** — dobra, drzewo doborowe winno być zupełnie zdrowe, tzn. odporne na ujemne działanie niektórych czynników klimatycznych oraz chorób i szkodników występujących w danej okolicy.
8. **Specjalne cechy drewna** — należy zgłaszać również drzewa nie odpowiadające wyżej podanym cechom, ale posiadające specjalnie wartościowe drewno jak np. brzoza „czeczotowa” brzoza „lotnicza”, lub wykazujące jakieś inne, rzadko spotykane właściwości.

Wybrane drzewa winny się charakteryzować co najmniej trzema z cech 1 do 7 albo cechą 8.

Prosimy zgłaszać również bardzo dobre jakościowo drzewostany, w których można liczyć na ewentualne możliwości wybrania drzew doborowych.

Ryc. 9a. Instrukcja zgłaszania kandydatów na drzewa doborowe przez pracowników Lasów Państwowych

Po wypełnieniu przestać pocztą! Data 2 X 1964 r.

ZGŁOSZENIE WYBRANYCH DRZEW DOBOROWYCH

O. Z. L. P. Wrocław N-ctwo Kliczów L-ctwo Stusiec

L. p.	Gatunek	Oddz. i pododdz.	Wiek lat	Wysokość m	Pierśnica cm	Jakość techn. (wg norm szacunku brak)	Drzewo wybrano z uwagi na:*)
1	So	60d	144	27	44	1	pow. k, k2
2	So	50n	144	26	44	1	" 512
3	So	50d	145	27	44	2	" 922

Ewentualne inne informacje uznamy drzewo jako naszymi naturalnego pochodzenia

Nazwisko, imię i adres zgłaszającego: NADLEŚNICZY W KŁOCKOWIE
W KŁOCKOWIE
ul. Kłockowska - Telefon 8
pow. Bolesławiec Sl.
 (1) Dot. K. Lipiński

*) Podać numery cech wg instrukcji podanej na str. 3.

Ryc. 9b. Zgłoszenie proponowanych drzew przez pracowników terenowych

*Polska Akademia Nauk
ZAKŁAD DENDROLOGII I FIZIOLOGII W KORNIEU*

Opis drzewa matecznego Sośnia K-0804

898

Lokalizacja: Niechopie-Bowiska
 Działka: Kłockowa
 Typ lasu: Boc sosnowy
 Typ sosny: Bolesławiecka, Kłockowa, papowa
 Typ drzewostanu: 60 So

Wzrost: 90 m
 Piel: ---
 Wiek: 22
 Przewidywana wysokość: 35 m

Opis drzewa: 3/6 (15 m) młody
 Wzrost: ---
 Piel: ---
 Wiek: ---
 Przewidywana wysokość: ---

Opis drzewostanu: ---
 Wiek: ---
 Przewidywana wysokość: ---

Opis drzewa: ---
 Wiek: ---
 Przewidywana wysokość: ---

Opis drzewostanu: ---
 Wiek: ---
 Przewidywana wysokość: ---

Opis drzewa: ---
 Wiek: ---
 Przewidywana wysokość: ---

Opis drzewostanu: ---
 Wiek: ---
 Przewidywana wysokość: ---

Opis drzewa: ---
 Wiek: ---
 Przewidywana wysokość: ---

Opis drzewostanu: ---
 Wiek: ---
 Przewidywana wysokość: ---

Opis drzewa: ---
 Wiek: ---
 Przewidywana wysokość: ---

Opis drzewostanu: ---
 Wiek: ---
 Przewidywana wysokość: ---

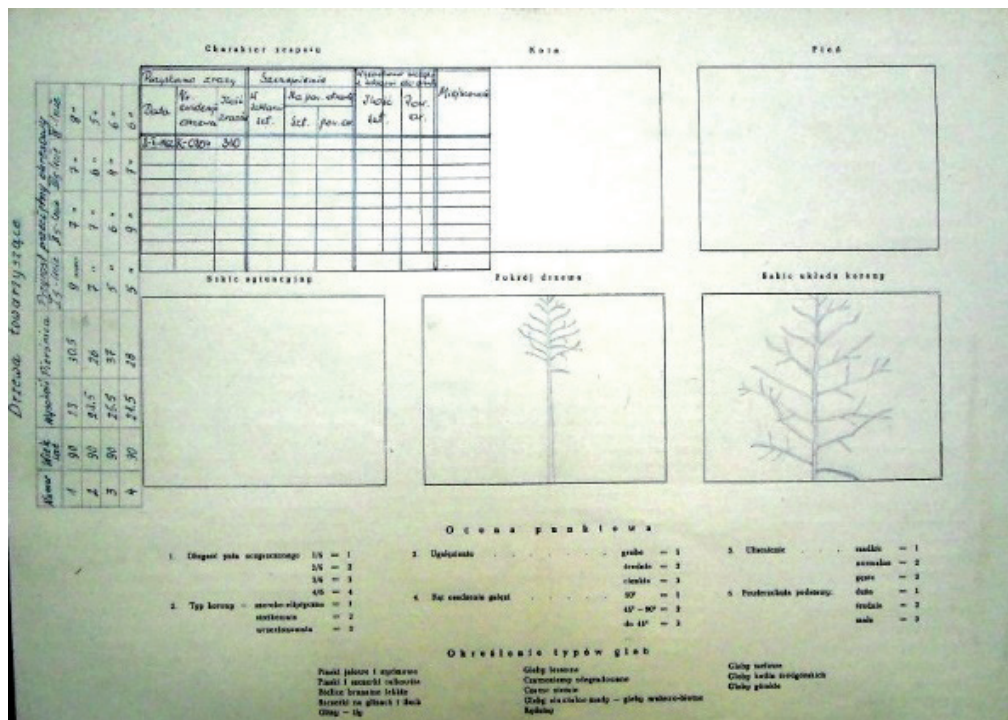
Opis drzewa: ---
 Wiek: ---
 Przewidywana wysokość: ---

Opis drzewostanu: ---
 Wiek: ---
 Przewidywana wysokość: ---

Opis drzewa: ---
 Wiek: ---
 Przewidywana wysokość: ---

Opis drzewostanu: ---
 Wiek: ---
 Przewidywana wysokość: ---

Ryc. 10a. Opis drzewa matecznego (doborowego) – awers



Ryc. 10b. Opis drzewa matecznego (doborowego) – rewers

Leśnictwa w Warszawie, co spowodowało dalsze udoskonalenie kryteriów wyboru drzew doborowych [Bernadzi i Chmielewski 1961]. Dyskusja nad tym problemem trwała także w następnych latach, co zaowocowało opracowaniem i opublikowaniem w 1964 roku kolejnej, zmodyfikowanej, a jednocześnie uproszczonej, karty opisowej drzewa wraz z instrukcją jej wypełniania (ryc. 11) [Giertych i in. 1964].

Wybierane drzewa doborowe otrzymywały sygnatury, np. K-01-17, gdzie litera K oznaczała drzewo doborowe, z którego uzyskiwano klon, czyli potomstwo wegetatywne jednego osobnika (leśnicy rozumieli natomiast często tę literę jako drzewo „kórniczek”) (ryc. 12a, b). Następująca po literze liczba dwucyfrowa oznaczała numer OZLP według ich ówczesnej kolejności alfabetycznej, a ostatnie trzy cyfry – numer drzewa doborowego danego gatunku [Giertych 1989].

Ciągle trwała dyskusja nad znaczeniem selekcji indywidualnej dla przyszłych badań i praktyki gospodarstwa leśnego. Ciekawa była sugestia prof. Stefana Białoboka, wyrażona 4 lutego 1961 roku w liście do prof. Stanisława Tyszkiewicza, by zaniechać zrębów zupełnych w tych częściach kraju, gdzie wybrano najwięcej drzew doborowych, co wskazywało pośrednio na wysoką wartość genetyczną drzewostanów na tych obszarach. Prof. Białobok w tym liście proponował także utworzenie Państwowego Rejestru Drzew Doborowych i Drzewostanów Nasiennych [Chałupka 2006].

W 1962 roku odbyła się w Kórniku kolejna konferencja poświęcona perspektywom dalszych badań związanych z wyborem drzew doborowych, na której postulowano założenie archiwów klonów drzew doborowych i podjęcie szerszych badań genetycz-

Sygn.
Nr karty

.....
gatunek

1. O. Z. L. P. 6. Dzieln. przyr. leśna

2. N-ctwo 7. Siedl. typ lasu

3. L-ctwo 8. Bonitacja

4. Oddz., Pododdz., szczegółowa lokalizacja 9. Wzniesienie n. p. m.

5. Kraina przyrodn.-leśna 10. Roczne opady w mm

11. Nr negatywu

12. Ocena drzewa 13. Przyczyna wyboru

	Drzewa porównawcze				Drzewo doborowe
	1	2	3	średnia	
14. Wysokość w m					
15. Pierśnica w cm					
16. Wiek szacunkowy					
17. Próba świdrem Pressler'a w mm					
a) ostatnie 10-lecie					
b) ostatnie 20-lecie					
c) ostatnie 30-lecie					
18. Wysokość strzały					
a) oczyszczonej					
b) do nasady korony					
19. Grubość gałęzi (grube 1, przeciętne 2, cienkie 3)					
20. Długość gałęzi (długie 1, przeciętne 2, krótkie 3)					
21. Kąt osadzenia gałęzi (gorszy 1, przeciętny 2, lepszy 3)					
22. Gęstość ulistnienia (rzadkie 1, przeciętne 2, gęste 3)					
23. Oczyszczenie (gorsze 1, przeciętne 2, lepsze 3)					
24. Kształt strzały (wadliwy 1, przeciętny 2, b. dobry 3)					
Razem:					

25. Obradzenie nasion

26. Odporność na

27. Uwagi

Data Wybrał Data Opisał

Z.G.K. Poznań — 483W/63 — 6000

Ryc. 11. Uproszczona karta opisowa drzewa doborowego

no-hodowlanych (Archiwum ID PAN). W 1962 roku doc. Wilusz zgłosił postulat utworzenia „rezerwatów genetycznych”, które z pewnością można uznać za prekursorów współczesnych regionów matecznych poszczególnych gatunków drzew leśnych [Chałupka 2006].

Kolejnym ważnym impulsem do aktywniejszego podjęcia badań genetycznych w kraju stała się zorganizowana przez Organizację Narodów Zjednoczonych do spraw

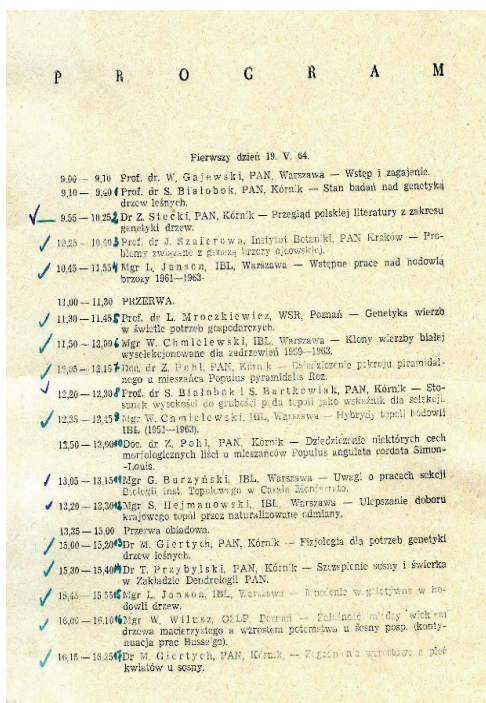
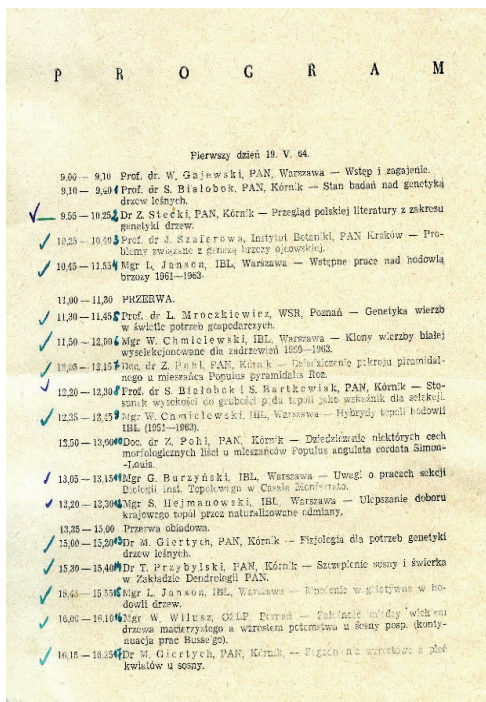


Ryc. 12. Przykłady „kórnickich” drzew doborowych: a. dąb w Zwierzyńcu Białowieskim, b. sosna w Nadleśnictwie Supraśl

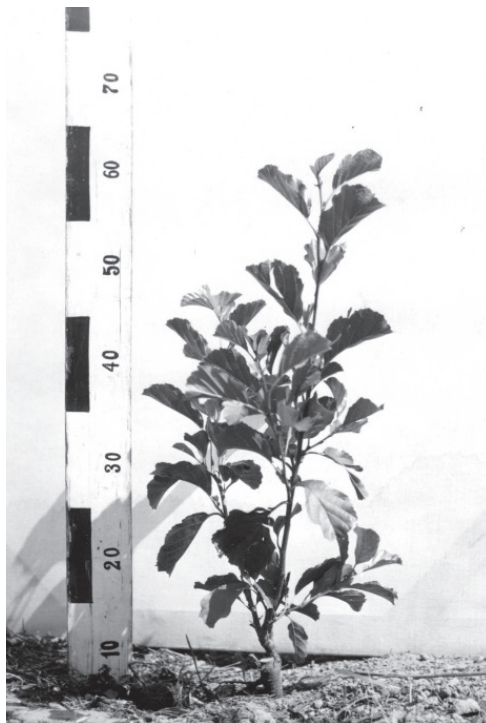
Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) i Światowa Konsultacja na temat genetyki drzew leśnych, która odbyła się w 1963 roku w Sztokholmie. Uczestniczyli w niej dwaj przedstawiciele Polski, prof. Stefan Białobok i dr Maciej Giertych, którzy niespełna rok później, w maju 1964 roku, zorganizowali w Kórniku dwudniową ogólnopolską konferencję pod takim samym tytułem [Przybylski 1965]. W konferencji, która przyniosła obfity plon merytoryczny w postaci 44 przedstawionych referatów, uczestniczyło 39 przedstawicieli wszystkich krajowych ośrodków naukowych, zainteresowanych podejmowaną problematyką (ryc. 13a–d).

2.5. Pierwsze klonalne plantacje nasienne

Wybór drzew doborowych pociągnął za sobą automatycznie konieczność zakładania klonalnych plantacji nasiennych. Pierwsze zrazy z drzew doborowych sosny zwyczajnej i świerka pospolitego zebrano i zaszczepiono na podkładkach w 1959 roku, zarówno w szkółkach, jak i cieplarniach w Kórniku i Turwi, a także w szkółce Nadleśnictwa Pniewy, rozpoczynając w tym samym roku szersze badania nad poszukiwaniem najlepszych metod i terminów szczepień [Chałupka 2006]. Rok później grupa gatunków objętych szczepieniami powiększyła się o brzozę brodawkową, buk pospolity, oba gatunki dębów i olszę czarną (Archiwum ID PAN) (ryc. 14a–f).



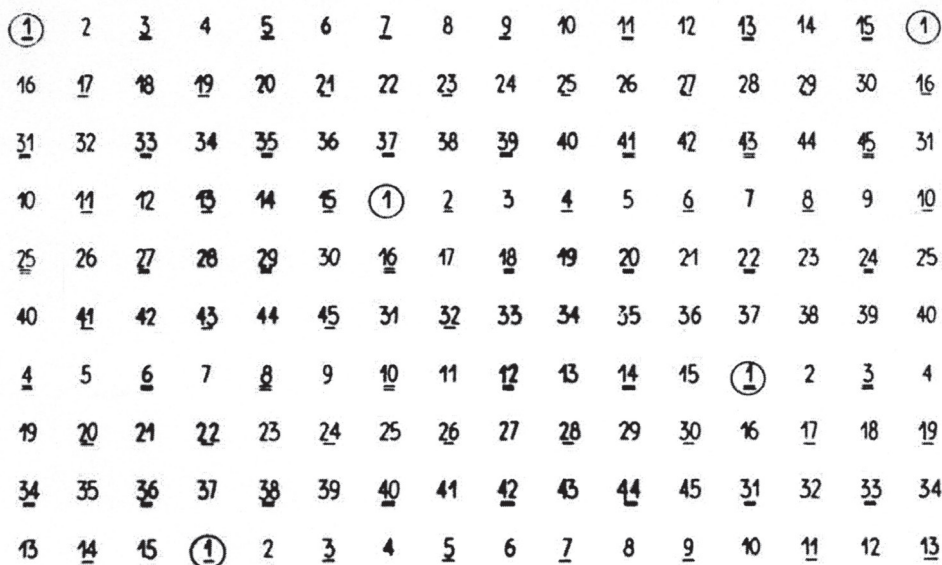
Ryc. 13a-d. Program symposium genetycznego w Kórniku w 1964 roku





Ryc. 15. Drabina segmentowa do zbioru zrazów

Ryc. 14. Pierwsze szczepy kórnickie z lat 1959–1960: a. buk zwyczajny, b. dąb szypułkowy, c. jesion wyniosły, d. olsza czarna, e. sosna zwyczajna, f. świerk pospolity

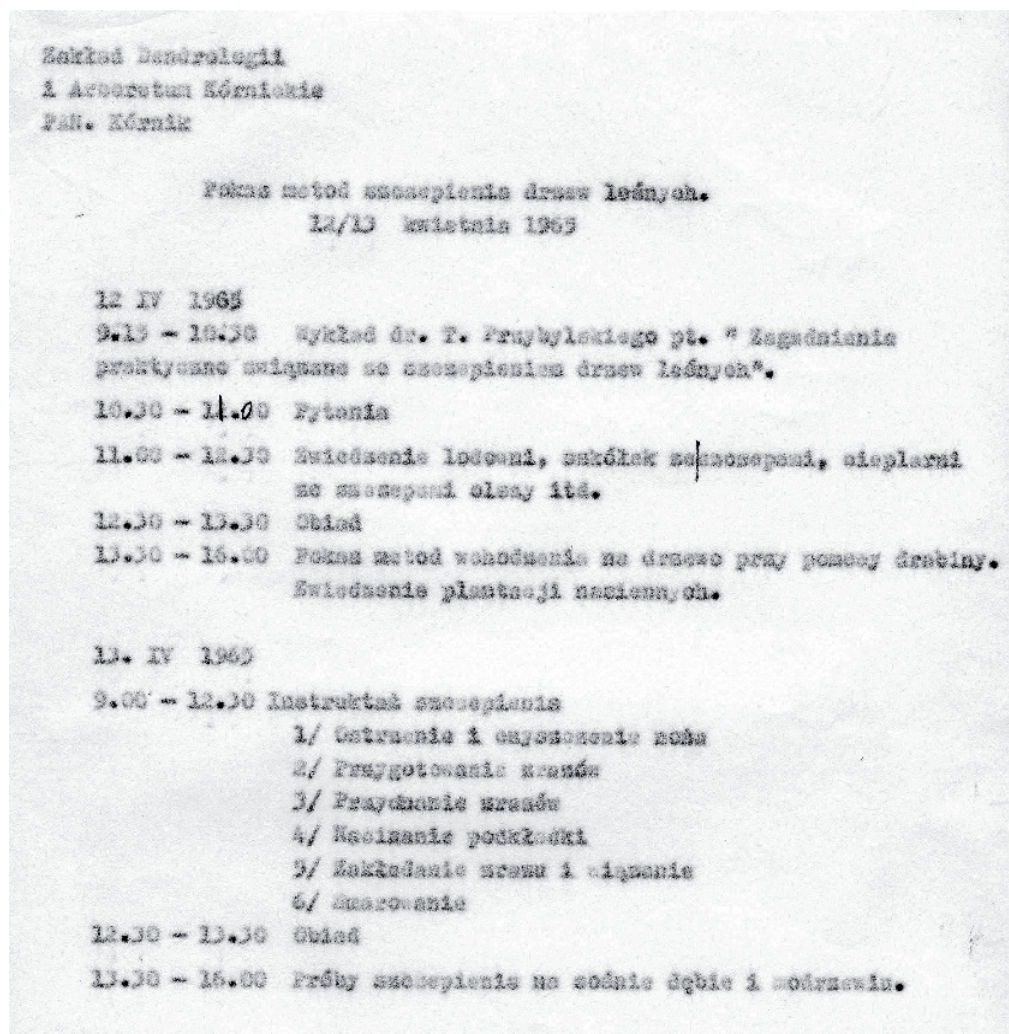


Ryc. 16. Przykład systematycznego rozmieszczenia szczepów na plantacji nasiennej dla 45 klonów

Zbiór materiału z drzew stojących narażał różnego rodzaju kłopotów. Trzeba było opracować instrukcję obowiązującą pracowników zatrudnionych przy zbiorze zrazów, a także szyszek i nasion. Na wniosek Zakładu instrukcję taką przygotował wojewódzki inspektor pracy w Poznaniu we współpracy z inspektorem BHP z OZLP Poznań. Brakowało także odpowiedniego sprzętu, wykonano więc w Poznaniu kilka stalowych drabin segmentowych, o łącznej wysokości 30 m (ryc. 15) (Archiwum ID PAN) [Wilusz 1962].

W 1963 roku w Zakładzie Dendrologii i Arboretum Kórnickim PAN (zmiana nazwy nastąpiła w końcu 1962 roku) rozpoczęto przygotowania powierzchni terenowych pod pierwsze plantacje nasienne w Kórniku we własnym Leśnictwie Doświadczalnym Zwierzyniec. Dysponowano w tym czasie prawie ośmioma tysiącami szczepów sześciu gatunków drzew leśnych: *Alnus glutinosa*, *Fagus sylvatica*, *Quercus robur*, *Pinus sylvestris*, *Picea abies* i *Larix europaea*, z których w 1964 roku założono w Kórniku trzy pierwsze doświadczalne plantacje nasienne – sosny, modrzewia i jesionu [Białobok 1965]. Plantacje sosny i jesionu zostały założone zgodnie z zasadami szwedzkimi (rozmieszczenie losowe), natomiast na plantacji modrzewia zastosowano oryginalny, systematyczny układ rozmieszczenia klonów, opracowany przez dr. Giertycha [1965, 1971], wykorzystywany później szeroko w całym świecie (ryc. 16) – według tego systemu założono także w Kórniku pierwszą plantację nasienną świerka w 1968 roku.

Porównanie różnych sposobów rozmieszczania klonów i ich szczepów na plantacjach nasiennych wskazywało na ważne zalety rozmieszczenia systematycznego (unikanie samozapylenia, systematyczna trzebież bez zmiany zestawu klonów), jednak w Polsce system ten nie znalazł uznania w praktyce gospodarczej, bowiem z rekomendacji Instytutu Badawczego Leśnictwa zaczęto stosować w Lasach Państwowych szwedzkie metody losowego rozmieszczania klonów [Giertych 1989].



Ryc. 17. Program kursu szczepienia drzew (1965 rok)

2.6. Promocja idei wyboru drzew doborowych i zakładania plantacji nasiennych

Od momentu podjęcia problematyki wyboru drzew doborowych Zakład Dendrologii i Pomologii szeroko promował tę akcję. Pracownicy Zakładu wygłaszali liczne referaty na różnych konferencjach i zebraniach, organizowali w Kórniku kursy szczepień wiosennych i letnich (ryc. 17), pokazy użytkowania różnorodnego sprzętu do zbioru zrazów z drzew stojących [Przybylski 1966], a przede wszystkim publikowali artykuły w fachowych pismach leśnych i ogólnoprzyrodniczych [Korczyńska i Suszka 1972]. Zorganizowano także kilkudniowy kurs na temat podstaw genetyki drzew leśnych dla pomocniczych pracowników naukowych z różnych ośrodków naukowych w kraju (ryc. 18).

Kurs dla pomocniczych pracowników nauki

"Podstawy genetyki drzew leśnych"

26.V.1966

- 9.00 Przyjazd uczestników
9.30 Przywitanie gości, zagajenie
9.35-10.20 Zakres i typy zmienności wewnątrz gatunkowej -
Doc. dr J. Szweykowski
10.45-11.30 Biometryczne ujęcie zmienności populacji drzew
leśnych - Dr Z. Welon
12.00-12.45 Rola izolacji przestrzennej i migracji genów w kształ-
towaniu się populacji drzew leśnych - Dr T. Przybylski
13.00-14.00 Obiad
14.00-18.00 Zwiedzanie Zakładu, Arboretum, pól selekcyjnych
i Zwierzyńca.

27.V.1966

- 9.30-10.15 Hodowla odpornościowa drzew dla potrzeb leśnictwa -
Prof. dr K. Mańka
10.45-11.30 Adaptacja i zdolność adaptacyjna populacji drzew
leśnych - D. M. Giertych
12.00-12.45 Zastosowanie parametrów genetycznych w analizie dzie-
dziczenia cech wielogenowych - Dr M. Giertych
13.00-14.00 Obiad
14.30-15.15 Zjawisko heterozji i degeneracji - Prof. B. Białobok
15.45-16.30 Problem krzyżówek międzygatunkowych - Prof. B. Białobok

28.V.1966

- 9.30-10.15 Zagadnienie teoretyczne związane z zakładaniem długo-
terminowych doświadczeń porównawczych - Dr Z. Stecki
10.45-11.30 Obecne poglądy na zagadnienie testów wczesnych -
Dr Z. Stecki
12.00-13.00 Ogólna dyskusja i pytania z udziałem wszystkich
prelegentów.
13.00-14.00 Obiad
14.00-16.30 Pokaz obioru zrazów przy użyciu drabiny oraz demon-
stracja metod szczepienia.

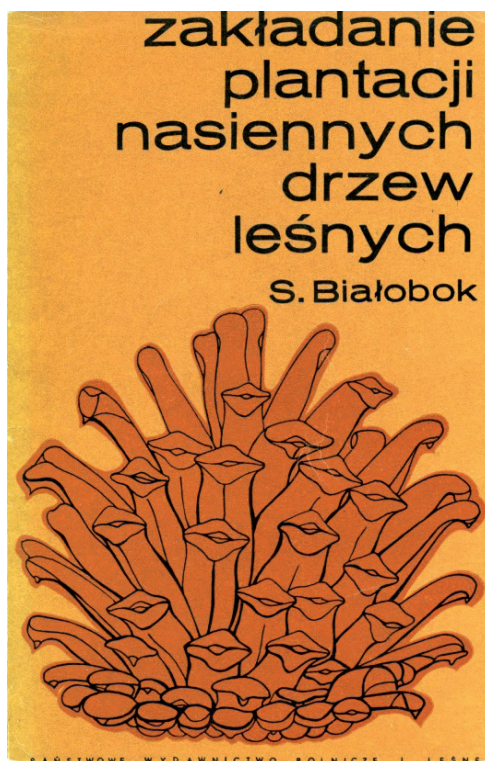
Ryc. 18. Program kursu podstaw genetyki drzew leśnych dla pomocniczych pracowników naukowych (1966 rok)

Wspomniane szkolenia prowadzone w Kórniku przyniosły także efekty w postaci pierwszych produkcyjnych plantacji nasiennych sosny pospolitej, modrzewia europejskiego, jodły pospolitej, limby i klonu zwyczajnego, założonych na terenach OZLP Poznań, Przemysł, Radom, Wrocław i Zielona Góra [Korczyk 1970]. Zrązy do szczepień na te plantacje pochodziły przede wszystkim z drzew doborowych wybranych przez pracowników Zakładu Dendrologii i Arboretum Kórnickiego PAN, a także z drzew wybranych przez niektórych leśników – pasjonatów [Korczyk niepubl.], jak Edward Zawierucha z Nadleśnictwa Bolewice (OZLP Poznań) czy Mieczysław Wilczkiewicz z Nadleśnictwa Międzygórze (OZLP Wrocław).

2.7. Dorobek kórnickiej placówki naukowej w zakresie selekcji indywidualnej

Sprawozdanie z działalności naukowej Zakładu za 1967 rok przynosi ostatnią publikowaną ogólną liczbę 1386 drzew doborowych, wybranych przez pracowników Zakładu [Białobok 1968]. Następne sprawozdanie, za rok 1968, mówi o kontynuowaniu wyboru drzew [Białobok 1969], a lista ewidencyjna z końca sierpnia 1969 roku pozwala ustalić ich liczbę na 1433 [Chałupka 2006]. W końcu tego roku Rada Naukowa zatwierdziła nowy, wieloletni plan badań podstawowych dla Zakładu Dendrologii i Arboretum Kórnickiego PAN z zakresu biologii drzew i krzewów, w którym problematyka systematycznego wyboru drzew doborowych dla lasów państwowych już się nie pojawiła [Białobok 1969]. Również następne sprawozdania z działalności naukowej Zakładu nie przynoszą dalszych informacji na temat wyboru drzew doborowych. Należy więc przyjąć, że właśnie latem 1969 roku zakończył się pewien wstępny etap badań genetycznych drzew leśnych w Kórniku, związany z zapoczątkowaniem selekcji indywidualnej (wyborem drzew doborowych) oraz zakładaniem pierwszych doświadczalnych klonalnych plantacji nasiennych.

Swego rodzaju podsumowaniem działań Zakładu w obszarze selekcji indywidualnej i zebranych w tym temacie doświadczeń była wydana w 1971 roku publikacja pt. *Zakładanie plantacji nasiennych drzew leśnych*, zawierająca zarówno podstawowe wiadomości z zakresu genetyki drzew, jak i szczegółowe opisy sposobów zakładania i prowadzenia plantacji nasiennych (ryc. 19) [Białobok 1971].



Ryc. 19. Publikacja prof. Stefana Białoboka o plantacjach nasiennych z 1971 roku

2.8. Początki prac nad plantacjami nasiennymi w Instytucie Badawczym Leśnictwa

Po II wojnie światowej, w 1947 roku, ukazała się kolejna publikacja profesora Tyszkiewicza, poświęcona wyborowi drzewostanów nasiennych. Wskazywał w niej, że – poza drzewostanami nasiennymi – „może być również uzasadnione zakładanie specjalnych plantacji drzew przeznaczonych do produkcji nasion. Luźne zwarcie drzew i intensywne uprawy gleby pozwalają na szybkie osiągnięcie owocowania”. Wydaje się jednak, że wspomniane wyżej „specjalne plantacje” mieściły się w zakresie selekcji populacyjnej, a Tyszkiewicz myślał wówczas nie o klonalnych plantacjach nasiennych (ze szczepów), lecz raczej o zakładaniu upraw z nasion zbieranych w drzewostanach nasiennych (próby populacyjne, nie z pojedynczych drzew!) i odpowiednim ich prowadzeniu, sprzyjającym zwiększonej produkcji nasion. Świadczy o tym jego sprawozdanie z działalności Zakładu Nasiennictwa i Selekcji IBL, w którym pisał: „W roku 1947 w kilkunastu okręgach dyrekcyjnych zebrano w najlepiej ukształtowanych i najzasobniejszych drzewostanach sosnowych w V–VII klasie wieku, a więc niewątpliwie rodzimych, szyszki w ilości 4–6 hl w celu pozyskania nasion do założenia plantacji nasiennych” [Tyszkiewicz 1962]. W 1949 roku Ministerstwo Leśnictwa zaleciło założenie plantacji według wskazówek opracowanych przez Zakład Nasiennictwa i Selekcji IBL. Prace te miała koordynować specjalna stacja terenowa pod kierownictwem Aleksandra Jezierskiego, nadleśniczego i kierownika wyłuszczeni nasion w ówczesnym Nadleśnictwie Klosnowo. Opracował on zarys nasiennictwa selekcyjnego i program pracy stacji, w którym znalazł się także projekt wyboru drzew elitarnych oraz plan próbnych szczepień gatunków drzew iglastych, opracowany w konsultacji z prof. Bertilem Lindquistem ze Szwecji. Wszystkie te działania (z wyjątkiem próbnych szczepień sosny) nie wyszły jednak poza sferę planów, bowiem wiosną 1950 roku, „wobec trudności, jakie odczuwał w pełnieniu dodatkowego zajęcia i różnych innych okoliczności”, Jezierski zrezygnował ze swego stanowiska [Tyszkiewicz 1962].

2.9. Selekcja indywidualna zadaniem Instytutu Badawczego Leśnictwa

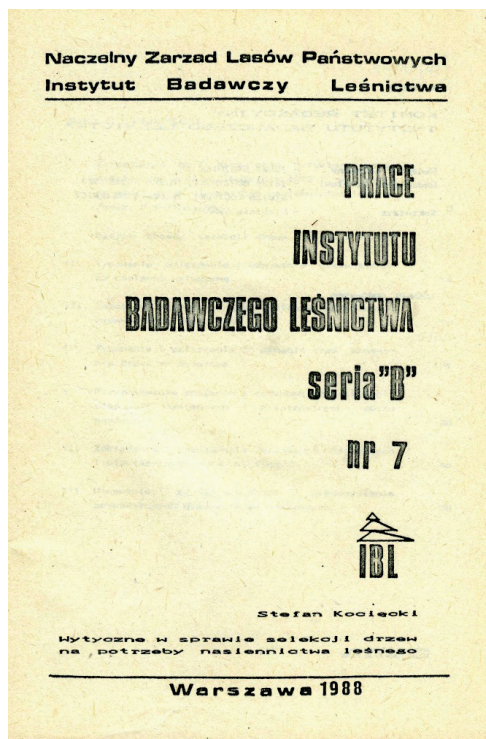
Przejęcie wyboru drzew doborowych przez Instytut Badawczy Leśnictwa w 1969 roku wiązało się także ze zmianą niektórych kryteriów ich charakterystyki, co sprawiło, że powołana przez Naczelną Zarząd Lasów Państwowych komisja zatwierdziła tylko nieliczne „kórnickie” drzewa doborowe i założone z nich plantacje nasienne [Korczyk, niepubl.].

Problematyka wyboru drzew doborowych z czasem została włączona do *Programu doskonalenia gospodarki nasiennej i wdrażania osiągnięć leśnej genetyki stosowanej w Lasach Państwowych w okresie 1975–1990*, opracowanego w 1972 roku przez pracowników IBL i NZLP [Kocięcki i Strzelecki 1980]. W programie tym uwypuklano jednak nadal przede wszystkim wagę selekcji populacyjnej, czego dobitnym wyrazem jest odległa pozycja plantacji nasiennych w hierarchii jego celów: „**Jednym z istotnych zadań leśnictwa jest dostarczenie gospodarce narodowej jak największej ilości drewna wysokiej jakości. Jak wykazują wielokrotne doświadczenia, najpewniejszą drogą do tego celu jest selekcja populacyjna, która zapewnia stałe polepszanie**

produktywności drzewostanów przy zachowaniu pełnej ich trwałości. [...] Analiza obecnej sytuacji w gospodarce nasiennej Lasów Państwowych wskazuje, że podstawowym ogniwem naszej bazy nasiennej będą gospodarcze drzewostany nasienne. Dopiero w dalszej kolejności pewną ograniczoną rolę z uwagi na trudności ich pełnego wykorzystania, trudności zbioru nasion oraz ze względu na małą powierzchnię – będą miały wyłączone drzewostany nasienne. Uzupełniającą rolę będą miały plantacyjne uprawy nasienne, uprawy nasienne i plantacje nasienne” (podkr. W.Ch.) [Korczyk, niepubl.].

Instytut Badawczy Leśnictwa, formułując takie cele na lata 1975–1990, „miał na uwadze trzy bardzo istotne przesłanki, a mianowicie: bogatą jeszcze bazę rodzimych i wartościowych drzewostanów, znaczne możliwości ulepszenia następnych generacji przez reprodukcję tych cennych drzewostanów oraz konieczność zapewnienia jak największej trwałości przyszłych lasów, co zależy przede wszystkim od zachowania nieuszczerplonej puli genetycznej” [Kocięcki i Strzelecki 1980].

W 1988 roku ukazało się zarządzenie Naczelnego Dyrektora Lasów Państwowych w sprawie selekcji drzew na potrzeby nasiennictwa leśnego wraz z wytycznymi (ryc. 20) [Kocięcki 1988]. Rozdział IV tych wytycznych precyzował kryteria typowania i uznawania drzew doborowych, które mogły być wybierane tylko w wyłączonych i gospodarczych drzewostanach nasiennych. Rozdziały V i VI opisywały natomiast szczegółowo zasady zakładania i prowadzenia plantacji nasiennych i plantacyjnych upraw nasiennych. Wytyczne zalecały także wykonanie hodowlanej oceny szczepów i osobników z plantacyjnych upraw nasiennych po 10 latach od założenia obu rodzajów obiektów. O ile jednak w przypadku plantacyjnych upraw nasiennych wyniki takiej oceny mogłyby być uznane za testowanie potomstwa (w formie półrodzeństwa) i dostarczyć rzeczywistych informacji o jakości genetycznej drzew doborowych, o tyle w przypadku szczepów nie miały one praktycznie żadnego znaczenia dla genetycznej oceny klonów pochodzących z tych drzew. W rozdziale VII, dotyczącym uznawania, zagospodarowania i wykorzystania gospodarczych drzewostanów nasiennych, pojawiły się dodatkowe elementy selekcji indywidualnej w postaci drzew aprobowanych, zbliżonych fenotypem do drzew doborowych, ale wybieranych w drzewostanach gospodarczych. To z mieszaniny nasion pochodzących z tych drzew należało zakładać uprawy nasienne. Wytyczne traktowały te uprawy jako potencjalne źródło nasion dla odnowień, o czym świadczy zalecenie ich



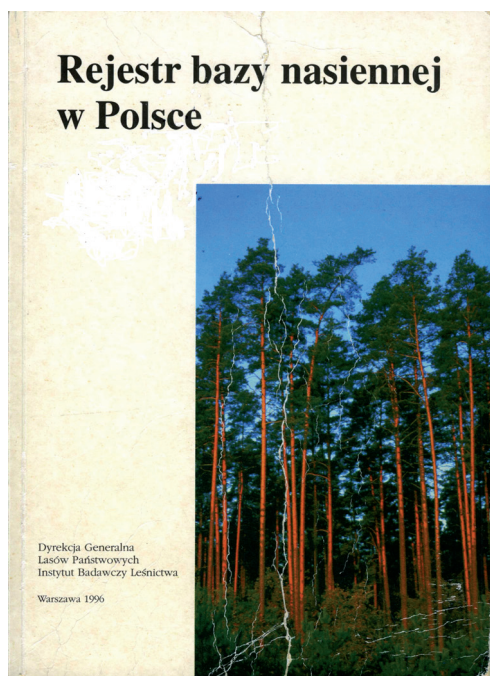
Ryc. 20. Wytyczne w sprawie selekcji drzew leśnych autorstwa Stefana Kocięckiego z 1988 roku

zakładania w sąsiedztwie dobrych jakościowo drzewostanów, które będą w przyszłości dostarczać pyłku dla upraw nasiennych [Kocięcki 1988]. Koncepcja drzew aprobowanych i upraw nasiennych prawdopodobnie nie została wprowadzona do praktyki, bowiem obie te kategorie nie pojawiły się w późniejszych programach selekcyjnych.

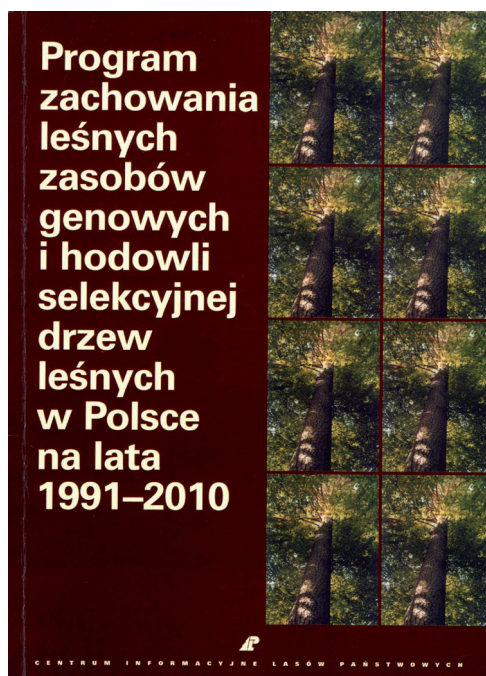
2.10. Efekty działań Instytutu Badawczego Leśnictwa na polu selekcji indywidualnej

Mimo wyraźnych preferencji selekcji populacyjnej Lasy Państwowe pod nadzorem Instytutu cały czas prowadziły intensywną selekcję indywidualną [Program... 1991]. W latach 1969–1990 działalność ta zamknęła się liczbą 5614 wybranych drzew doborowych z 17 gatunków drzew leśnych oraz liczbą 73 założonych plantacji nasiennych z 3760 klonami i ogólną powierzchnią 546,64 ha. Założono także 39 plantacyjnych upraw nasiennych dla czterech gatunków drzew leśnych z 1666 rodami i ogólną powierzchnią 351,67 ha [Matras 1996] – ryc. 21.

Realizacja kolejnego *Programu zachowania leśnych zasobów genowych i hodowli selekcyjnej drzew leśnych w Polsce na lata 1991–2010* (ryc. 22) zwiększyła stan posiadania Lasów Państwowych do 9775 drzew doborowych dla 19 gatunków drzew. Liczba plantacji nasiennych wzrosła do 200, z ogólną powierzchnią 1259,60 ha dla 19 gatunków drzew, a liczba plantacyjnych upraw nasiennych osiągnęła 103 dla 13 gatunków drzew z ogólną powierzchnią 699,24 ha [Program... 2011].



Ryc. 21. Rejestr polskiej bazy nasiennej z 1996 r. autorstwa Jana Matrasa



Ryc. 22. Program zachowania zasobów genowych i hodowli selekcyjnej na lata 1991–2010

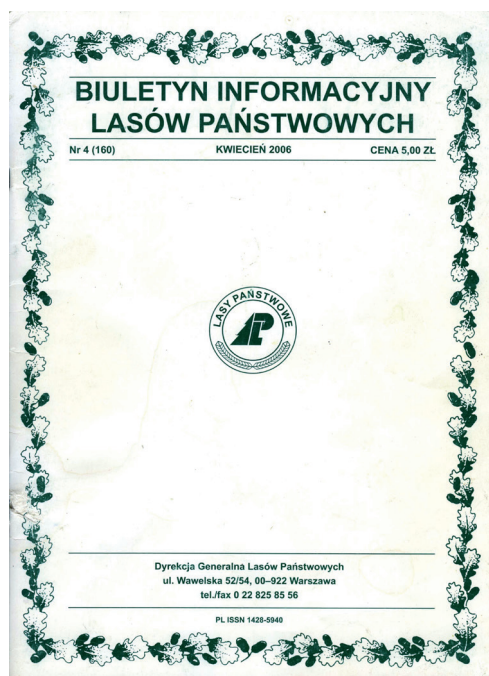
W 2006 roku dyrektor generalny Lasów Państwowych wydał nowe zarządzenie, wprowadzające do stosowania. *Wytyczne w sprawie ochrony zasobów genowych na potrzeby nasiennictwa leśnego i hodowli lasu*, anulujące zarządzenie z 1988 roku (ryc. 23). Wytyczne, opracowane przez Jana Matrasy i Wojciecha Fondera, były dostosowane do konwencji międzynarodowych, ratyfikowanych przez Polskę, oraz do obowiązujących ustaw [Matras i Fonder 2006].

Zakończenie

Wspomniano już wyżej o znaczącej roli prof. Stanisława Tyszkiewicza, jednego z pionierów genetyki drzew leśnych w Polsce, który swego czasu przewodniczył także zespołowi uznającemu zarówno wyłączone drzewostany nasienne, jak i drzewa doborowe. Nie można w tym miejscu nie wymienić wielkich osiągnięć jego następców w osobach doc. Stefana Kocięckiego i dr. Jana Matrasy z Instytutu Badawczego Leśnictwa oraz mgr. inż. Wojciecha Fondera z Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych, którzy – wraz ze swoimi współpracownikami – wywarli decydujący wpływ na obecny stan jakościowy i ilościowy zasobów bazy nasiennej i całokształt problematyki związanej z genetyką stosowaną w Lasach Państwowych.

Osoby te wniosły trwałą wkład zarówno do selekcji populacyjnej, której problematyka została praktycznie pominięta w tym opracowaniu, jak i do selekcji indywidualnej, wyrażającej się w wyborze tysięcy drzew doborowych oraz nadzorze naukowym nad

powstaniem w naszym kraju potężnej bazy nasiennej w postaci plantacji nasiennych. To w Instytucie Badawczym Leśnictwa zostały także wytyczone kierunki dalszego rozwoju prac selekcyjnych. Już w 1970 roku powstał tam zarys całościowej koncepcji, obejmującej kolejne kroki na drodze rozwoju selekcji indywidualnej: sprawdzenie cech dziedzicznych wybranych drzew doborowych, wybór drzew elitarnych po pozytywnej weryfikacji drzew doborowych, zakładanie plantacji nasiennych z drzew elitarnych oraz kontrolowane krzyżowania dla uzyskania efektu heterozji w cechach hodowlanych [Korczyk 1970]. W 2004 roku postulaty te znalazły się w *Programie testowania potomstwa wyłączonych drzewostanów nasiennych, drzew doborowych, plantacji nasiennych i plantacyjnych upraw nasiennych*, który obecnie realizowany jest w Lasach Państwowych jako



Ryc. 23. Biuletyn Informacyjny Lasów Państwowych z 2006 roku z wytycznymi autorstwa Jana Matrasy i Wojciecha Fondera

część kolejnego programu zachowania leśnych zasobów genowych i hodowli selekcyjnej drzew leśnych [Program... 2011].

Wieloletni wysiłek merytoryczny i organizacyjny sprawił, że w przypadku niektórych gatunków drzew leśnych Lasy Państwowe posiadają obecnie największe lub należące do największych w Europie zasoby genowe na fenotypowych plantacjach nasiennych pierwszej generacji (tab.a, b, c). Dotyczy to przede wszystkim modrzewia europejskiego, dla którego utworzono 63 plantacje nasienne na powierzchni 425,8 ha, co plasuje nas zdecydowanie na pierwszym miejscu w Europie. W przypadku sosny zwyczajnej Lasy Państwowe dysponują 83 plantacjami nasiennymi na powierzchni 694 ha i ustępują tylko Finlandii, gdy zaś chodzi o plantacje daglezi zielonej, to dysponujemy również największą ich liczbą w Europie – 13, a ich powierzchnia ustępuje tylko lasom francuskim [Paques 2013].

Program działania przyjęty w Lasach Państwowych na lata 2011–2035, zakłada wybór i uznanie 3090 kolejnych drzew doborowych (obecnie zwanych drzewami maciecznymi) i założenie 72 nowych plantacji nasiennych dla 14 gatunków drzew. Ponadto przewidziano zwiększenie udziału nasion z plantacji nasiennych w odnowieniach gospodarczych do 40% [Program... 2011].

Tab. 1. Plantacje nasienne niektórych gatunków drzew leśnych w Polsce na tle Europy:
a. modrzew europejski,
b. sosna zwyczajna,
c. dagleżka zielona

Kraj	Fenotypowe plantacje nasienne	
	a. MODRZEW EUROPEJSKI	
	zakwalifikowane	
	liczba	powierzchnia (ha)
Austria	14	45,9
Belgia	1	0
Czechy	24	78,6
Dania	0	0
Finlandia	0	0
Francja	2	18,4
Holandia	0	0
Irlandia	0	0
Litwa	2	4,7
Niemcy	23	49
Norwegia	0	0
Polska	63	425,8
Rumunia	21	119
Słowacja	29	87,2
Słowenia	0	0
Szwecja	0	0
Wielka Brytania	3	11,6
Włochy	0	0
RAZEM	182	840,2

Przegląd najważniejszych problemów badawczych

Fenotypowe plantacje nasienne			
b. SOSNA			
Kraj	Liczba	Całkowita powierzchnia (ha)	Średnia powierzchnia (ha)
Austria	7	13,8	2
Czechy	30	109,2	3,6
Dania	4	7	1,75
Finlandia	144	2367	16,4
Francja	2	14,8	7,4
Hiszpania	3	10,5	3,5
Holandia	3	14,8	4,9
Irlandia	2	3	1,5
Litwa	19	190,5	10
Niemcy	44	173	3,9
Norwegia	2	7	3,5
Polska	83	694	8,4
Rumunia	9	45	5
Słowacja	17	37,8	2,2
Szwecja	64	678	10,6
Wielka Brytania	0	0	0
Włochy	1	2	2
c. DAGLEZJA ZIELONA			
Kraj	Liczba	Całkowita powierzchnia (ha)	Średnia produkcja nasion (kg/rok)
Austria	1	2,2	b.d.
Belgia (region Waloński)	4	11,6	322
Czechy	4	4,5	b.d.
Dania	4	6,9	18,3
Francja	8	90,6	459
Hiszpania	2	2,6	b.d.
Holandia	3	15	b.d.
Irlandia	1	5,4	b.d.
Niemcy	9	33,76	90
Polska	13	70,51	b.d.
Rumunia	6	35,6	40,5
Szwecja	0	0	0
Węgry	1	0,9	b.d.
Wielka Brytania	1	1	b.d.
Włochy	0	0	0
RAZEM	57	280,57	929,8

Podsumowanie

Wydaje się, że możliwości dalszego zwiększenia zysku genetycznego na drodze selekcji populacyjnej są już na wyczerpaniu, bowiem na ogół w różnych krajach Europy rozpoznanie międzypopulacyjnej zmienności genetycznej poszczególnych gatunków lasotwórczych osiągnęło kres możliwości lub zbliży się do niego. Tym samym dalszy rozwój i wykorzystanie plantacji nasiennych, najważniejszego ogniwa w selekcji indywidualnej, staje się obecnie najbardziej skutecznym sposobem poprawy jakości genetycznej i produktywności lasów gospodarczych [Lindgren 2008]. W świetle współczesnych poglądów na temat znaczenia plantacji nasiennych niemal proroczo brzmią słowa Larsena [1956], który kilkadziesiąt lat temu nazwał te obiekty „asem atutowym” hodowli genetycznej drzew leśnych.

Literatura

- Almqvist C. 2008. *Practical use of GA4/7 to stimulate flower production in Picea abies seed orchards in Sweden. Seed orchards*. Proceedings from a conference at Umeå, Sweden, September 26–28, 2007 (ed. Dag Lindgren): 16–24.
- Bernadzki E., Chmielewski W. 1961. *Uwagi do metody wyboru „Drzew doborowych” opracowanej przez Zakład Dendrologii i Pomologii PAN w Kórniku*. „Arb. Kórnickie” V: 285–288.
- Białobok S. 1965. *Sprawozdanie z działalności Zakładu Dendrologii i Arboretum Kórnickiego PAN za rok 1964*. „Arb. Kórnickie” X: 309–315.
- Białobok S. 1968. *Sprawozdanie z działalności Zakładu Dendrologii i Arboretum Kórnickiego PAN za rok 1967*. „Arb. Kórnickie” XIII: 323–329.
- Białobok S. 1969. *Sprawozdanie z działalności Zakładu Dendrologii i Arboretum Kórnickiego PAN za rok 1968*. „Arb. Kórnickie” XIV: 311–322.
- Białobok S. 1971. *Zakładanie plantacji nasiennych drzew leśnych*. PWRiL, Warszawa: 1–144.
- Białobok S., Wilusz Z. 1959. *Z działalności Zakładu. Sprawozdanie za 1959 r. z pracy nad wyborem „drzew doborowych”*. „Arb. Kórnickie” IV: 355–358.
- Białobok S., Pohl Z., Wilusz Z. 1958. *Z działalności Zakładu*. „Arb. Kórnickie” III: 337–340.
- Chałupka W. 1985a. *Vlijanie nekotorych fizičeskich faktorov na processy cvetenija chojnyh porod*. [W:] *Semennyye plantacii v lesnom semenovodstve*. Ed. R.M. Pirags, Zinatne, Riga: 63–70.
- Chałupka W. 1985b. *Regulacja kwitnienia na plantacjach nasiennych sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) i świerka pospolitego (Picea abies L. Karst.)*. Rozprawa habilitacyjna, Instytut Dendrologii PAN, Kórnik: 146.
- Chałupka W. 2006. *Początki badań genetycznych drzew leśnych w Kórniku*. [W:] *Elementy genetyki i hodowli selekcyjnej drzew leśnych* [red. Janusz Sabor], Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa: 29–34.
- Chałupka W. 2008a. *Do we need flower stimulation in seed orchards? Seed orchards*. Proceedings from a conference at Umeå, Sweden, September 26–28, 2007 (ed. Dag Lindgren): 37–42.
- Chałupka W. 2008b. *75 lat Instytutu Dendrologii w Kórniku (1933–2008): wybrane karty z historii*. „Rocznik Dendrologiczny” LVI: 53–73.
- Chałupka W., Wesoły W. 2000. *Współczesne sposoby stymulacji kwitnienia i obradzania nasion*. [W:] Suszka B. *Nowe technologie i techniki w nasiennictwie leśnym*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe S.C., Warszawa: 17–22.
- Copes D.L. 1970. *Graft incompatibility and union formation in Douglas-fir*. „Silvae Genet.” 19: 01–106.
- Feilberg L., Søegaard B. 1975. *Historical review of seed orchards*. [W:] *Seed Orchards*. „Forestry Commission Bulletin” 54 (ed. Roy Faulkner), London: 1–8.
- Giertych M. 1965. *Systematic lay-outs for seed orchards*. „Silvae Genet.” 14 (3): 91–94.
- Giertych M. 1971. *Systematic lay-outs for seed orchards*. „Silvae Genet.” 20 (4): 137–138.
- Giertych M. 1987. *Seed orchards in crisis*. „For. Ecol. Manage.” 19 (1–4): 1–7.
- Giertych M. 1989. *Prace z zakresu genetyki drzew leśnych w Instytucie Dendrologii PAN w Kórniku*. „Roczniki Akad. Roln.” w Poznaniu CCIV: 5–10.

- Giertych M. 1991. *Provenance variation in growth and phenology*. [W:] *Genetics of Scots pine* (red. M. Giertych), Akademiai Kiado, Budapest: 87–101.
- Giertych M., Jakuszewski T., Młynarczyk B., Przybylski T., Wilusz Z. 1964. *Rozwój metodyki wyboru drzew doborowych*. „Arb. Kórnickie” IX: 283–287.
- Jensen H. 1942. *Plantagemässig produktion av högvärdigt skogsfrö* [Orchard like production of superior forest tree seed]. „Skogen” 4: 53–56.
- Jensen H. 1945. *Om elitfröplantager* [About elite seed orchards]. „Skogen” 5: 74–77.
- Kocięcki S. 1988. *Wytyczne w sprawie selekcji drzew na potrzeby nasiennictwa leśnego*. „Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa”, s. B, nr 7: 1–61.
- Kocięcki S., Strzelecki W. 1980. *Badania nad uintensywnieniem produkcji leśnej w działalności IBL*. „Sylwan” CXXIV (12): 37–52.
- Korczyk A. 1970. *Plantacje nasienne drzew leśnych w Polsce*. „Sylwan” CXIV (6): 53–61.
- Korczyk A. *Przesłanki do „Programu hodowli selekcyjnej drzew leśnych i ochrony leśnych zasobów genowych na lata 2010–2035”* Maszynopis niepublikowany i niedatowany.
- Korczyńska E., Suszka J. 1972. *Bibliografia prac Zakładu Dendrologii i Arboretum Kórnickiego Polskiej Akademii Nauk (1945–1970)*. „Arbor. Kórnickie” XVII: 233–266.
- Krusche D., Melchior G. H. 1977. *The choice of rootstock as a means to stimulate flowering and increase the cone yield of Norway spruce grafts*. Proc. Third World Consult. on Forest Tree Breeding, 21–26 March 1977, Canberra, Australia. FAO/IUFRO: Fo-FTB-77-4/79: 1079–1087.
- Kurdiani S.Z. 1908a. *Zur Frage über die Rassen der Pinus sylvestris*. Cbl. ges. Forstwesen [Wien]: 6.
- Kurdiani S.Z. 1908b. *O stravitel'noi sposobnosti nashikh lesnykh derevev k vegetativnomu ramnozheniyu pri pomoshchi cherenkov*. „Lesnoi Zhurnal”.
- Kurdiani S.Z. 1912. *Ob organizatsii seleksii lesnykh rastenii v Rossii*. „Selskoe khozyaistvo i lesovodstvo” 6.
- Larsen C.S. 1956. „Genetics in Silviculture”. Oliver and Boy, Edinburgh – London: 1–224.
- Lindgren D. 2008. *Conifer seed orchards is the most important thing on Earth!* <http://daglindgren.upsc.se/TREEBREDEX/ConiferSeedOrchardsImportant.htm> (dostęp: 15.11.2022)
- Lindquist B. 1948. *Genetics in Swedish Forestry Practice*. Stockholm, Svenska Skogsvårdsföreningen Förlag, The Chronica Botanica Co, Waltham, Mass., U.S.A.: 1–173.
- Matras J. 1996. *Rejestr bazy nasiennej w Polsce*. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa: 1–328.
- Melchior G.H. 1987. *Increase of flowering of Norway spruce (Picea abies) by known rootstocks and planting grafts in southern sites*. „For. Ecol. Manage.” 19 (1–4): 23–33.
- OECD. *scheme for the control of forest reproductive material moving in international trade*. 2001. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris 1974 (including 2001 amendment): 1–28.
- Oleksyn J. 1985. *Scientific activity of Salomon Zakhariyevich Kurdiani – one of the first investigators on heredity in trees*. „Folia Dendrologica” 12: 349–368.
- Oleksyn J. 1991. *Influence of climatic factors upon tree rings of Larix decidua × L. kaempferi from Pulawy, Poland*. „Trees” 5: 75–82.
- Paques L.E. (Editor) 2013. *Forest Tree Breeding in Europe. Current State-of-the-Art and Perspectives*. Springer & TreebreDEX: 1–527.
- Prescher F. 2007. *Seed orchards – genetic considerations on function, management and seed procurement*. PhD thesis no. 2007:75, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå.
- Program zachowania leśnych zasobów genowych i hodowli selekcyjnej drzew leśnych w Polsce na lata 1991–2011*. 1991. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa: 1–80.
- Program testowania potomstwa wyłączonych drzewostanów nasiennych, drzew doborowych, plantacji nasiennych i plantacyjnych upraw nasiennych* [opracowanie zespołowe]. 2004. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa: 1–84.
- Program zachowania leśnych zasobów genowych i hodowli selekcyjnej drzew w Polsce na lata 2011–2035* (opracowanie zespołowe). 2011. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa: 1–142.
- Przybylski T. 1965. *Sympozjum poświęcone genetyce drzew leśnych*. „Kosmos” 6: 557–558.
- Przybylski T. 1966. *Pokaz szczepienia drzew leśnych w Kórniku*. „Las Polski” 12: 11.
- Roll-Hansen N. 2009. *Sources of Wilhelm Johannsen's genotype theory*. „J. Hist. Biol.” 42(3): 457–493.

- Schmidting R.C. 1973. *Rootstock influences early fruitfulness, growth and survival in loblolly pine grafts*. Proc. 12th Southern Forest Tree Improvement Conf., 12–13 June 1973, Baton Rouge, LA, Louisiana State Univ. Press: 86–90.
- Sweet G.B., Thulin I.J. 1973. *Graft incompatibility in radiata pine in New Zealand*. „NZ Journ. For. Sci.” 3: 82–90.
- Tyszkiewicz S. 1934. *O wyborze drzewostanów nasiennych*. Instytut Badawczy Lasów Państwowych, Seria C, nr 3, Warszawa: 1–11.
- Tyszkiewicz S. 1947. *O wyborze drzewostanów nasiennych ze szczególnym uwzględnieniem wpływu czynników środowiska i pracy ludzkiej na wartość produkcji leśnej*. Instytut Badawczy Leśnictwa, Seria D, nr 2, Kraków: 1–44.
- Tyszkiewicz S. 1962. *Zakład Nasiennictwa i Selekcji. W: Działalność Instytutu Badawczego Leśnictwa do 1956 roku. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa nr 234: 209–261.*
- Ustawa z 7 czerwca 2001 roku o leśnym materiale rozmnożeniowym. Dz.U. nr 73 poz. 761.
- Werner M. 1975. *Location, establishment and management of seed orchards*. [W:] „Seed Orchards. Forestry Commission Bulletin” 54 [ed. Roy Faulkner], London: 49–57.
- Wilusz Z. 1955. *Projekt badań ekotypów sosny zwyczajnej*. „Ekologia Polska” s. B, t. I, z. 1–2: 35–41.
- Wilusz Z. 1961. *Życiorys własny*. Archiwum ID PAN.
- Wilusz Z. 1962. *Dalsze postępy prac z zakresu wyboru „drzew doborowych”*. „Arb. Kórnickie” VII: 281–283.
- Zarządzenie nr 21 Dyrektora NZLP w sprawie sosnowych drzewostanów nasiennych wyłączonych. 1959. Biuletyn MLiPD nr 20 z dnia 26 października 1959 r., poz. 296.
- Zobel B. J., Barber J., Brown C. L., Perry T. O. 1958. *Seed orchards – their concept and management*. „Journal of Forestry” 56 (11): 815–825.

II

Stan obecny
plantacji nasiennych
w Polsce
i ich kategoryzacja

1. Wprowadzenie

Plantacje nasienne są elementem gospodarki leśnej. Znajdują swoje miejsce w wielofunkcyjnym leśnictwie, chociaż ich odbiór społeczny i akceptacja były różne i ciągle się zmieniają. Aby zaprezentować plantacje nasienne, opisano ich zróżnicowanie oraz zaproponowano autorską klasyfikację. Całość przedstawiona została z punktu widzenia polskiego leśnictwa i z uwzględnieniem jego specyfiki.

W nazewnictwie leśnym rozróżniamy plantacje nasienne (PN) – zakładane z klonów drzew matecznych, z wegetatywnego mnożenia przez szczepienie (lub uzyskane przy wykorzystaniu innych metod rozmnażania wegetatywnego) i plantacyjne uprawy nasienne (PUN) – zakładane drogą rozmnażania generatywnego. Plantacje nasienne w Polsce można pogrupować na wiele sposobów, a obiektywne kryteria mają różną wagę dla różnych grup odbiorców. Przykładowo, podział plantacji może być wykonany ze względu na wiek, pochodzenie wegetatywne czy generatywne, jak i znaczenie gospodarcze obiektu, które może wynikać choćby z obecnego zapotrzebowania na nasiona z danego obiektu czy też ze stanu zdrowotnego plantacji. W Polsce istnieje 346 obiektów należących do 22 gatunków drzew leśnych, zarejestrowanych w systemie informatycznym Lasów Państwowych na dzień 30 września 2022 roku (tab. 1). Stanowi to o odrębności krajowego programu plantacji.

Stan plantacji może być warunkowany zarówno przez takie czynniki, na które ma wpływ gospodarz (przykładowo: sposób pielęgnowania szczepów), jak i takie, które pozostają poza jego wpływem (czynniki pogodowe, np. intensywne gradobicie). Z punktu widzenia zarządcy warto jest ocenić stan plantacji i je uszeregować. Ocena plantacji, wykonywana w konkretnym czasie, nie jest pozbawiona ograniczeń wynikających z niepewności co do roli plantacji w przyszłości. Optymalnie byłoby, gdyby wszystkie plantacje mogły być traktowane jednakowo pod względem ważności dla gospodarki leśnej. Obecny stan plantacji, wynikający z zaszcłości gospodarczych, na to nie pozwala. Nie można przypisywać takiej samej roli plantacjom zachowawczym i plantacjom produkcyjnym. Inną rolę pełnią plantacje sosny wejmutki i sosny czarnej zakładane w latach 70. ubiegłego wieku, a inną plantacje sosny zwyczajnej, z których intensywnie zbierane są nasiona wykorzystywane w gospodarce leśnej.

Kategoryzację plantacji nasiennych w Polsce wykonał zespół ekspertów złożony z naukowców i praktyków. Arbitralnie zaproponowali oni kryteria klasyfikacji plantacji,

przy czym stan plantacji był jednym z podstawowych czynników decydujących o jej dalszej przydatności. Określany był w terenie, po uwzględnieniu zarówno lokalnych uwarunkowań, historii plantacji, jak i szerszego kontekstu dotyczącego możliwości jej dalszego prowadzenia i utrzymania, ocenianego z poziomu RDLP.

Tab. 1. Zestawienie liczby (n) i powierzchni plantacji nasiennych w Polsce (na 30.09.2022)

Lp.	Gatunek	PN		PN zach.		PUJN		PUJN zach.		Razem	
		N	ha	n	ha	n	ha	n	Ha	n	ha
1	Buk zwyczajny	8	49,6			8	43,9			16	93,5
2	Brzoza brodawkowata	12	65,6			2	13,6			14	79,2
3	Wiąz szypułkowy			1	4,5					1	4,5
4	Cis pospolity			2	3,5					2	3,5
5	Czereśnia ptasia	6	25,2			5	20,8			11	46,1
6	Dąb bezszypułkowy	10	63,5	1	5	6	33,2			17	101,7
7	Dąb szypułkowy	9	56,1			4	25,3			13	81,4
8	Daglezja zielona	8	46,5			5	34,9			13	81,4
9	Jodła pospolita	4	19,9	11	73,2	3	14,9			18	108
10	Jarzęb zwyczajny			1	1,2					1	1,2
11	Jesion pospolity	2	11,3							2	11,3
12	Klon jawor	1	3,1			1	5,2			2	8,3
13	Lipa drobnolistna	23	108,1							23	108,1
14	Modrzew europejski	37	244,1	1	8	25	156,4			63	408,5
15	Olsza czarna	11	72,4							11	72,4
16	Robinia akacja	2	6,7							2	6,7
17	Sosna zwyczajna	52	425,5	5	28,6	29	258,2			86	712,3
18	Sosna czarna	6	21,5			21	100			27	121,5
19	Sosna limba	1	4,6	1	7,1			1	5,4	3	17,2
20	Sosna wejmutka	1	3,2			1	4,5			2	7,7
21	Świerk pospolity	13	74,1	3	14,9	2	12,1			18	101,1
22	Wiąz szypułkowy			1	4,4					1	4,4
Razem		206	1301,02	27	150,48	112	723,02	1	5,44	346	2179,96

Co do tego kryterium przyjęto następującą punktację:

Plantacje nasienne w dobrym stanie, 3 punkty – plantacje, na których nie wystąpiły żadne poważne szkody zarówno abiotyczne, jak biotyczne. Są założone na właściwym siedlisku, witalne i obradzają, jeżeli są w odpowiednim wieku.

Plantacje nasienne w średnim stanie, 1 punkt – wszystkie obiekty pośrednie pomiędzy bardzo dobrymi a nieudanymi plantacjami ze względu na niezgodność z siedliskiem. Plantacje, na których w niektórych latach występowały szkody abiotyczne i biotyczne. Na części terenu mogą się zdarzać podtopienia lub zamieranie drzewek z uwagi na inne czynniki – w opisie należy wskazać prawdopodobne przyczyny. Plantacje dojrzałe, które nie owocują, wymagają opisu potencjalnych przyczyn takiego stanu i zaproponowania dalszego ich prowadzenia.

Plantacje nasienne nieudane i niezgodne z siedliskiem, –5 punktów – plantacje, na których wystąpiły duże ubytki szczepów lub drzew. Stan obiektu został spowodowany czynnikami niedającymi się wyeliminować bez poniesienia bardzo dużych nakładów (np. ciągłe podtapianie terenu w wyniku zniszczenia drenażu, gleba zatruta środkami chemicznymi, zmrzowiska itp.).

Pozostałe kryteria kategoryzacji wymieniono w tabeli 1. Wartość plantacji oceniona została przez sumowanie punktów dla poszczególnych kryteriów, przy czym przyjęto następujące założenia:

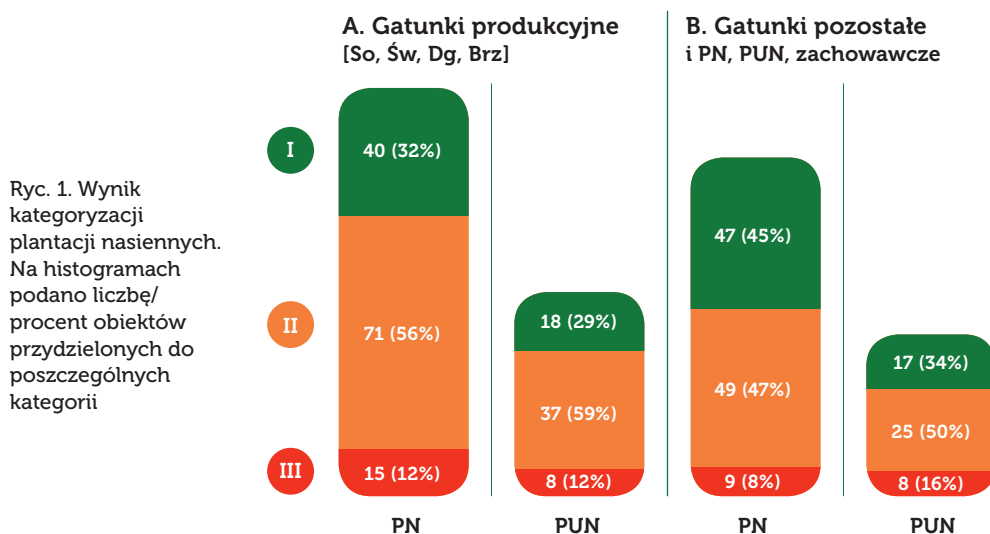
- Oddzielnie uszeregowywano obiekty plantacyjne dla grupy gatunków produkcyjnych i pozostałych.
- Zasięg określono zarówno na podstawie obowiązujących reguł przemieszczania LMR, jak i woli hodowców.
- Wartość populacji, z której pochodzą drzewa mateczne do założenia plantacji, została podana w załączniku 1 na podstawie dostępnych publikacji i danych z badań własnych.

Tab. 2. Kryteria kategoryzacji plantacji nasiennych

Lp.	Kryteria	Opis wartości	Punkty
1	Gatunek	produkcyjne [So, Md, Brz, Św, Dg]	4
		pozostałe	1
2	Wiek	do 40 lat	1
		powyżej 40 lat	0
3	Stan plantacji i jej dostosowanie do środowiska	plantacje zgodne z siedliskiem, na których nie występują poważne szkody	3
		plantacje częściowo zgodne z siedliskiem	1
		plantacje niezgodne z siedliskiem, o dużych ubytkach i zniszczeniach niedających się wyeliminować	-5
4	Zasięg	bardzo duży, krajowy	3
		duży, regionalny	2
		lokalny	1
5	Wartość	efektywna liczba klonów wyższa/równa 20	1
		efektywna liczba klonów niższa niż 20	-3
6	Pochodzenie	obecny stan wiedzy charakteryzuje daną populację jako ponadprzeciętną	2
		brak danych, inne	1
		populacje poniżej przeciętnej dla kraju lub kilka różnych populacji	0

2. Wyniki kategoryzacji plantacji nasiennych w Polsce

Kategoryzacji poddano 346 obiektów, w tym: plantacje nasienne, plantacyjne uprawy nasienne oraz plantacje zachowawcze, zgodnie ze stanem 30 września 2022 roku w rejestrze SILP. Każdej plantacji przyznano punktację według sposobu opisanego w tabeli 2. Zgodnie z ustaleniami zespołu, wszystkie plantacje podzielono na cztery grupy. Pierwszy podział dotyczył gatunku wysadzonego na plantacjach nasiennych. Wydzielono grupę z gatunkami produkcyjnymi (priorytetowymi), do których należą: sosna zwyczajna, świerk pospolity, modrzew europejski, daglezja zielona i brzoza brodawkowata, oraz grupę z pozostałymi gatunkami (do tej zaliczono również wszystkie plantacje zachowawcze). Drugi podział dotyczył typu plantacji (ryc. 1). Osobno kategoryzowano plantacje nasienne wegetatywne (PN) i plantacje nasienne generatywne (PUN). Każda grupa miała dobrany indywidualny podział punktów granicznych pomiędzy kategoriami. Przykładowo, pierwsza grupa plantacji nasiennych (plantacje nasienne wegetatywne gatunków produkcyjnych – A) była najbardziej liczna. Do I kategorii (najlepszej) zaliczono 40 szt., do II kategorii (przeciętnej) – 71 szt., natomiast do III (najgorszej) – 15 szt. Stanowiły one odpowiednio 32, 56 i 12% ogółu plantacji w danej grupie. Analogicznie przedstawiono kolejne grupy plantacji nasiennych. Wyniki kategoryzacji zestawiono w rejestrze IBL.



3. Przykłady plantacji nasiennych z różnych kategorii

Przykładem obiektu z grupy A kategorii 1 jest plantacja nasiennej sosny zwyczajnej w Nadleśnictwie Szczecinek, nr IBL PN179. Plantacja ta jest dobrze prowadzona, nie występują tu problemy zdrowotne ani problemy ze szkodnikami szyszek. Jest regular-

nie wykorzystywana, a jej możliwości produkcyjne wynoszą około 20 kg nasion z ha (ryc. 2). Innym przykładem plantacji nasiennej z pierwszej kategorii z grupy A jest plantacja nasienna jodły pospolitej IBL151 (ryc. 3). Plantacja również znajduje się w doskonałej kondycji, jest intensywnie użytkowana i daje obfite plony nasion. Obie plantacje zostały ogłowione, przy czym zabiegi ogławiania i formowania koron prowadzi się tam okresowo. Plantacja nasienna jodły została ogłowiona wyżej, ponieważ do zbioru szyszek wykorzystuje się niewielki podnośnik koszowy, którym dysponuje nadleśnictwo.



Ryc. 2. Widok na plantację nasienną sosny zwyczajnej (Nadleśnictwo Szczecinek, IBL PN179)



Ryc. 3. Widok na plantację nasienną jodły pospolitej w czasie kwitnienia i pylenia (Nadleśnictwo Oleszyce, IBL PN151)

Przykładem obiektu z grupy A kategorii 2 jest plantacja nasienna brzozy brodawkowatej w Nadleśnictwie Spała nr IBL PN190. Plantacja ta nie została ogłowiona. Ze względu na zróżnicowanie gleby na części powierzchni wzrost drzewek nie jest zadowalający, a plantacja dotychczas słabo wykorzystywana i niedostatecznie zagospodarowana.



Ryc. 4. Widok na plantację nasienną brzozy brodawkowatej a. w czasie kwitnienia i pylenia, b. w czasie zbioru nasion (Nadleśnictwo Spała, IBL PN190)



Ryc. 5. Uschnięte drzewo daglezi zielonej w lewym rogu. Powiększono miejsce zrostu zrazu i podkładki (Nadleśnictwo Złoczew, IBL PN145)

Przykładem obiektu z grupy A kategorii 3 jest plantacja nasienna daglezi zielonej w Nadleśnictwie Złoczew nr IBL PN145. Plantacja ta jest przerzedzona i ciągle zamierają tam drzewa, co jest skutkiem niezgodności zrazu z podkładką.

Przykładem obiektu z grupy B kategorii 1 jest plantacja nasienna dębu bezszypułkowego w Nadleśnictwie Krzystkowie nr IBL PN175. Plantacja ta jest regularnie wykorzystywana. Daje częste i obfite plony żołądziej – żołądziej zbierane są z siatek wcześniej rozciągniętych nad ziemią.

Przykładem obiektu z grupy B kategorii 2 jest plantacja nasienna czereśni ptasiej w Nadleśnictwie Świdnik nr IBL PN205. Plantacja ta rozpoczęła obradzanie, niektóre drzewka znajdują się w gorszej kondycji zdrowotnej.

Przykładem obiektu z grupy B kategorii 3 jest plantacja nasienna dębu szypułkowego w Nadleśnictwie Łomża nr IBL PN165. Plantacja została założona na terenie o glebie zróżnicowanej, o różnej żyzności. Od początku obserwowano również odrzucanie szczepów przez podkładki. Duża część drzewek zamarła, a część jest w słabej kondycji. Drzewka nie obradzają.



Ryc. 6. Widok na plantację nasienną dębu bezszypułkowego w Nadleśnictwie Krzystkowie (IBL PN175)



Ryc. 7. Zbiór żołądki z siatek (PN175, fot. M. Miśków, RDLP Zielona Góra)



Ryc. 8. Widok na plantację nasienną czereśni ptasiej w Nadleśnictwie Świdnik (IBL PN205)



Ryc. 9. Widok na plantację nasienną dębu szypułkowego w Nadleśnictwie Łomża (IBL PN165)



Ryc. 10. Widok na plantację nasienną sosny czarnej w Nadleśnictwie Złoczew (IBL PN143)

Innym przykładem obiektu z grupy B kategorii 3 jest plantacja nasienna sosny czarnej w Nadleśnictwie Złoczew nr IBL PN143. Plantacja nie jest obecnie potrzebna, lecz została odpowiednio zabezpieczona i znajduje się w dobrej kondycji zdrowotnej. Trzymana jest w rezerwie na przyszłość.

4. Wyniki ankiety na temat plantacji nasiennych w Polsce

W celu poznania opinii i oczekiwań co do plantacji nasiennych w Lasach Państwowych w 2016 roku wystosowano ankietę do osób, które zawodowo zajmują się z plantacjami. Podsumowanie ankiety opiera się na konkluzji odpowiedzi na każde z pytań (ryc. 11). Liczba odpowiedzi (104) wydaje się zadowalająca w stosunku do liczby założonych plantacji nasiennych i nadleśnictw, w których się znajdują. Taka próba może być poddana wnioskowaniu. Odpowiedzi udzieliły 102 nadleśnictwa (na czas przeprowadzania ankiety – 77% polskich nadleśnictw).

Większość jednostek Lasów Państwowych zgodnie stwierdziła, że PN i PUN dostarczają cennego leśnego materiału rozmnożeniowego. Dodatkowo podnoszono, w mniejszym lub większym stopniu, sprawę wykorzystania nasion (powierzchnia, liczba nadleśnictw) i ograniczeń z tego wynikających, które nakłada polskie prawodawstwo.

Stwierdzono, że wiedza na temat plantacji nasiennych i sposobu ich prowadzenia wymaga uzupełnienia przez realizację specjalistycznych szkoleń w terenie wraz ze studium przypadków, dodatkowo zarządcy oczekują przygotowania odpowiedniej literatury. Zagadnienia, jakie powinny być na nich poruszone, to głównie sposoby prowadzenia plantacji (cięcia, ogławianie, nawożenie itp.), stymulacje kwitnienia i promocja wykorzystania nasion.

Zbiór nasion przeprowadzany jest zazwyczaj ze wszystkich drzew na całej plantacji, jednak nie stanowi to reguły, ponieważ niekiedy nasiona zbierane są tylko z wybranych, najlepiej obradzających drzew. Warto również odnieść się do techniki zbioru i wspomagać ją odpowiednim sprzętem lub redukować wysokość drzewek przez ogławianie. Dużo jednostek zasygnalizowało chęć wypracowania nowych metod w tym zakresie.

Zebrane nasiona dysponowane są zazwyczaj według wcześniejszych zgłoszeń innych nadleśnictw. Dodatkowo, w RDLP może być tworzony tzw. rozdzielnik. Jednak taki system nie daje możliwości pełnego, szerokiego zakresu wykorzystania nasion – większość ankietowanych zaznaczyła, że nasiona użytkuje według zapotrzebowania lub tylko częściowo. Działaniami wspomagającymi udostępnianie/sprzedaż nasion może być bezpośrednia wy-



Ryc. 11. Zakres pytań w ankiecie skierowanej do zarządców plantacji nasiennych

miana wiedzy między nadleśnictwami, z możliwą koordynacją RDLP i/lub włączenie aplikacji internetowych do takich działań.

Pomimo dużej ilości dostępnych nasion respondenci zauważyli potrzebę zakładania nowych plantacji nasiennych, zazwyczaj dla gatunków, które ich jeszcze nie mają lub w celu „odmłodzenia” plantacji już istniejących. Jednostki LP wyrażają chęć współpracy na kilku poziomach i płaszczyznach zarządzania. Decyzje w sprawie plantacji powinny być wypracowywane na poziomie nadleśnictw, następnie opiniowane i koordynowane na poziomie RDLP, a dodatkowo objęte opieką jednostek naukowych.

Podsumowanie

Przedstawiony stan plantacji nasiennych w Polsce wskazuje, że plantacje nie pełnią jedynie roli końcowego ogniwa w cyklu selekcyjnym. Programy selekcji w Polsce nie są zaawansowane, ciągle pracujemy z pierwszą generacją wybranych fenotypowo drzew. Dotychczas założono dwie plantacje generacji 1.5, a w planach na 2023 rok jest założenie trzeciej. Jednakże rozmiar polskich lasów i zapotrzebowanie na nasiona powodują, że w kraju funkcjonuje bardzo wiele plantacji. Jest to duży rezerwuuar nasion, często bardzo dobrych populacji, które w badaniach proveniencyjnych wykazały dużą plastyczność i dobre cechy przyrostowe. Mogą być wykorzystane nie tylko w kraju, lecz także w wielu państwach europejskich. Drugim nurtem w polskim programie plantacyjnym jest zakładanie plantacji i plantacyjnych upraw nasiennych dla gatunków domieszkowych i biocenotycznych. W Polsce funkcjonuje również wiele plantacji zachowawczych, które pełnią zarówno rolę archiwum klonów, jak i służyły – bądź będą jeszcze służyły – do zachowania lub odtwarzania populacji (na przykład plantacje nasienne zachowawcze jodły pospolitej w Sudetach). Oddzielną grupę plantacji nasiennych stanowią plantacje gatunków obecnie niewykorzystywanych na szerszą skalę jak sosna czarna. Nie generują dużych kosztów, dlatego są zachowywane na niepewną przyszłość. Wszystko to świadczy o odrębności polskiego programu hodowli selekcyjnej drzew leśnych, programu plantacji nasiennych i warunkuje to, że musimy wypracować własne sposoby zarządzania i prowadzenia plantacji nasiennych.

III

Zakładanie
i prowadzenie
plantacji
nasiennych

1. Wybór materiału i przygotowanie sadzonek do zakładania plantacji nasiennych

Jednym z najistotniejszych elementów w procesie zakładania nowego obiektu – czy to plantacji nasiennej wegetatywnej, czy plantacyjnej uprawy generatywnej – jest podjęcie decyzji o wyborze materiału, z jakiego będzie ona pochodzić, czyli zestawu genotypów. Przystępując do projektowania nowej plantacji, trzeba odpowiedzieć sobie na pytania, jaką rolę będzie pełnić plantacja i dla jakiego obszaru docelowego będzie produkowała nasiona? Wiąże się z tym rodowód i wartość hodowlana materiału oraz zmienność genetyczna. Te ważkie decyzje powinny zostać podjęte po konsultacjach zarówno ze środowiskiem naukowym, jak i praktyków leśnictwa. Należy też zwrócić uwagę na to, że plantację projektuje się, uwzględniając perspektywę czasu i obszaru docelowego jej wykorzystania. Zwykle zakres wykorzystania nasion wykracza poza obszar jednej, regionalnej dystrykcji, dlatego nie może być to decyzja regionalna. To, z jakiego materiału zostanie założona plantacja, będzie decyzją na dziesięciolecia, ponieważ wejdzie ona w okres intensywnego obradzenia po 10–15 latach, co sprawia, że korzystać z niej będzie następane pokolenie leśników. W praktyce decyzje o założeniu plantacji nasiennej i wyborze materiału są konsultowane z Instytutem Badawczym Leśnictwa.

Z technicznego punktu widzenia, zakładanie plantacji wegetatywnej jest trudniejsze, a wymagania co do produkcji materiału są większe – plantacja taka różni się od plantacji generatywnej kosztem sadzonek. W przypadku sytuacji, gdy brakuje informacji o wartości hodowlanej drzew matecznych (dotyczy to gatunków, u których obserwujemy odrzucanie szczepów przez podkładki), warto rozważyć zakładanie plantacji generatywnych z nasion. Jak wykazały dotychczasowe doświadczenia, odrzucanie szczepów obserwujemy u dąglezji zielonej i, z czasem, u dębu szypułkowego i bezszypułkowego oraz buka zwyczajnego. W naszych warunkach szczególnie uwidacznia się to u dąglezji. W Kanadzie powstał program selekcji podkładek do szczepień [Miller, DeBell 2013], a wyhodowane w nim podkładki w mniejszym stopniu odrzucały szczepy. Udatność takich plantacji wynosiła blisko 80%. W Polsce udatność plantacji nasiennych dąglezji jest znacznie niższa. Próba wykorzystania wyselekcjonowanych podkładek z Kanady w Europie wykazała, że nie są one odporne na przymrozki [Bastien i in. 2013; Michaud i in. 2014].

Techniki szczepienia drzew są obecnie dobrze opisane [Buraczyk, Kazmierczak 2003]. Przygotowanie szczepów (sadzonek do zakładania plantacji nasennych) obejmuje: wyhodowanie podkładek do szczepień, przygotowanie pędów do szczepień, samo szczepienie, a następnie hodowanie szczepów. Produkcja szczepów i przygotowanie ich do sadzenia nie nastęrcza większych trudności, lecz – ze względu na konieczność posiadania wykwalifikowanej kadry oraz infrastruktury – wskazane jest zlecenie tej czynności wyspecjalizowanym jednostkom. Leśnicy korzystają z doświadczeń ogrodników, ponieważ istnieje wiele podobieństw pomiędzy drzewami, ale też są poważne różnice, których nie można ignorować. Problematyczne jest zwłaszcza rozmnażanie drzew liściastych, co wiąże się z brakiem wyselekcjonowanych podkładek dla gatunków drzew leśnych. W Polsce nie prowadzono w ostatnich latach badań nad udatnością rozmnażania wegetatywnego w zależności od różnych metod i warunków, w jakich jest wykonywane. W praktyce produkcję szczepów na plantacje nasienne zleca się Arboretum Leśnemu w Sycowie lub innym prywatnym firmom.

Natomiast hodowanie sadzonek do zakładania plantacyjnych upraw nasiennych jest rutynową czynnością i można ją wykonać we własnym zakresie. Najlepiej jest wyprodukować sadzonki z zakrytym systemem korzeniowym. Zbiór nasion przeznaczonych do produkcji sadzonek do założenia plantacyjnej uprawy nasiennej powinno się wykonać w latach dobrego urodzaju w sposób uniemożliwiający ich pomieszenie. Szyszki należy łuszczyć w szafach wyluszcarskich lub wyluszcarni zapewniającej warunki do oddzielnego łuszczenia niewielkich partii. Próbkę wyluszczonych nasion należy wysłać do oceny w Stacji Oceny Nasion IBL. Ze względu na wartość nasion i niewielkie ich ilości można wysłać próbki mniejsze, niż to przewidują obowiązujące zasady, jednak w ilości uzgodnionej ze stacją. Nasiona po wyluszczeniu przechowuje się w odpowiednich warunkach, dopóki nie zbierze się pełnego zestawu potomstwa, tzn. co najmniej z czterdziestu drzew matecznych dla sosny zwyczajnej i świerka pospolitego oraz z co najmniej z trzydziestu drzew dla pozostałych gatunków (według obecnie obowiązujących zasad). Wskazane jest zakładanie plantacji z większego zestawu genotypów.

2. Zakładanie i prowadzenie plantacji nasiennych i plantacyjnych upraw nasiennych

Ze względu na podobieństwo między plantacjami nasinnymi a plantacyjnymi uprawami nasinnymi pod względem ich zakładania i prowadzenia będzie się dalej używać tylko jednego określenia – „plantacje”, wszędzie tam, gdzie będzie mowa o obu rodzajach powierzchni.

Przy wstępnym typowaniu powierzchni pod plantację należy przyjąć, że szczepy/sadzonki będą wysadzone w więźbie od 5 x 5 m do 8 x 6 m. Między plantacją nasinną a plantacyjną uprawą nasinną istnieje (wcześniej wspomniana) istotna różnica, którą jest rodzaj materiału sadzeniowego:

- na plantacji nasiennej sadi się wegetatywne potomstwo (np. szczepy) określonej liczby drzew matecznych, reprezentujące genotypy tych drzew,

- plantacyjna uprawa nasienna obejmuje generatywne potomstwo (sadzonki) wyhodowane z nasion określonej liczby drzew matecznych, powstałych z nasion z wolnego zapylania.

Różnica pomiędzy sadzonkami warunkuje pewne szczegóły ich dalszego prowadzenia i pielęgnowania w pierwszych latach po wysadzeniu. Szczepy są bardziej wrażliwe na uszkodzenia mechaniczne – wiatr lub śnieg mogą spowodować odłamanie zrazu od podkładki. W przypadku sadzonek ze szczepienia szczególną uwagę należy zwrócić na odbitki z podkładek, które należy bezwzględnie usunąć i nie dopuszczać, aby się rozwiły. Kolejne etapy zakładania plantacji będą opisywane dalej wspólnie dla plantacji wegetatywnych i generatywnych.



Ryc. 1. Odbitka z podkładki na PN dębu szypułkowego. Niska boczna odnoga ma cechy dębu szypułkowego, główny pień – odbitka – cechy dębu bezszypułkowego

2.1. Wybór powierzchni pod plantację a warunki glebowe

Plantacje należy lokalizować w regionach pochodzenia zgromadzonego zestawu klonów/rodów przeznaczonych do założenia plantacji, lub w regionach, do których dopuszcza się sprowadzanie nasion z regionu pochodzenia drzew matecznych. Decyzja ta jest kluczowa i powinna być podjęta, tak jak już wspomniano, na samym początku. Pod plantację należy wybierać teren z glebą optymalną dla danego gatunku. Na przykład dla sosny zwyczajnej najodpowiedniejsze są przewiewne gleby piaszczyste o umiarkowanej żyzności, z domieszką próchnicy i o niezbyt wysokim poziomie wody gruntowej. Nie nadają się pod plantację gleby ubogie (Bs, Bśw), wilgotne (Bw, BMw) i kamieniste. Całkowicie błędnym podejściem jest wybieranie siedlisk ubogich, jak zalecał prof. Tyszkiewicz, aby drzewa rosnące na ubogich siedliskach były przez to stymulowane do obradzania [Tyszkiewicz 1949]. Jak się okazało w praktyce, taka stymulacja jest krótkotrwała – w rzeczywistości drzewa na siedliskach ubogich ponoszą znaczny wydatek energetyczny związany z produkcją nasion i wymagają nawożenia. Tyszkiewicz nie miał doświadczeń z prowadzeniem plantacji nasiennych, ponieważ w tamtych latach program dopiero tworzone. Dlatego też nie powinno się powielać i utrzymywać jego zaleceń, jak zrobiono to w kolejnych wytycznych [Kocięcki 1988; Matras, Fonder 2006], co było przyczyną wielu problemów. Jak wykazały dotychczasowe doświadczenia, lepiej jest założyć plantację na siedlisku zbyt żyznym niż zbyt ubogim. Przy wyborze powierzchni pod plantację należy zwrócić szczególną uwagę, aby nie była to powierzchnia pędraczyska, zmrozowiska, o zbyt niskim lub wysokim poziomie wód gruntowych. Wybraną powierzchnię należy obowiązkowo skonsultować z właściwym terytorialnie zespołem ochrony lasu (ZOL) i przeprowadzić dokładne badania glebowe, ponieważ większość niepowodzeń w zakładaniu plantacji jest związana z nieodpowiednim wyborem miejsca. Staranność przy wyborze miejsca pod plantację może być okupiona pewnymi kosztami, ale z pewnością opłaci się w przyszłości.

Ze względu na powszechność występowania drzewostanów sosnowych wewnątrz kompleksów leśnych można lokować plantacje wszystkich gatunków poza sosną. Jeżeli zakłada się plantację wewnątrz drzewostanu, nie powinien być on starszy niż w IV klasie wieku, aby mógł osłaniać plantację do końca jej istnienia. Innym wyjściem jest pozostawienie otuliny z istniejącego drzewostanu w przyszłości i stopniowe jej przebudowanie tak, aby osłaniała i izolowała plantację. Przy wyborze lokalizacji powierzchni pod nowo zakładaną plantację należy przestrzegać zasad izolowania plantacji, określonych szczegółowo w rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie szczegółowych wymagań, jakie powinien spełniać LMP, z późniejszymi zmianami. Z biegiem czasu znalezienie odpowiedniego miejsca na plantację jest coraz trudniejsze. Często brak jest powierzchni spełniających restrykcyjne wymagania co do izolacji i jakości gleby oraz warunków klimatycznych. Dlatego teren po likwidowanych plantacjach o właściwej lokalizacji w pierwszym rzędzie należy przeznaczyć pod nowe obiekty.

2.2. Izolacja plantacji

Przez cały czas obradzenia plantacja powinna być jak najlepiej izolowana. Trzeba mieć świadomość, że zapewnienie dobrej izolacji dla plantacji sosny w naszych warunkach jest bardzo trudne. Jak wykazały badania, najlepiej izolowane plantacje mają ograniczone zanieczyszczenie pyłkiem – do 20% [EL-Kassaby i in. 1989; Burczyk 1998; Gömöry i in. 2003; Burczyk i in. 2004]. Plantację ulokowaną wewnątrz drzewostanu izoluje drzewostan. Gdy plantację zakłada się wśród pól, należy stworzyć dla niej sztuczną otulinę. Najskuteczniejsza jest otulina o następującej budowie: trzy lub cztery rzędy gatunku szybko rosnącego w więźbie 4 x 4 lub 5 x 5 m, z przesunięciem między nimi dwa lub trzy rzędy gatunku wolno rosnącego, z odstępem w rzędzie 2 lub 3 m i także z przesunięciem, a to wszystko podbudowane krzewami. Przesunięcie rzędów, luźna więźba dla gatunków drzewiastych i krzewy sprawiają, że otulina spełnia swoje zadanie i drzewka będą mogły swobodnie się rozwijać. Gdy szczepy lub drzewka na plantacji zaczną obradzać, otulina będzie korzystnie wpływać na mikroklimat i częściowo zatrzymywać pyłek z zewnątrz. Do zakładania otuliny należy używać wyłącznie sadzonek takich gatunków, które nie będą reprezentowane w plantacji. W najniższym położonym miejscu otuliny (lub w dwóch takich miejscach) należy pozostawić odpowiednio szeroką przerwę, umożliwiającą odpływanie chłodnego powietrza z plantacji. Nie należy zostawiać przerwy od strony zachodniej i północno-zachodniej. Przy zagrożeniu szkodami ze strony zwierząt domowych i zwierzyny plantacje powinny być trwale i solidnie ogrodzone siatką o odpowiedniej wysokości. Ogrodzenie należy utrzymywać do końca istnienia plantacji, ponieważ na terenach, na których występuje zwierzyna, dziki i jelenie potrafią w relatywnie krótkim czasie wyrządzić duże szkody po rozebraniu ogrodzenia.

2.3. Przygotowanie gleby

Po usunięciu drzewostanu należy przygotować glebę w sposób jak najmniej naruszający jej wierzchnie warstwy. Przy zakładaniu pierwszych plantacji zalecano karczowanie pniaków i przygotowanie gleby ciężkim sprzętem. Jak pokazało doświadczenie, nie wolno spychać wierzchniej warstwy gleby, ponieważ przy takim postępowaniu usuwa

się całą żywną glebę, obniżając jej sprawność, a przy tym i poziom powierzchni, dodatkowo pogarszając również stosunki wodne. Wiosną wykonuje się pełną orkę, wybierając przy tym starannie wszelkie korzenie.

Latem i jesienią utrzymuje się glebę w czarnym ugorze, który uzyskiwany jest przez krzyżowe talerzowanie, wyczesywanie korzeni i bronowanie. W sytuacjach, gdy wykarczowanie powierzchni jest zbyt pracochłonne i trudne do zrealizowania, możliwe jest punktowe przygotowanie gleby. Wtedy jednak pniaki muszą być ścięte równo z powierzchnią i potraktowane biopreparatami grzybobójczymi.

Takie postępowanie umożliwi mechaniczną pielęgnację gleby. Podobnie na powierzchni porolnej zaleca się, na rok przed założeniem plantacji, utrzymywanie gleby w czarnym lub zielonym ugorze. Obowiązkowe jest także przeprowadzenie badania zapędrczenia gleby według zasad określonych w „Instrukcji ochrony lasu”. W przypadku występowania zagrożenia pędrakami należy stosować zalecenia wydane przez właściwy terytorialnie zespół ochrony lasu. Dopuszcza się punktowe przygotowanie gleby w miejscu sadzenia szczepów lub sadzonek przy utrzymaniu często koszonej trawy na pozostałej powierzchni.



Ryc. 2. Sposób przygotowania placówek wokół młodych szczepów sosny zwyczajnej

3. Sadzenie plantacji nasiennej i plantacyjnej uprawy nasiennej

Każda plantacja może obejmować potomstwo (szczepy lub sadzonki) drzew z jednego regionu pochodzenia lub grupy sąsiednich regionów, które – zgodnie z zasadami regionalizacji nasiennej – mogą korzystać ze wspólnej bazy nasiennej. W przypadku tworzenia zespołu plantacji nie mogą ze sobą sąsiadować plantacje tego samego gatunku, reprezentujące różne kompleksy lasów lub regiony. Według zasad przyjętych w Lasach Państwowych liczba potomstwa w plantacji takich gatunków, jak sosna zwyczajna i świerk pospolity, nie może być mniejsza niż 40. W plantacjach pozostałych gatunków dopuszcza się 30 potomstw drzew matecznych. Powierzchnia plantacji powinna wynikać z zapotrzebowania na nasiona, nie zaleca się zakładać plantacji mniejszych niż 2 ha. Na takiej plantacji, jeżeli nie jest dodatkowo zapyłana pyłkiem wcześniej zgromadzonym, mogą występować problemy z dostępnością pyłku [Funda 2012]. Liczba klonów

na plantacji wynika z jednej strony z chęci osiągnięcia zysku genetycznego, a z drugiej z potrzeby zapewnienia różnorodności. Im większa różnorodność, tym mniejszy zysk [Kowalczyk, Filipovics 2007; Funda i in. 2009]. Prawidłowość ta dotyczy klonów o znanej wartości hodowlanej, potwierdzonej w testach. W przypadku materiału o nieznannej wartości hodowlanej należy dążyć do tego, aby liczba klonów na plantacji była jak największa, ze względu na większe możliwości krzyżowania się poszczególnych genotypów klonów lub rodów. Wykorzystanie dużej liczby genotypów na plantacji nie oznacza, że będą one uczestniczyły w produkcji nasion w równym stopniu. Jak wykazały badania, na plantacjach istnieją grupy genotypów często i obficie obradzające oraz grupy słabo obradzające lub w ogóle nieobradzające [Burczyk i in. 1997]. Zdolności poszczególnych klonów do obradzania i kwitnienia żeńskiego i męskiego były dotychczas mało badane. Brak jest dostępnych informacji o fenologii kwitnienia i średniej zdolności obradzania poszczególnych klonów. W przyszłości, na potrzeby produkcji nasion, warto pod tym względem charakteryzować genotypy i uzupełniać opis klonów.

Podział powierzchni na kwatery oraz rozmieszczenie szczepów i sadzonek przygotowuje IBL, wykorzystując autorski, specjalnie opracowany program komputerowy. Istnieje wiele podobnych programów do projektowania układu klonów na plantacjach nasiennych [Vanclay 1991; Chaloupková i in. 2016a, 2016b]. Projekt rozmieszczenia musi być tak opracowany, aby – bez względu na dokonywane później przerzedzenia – nie znalazły się w bezpośrednim sąsiedztwie dwa szczepy z tego samego klonu czy dwa drzewa z tego samego potomstwa generatywnego. Na potrzeby opracowania przez IBL podziału powierzchni na kwatery nadleśnictwo przygotowuje mapę lub zorientowany szkic powierzchni z dokładnymi wymiarami każdego boku oraz gatunku i wieku sąsiednich drzewostanów. Do opracowania planu rozmieszczenia szczepów na kwaterach plantacji nasiennej konieczne jest zestawienie liczby szczepów w poszczególnych klonach, a do opracowania planu rozmieszczenia sadzonek na plantacyjnej uprawie nasiennej – zestawienie informacji charakteryzujących poszczególne rody. W tym celu zarządca zakładu, w którym są hodowane szczepy/sadzonki, powinien przesłać do IBL informację o wyhodowanym materiale sadzeniowym. Informacje te są niezbędne do podjęcia decyzji, które klony/rody mogą być wykorzystane do sadzenia, a które, ze względu na małą wydajność i słaby wzrost, trzeba usunąć z zestawu. Po otrzymaniu z IBL planu rozmieszczenia w pierwszej kolejności należy wytyczyć w terenie kwatery. Następnie na kwaterze rozmieszczane są paliki, w więźbie podanej w planie. Paliki wbija się mocno w ziemię – do nich następnie przywiązuje się szczepy. Na każdym paliku oznacza się trwale i czytelnie numer drzewa matecznego według planu rozmieszczenia, warto wykorzystać w tym celu trwale i czytelne w przyszłości etykiety. Po oznakowaniu palików na całej kwaterze należy skontrolować zgodność ich numerów z numerami zamieszczonymi na planie kwatery. Po ponumerowaniu wszystkich palików i sprawdzeniu zgodności numerowania z planem materiał sadzeniowy przywożony jest ze szkółki. Zaetykietowane szczepy/sadzonki zabezpiecza się odpowiednio na czas transportu, dla ułatwienia można przewozić je ułożone według kolejności sadzenia. W takim przypadku w szkółce wyjmuje się szczepy/sadzonki i układa na przyczepie zgodnie z planem rozmieszczenia w takiej kolejności, w jakiej mają być sadzone na kwaterze. Po przewiezieniu

zdejmuje się szczepy/sadzonki kolejno i sadzi zgodnie z planowanym rozmieszczeniem. Przed posadzeniem dokładnie sprawdza się, czy numer na etykiecie jest zgodny z numerem na paliku i czy numery są zgodne z planem. Szczep/sadzonkę sadzi się po zachodniej stronie palika, aby stanowił on oparcie dla wysadzonego przy nim drzewka. Po wysadzeniu przywiązuje się strzałkę szczepu do palika w sposób chroniący ją przed ocieraniem.

Warto w tym celu użyć szerokiej taśmy lub wężyków sadowniczych, które są mocne i nie powodują ocierania kory drzewek. Po zakończeniu sadzenia kontroluje się jeszcze raz, czy wszystkie numery na planie, na paliku i na szczepie/sadzonce są ze sobą zgodne. Ostateczną kontrolę przeprowadza przedstawiciel RDLP. Dla gatunków wrażliwych na przymrozki bądź wymagających w pierwszym okresie ocienienia wskazane jest wyprzedzające wprowadzenie gatunków osłonowych, które – po spełnieniu przez nie swojej funkcji – należy usunąć. W przypadku stwierdzenia wypadów szczepów bądź sadzonek po sadzeniu na plantacji/plantacyjnej uprawie nasiennej wymagane jest wykonanie poprawek. Wykorzystywanie do tego celu szczepów/sadzonek z rezerwy, wyhodowanych w tym samym czasie, co te użyte do założenia powierzchni, ma sens jedynie pierwszych lat po założeniu powierzchni. Dłuższe przetrzymywanie tych drzewek w pojemnikach lub ich chwilowe wysadzenie w gruncie, a później ponownie na plantacji w ramach poprawek powoduje, że udatność takich poprawek jest niska. W przypadku braku szczepów/sadzonek rezerwowych należy je doszczepić ze zrazów lub wyhodować z nasion zebranych ponownie z drzew matecznych. Jeśli występuje niedostateczna liczba szczepów lub sadzonek do wykonania poprawek na plantacji, uzupełnianie braków należy zawsze rozpoczynać od placówek docelowych, następnie kolejno według malejącego następstwa schematycznych cięć rozluźniających. Wysadzenie i etykietowanie należy przeprowadzić starannie, unikając pomyłek – pomyłki w etykietowaniu można łatwo wykryć przy użyciu markerów molekularnych (świadczą one o błędach popełnionych na którymś z etapów produkcji). Większość młodych i produkcyjnych plantacji nasiennych w Polsce przeszła taką weryfikację. Zdarzały się plantacje, gdzie nie występowały żadne błędy przy etykietowaniu szczepów, lecz były i takie, na których pojawiły się obce genotypy [Przybylski i in. 2019].



Ryc. 3. Sposób przywiązania szczepu modrzewia do palika za pomocą szerokiej taśmy

4. Pielęgnowanie gleby, szczepów i sadzonek

Przez pierwsze lata po założeniu plantacji zaleca się wysianie trawy i systematyczne jej koszenie. Należy przy tym dbać, żeby przy szczepach/sadzonkach nie tworzyły się wywyższenia, a po koszeniu trawy rozdrabniać ją lub roztrząsać po całej powierzchni, aby ograniczyć szkody powodowane przez gryzonie. Po wysadzeniu szczepów/sadzonek nie wolno na plantacji stosować orki – powoduje ona podcinanie korzeni oraz



Ryc. 4. Sposób przygotowania gleby i zabiegi agrotechniczne na młodej plantacji nasiennej dębu szypułkowego w leśnictwie Mirocin, założonej w 2019 roku



Ryc. 5. Koszenie trawy na plantacji nasiennej olszy czarnej

tworzenie wałków i bruzd, których później nie można wyrównać. Wokół szyj korzeniowych szczepów lub sadzonek należy odchwaszczać i spulchniać glebę na placówkach ręcznie, w sposób niepowodujący odsłaniania korzeni.

Pielęgnowanie placówek trzeba przeprowadzać po każdym pielęgnowaniu gleby w międzyrzędach. Szczególne znaczenie ma ostatni zabieg pielęgnacji gleby przed zimą ze względu na ograniczenie gryzoniom dostępu do szyj korzeniowych szczepów lub sadzonek. Możliwe jest również ściółkowanie lub wykładanie placówek wokół drzewka włókniną. W takim przypadku należy obserwować, czy pod warstwą włókniny nie gromadzą się gryzonie lub pędraki.

Nawożenie gleby na plantacji może być potrzebne dopiero w okresie obradzenia drzew oraz dla wyrównania ubytku związków pokarmowych usuwanych z sianem. Każdorazowo jednak nawożenie musi być poprzedzone wykonaniem badań glebowych i uwzględniać wyniki tych analiz. Pielęgnowanie szczepów polega na systematycznym usuwaniu odbitek (które mogą wyrosnąć poniżej miejsca szczepienia) z podkładki oraz na ewentualnym usunięciu pędów z najniższego okółka, aby ułatwić pielęgnowanie gleby w placówkach.

Po osiągnięciu przez rośliny wysokości około 2 m należy przystąpić do zabiegów formowania koron i ogławiania, tak aby można było utrzymać właściwy pokrój korony drzewa – w zależności od lokalnych warunków na plantacji i przyjętej wysokości docelowej. Dotyczy to tylko tych plantacji, na których planuje się ogławianie.

Gdy w plantacyjnej uprawie nasiennej drzewka osiągną wysokość około 3 m, w końcu zimy można – według klasycznych metod – podkrzesać dolne gałęzie do wysokości około 50 cm, aby ułatwić pielęgnowanie gleby w placówkach.

5. Ogławianie drzew i formowanie koron

Drzewka na plantacjach nasiennych z czasem rozbudowują koronę i rozrastają się. W starych plantacjach nasiennych nie planowano przycinania i formowania koron. Drzewa osiągały duże rozmiary, plantacja wymagała przerzedzania, kiedy korony stykały się, a dolne gałęzie zaczynały zamierać. Nieprzerzedzane plantacje funkcjonowały gorzej ze względu na redukcję długości korony, co było związane z ograniczeniem dostępu światła. Zbiór nasion z takich plantacji odbywał się jedynie z bardzo dużych wysięgników lub metodą alpinistyczną.

Dlatego też, z czasem, na plantacjach większości gatunków drzew leśnych zaczęto stosować przycinanie koron. Przeprowadzano je przez ogławianie drzew na zadanej wysokości (zwykle od 2 do 4 m) i przycinanie gałęzi bocznych. W niektórych wypadkach wykonywano również przerzedzanie koron przez przycinanie gałęzi. W przypadku drzew iglastych zwykle nie aplikuje się dodatkowych zabezpieczeń po przycięciu cienkich gałęzi (do 2–4 cm średnicy) – miejsce cięcia dość skutecznie zabezpiecza przed grzybami wyciekająca żywica. Aby przycinanie koron miało sens, należy je rozpocząć wcześniej i systematycznie powtarzać. W różnych warunkach środowiskowych stosuje się różne praktyki dla różnych gatunków, dlatego trudno tutaj podać jakieś uniwersalne wytyczne dla wszystkich plantacji w Polsce. Badania

nad formowaniem koron prowadził Instytut Badawczy Leśnictwa [Markiewicz i in. 2009]. Niestety, zakończyły się one po czterech latach, a wnioski i wytyczne oparte zostały jedynie na wstępnych i krótkookresowych obserwacjach, dotyczących tylko sosny, modrzewia, lipy drobnolistnej i brzozy brodawkowatej. Wytyczne te spowodowały, że w Polsce rozpoczęto, po wielu latach obserwacji u sąsiadów, ogławianie drzewa na plantacjach nasiennych. W przypadkach wątpliwych nadzór nad prowadzeniem plantacji prowadzi IBL, który na bieżąco formułuje zalecenia co do formowania szczytów.



Ryc. 6. Ogławianie i formowanie koron modrzewia europejskiego

Przerzedzenie plantacji nie dotyczy obiektów założonych w więźbie docelowej. W pozostałych przypadkach, jeżeli nie zachodzi konieczność całkowitego usunięcia ani jednego klonu czy rodu, wykonuje się przerzedzanie schematyczne. Pierwsze przerzedzanie rozpoczyna nadleśnictwo po otrzymaniu szczegółowych wskazówek z IBL co do sposobu jego wykonania. Następne przerzedzania są już na ogół schematyczne. Częstość zabiegu zależy od więźby początkowej i szybkości rozrastania się szczytów/drzewek. Z zabiegiem wkracza się wtedy, gdy osobniki zaczynają się stykać koronami. Nie można opóźniać przerzedzania, gdyż jest to szkodliwe gospodarczo – redukuje korony drzew na plantacjach, tym samym osłabiając ich potencjał produkcyjny.

Przerzedzanie należy przeprowadzać także w otulinie chroniącej plantację. Częstość i intensywność tego przerzedzania należy tak regulować, żeby otulina tworzyła stałą ścianę, ograniczającą dostęp pyłku z zewnątrz, ale żeby jednocześnie drzewa w otulinie mogły się swobodnie rozwijać, co jest istotnym warunkiem ich dobrego stanu zdrowotnego.

6. Wydajność plantacji nasiennych – stymulacja kwitnienia i obradzania drzew na plantacjach

Pilotażowe badania, prowadzone w Polsce dla sosny zwyczajnej, modrzewia europejskiego, brzozy brodawkowatej i świerka pospolitego [Kowalczyk i in. 2019], wykazały, że możliwości produkcyjne plantacji są bardzo zróżnicowane i zależą od wielu czynników. Wyniki badań tych podsumowano w tabeli 1.

Tab. 1. Obradzanie (kg ha⁻¹) nasion (dla brzozy: owocostanów) na plantacjach nasiennych w Polsce

	Sosna zwyczajna	Modrzew europejski	Brzoza brodawkowata	Świerk pospolity
Minimum	5	1	3	10
Maksimum	30	20	120	120
Średnio	10	4	50	80

Uzyskane wyniki wskazują na potrzebę zrewidowania i uwzględnienia średnich możliwości produkcyjnych plantacji nasiennych w kontekście zapotrzebowania na nasiona i powierzchni niezbędnej do wyprodukowania nasion (przy założeniu zwiększającego się udziału nasion z plantacji wykorzystywanych w odnowieniach i zalesieniach). Wskazane jest stworzenie systemu informacji o możliwościach produkcyjnych plantacji i zapasach nasion dostępnych do wykorzystania działającego w skali ponadregionalnej.

Zasadniczym celem plantacji nasiennych jest dostarczanie genetycznie ulepszonych nasion w jak najkrótszym czasie i w dużej ilości. Zakłada się, że na plantacji wszystkie klony (rody) krzyżują się ze sobą losowo. Niestety, rzeczywistość pokazuje, że istnieje wiele odstępstw od tego założenia, spowodowanych różnicami w wieku rozpoczynania obradzania poszczególnych osobników, w natężeniu i fenologii kwitnienia, przewagą kwiatów męskich lub żeńskich u poszczególnych osobników czy też innymi przyczynami. Problemem jest również czas, w jakim drzewka rosnące na plantacjach rozpoczynają obradzanie. Niestety, są również takie obiekty plantacyjne, które dają bardzo mało nasion. W związku z tym pojawiła się potrzeba działań stymulujących i przyspieszających obradzanie drzew. Metody te zostaną tu wymienione, a te, które są łatwe do zastosowania, zostaną szerzej opisane.

Stymulując kwitnienie wybranych osobników, można próbować wyrównywać fenologiczne fazy kwitnienia i pylenia na plantacji, zwiększając tym samym liczbę drzew biorących udział w powstawaniu nasion, co wpływa tym samym na strukturę genetyczną nasion produkowanych na plantacji. Pierwsze takie próby rozpoczęto już w połowie ubiegłego wieku. Badania z tego zakresu były często prowadzone latach 70. i 80. [Danusevičius 1987; Burczyk 1997; Burczyk, Chałupka 1997; Bonnet-Masimbert i in. 1998; Almqvist 2007, 2012; Matsushita i in. 2022]. Stymulowano kwitnienie niemal wszystkich gatunków iglastych, a także nielicznych liściastych.

Do najczęściej stosowanych zabiegów stymulujących obradzanie na plantacjach nasiennych możemy zaliczyć:

a. Nawożenie mineralne

Nawożenie mineralne jest podstawowym sposobem stymulacji obradzania w sadach owocowych. Aby było skuteczne, musi być poprzedzone badaniami glebowymi. Niedobór potrzebnych składników mineralnych i brak realnej możliwości ich dostarczenia przez nawożenie wpływa na kwitnienie. W badaniach nad wpływem nawożenia mineralnego na kwitnienie drzew leśnych na plantacjach otrzymano niejednoznaczne wyniki. Przyczyn można doszukiwać się w obecności zbyt bujnej pokrywy trawiastej, która konkurowała z drzewami o dostarczone składniki mineralne lub w błędnie określonych potrzebach nawozowych. Niestety, nie można wprost zaadaptować wskazań sadowniczych dla plantacji nasiennych drzew leśnych.

b. Obrączkowanie

Obrączkowanie jest tanim i łatwym w zastosowaniu, a przy tym bardzo skutecznym sposobem zwiększania intensywności kwitnienia drzew iglastych. Polega na przecięciu kory i łyka pnia lub gałęzi. Celem tego zabiegu jest zakłócenie spływu asymilatów z igieł i pędów do korzeni przez gromadzenie ich ponad obrączką. Obniżenie zawartości wody, azotu i fosforu przy jednoczesnym wzroście ilości nierozpuszczalnych węglowodanów (skrobi) i stężenia potasu w pędach powoduje, że więcej tworzących się na pędach zawiązków przyszłych pąków różnicuje się w pąki generatywne, a nie wegetatywne, co skutkuje większą intensywnością kwitnienia wiosną następnego roku. Nacięcie kory i łyka drzewa oraz zmniejszenie poboru wody przez roślinę (w wyniku ograniczonego wzrostu korzeni pozbawionych dopływu związków odżywczych z igieł i pędów) powoduje warunki stresowe, które również wpływają stymulująco na kwitnienie. Obrączkowanie stosowane było najczęściej w postaci dwóch półobrączek o szerokości 0,5–1 cm, każda na mniej więcej 60% obwodu pnia lub gałęzi, wykonanych naprzemiennie w odległości około 10 cm, w przypadku pnia – na wysokości około 1 m nad ziemią. Niestety, obrączkowanie jest zabiegiem inwazyjnym i uszkadza drzewa, co może spowodować ich uschnięcie. Prawidłowo wykonane obrączkowanie zwykle jest szybko zalewane żywicą i tkanką kalusową, co powoduje, że jeszcze w tym samym roku, w którym przeprowadzany jest zabieg, rana zostaje całkowicie zablizniona.



Ryc. 7. Obrączkowanie za pomocą pilarki u modrzewia europejskiego

Dotychczas w Polsce nie przeprowadzano obrączkowania na drzewach liściastych. Można przypuszczać, że mechanizmy fizjologiczne będą działały podobnie. Znany jest powszechnie sposób obijania kory i łyka na pniu orzechów włoskich w celu wzmożenia ich obradzania, co jest w pewnym stopniu podobne do obrączkowania. Wskazuje to na możliwość, po uprzednim zbadaniu, stosowania tej metody u drzew liściastych.

c. Podcinanie korzeni

Wykonuje się zwłaszcza u świerka. W Polsce nie było badań nad wpływem podcinania korzeni na kwitnienie świerka na plantacjach nasiennych. Aby można było te zabiegi stosować na skalę gospodarczą w naszych warunkach, należy przeprowadzić badania pilotażowe.

d. Wystawianie uli z pszczołami (dla plantacji drzew leśnych owadopylnych, np. lipy, robinii, klonu jaworu)

W przypadku drzew owadopylnych brak zapylaczy redukuje obradzanie. Zawarcie umowy z pszczelarzami i wystawienie uli z pewnością zaprocentuje obopólną korzyścią dla hodowców pszczoł i dla leśników zajmujących się plantacjami. Jednak często brak zapylaczy nie jest podstawową przyczyną słabego obradzania plantacji.

e. Podawanie regulatorów wzrostu, zwłaszcza mieszaniny giberelin GA4/7

Jest to sposób możliwy do zastosowania dla gatunków, u których lata nasienne występują rzadko. W Szwecji metodę tę stosowano na skalę gospodarczą na plantacjach świerkowych. Jak wykazały doświadczenia, w latach głuchych metoda nie wpływa istotnie na zwiększenie kwitnienia, natomiast jest ekonomicznie uzasadniona w latach słabego urodzaju. Skuteczność stymulacji za pomocą giberelin była jednak ściśle uzależniona od dawki i terminu ich podania; ponadto syntetyczne związki giberelin są kosztowne i trudno dostępne.

f. Szczepienie na wierzchołku szczepu, tzw. top grafting

Szczepienie takie powoduje skrócenie okresu oczekiwania na rozpoczęcie kwitnienia przez młody szczep. Metodę stosuje się w intensywnych programach hodowli selekcyjnej i w ogrodnictwie. W przypadku plantacji nasiennych w Polsce dotychczas nie była wprowadzana.

g. Doświetlanie

Doświetlanie plantacji sztucznym światłem wykonywano na północy Szwecji. W Polsce nikt nie wykorzystywał tej metody dla plantacji nasiennych, choć jest ona powszechnie stosowana w ogrodnictwie, np. w produkcji szklarniowej kwiatów.

h. Dodatkowe zapylanie wcześniej pozyskanym pyłkiem (SMP, Supplemental Mass Pollination)

Polega na dostarczaniu na masową skalę pyłku do kwitnących drzew na nieosłonięte kwiatostany żeńskie. Badania takie prowadzono we Francji dla plantacji nasiennych. Opracowano maszyny, które wykorzystywano do zbierania pyłku i zapylania. Działania takie podejmuje się również w małych plantacjach doświadczalnych. W Polsce w obecnej sytuacji bardzo trudne do zastosowania na skalę gospodarczą.

i. Zmiana stężenia gazów w atmosferze

Wprowadza się na plantacjach rosnących stale lub okresowo w szklarniach lub w dużych namiotach foliowych. W Polsce nie ma takich plantacji.

7. Likwidacja plantacji nasiennych

Plantacje i plantacyjne uprawy nasienne mogą, w określonym momencie i z różnych przyczyn, przestać spełniać swoje funkcje. Powodem może być m.in. ich zniszczenie przez huragan, pożar, powódź, obumarcie w wyniku działania szkodliwych owadów, chorób grzybowych, emisji przemysłowych, zmiany stosunków wodnych, długoletni brak obradzania, zaawansowany wiek, brak możliwości wykorzystania LMR itp. Nadleśnictwo ma obowiązek zgłoszenia tego faktu do RDLP. Po zweryfikowaniu zgłoszenia w terenie RDLP przesyła do DGLP i IBL stosowny wniosek o skreślenie obiektu. Po otrzymaniu decyzji o skreśleniu plantacji z RLMP LP nadleśnictwo wysyła do BNL wniosek o wykreślenie jej z KRLMP.

W przypadku sytuacji kłęskowych nadleśnictwo może przystąpić do uprzątkowania i zagospodarowania powierzchni plantacji po uzyskaniu akceptacji dyrektora RDLP. W pozostałych przypadkach decyzję o skreśleniu plantacji podejmuje krajowa komisja.

Dopuszcza się możliwość przekwalifikowania PUN na GDN, a PN na archiwum klonów. Obszar skreślonej plantacji w pierwszej kolejności powinien stanowić rezerwar powierzchni pod plantacje kolejnych generacji.

Podsumowanie

Dotychczas stosowano bardzo zróżnicowane metody stymulacji kwitnienia, poczynając od zmiany warunków mikroklimatycznych wzrostu w warunkach szklarniowych (podwyższona temperatura, susza glebowa, zmiana oświetlenia, deficyt składników pokarmowych, ograniczanie wzrostu i podtapianie korzeni), przez nawożenie mineralne, zabiegi mechaniczne (obrączkowanie, opaski uciskowe, podcinanie korzeni, przycinanie i przyginanie gałęzi), aż po podawanie regulatorów wzrostu (auksyn i giberelin). Różne zabiegi były dość często stosowane naprzemiennie lub razem. Skuteczność metod stymulujących kwitnienie była bardzo zróżnicowana, w dużym stopniu uzależniona od gatunku i wieku drzewa oraz sposobu i czasu wykonywania zabiegu. W przypadku braku obradzania lub trudności z obradzaniem należy obowiązkowo podjąć działania stymulujące we współpracy z naukowcami. Mogą okazać się bardzo skuteczne i wyeliminować problem braku kwitnienia, co jest podstawowym warunkiem obradzania drzew w plantacjach nasiennych.

Literatura

- DiFazio S.P., Slavov G.T., Burczyk J., Leonardi S., Strauss S.H., Walter C., Carson M. 2004. *Plantation Forest Biotechnology for the 21st Century*.
- EL-Kassaby Y.A., Rudin D., Yazdani R. 1989. *Levels of outcrossing and contamination in two Pinus sylvestris L. seed orchards in northern Sweden*. „Scandinavian Journal of Forest Research” 4 (1–4): 41–49.
- Fonder W., Matras J., Załęski A. 2007. *Leśna baza nasienne w Polsce*. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych.
- Funda T., Lstibůrek M., Lachout P., Klápště J., El-Kassaby Y.A. 2009. *Optimization of combined genetic gain and diversity for collection and deployment of seed orchard crops*. „Tree Genetics & Genomes” 5 (4): 583–593.
- Funda T. 2012. *Seed orchard genetics*. „CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources”, 7 (13). DOI: 10.1079/PAVSNNR20127013.

- Gömöry D., Bruchánik R., Longauer R. 2003. *Fertility variation and flowering asynchrony in Pinus sylvestris: consequences for the genetic structure of progeny in seed orchards*. „Forest Ecology and Management”, 174 (1), 117–126. DOI: 10.1016/S0378-1127(02)00031-2.
- Kocięcki S. 1988. *Wytyczne w sprawie selekcji drzew na potrzeby nasiennictwa leśnego*. „Prace IBL” seria B (7): 1–61.
- Kowalczyk J., Rzońca M. 2018. *Plantacje nasienne drzew leśnych w Polsce*. „Studia Ecologiae et Bioethicae”, 16: 53–61. DOI: 10.21697/seb.2018.16.3.05.
- Kowalczyk J. 2002. *Analysis of accuracy of phenotypic selections based on European larch half-sib progeny test results. Improvement of larch (Larix sp) for better growth, stem form and wood quality*. Proceedings of an International Symposium, Gap (Hautes-Alpes)–Auvergne & Limousin, France, 16–21 September, 2002: 95–103.
- Kowalczyk J. 2005. *Comparison of phenotypic and genetic selections in Scots pine (Pinus sylvestris L.) single tree plot half-sib progeny tests*. „Dendrobiology”, 53: 45–56.
- Kowalczyk J., Filipovics M. 2007. *The impact of different selection methods on genetic diversity and genetic gain of the Scots pine breeding population*. Leśne Prace Badawcze (No. 4): 107–123.
- Kowalczyk J., Giertych M., Matras J., Jastrzębowski S., Klisz M., Skrzyszewska K., Banach J., Pielą Ł., Buraczyk W., Szeligowski H., Barzdajn W., Kowalkowski W., Chałupka W., Chmura D. 2016. *Dotychczasowe doświadczenia z realizacji programu testowania potomstwa*. „Postępy Techniki w Leśnictwie”, zeszyt 134. Wydawnictwo Świat, Warszawa.
- Kowalczyk J., Markiewicz P., Chałupka W., Matras J. 2011. *Plantacje nasienne – rola i znaczenie w gospodarce leśnej*. „Las Polski”, 22: 18–20.
- Kowalczyk J., Matras J., Wojda T., Rzońca M., Bystrowski C., Jarosław B., Chybicki I., Chmura J. D., Rożkowski R., Lewandowski A., Litkowiec M., Barzdajn W., Kowalkowski W., Skrzyszewska K., Banach J., Buraczyk W., Szeligowski H., Urbaniak L. 2019. *Ocena potencjału produkcyjnego plantacji i plantacyjnych upraw nasiennych oraz optymalizacja ich wykorzystania w planowaniu hodowlanych*. Dokumentacja IBL.
- Matras J., Fonder W. 2006. *Wytyczne w sprawie ochrony leśnych zasobów genowych na potrzeby nasiennictwa leśnego*. Załącznik nr 1 do zarządzenia nr 7 A z 7 kwietnia 2006 r. Dyrektora Generalnego LP (zn. sp. ZG/7130/7/2006) w sprawie ochrony leśnych zasobów genowych na potrzeby nasiennictwa i hodowli drzew leśnych. IBL, DGLP, Warszawa.

IV

Zbiór szyszek
i nasion
na plantacjach
nasiennych

1. Ocena obradzania i statystyka urodzaju

Jednym z celów zakładania plantacji nasiennych jest uzyskanie obfitych zbiorów łatwych do pozyskania nasion, dlatego planując zbiór, należy monitorować kwitnienie i późniejsze obradzanie. Lata z obfitym kwitnieniem występują bowiem częściej niż lata z dobrym urodzajem nasion. Zaburzenia w procesie reprodukcyjnym, związane z czasem kwitnienia, obradzania oraz jakością nasion, mogą wynikać z braku zapylenia, zwiększonego występowania samozapłodnienia oraz negatywnego oddziaływania różnego rodzaju czynników biotycznych i abiotycznych.

W Kanadzie do oceny obradzania u gatunków iglastych na plantacjach stosowana jest metoda polegająca na wyborze pięciu osobników w 10 klonach lub rodach w każdym z bloków plantacji, na których dwa, trzy razy w roku prowadzi się obserwacje liczby kwiatostanów męskich i żeńskich, ich rozwoju w trakcie sezonu wegetacyjnego oraz notuje plonowanie w postaci liczby szyszek i masy zebranych nasion. Oceny dokonuje zespół dwuosobowy, który klasyfikuje kwitnienie w trzystopniowej skali: słabe – brak kwiatostanów lub tylko nieliczne (< 20); przeciętne – od 20 do 50 kwiatostanów; duże – powyżej 50 kwiatostanów. Dzięki temu łatwo można oszacować potencjalną produktywność plantacji, a pierwszą wiosenną lustrację można także wykorzystać do wyboru drzew do zbioru pyłku oraz wyboru osobników żeńskich do kontrolowanego krzyżowania [Smith i Adam 2005].

Dla gatunków lub osobników obficie kwitnących zliczanie wszystkich pojedynczych kwiatostanów byłoby bardzo czasochłonne. W tym przypadku do oceny liczby kwiatostanów żeńskich i męskich można zastosować skalę logarytmiczną. Przykładem takiej klasyfikacji jest duńska skala punktowa, w której zastosowano siedem klas: 1 – brak kwiatostanów, 2 – 1–3 kwiatostany, 3 – 4–15 kwiatostanów, 4 – 16–60 kwiatostanów, 5 – 61–250 kwiatostanów, 6 – 251–1000 kwiatostanów, 7 – >1000 kwiatostanów [Kjaer i Wellendorf 1997].

W Polsce do oceny obradzania w drzewostanach nasiennych powszechnie wykorzystywana jest metoda, opracowana w okresie międzywojennym przez Tyszkiewicza [1936], bazująca na powierzchni drzewostanów i przestrzennym rozmieszczeniu obradzających drzew w drzewostanie, uwzględniająca ich zróżnicowany dostęp do światła. W przypadku obiektów plantacyjnych nie można jednak bezpośrednio jej zastosować, ponieważ drzewa na plantacjach mają jednakowy dostęp do światła, wynikający z przyjętej jednolitej więźby. Można natomiast wrócić do oryginalnej metody oceny

obradzania, opracowanej przez Schwappacha (która bazowała na liczbie drzewostanów) i we wzorze Tyszkiewicza zastąpić powierzchnię drzewostanów liczbą osobników obradzających na plantacji w każdej z czterech klas stopnia obradzania, które opisano poniżej.

W celu oszacowania stopnia obradzania optymalne byłoby wykonanie oceny na wszystkich osobnikach rosnących na plantacji. Jednak ze względu na dużą pracochłonność i konieczność wykonywania oceny przynajmniej dwa razy w sezonie wegetacyjnym można ograniczyć analizę do jednego lub kilku poletek próbnych. Przy jednorodnym siedliskowo obiekcie plantacyjnym ocenę obradzania wystarczy przeprowadzić na 50 osobnikach wybranych losowo w centralnej części plantacji (np. kilka rzędów). W przypadku występowania dużego zróżnicowania mikrosiedliskowego, orograficznego lub mikroklimatycznego ocenę należałoby przeprowadzić przynajmniej na dwóch poletkach i liczbę ocenianych drzew na poletku zmniejszyć do 30 osobników. Wybrane osobniki ocenia się w czterostopniowej skali: brak obradzania (1) – całkowity brak szyszek, owoców, owocostanów lub nasion; słabe obradzanie (2) – występują tylko pojedyncze szyszki, owoce, owocostany lub nasiona w części korony drzewa, jednak ich zbiór jest nieopłacalny ekonomicznie; przeciętne obradzanie (3) – szyszki, owoce, owocostany lub nasiona występują w całej koronie lub obficie na pojedynczych gałęziach, a ich zbiór może już być opłacalny ekonomicznie; obfite obradzanie (4) – szyszki, owoce, owocostany lub nasiona występują bardzo obficie w przeważającej części drzewa, a ich zbiór jest uzasadniony ekonomicznie. Po wykonaniu oceny wybranych osobników można obliczyć średni przewidywany odsetek urodzaju (U_p) na plantacji według wzoru:

$$U_p = \frac{n_1 \cdot 0 + n_2 \cdot 10 + n_3 \cdot 30 + n_4 \cdot 100}{N_k}$$

gdzie: $n_1 \dots n_4$ – liczba drzew w poszczególnych stopniach urodzaju, N_k – liczba ocenianych drzew.

Ten wskaźnik pozwoli porównywać zróżnicowanie obradzania na plantacjach w poszczególnych częściach Polski, a także dokonywać porównania zmienności obradzania w różnych latach na tej samej plantacji nasiennej.

Aby określić przewidywany zbiór (Z_p) na plantacji, musimy dodatkowo oszacować orientacyjny zbiór jednostek nasiennych (tj. szyszek, owoców, owocostanów lub nasion) dla każdego ocenianego drzewa (z_i) i obliczyć zbiór według poniższego wzoru:

$$Z_p = \frac{N}{N_k} \sum_{i=1}^k z_i$$

gdzie: z_i – przewidywany zbiór w kg z pojedynczego ocenianego drzewa, N – liczba wszystkich drzew na plantacji, N_k – liczba ocenianych drzew.

W celu określenia orientacyjnego zbioru z pojedynczego drzewa na plantacji należy oszacować liczbę jednostek nasiennych oraz masę pojedynczej jednostki. Innym rozwiązaniem jest oszacowanie przeciętnej masy jednostek nasiennych w 2, 3 i 4 stopniu obradzania drzewa, które można określić każdorazowo oddzielnie dla kilku drzew po wykonaniu zbioru. Pozwoli to na ustalenie przeciętnej masy zebranych jednostek

nasiennych w danym stopniu obradzenia i późniejsze jej wykorzystanie do oszacowania całkowitej produktywności plantacji w danym roku.

Orientacyjne terminy kwitnienia, dojrzewania i zbioru nasion gatunków, dla których założone są obiekty plantacyjne, przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Orientacyjne terminy kwitnienia, dojrzewania i zbioru nasion gatunków, dla których założono obiekty plantacyjne w Lasach Państwowych [Jeziński 1950, zmienione]

Gatunek	Orientacyjny termin			Oznaka dojrzałości
	kwitnienia	osiągnięcia dojrzałości nasion	zbioru	
Brzoza brodawkowata	IV	VII–VIII	VII–VIII	brązowe owocostany
Buk zwyczajny	V	IX–X	IX–X	ciemnobrązowe nasiona
Czereśnia ptasia	IV–V	VI–VII	VI–VII	ciemnoczerwone owoce
Dąb bezszypułkowy	V	IX–X	IX–X	zielonkawo-brązowe żółędzie
Dąb szypułkowy	15.IV–15.V	IX–X	IX–X	brązowe żółędzie
Jedlica zielona	V	IX	IX	brązowe szyszki
Jesion wyniosły	IV–V	IX–X	15.IX–X	szarobrązowe skrzydlaki
Jodła pospolita	15.IV–15.V	15.IX–15.X	15.IX–15.X	brązowe szyszki
Klon jawor	V	IX	IX	brązowe skrzydlaki
Lipa drobnolistna	VII	IX	IX	szarobrązowe owoce
Modrzew europejski	15.IV–15.V	X–XI	XI–II	żółto-brązowe szyszki
Olsza czarna	III–IV	IX–X	XI–15.XII	brązowe nibyszyszeczki
Robinia akacjowa	V–VI	X	X–I	brązowe strąki
Sosna czarna	V–VI	IX–XI*	XI–II	szyszki w kolorze ochry
Sosna wejmutka	V–VI	VIII–IX*	IX–X	brązowe szyszki
Sosna zwyczajna	V	X*	XII–II	szarobrązowe szyszki
Świerk pospolity	15.IV–15.V	X	X–XII	brązowe szyszki
Topola osika	III–IV	V–VI	V–VI	otwieranie się torebek

* nasiona dojrzewają w drugim roku po kwitnieniu

2. Sposoby zbioru nasion i szyszek

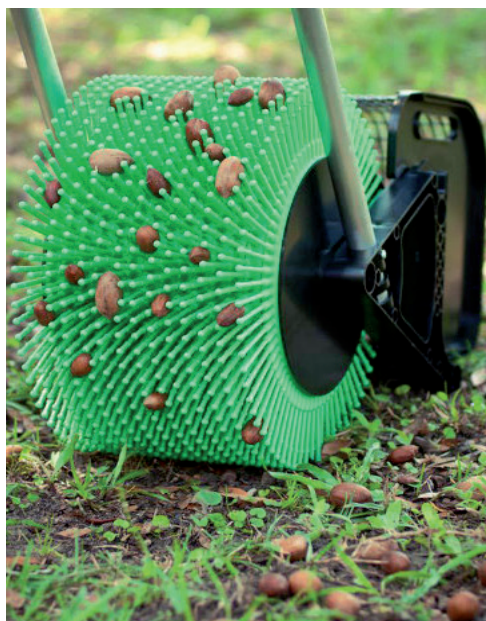
Drzewa na plantacjach nasiennych mogą mieć różną wysokość, co jest związane z ich wiekiem i sposobem prowadzenia plantacji, np. z systematycznym stosowaniem ogławiania. Dlatego też technikę zbioru należy dostosować nie tylko do gatunku, lecz także do rozmiaru drzew na plantacji nasiennej. W tych obiektach do zbioru nasion i szyszek przydatne i chętnie wykorzystywane są siatki, różnego typu drabiny przenośne oraz platformy (tzw. zwyżki). W wyjątkowych przypadkach można wykorzystywać również metody zbioru nasion, które stosowane są głównie w drzewostanach lub przy zbiorze nasion z pojedynczych drzew.

2.1. Zbiór z ziemi

Na technikę zbioru nasion z ziemi wpływa ich wielkość oraz okres pozostawania na drzewie po dojrzeniu. Ten sposób zbioru stosowany jest głównie dla gatunków ciężkonasiennych (buk, dęby), których nasiona opadają po dojrzeniu, a także dla dużych skrzydlaków (klon, grab, jawor, jesion). Przy słabym urodzaju nasiona można zbierać ręcznie bezpośrednio z ziemi, a przy dobrym – przez zgrabianie lub zamiatanie. Ewentualnie zbiór można usprawnić i przyspieszyć przez zastosowanie walców do selektywnego zbierania nasion z powierzchni gleby, wyposażonych w wypustki (kolce) ze sztucznego tworzywa. Przy obrocie między wypustkami walca klinują się nasiona leżące na ziemi, które następnie są wyluskiwane do ażurowego kosza przez zbieraki. Dostępne są różne warianty rozmiarowe tego urządzenia, zarówno w wersji manualnej, jak i zmechanizowanej (ryc. 1).

Ciekawym rozwiązaniem, które można zastosować przy zbiorze nasion z powierzchni gruntu, jest użycie urządzeń ssących, czyli aspiratorów, popularnie nazywanych „odkurzaczami”. Przykładem takiego urządzenia jest włoski aspirator plecakowy Cifarelli V1200S napędzany silnikiem dwusuwowym Cifarelli o pojemności 77 cm³. Aspirator wyposażony jest w zbiornik na nasiona o pojemności 20. Na płaskim terenie (a na takich zwykle występują plantacje) aspirator można zamontować na wózku, co ułatwia prowadzenie zbioru nasion (ryc. 2).

W celu uniknięcia zbioru nasion bezpośrednio z powierzchni gruntu stosowane są siatki (płachty), zwłaszcza dla liściastych gatunków ciężkonasiennych, takich jak buk i dąb. Siatki są elastyczne, lekkie, wykonane z żyłki polietylenowej HDPE o wysokiej odporności na promieniowanie UV. Wielkość oczek jest dobierana do wielko-



Ryc. 1. Wałek selektywny do zbierania opadłych nasion z ziemi (źródło: <https://baganut.com>; <https://gardenharvesters.com>)

ści zbieranych nasion. W Polsce dostępne są siatki o oczkach 8×8 , 5×5 oraz 3×3 mm. Szerokość siatek zwijanych w rolki wynosi 4, 5, 6 lub 8 m, a długość – 100 m. Siatki o największych oczkach dostępne są również w długościach 167, 200 i 250 m [AgroLas Co.]. Siatki są zazwyczaj koloru zielonego, co sprawia, że po ich rozłożeniu w obiekcie nasiennym są mało widoczne. Rozkładane są liniowo pod drzewami w latach średniego i dobrego urodzaju, gromadzą się na nich opadające nasiona, owoce lub szyszki otrząsane z drzew stojących. Należy jednak pamiętać, żeby siatki umieścić dopiero po pierwszym, wczesnym opadzie nasion niskiej jakości (tzw. opad płonny), tj. nasion pustych, opanowanych przez owady oraz niecałkowicie wykształconych. Jeżeli na plantacji chcemy przeprowadzić zbiór z wybranych osobników, zamiast siatek rolowanych można zastosować siatki składane, o mniejszych rozmiarach: 4×8 , 5×8 , 6×8 , 8×8 , 8×12 , 10×10 oraz 12×12 m. Te siatki mają rozcięcie do połowy długości, które umożliwia wsunięcie ich na pień drzewa i rozłożenie w obrębie jego korony. Siatki wyposażono we wzmocnienia i otwory na brzegach i narożnikach, które ułatwiają łączenie i mocowanie na tyczkach podporowych, co jest wskazane ze względu na ograniczenie infekcji powodowanych przez patogeny grzybowe, które mogą się pojawić przy bezpośrednim kontakcie nasion, szyszek i owoców z podłożem (ryc. 3).

Okresowo na plantacjach można również zastosować zbiór nasion, szyszek i owocostanów z gałęzi odciętych po wykonaniu zabiegu ogławiania lub formowania korony, a także z drzew ściętych po przeprowadzeniu cięć rozluźniających. Dotyczy to głównie gatunków iglastych (sosny, świerk) oraz liściastych, u których owocostany długo utrzymują się w koronach drzew (np. olsza, robinia).



Ryc. 2. Plecakowy aspirator Cifarelli V1200S, którym można zbierać m.in. orzechy i żołądźcie (źródło: Losavio 2014)



Ryc. 3. Polipropylenowe siatki składane, zainstalowane na tyczkach podporowych w drzewostanie i pod pojedynczym drzewem (fot. J. Banach)



Ryc. 4. Zbiór szyszek na plantacjach nasiennych sosny zwyczajnej w RDLP Szczecinek po wykonaniu zabiegu ogławienia (fot. R. Obuchowska)

2.2. Sekatory

Odcinanie pędów z nasionami bezpośrednio z drzewa jest skuteczną techniką, gdy nasiona są skupione w postaci kiści na końcu gałęzi. Ta technika polega na użyciu sekatorów przymocowanych do teleskopowo rozsuwanej tyczki wykonanej z aluminium lub tworzywa (ryc. 5). Ten sposób zbioru może być wykorzystywany jedynie w przypadkach pozyskiwania niewielkiej ilości nasion z pojedynczego drzewa (ale z większej ich liczby), gdyż wiąże się z redukowaniem korony.



Ryc. 5. Przykład zastosowania sekatora do zbioru nasion jesionu [Knight i in. 2009] (z lewej) oraz robinii akacjowej (z prawej, fot. M. Klisz)

2.3. Drabiny

Zbiór nasion przy użyciu drabin może być prowadzony bezpośrednio z ziemi, z wykorzystaniem niewielkich drabin przenośnych, najlepiej z podparciem trzypunktowym (ryc. 6), oraz drabin wyposażonych w jedną oś z dwoma dużymi kołami i drabin na stojakach, montowanych na przyczepach rolniczych (ryc. 7), platformach samochodowych lub ciągnikach gąsienicowych, co przyspiesza poruszanie się między drzewami wytypowanymi do wykonania zbioru.

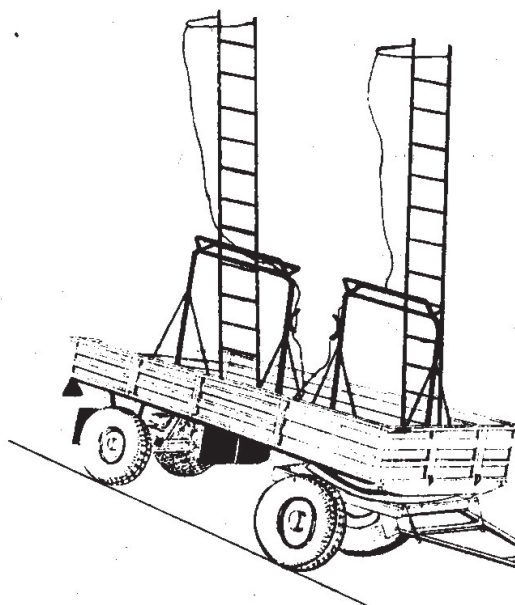
W skład zestawu, montowanego na przyczepie rolniczej, wchodzi rama nośna, dwie atestowane drabiny, wspornik oraz dwie atestowane liny. Optymalne są drabiny o długości 5 m, z dolnymi końcami osadzonymi w ramie, w której istnieje możliwość ich przesuwania wzdłuż przyczepy. Do zalet drabin montowanych na przyczepie należą



Ryc. 6. Zbiór nasion z przenośnych drabin stojących z podparciem trzypunktowym (źródło: <https://www.ontariowoodlot.com/images/haldimand/>)

łatwość obsługi, prosta konstrukcja i niska cena. Wadą jest konieczność umiejętnego wiązania lin oraz wyposażenia robotników pracujących na tym urządzeniu w pasy bezpieczeństwa oraz amortyzatory. Po podjechaniu urządzenia pod drzewo umieszcza się drabiny na uchwytach na ramie nośnej, ustawia w odpowiednim nachyleniu przy drzewie, a następnie napina liny odciągowe. Po prawidłowym zabezpieczeniu zbieracze wchodzi na drabiny i zbierają szyszki. Przy przemieszczaniu się na dalsze odległości drabiny zdejmuje się i przewozi w pozycji leżącej.

Gdy nie ma dostępu do podnośnika hydraulicznego do zbioru materiału rozmnożeniowego z wysokich drzew na plantacji, z dobrze oczyszczonym pniem lub strzałą, można również wykorzystać lekkie drabiny segmentowe (ryc. 8).



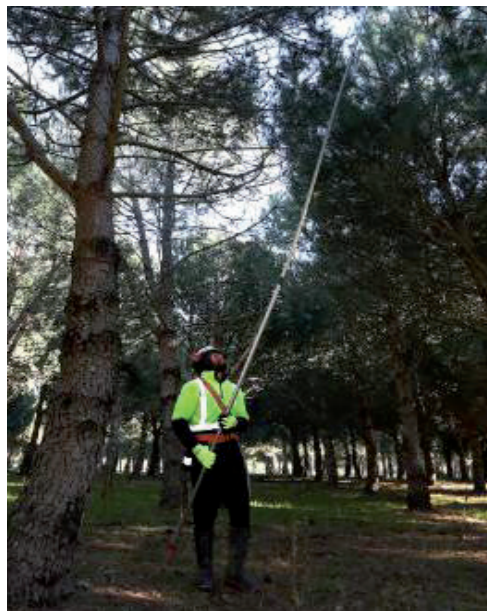
2.4. Otrząsanie (strącanie)

W przypadku gatunków iglastych, szczególnie tych o dużych szyszkach, zbiór można wykonać przez ich strącanie z wykorzystaniem lekkich tyczek (ryc. 9). Wskazane jest wtedy równoczesne korzystanie z parasola chwytanego, wykonanego z cienkiej tkaniny, służącego jako zbiornik chwytany na szyszki, które zbieracz strąca z drzewa. Szerokość parasola powinna być dostosowana do wielkości koron drzew. Najczęściej wystarcza chwytak o promieniu wynoszącym 4 m. Parasol zakłada się

Ryc. 7. Zestaw drabin zamontowanych na przyczepie rolnej służący do zbioru nasion na plantacjach nasiennych [Matras i Ławicka 1992]



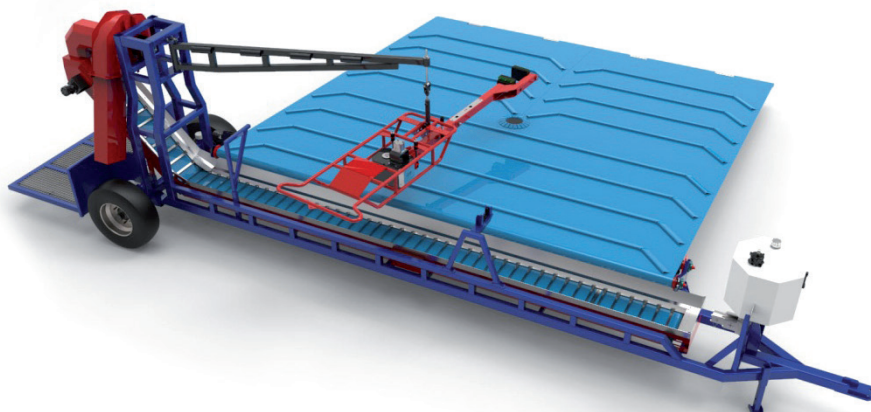
Ryc. 8. Wspinanie się w koronę drzewa przy użyciu lekkiej, aluminiowej drabiny segmentowej (fot. J. Banach)



Ryc. 9. Tyczka Timo Lete do ręcznego strącania szyszek z drzewa (źródło: Kitt 2017)



Ryc. 10. Otrząsacz samojezdny do strącania szyszek z drzewa stojącego (źródło: Kitt 2017)



Ryc. 11. Otrząsarka Nefris do pozyskiwania owoców pestkowych drzew stojących
(źródło: <http://dom-wid.pl>)

na palikach na wysokości 2 m nad ziemią, otaczając pień drzewa. Taki parasol można wykorzystać również do aktywnego zbioru nasion gatunków liściastych.

Aktywny zbiór nasion zdecydowanie przyspiesza zastosowanie otrząsacza mechanicznego. Zasadą działania takiego urządzenia jest wprowadzenie drzewa w ruch drgający z częstotliwością i amplitudą umożliwiającą oderwanie się owocu od gałęzi lub nasiona od owocni. Otrząsacze przenośne (ręczne) wykorzystuje się do drzew o średnicy nie większej niż 30 cm, natomiast samojezdne używane są przy drzewach grubszych (średnica > 30 cm). Otrząsacz zbudowany jest z wibratora z elementami do zamocowania na drzewie, który osadzony jest na wysięgniku lub żurawiu hydraulicznym. Całość montuje się na pojeździe gąsienicowym lub kołowym (ryc. 10 i 11).

Do zbioru owoców pestkowych (wiśni, śliwek, czereśni, trześni) w sadach przeznaczona jest np. otrząsarka Nefris. Maszyna pozwala zbierać owoce w zespołach trzyosobowych, co znacznie obniża koszty zbioru ręcznego. Tego typu otrząsarkę można zastosować na plantacjach nasiennych wiśni ptasiej, co pozwala w ciągu jednego dnia zebrać owoce z powierzchni do 1 ha. Długość taśmy poprzecznej, która rozwijana jest pod drzewami, wynosi 5 m. Imadło hydrauliczne kępujące pień drzewa ma miękkie szczęki wykonane z poliuretanu, co gwarantuje długą pracę bez uszkodzenia kory. Taśma transportowa jest jednolita, dzięki czemu maszyna nie gubi owoców oraz nie ulega one uszkodzeniu.

2.5. Platformy hydrauliczne

Najbardziej przydatne przy zbiorze nasion z drzew stojących na plantacjach nasiennych są platformy hydrauliczne, tj. zwyżki lub podnośniki. Ten sposób zbioru zapewnia zbieraczowi największy komfort. Rodzaj podnośnika należy dostosować do wysokości drzew na plantacjach. Przy niskich drzewach (do 7–8 m) można zastosować podnośniki ciągnikowe, na których montuje się kosz dla zbieracza (ryc. 12), lub wykorzystać lekki, trzykołowy podnośnik o zasięgu pionowym do 7 m, z możliwością sterowania urządzeniem



Ryc. 12. Podnośnik widłowy z domontowanym koszem, wykorzystywany do zbioru nasion na plantacji nasiennej sosny zwyczajnej w Nadleśnictwie Szczecinek (fot. R. Obuchowska)



Ryc. 13. Lekki trzykołowy podnośnik Hydralada (z lewej: <https://www.dte-equipment.com.au>) oraz Afron (z prawej: <https://pl.pinterest.com/>)



Ryc. 14. Czterokołowy podnośnik teleskopowy Manitou MT 1435 SL, wykorzystywany do zbioru nasion na plantacjach nasiennych w Nadleśnictwie Pniewy (fot. J. Banach)



Ryc. 15a i b. Gąsienicowy podnośnik teleskopowy Ragno XTJ32 firmy Palazzani, wykorzystywany do zbioru nasion na plantacjach nasiennych w RDLP Toruń (fot. M. Kuss)

przez zbieracza bezpośrednio z kosza (ryc. 13). Przy wyższych drzewach na plantacji (do 15 m) zbiór można prowadzić z dostępnego w Polsce czterokołowego podnośnika teleskopowego Manitou (ryc. 14) o zasięgu pionowym 14 m i poziomym 9,8 m, stabilizowanym od strony wysięgnika dwoma hydraulicznie wysuwanymi podporami. Do zbioru na plantacjach nasiennych z drzew wysokich (powyżej 15 m) należy stosować podnośniki o większym zasięgu roboczym, które muszą się równocześnie charakteryzować zwiększoną stabilnością w trakcie pracy. W Polsce używany jest jeden tego typu podnośnik teleskopowy na podwoziu gąsienicowym (ryc. 15). Maksymalny pionowy zasięg roboczy tej platformy hydraulicznej wynosi 32 m, a maksymalne obciążenie kosza – 200 kg.

2.6. Inne sposoby zbioru na plantacjach

W szczególnych przypadkach, np. przy bardzo wysokich drzewach lub niedostępności podnośników hydraulicznych o odpowiednim zasięgu roboczym, można wykorzystać inne metody zbioru z drzew stojących, stosowane w drzewostanach lub z drzew matecznych. Należą do nich drzewołazy kolcowe i bezkolcowe oraz techniki alpinistyczne. Metody te nie są preferowane przez zbieraczy ze względu na większą pracochłonność oraz mniejszą wydajność zbioru, a w przypadku włazów kolcowych – ograniczone możliwości zastosowania.

Włazy

Do zbioru szyszek i nasion z drzew stojących można wykorzystać drzewołazy kolcowe, wyposażone w pojedyncze lub podwójne kolce (ryc. 16), które ułatwiają zbieraczowi wspinanie się po pniu drzewa, ale ich wadą jest kaleczenie drzew przy wchodzeniu. Włazy kolcowe przymocowane są do nóg zbieracza. Po wspięciu się w koronę



Ryc. 16. Drzewołazy ALU z osłoną tydki i z paskami z cordury (źródło: katalog narzędziowy GRUBE nr 8, 2016)



Ryc. 17. Sposób wchodzenia za pomocą drzewołazów bezkolcowych Baumvello (źródło: <https://www.wilde.sk/das-baumsteiggerat-baumvelo-lange-1-9-m-fur-65-cm-produkt>)



Ryc. 18. Sposób wchodzenia na drzewo za pomocą techniki alpinistycznej (fot. J. Banach)

drzewa są odpinane. Przy wspinaniu się oraz w trakcie pracy w koronie drzewa zbieracz musi być zabezpieczony dwoma linkami asekuracyjnymi, opasującymi pień. Po przeprowadzeniu zbioru opuszcza pozyskane jednostki nasienne, a następnie schodzi na ziemię za pomocą liny. Włazy kolcowe warunkowo można stosować przy zbiorze u gatunków o grubej korze (np. modrzew i sosna czarna) lub na osobnikach przeznaczonych do usunięcia w kolejnym cięciu rozluźniającym.

Zastosowanie drzewoławozów bezkolcowych nie powoduje kaleczenia drzew (ryc. 17). Działają one na zasadzie zaciskania się elementu opasującego drzewo (obręczy, ramki lub liny) pod wpływem ciężaru zbieracza i umożliwiają wchodzenie na drzewa o grubości do 1,5 m. Użycie tego typu włazów wymaga jednak oczyszczonego pnia (bez sęków, suchych gałęzi) do miejsca, od którego zbieracz będzie mógł bezpiecznie wspiąć się w koronę drzewa.

Technika alpinistyczna

Szybszym i mniej uciążliwym sposobem wejścia na drzewo jest technika alpinistyczna, w której zbieracz wspinają się po linie zaczepionej w koronie. Pierwszym etapem wejścia jest wrzucenie cienkiej linki w koronę drzewa (przy użyciu ręcznej rzutki, procy, łuku lub kuszy). Następnie wciągana jest właściwa linka, przy użyciu której zbieracz aktywnie wspinają się na drzewo (ryc. 18). Wejście w koronę drzewa z wykorzystaniem techniki alpinistycznej można zdecydowanie przyspieszyć, stosując wciągarkę linową napędzaną silnikiem spalinowym, przymocowaną do pnia drzewa, która podnosi siodełko ze zbieraczem.

2.7. Zasady BHP przy zbiorze

Prace przy zbiorze szyszek, nasion i pędów z drzew stojących mogą być wykonywane tylko przez pracowników posiadających aktualne orzeczenie lekarskie o braku przeciwwskazań do pracy na wysokościach. Prace przy zbiorze szyszek, nasion i pędów z drzew stojących mogą być wykonywane wyłącznie przez co najmniej dwóch pracowników pod nadzorem stałym. Zabrania się prowadzenia zbioru podczas burzy, opadów atmosferycznych, silnego wiatru, ograniczonej widoczności oraz przy temperaturze poniżej -5°C ($268,15^{\circ}\text{K}$) (Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 29 listopada 1995 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy wykonywaniu prac z zakresu gospodarki leśnej).

3. Oznaczanie i certyfikacja nasion z plantacji nasiennych

Certyfikacja nasion, szczególnie pochodzących z plantacji nasiennych, stanowi mechanizm kontroli jakości i tożsamości genetycznej. Pewność co do pochodzenia nasion pozwala na stwierdzenie – poprzez testowanie – że taki materiał jest rzeczywiście lepszy od istniejących standardów.

Każdy obiekt nasienny (leśny materiał podstawowy LMP), w którym pozyskiwany jest leśny materiał rozmnożeniowy, musi być zarejestrowany w Krajowym Rejestrze LMP, prowadzonym przez Biuro Nasiennictwa Leśnego. Dostawca, ubiegający się o wydanie świadectwa pochodzenia, zobowiązany jest do wcześniejszego zgłoszenia planowanego terminu zbioru leśnego materiału rozmnożeniowego LMR (co najmniej 14 dni przed zbiorem). Wzory wniosków o wydanie świadectw pochodzenia zawiera rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 kwietnia 2003 roku (Dz.U. z 2003 nr 86, poz. 802). Zgodnie z tym rozporządzeniem, w zależności od rodzaju LMP istnieje możliwość występowania do BNL tylko z dwoma wnioskami o wydanie świadectwa pochodzenia LMR, tj. pochodzącego ze źródeł nasion lub drzewostanów oraz pochodzącego z plantacji nasiennych lub drzew matecznych (ryc. 19). Należy pamiętać, że rok dojrzewania wpisany we wniosku nie jest tożsamy z rokiem kalendarzowym i trwa od 1 maja danego roku do 30 kwietnia następnego roku oraz że wydaje się tylko jedno świadectwo pochodzenia w danym roku dojrzewania na zbiór LMR z danego obiektu nasiennego. Świadectwo pochodzenia (ryc. 20) jest przesyłane jako załącznik do decyzji administracyjnej, a obydwie dokumenty są przygotowywane i wydawane przez Biuro Nasiennictwa Leśnego w imieniu Ministra Środowiska. Świadectwo jest zatem urzędowym potwierdzeniem ilości leśnego materiału rozmnożeniowego zebranego z konkretnego obiektu nasiennego (LMP).

Do momentu otrzymania świadectwa pochodzenia do identyfikacji LMR należy stosować etykietę „czasową – powinna zawierać informację o numerze, pod którym w Krajowym Rejestrze zarejestrowano leśny materiał podstawowy, datę pozyskania LMR, ilość LMR (kg lub sztuk), podpis producenta oraz numer producenta w rejestrze dostawców. Po otrzymaniu świadectwa na każdym etapie przetwarzania jednostek nasiennych i hodowli sadzonek stosowana jest etykieta „w produkcji”, zawierająca m.in. numer świadectwa, kategorię LMR, region pochodzenia, rok dojrzewania, modyfikacje genetyczne, wiek i rodzaj materiału sadzeniowego. W momencie przesyłania LMR do odbiorcy wystawiana jest etykieta „dostawcy”, zawierająca wszystkie informacje z etykiety „w produkcji” oraz informacje o dostawcy, a przy LMR w postaci nasion – również charakterystykę ich parametrów, w tym wartość siewną. Dla LMR zebranego z plantacji nasiennych stosuje się kolor różowy wszystkich etykiet.

2
**WNIOSEK O WYDANIE ŚWIADECTWA POCHODZENIA LEŚNEGO MATERIAŁU ROZMNOŻENIOWEGO
 POCHODZĄCEGO Z PLANTACJI NASIENNYCH LUB DRZEW MATECZNYCH**

MIEJSCOWOŚĆ I DATA:	PANSTWO:
---------------------	----------

Stwierdzam, że leśny materiał rozmnożeniowy opisany poniżej został wytworzony:

- Zgodnie z wymogami dyrektywy 1999/105/WE
 Podlega postanowieniom przejściowym

1. a) Nazwa botaniczna leśnego materiału rozmnożeniowego:

b) Nazwa botaniczna leśnego materiału podstawowego:

2. Rodzaj leśnego materiału rozmnożeniowego:	
Jednostka nasienna:	<input type="checkbox"/>
Części roślin:	<input type="checkbox"/>
Materiał sadzeniowy	<input type="checkbox"/>

4. Rodzaj leśnego materiału podstawowego:	
Plantacja nasienna:	<input type="checkbox"/>
Drzewa mateczne:	<input type="checkbox"/>

3. Kategoria leśnego materiału rozmnożeniowego:	
Kwalifikowany	<input type="checkbox"/>
Przetestowany	<input type="checkbox"/>

5. Przeznaczenie leśnego materiału rozmnożeniowego: leśnictwo wielofunkcyjne ; inne (podać):

6. Numer rejestrowy leśnego materiału podstawowego w Krajowym Rejestrze: MP/

7. Autochtoniczny Nieautochtoniczny Nieznany
 Rodzimy Nierodzimy

8. Pochodzenie pierwotne dla nieautochtonicznego i nierodzimego leśnego materiału podstawowego (jeśli jest znane):

9. Państwo i region pochodzenia leśnego materiału podstawowego:

Miejsce, w którym rośnie leśny materiał podstawowy (nazwa gminy):

10. Nasiona pochodzące z:	Niekontrolowanego zapylania	<input type="checkbox"/>
	Uzupelniającego zapylania	<input type="checkbox"/>
	Kontrolowanego zapylania:	<input type="checkbox"/>

11. Rok dojrzwania jednostek nasiennych:

12. Ilość leśnego materiału rozmnożeniowego:

13. Leśny materiał rozmnożeniowy objęty niniejszym wnioskiem stanowi wynik podziału większej partii objętej wcześniej certyfikatem Unii Europejskiej:	
	Tak <input type="checkbox"/> Nie <input type="checkbox"/>
Numer certyfikatu:	Wielkość pierwotnej partii:

14. Jak długo materiał był w szkółce:
--

15. Liczba składowych:	
a) Rody:	
b) Klony:	

16. Wysokość lub zakres wysokości nad poziomem morza, na której położony jest leśny materiał podstawowy:

17. Leśny materiał podstawowy był modyfikowany genetycznie: Tak Nie

18. Dla leśnego materiału rozmnożeniowego wyprodukowanego z drzew matecznych:	
Schemat krzyżowania	
Skład procentowy rodów składowych	

19. Materiał uzyskany z jednostek nasiennych był dalej rozmnażany bezpłciowo (wegetatywnie):	
	Tak <input type="checkbox"/> Nie <input type="checkbox"/>
Metoda rozmnażania:	
Ilość cykli rozmnażania:	

20. Inne istotne informacje:

21. Nazwa i adres producenta oraz numer rejestrowy w rejestrze dostawców:	
	nr rej.: RD/ /

Podpis producenta:

Ryc. 19. Wzór wniosku o wydanie świadectwa (certyfikatu) potwierdzającego pochodzenie nasion zebranych na plantacji nasiennej (źródło: www.bnl.gov.pl)

**ŚWIADECTWO POCHODZENIA LEŚNEGO MATERIAŁU ROZMNOŻENIOWEGO
POCHODZĄCEGO Z PLANTACJI NASIENNYCH LUB DRZEW MATECZNYCH**

WYDANE ZGODNIE Z WYMAGANIAMI DYREKTYWY 1999/105/WE

PAŃSTWO CZŁONKOWSKIE:	POLSKA	NR ŚWIADECTWA POCHODZENIA/ KOD PAŃSTWA CZŁONKOWSKIEGO: MR/55602/18/PL
-----------------------	---------------	---

Stwierdzam, że leśny materiał rozmnożeniowy opisany poniżej został wytworzony:

Zgodnie z wymogami dyrektywy 1999/105/WE
Podlega postanowieniom przejściowym

1. a) Nazwa botaniczna: ----- **Betula pendula Roth.**
b) Nazwa leśnego materiału podstawowego: ---

2. Rodzaj leśnego materiału rozmnożeniowego:	
Jednostka nasienna	<input checked="" type="checkbox"/>
Części roślin	<input type="checkbox"/>
Materiał sadzeniowy	<input type="checkbox"/>

3. Kategoria leśnego materiału rozmnożeniowego:	
Kwalifikowany	<input checked="" type="checkbox"/>
Przetestowany	<input type="checkbox"/>

4. Rodzaj leśnego materiału podstawowego:	
Plantacja nasienna	<input checked="" type="checkbox"/>
Drzewa mateczne	<input type="checkbox"/>

5. Przeznaczenie leśnego materiału rozmnożeniowego: leśnictwo wielofunkcyjne

6. Numer rejestrowy leśnego materiału podstawowego w Krajowym Rejestrze: ----- **MP/3/41057/05**

7. Autochtoniczny Nieautochtoniczny Nieznane
Rodzimy Nierodzimy

8. Pochodzenie pierwotne dla nieautochtonicznego i nierodzimego leśnego materiału podstawowego (jeśli jest znane):---

9. Państwo i region pochodzenia leśnego materiału podstawowego: POLSKA ----- Brz60
Miejsce, w którym rośnie leśny materiał podstawowy (nazwa gminy): Żołyńa

10. Nasiono pochodzące z:	Niekontrolowanego zapyłania	<input checked="" type="checkbox"/>
	Uzupełniającego zapyłania	<input type="checkbox"/>
	Kontrolowanego zapyłania	<input type="checkbox"/>

11. Rok dojrzewania jednostek nasiennych: 2018

12. Ilość leśnego materiału rozmnożeniowego: ----- **35 kg**

13. Leśny materiał rozmnożeniowy objęty niniejszym świadectwem stanowi wynik podziału większej partii objętej wcześniej certyfikatem Unii Europejskiej:	Tak <input type="checkbox"/> Nie <input checked="" type="checkbox"/>
Numer poprzedniego certyfikatu: --- Wielkość pierwotnej partii: ---	

14. Jak długo leśny materiał rozmnożeniowy był w szkółce: ---	15. Liczba składowych: a) rody: --- b) klony: 30
--	---

16. Wysokość lub zakres wysokości nad poziomem morza, na której położony jest leśny materiał podstawowy: 235 m.

17. Leśny materiał podstawowy był modyfikowany genetycznie: Tak Nie

18. Dla leśnego materiału rozmnożeniowego wyprodukowanego z drzew matecznych: Schemat krzyżowania: ---, Skład procentowy rodów składowych: ---
--

19. Materiał uzyskany z jednostek nasiennych był dalej rozmnażany bezpłciowo (wegetatywnie): Tak Nie
Metoda rozmnażania: --- Ilość cykli rozmnażania: ---

20. Inne istotne informacje: owocostany

21. Nazwa i adres dostawcy: Nadleśnictwo Leżajsk ul. Tomasza Michałka 48 37-300 Leżajsk RD/0260/04

Nazwa i adres organu administracji: Biuro Nasiennictwa Leśnego 02-528 Warszawa ul. Rakowiecka 30	Pieczęć organu administracji: Data:	Imię i Nazwisko pracownika organu administracji: Podpis:
--	--	---

Ryc. 20. Przykład świadectwa (certyfikatu) potwierdzającego pochodzenie i ilość nasion zebranych na plantacji nasiennej brzozy brodawkowatej (źródło: www.bnl.gov.pl)

Podsumowanie

Plantacje nasienne są wiarygodnym i odtwarzalnym źródłem materiału siewnego. Dają jednocześnie możliwość uzyskania obfitego zbioru łatwych do pozyskania nasion o podwyższonej wartości genetycznej. Planowanie zbioru wymaga wykonania oceny kwitnienia i późniejszego obradzania. Najbardziej wiarygodna jest ocena stopnia obradzania wykonana na wszystkich osobnikach na plantacji. Na dużych obszarowo plantacjach (> 5 ha) dopuszczalne jest ograniczenie analizy do jednego lub kilku poletek próbnych. W jednorodnym siedliskowo obiekcie plantacyjnym ocenę obradzania wystarczy przeprowadzić na 50 osobnikach, wybranych losowo w centralnej części plantacji (np. kilka rzędów). W przypadku występowania dużego zróżnicowania środowiskowego na plantacji taką ocenę należy wykonać przynajmniej na dwóch poletkach, zmniejszając jednocześnie liczbę ocenianych drzew na poletku do 30 osobników. Wybrane osobniki należy oceniać w czterostopniowej skali: brak obradzania (1) – całkowity brak szyszek, owoców, owocostanów lub nasion; słabe obradzanie (2) – występują tylko pojedyncze szyszki, owoce, owocostany lub nasiona w części korony drzewa, jednak ich zbiór jest nieopłacalny ekonomicznie; przeciętne obradzanie (3) – szyszki, owoce, owocostany lub nasiona występują w całej koronie lub obficie na pojedynczych gałęziach, a ich zbiór może już być opłacalny ekonomicznie; obfite obradzanie (4) – szyszki, owoce, owocostany lub nasiona występują bardzo obficie w przeważającej części drzewa, a ich zbiór jest uzasadniony ekonomicznie. Średni przewidywany odsetek urodzaju (U_p) na plantacji można obliczyć według zmodyfikowanego wzoru Tyszkiewicza, w którym powierzchnię obiektu zastępuje się liczbą drzew obradzających w każdej z klas stopnia obradzania.

Technikę zbioru nasion na plantacjach nasiennych należy dostosować do gatunku oraz do rozmiaru drzew. Przydatne i chętnie wykorzystywane do zbioru nasion i szyszek są siatki, różnego typu drabiny przenośne oraz zwyżki (podnośniki). W wyjątkowych przypadkach do zbioru nasion można wykorzystać drzewołazy oraz techniki alpinistyczne, które stosowane są w drzewostanach lub przy zbiorze nasion z pojedynczych drzew. Dopuszczalny jest zbiór nasion, szyszek i owocostanów z odciętych gałęzi po wykonaniu zabiegu ogławiania lub formowania korony, a także z drzew ściętych po przeprowadzeniu cięć rozluźniających. Dotyczy to głównie gatunków iglastych (sosna, świerk) oraz liściastych, u których owocostany długo utrzymują się w koronach drzew (np. olsza, robinia).

Certyfikacja nasion, w tym nasion pochodzących z plantacji nasiennych, stanowi mechanizm kontroli tożsamości genetycznej. Obiekty plantacyjne służą do zbioru LMR należącego do kategorii „kwalifikowany”. Dostawca, ubiegający się o wydanie świadectwa pochodzenia, zobowiązany jest do wcześniejszego zgłoszenia planowanego terminu pozyskania leśnego materiału rozmnożeniowego (co najmniej 14 dni przed zbiorem), a po wykonaniu zbioru występuje z wnioskiem do Biura Nasiennictwa Leśnego według wzoru dla drzew matecznych i plantacji. Na każdym etapie przetwarzania jednostek nasiennych i produkcji sadzonek dla LMR zebranego z plantacji nasiennych stosuje się kolor różowy etykiet: czasowej, w produkcji i dostawcy.

Literatura

- Jeziński A. 1950. *Wskazówki dla zrywaczy szyszek i nasion drzew leśnych*. Wyd. IBL, Seria C, Ulotki i wydawnictwa popularne, nr 30.
- Kitt J. 2017. *Nut business pines for perfection in Marlborough*. (Dostęp: <https://www.stuff.co.nz/business/95283303/nut-business-pines-for-perfection-in-marlborough>).
- Kjaer E.D., Wellendorf H. 1997. *Variation in flowering and reproductive success in a Danish Picea abies (Karst.) seed orchard*. „Forest Genetics” 4(4): 181–188.
- Knight K.S., Karrfalt R.P., Mason M. E. 2009. *Methods for collecting ash (Fraxinus spp.) seeds*. U.S. Forest Service, General Technical Report NRS-55.
- Losavio G.M. 2014. *Cifarelli: hooving nuts, power and comfort*. „Machinery World”, nr 10–11 (<https://www.mondomacchina.it>).
- Matras J., Ławecka R. 1992. *Zbiór szyszek i nasion z drzew stojących*. „Biblioteczka robotnika leśnego”, nr 5. SITLiD, Wyd. Świat.
- Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 29 listopada 1995 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy wykonywaniu prac z zakresu gospodarki leśnej. (Dz.U. z dnia 18 grudnia 1995 r. – Dz.U.95.147.716).
- Smith R.F., Adam C.I.G. 2005. *Seed and pollen management*. [W:] *A manual for managing conifer seed orchards in Eastern Canada*. „Publications Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Atlantic Forestry Centre”, Fredericton, New Brunswick.
- Tyszkiewicz S. 1936. *Statystyka urodzaju, ocena wartości siewnej i normy wysiewu żołądzi*. Instytut Badawczy Lasów Państwowych, Seria A, „Rozprawy i sprawozdania”, nr 18.



Profilaktyka
i ochrona plantacji
nasiennych

Wstęp

W Polsce już pod koniec lat 50. prowadzono wyznaczanie drzew doborowych, co w konsekwencji doprowadziło do tworzenia pierwszych „klonalnych plantacji nasiennych” [Chałupka 2006]. Selekcja fenotypowa drzew, dająca możliwości dalszego rozmnażania wybranych egzemplarzy, stała się podstawą tworzenia zarówno plantacji nasiennych (PN), jak i plantacyjnych upraw nasiennych (PUN). Od tego czasu powstało wiele plantacji nasiennych wegetatywnych i generatywnych.

Jednym z najbardziej niedopracowanych i zaniedbanych elementów prowadzenia plantacji nasiennych jest brak formalnych możliwości ochrony większości tych obiektów przed szkodnikami owadzimi nasion i szyszek. Utworzenie nawet wzorowo funkcjonującej plantacji, charakteryzującej się najlepszymi cechami rosnących na niej drzew, nie gwarantuje osiągnięcia zaplanowanego celu – pozyskania odpowiedniej ilości dobrych nasion. Powszechną bolączką jest po prostu brak możliwości redukcji nadmiernie rozmnożonych szkodników oraz brak specjalnie opracowanych dla plantacji programów ochrony, co nie pozwala na pełne wykorzystanie potencjału produkcyjnego wielu obiektów. Takie plantacje stają się z czasem nieużyteczne i można je w końcu formalnie przekształcić w drzewostany, ponosząc przez wiele lat koszty koszenia, nawożenia i grodzenia oraz planowych cięć pielęgnacyjnych. Dążenie do zmiany tej sytuacji powinno być troską zarówno samych leśników, jak i naukowców odpowiedzialnych za rozwój koncepcji plantacji nasiennych.

Koncentrując się w tym rozdziale jedynie na zagadnieniach związanych z ochroną nasion i szyszek, a przede wszystkim na szeroko rozumianej profilaktyce, przedstawiono poniżej kilka zagadnień, które należy rozważyć przy planowaniu utworzenia plantacji nasiennej w konkretnych lokalnych warunkach. Podjęcie niewłaściwych decyzji na etapie planowania przedsięwzięcia, szczególnie pod względem założeń oraz potrzeb, które ma plantacja zaspakajać, a zwłaszcza strategii ochrony obiektu przed szkodnikami, może wiązać się w przyszłości z większą pracochłonnością oraz wyższymi kosztami prowadzenia obiektu. Nie wszystkie zagrożenia da się przewidzieć, jednak uniknięcie w praktycznym postępowaniu nawet ich części powinno ostatecznie ułatwić produkcję i zwiększyć opłacalność przedsięwzięcia.

1. Zanim powstanie plantacja nasienne, czyli działania profilaktyczne

Podejmując decyzję o utworzeniu plantacji nasiennej dowolnego gatunku, planuje się jej przyszłe funkcjonowanie. Trzeba zadać sobie następujące pytania: ile chcielibyśmy zbierać z niej nasion, jaką powinna zajmować powierzchnię, a także gdzie – optymalnie – można plantację zlokalizować. Zarówno wielkość plantacji, jak i jej lokalizacja mogą determinować konieczność i częstotliwość podejmowania przyszłych działań związanych z jej ochroną, a także kształtować ich efektywność oraz koszty. Plantacje nasienne (PN i PUN) są w zasadzie jedynym miejscem, gdzie można prowadzić odpowiednio skuteczną i ekonomicznie uzasadnioną chemiczną kontrolę liczebności fitofagów szyszek i nasion. Nie kwalifikują się do tego ani wyłączone drzewostany nasienne, ani nasienne drzewostany gospodarcze, gdyż nie sprzyja temu ich struktura i – najczęściej – znaczna wysokość drzew. Próby „sięgnięcia” z dołu opryskiwaczem do drzew wysokich (ODW-1) w korony dojrzałego drzewostanu są obarczone niską skutecznością i najczęściej dużą pracochłonnością. Zabiegi wykonywane przy użyciu śmigłowców lub samolotów są po prostu zbyt drogie. Pewną nadzieję na zastosowanie statków powietrznych mogą dawać tańsze w eksploatacji wiatrakowce, a w najbliższej przyszłości również drony, ale zabiegi z powietrza są z reguły znacznie trudniejsze do przeprowadzenia niż wykonanie zabiegu naziemnego na posadzonej na równym terenie i w odpowiedniej więźbie plantacji nasiennej (ryc. 1).

Przyjęło się, że priorytetowe znaczenie w większości założeń (wielkość czy lokalizacja obiektu) mają wymagania hodowlane. Właściwy dobór siedliska w odniesieniu do wymagań gatunku czy niezbędna, minimalna liczba rodów i klonów na plantacji są tym, co w praktyce kształtuje wielkość jej powierzchni. Oczywiście, zapewnienie odpowiednich warunków siedliskowych jest jak najbardziej zbieżne z założeniami profilaktycznej ochrony plantacji nasiennych. Drzewa (w szczególności świerki) posadzone na zbyt słabych siedliskach lub w zbyt suchych miejscach będą słabo przyrastały i częściej chorowały. Mogą być też częściej zasiedlane przez różne gatunki fitofagów, np. mszyce, ryjkowce czy korniki, a w przypadku modrzewi – przez krobika modrzewiowca *Coleophora laricella* (Hübner, 1817). Będzie to w konsekwencji wymuszać działania zmierzające do ograniczania ich liczebności lub, w skrajnych przypadkach, spowoduje likwidację źle rosnącej plantacji. Dlatego prawidłowe założenia hodowlane i optymalna ich realizacja stanowią podstawę profilaktycznej ochrony plantacji nasiennych.

2. Wielkość plantacji a jej ochrona przed szkodnikami

Z punktu widzenia kosztów ochrony plantacji (prowadzenia niezbędnych zabiegów ograniczania szkodników) duże znaczenie ma jej powierzchnia. Zwalczanie szkodliwych owadów na małych obiektach jest: a) łatwiejsze, b) szybsze i c) tańsze do przeprowadzenia aniżeli na plantacjach dużych czy bardzo dużych, powyżej kilkunastu hektarów. Wynika



Ryc. 1. Zwalczanie śmietek opryskiwaczem do drzew wysokich na PUN w Nadl. Brzeziny (2008)

to zarówno z kosztów wykonania zabiegu (koszty użycia ciągnika i opryskiwacza, dowozu wody na powierzchnię, koszty pracy operatora urządzeń i osób nadzorujących oraz koszty zakupu odpowiedniej ilości insektycydów i adiuwantów), jak i kosztów zbioru nasion z całej plantacji. Zbieranie nasion z ograniczonej powierzchni, np. jednej kwatery, po zabiegu przeprowadzonym na całej plantacji nie ma ekonomicznego uzasadnienia. Wydaje się więc, że z punktu widzenia optymalizacji kosztów ochrony materiału siewnego rozsądnym podejściem jest tworzenie plantacji mniejszych, 2-, 3-hektarowych. Z tego względu lepszym rozwiązaniem będzie założenie dwóch mniejszych obiektów (oddalonych znacznie od siebie) niż jednego bardzo dużego. Często też zapomina się, że w przypadku zwalczania większości gatunków szkodników w celu uzyskania skuteczności zabiegu cała plantacja musi być nim objęta. Zwalczanie szkodników tylko na części wielohektarowej plantacji nasiennej przynosi mierny efekt przedsięwzięcia i jego niską skuteczność. Takie podejście jest nieefektywne z powodu znacznej mobilności większości szkodliwych gatunków, które przemieszczają się z terenu, gdzie nie zastosowano insektycydu, na teren kwater opryskanych preparatem po ustaniu jego owadobójczej aktywności i, z mniejszym lub większym skutkiem, zasiedlają znajdujące się tam szyszki i nasiona. Podobne niebezpieczeństwo może wynikać z sytuacji, gdy zwalczają szkodniki na plantacji położonej w pobliżu owocujących drzewostanów tego samego gatunku drzewa, a liczna migracja szkodników na plantację z takich drzewostanów może niwelować efekt zabiegu, który w zasadzie powinien być skuteczny. Wszystkie tego typu okoliczności trzeba mieć na uwadze, planując wielkość plantacji nasiennej.

3. Wpływ lokalizacji plantacji i jej sąsiedztwa na efektywność zwalczania fitofagów

Częstą praktyką podczas zakładania plantacji nasiennych jest grupowanie różnych gatunków w jednym miejscu, co podyktowane jest m.in. optymalizacją kosztów transportu, zmniejszeniem kosztów grodzenia czy łatwiejszym nadzorem. Jednak w przypadku niektórych gatunków drzew (głównie modrzewia i świerka) nie powinno się tworzyć takich nasadzeń w bezpośrednim sąsiedztwie. Przedstawione podejście jest konsekwencją problemów z powszechnym występowaniem mszyc należących do rodziny ochojników (*Adelgidae: Homoptera*). Są to gatunki dwudomne, przechodzące skomplikowany i wieloetapowy cykl rozwojowy, w trakcie którego okresowo migrują z modrzewia na świerki (na których przechodzą płciową fazę cyklu), a następnie ponownie przelatują na modrzewie. Posadzenie świerków i modrzewia obok siebie ułatwia ochojnikom migrację, a w konsekwencji powoduje szybki wzrost ich liczebności oraz presję na zasiedlane drzewa. Taka sytuacja jest bardziej niekorzystna dla świerków, które są tzw. żywicielem pierwotnym. Zarówno *Adelges laricis* (Vallot, 1836), jak i *Sacchiphantes viridis* (Ratzeburg, 1843) powodują powstawanie na pędach świerka ananasowatych wyrostki (galasów), wywołujących silne skrzywienia pędów, a często ich zamieranie (ryc. 2). W konsekwencji powstawania licznych galasów deformują się korony drzewek i osłabia ich kondycja. Dlatego zlokalizowane po sąsiedzku plantacje nasienne tych dwóch gatunków mogą wymagać niemal corocznego chemicznego ograniczania ochojników, co powinno być prowadzone środkami kontaktowo-systemicznymi (ryc. 3). W późniejszym okresie, gdy korony świerków są już ukształtowane, zabiegi można wykonywać w zależności od potrzeb, konsultując ich zasadność z właściwym zespołem ochrony lasu. Obecnie zwalczanie mszyc na plantacjach nie nastręcza trudności, ponieważ dostępne są do tego celu różne zarejestrowane środki chemiczne. W 2022 roku zalecanych było aż kilkanaście różnych insektycydów [Skrzecz, Szmidla 2022]. Z wymienionych względów unikać należy sadzenia plantacji nasiennych świerka w pobliżu drzewostanów ze znacznym udziałem modrzewia, jak i oczywiście plantacji nasiennych modrzewia w sąsiedztwie drzewostanów ze znacznym udziałem świerka. Podobne zasady (unikania wspólnego sadzenia świerka i modrzewia) powinny obowiązywać również przy planowaniu składu gatunkowego otuliny plantacji nasiennej, nie tylko z powodu ochojników, ale również polifagicznych szkodników szyszek i nasion, np. szyszenia pospolitego *Dioryctria abietella* (Denis i Schiffermüller, 1775), który rozwija się na szyszkach wszystkich gatunków drzew iglastych w Polsce: sośnie, świerku, modrzewiu, jodle i daglezi.

Przy wyborze miejsca na plantację nie można również zapomnieć o problemie szkód od pędraków. Nie należy projektować plantacji nasiennej na terenie lub w pobliżu miejsc liczego występowania chrabaszczy *Melolontha* sp. Zwalczanie pędraków, ze względu na brak odpowiednio skutecznych preparatów dopuszczonych obecnie do stosowania w lasach, jest mało efektywnym i generalnie kosztownym przedsięwzięciem, dlatego za wszelką cenę należy unikać konieczności wykonywania tego typu zabiegów.

Z punktu widzenia wskazań profilaktycznej ochrony plantacji istotną kwestią jest określenie dystansu izolacji obiektu, czyli minimalnej odległości pomiędzy plantacją



Ryc. 2. Liczne galasy ochojników na świerku – plantacja nasienna w Nadl. Zwierzyniec (2009)



Ryc. 3. Zabieg zwalczania ochojników na plantacji nasiennej w Nadl. Zwierzyniec (2009)

a drzewostanami lub innymi nasadzeniami gatunku, którego plantację nasienną mamy założyć. Dotyczy to także minimalnej odległości umiejscowienia plantacji od drzewostanów składających się z gatunków, na których występują wspólne szkodniki, np. ochojniki. Niestety, dotychczas nie prowadzono szczegółowych badań nad potencjałem migracji poszczególnych fitofagów szyszek czy nasion gatunków liściastych, dlatego trudno jest taką odległość precyzyjnie wyznaczyć. Wydaje się jednak, że jako wystarczający dystans można przyjąć odległość 3 km, chociaż nie jest to udowodnione naukowo i nie należy proponowanej odległości traktować obligatoryjnie. Jednak odizolowanie plantacji od źródła migracji szkodników jest ważnym elementem strategii ochrony plantacji i należy je wziąć pod uwagę oraz uwzględnić w praktyce. Wydaje się, że tylko analiza zmian liczebności najważniejszych fitofagów na różnie położonych i w różnym stopniu izolowanych plantacjach może w przyszłości przynieść bardziej precyzyjne odpowiedzi dotyczące tej kwestii.

Lokalizacja plantacji oraz jej sąsiedztwo są ważnymi zagadnieniami, zarówno z hodowlanego, jak i ochroniarskiego punktu widzenia. Należy mieć jednak świadomość, że nawet usytuowanie plantacji bardzo daleko od drzewostanów tego samego gatunku lub od stanowisk drzew gatunków, na których występują wspólne fitofagi, nie zabezpieczy całkowicie plantacji przed ich napływem. Jest to niemożliwe. Utrwalona biologicznie skłonność do migrowania fitofagów szyszek ma oczywisty związek z cyklicznością zmian urodzaju. Wydaje się, że właśnie okresowo pojawiające się lata nieurodzaju nasion, tzw. lata głuche, wymuszają na tych owadach wędrówkę w poszukiwaniu kwitnących i owocujących drzew, które mogą być odnalezione niekiedy w znacznym oddaleniu od miejsca wylęgu szkodników. Odpowiednio izolowane plantacje, czyli takie, które są co najmniej 3 km oddalone od drzewostanów tego samego gatunku, mają jednak tę zaletę, że po przeprowadzeniu udanego zabiegu zwalczania wybranego szkodnika wolniej odbudowuje się liczebność jego populacji niż na plantacjach położonych w sąsiedztwie owocujących drzewostanów tego samego gatunku. Odpowiednia izolacja plantacji nasiennej może więc w istotny sposób zapobiegać konieczności powtarzania zabiegu w kolejnym sezonie lub nawet w kolejnych latach, co jest, oczywiście, pozytywne z ekonomicznego punktu widzenia. Z kolei bliskość owocujących drzewostanów, szczególnie w sezonie po obfitym roku nasiennym, wywołuje najczęściej silny wzrost liczebności różnych fitofagów, które migrują z sąsiedztwa w poszukiwaniu dogodnego do zasiedlenia materiału lęgowego. Sytuacja taka może zaś powodować konieczność przeprowadzania kolejnych zabiegów zwalczania szkodliwego gatunku w następnych latach lub zmusza do pogodzenia się z niską wydajnością owocowania i odstąpienia od zbioru nasion.

Ciekawym zagadnieniem jest mechanizm kumulowania się liczebności populacji fitofagów nasion i szyszek na plantacjach nasiennych. Może on wynikać z faktu, że plantacje przez wiele lat, od momentu posadzenia, są miejscem cieplejszym niż drzewostany gospodarcze, co jest konsekwencją rozrzedzonej więzby sadzenia i wykonywania planowych cięć w późniejszym wieku oraz znacznie wcześniejszego i intensywnego owocowania. Na generalnie cieplej i dobrze naświetlonej plantacji pojaw śmietek modrzewiowych jest specyficznie wydłużony. Najpierw odbywają rójkę owady, które się tam rozwinęły i wylęły, a w drugiej kolejności pojawiają się osobniki z populacji

lęgących się w sąsiadujących drzewostanach gospodarczych, najczęściej bardziej zwartych i podszytych drugim piętrem, przez to chłodniejszych. Ponieważ później lęgące się owady rozpoczynają rójkę z opóźnieniem, to później też docierają na teren plantacji. U śmietek modrzewiowych z rodzaju *Strobilomyia* spp. są to wyłącznie zapłodnione samice, które w drugiej, a czasami i w trzeciej dekadzie maja odławia się do żółtych pułapek z glikolem typu Moerickego [Bystrowski, niepublikowane]. Taka dynamika pojawu śmietek może powodować, że na plantacji nasiennej dokonuje się swoiste zagęszczenie ich populacji. Innym powodem narastania liczebności fitofagów jest wysoka koncentracja materiału lęgowego (szyszek), co prawdopodobnie zwabia samice różnych gatunków szkodników. Ostatecznie jest regułą, że szacowane zasiedlenie szyszek przez różne szkodniki na plantacji nasiennej jest wyższe lub nawet znacznie wyższe niż np. w drzewostanach gospodarczych, rosnących w dalszym lub bliższym sąsiedztwie plantacji nasiennej.

4. Propozycja dwóch strategii prowadzenia zabiegów zwalczania szkodników na plantacjach nasiennych

W zasadzie można sobie wyobrazić dwie przeciwstawne strategie postępowania ze szkodnikami szyszek i nasion na plantacjach nasiennych.

Strategia stałej kontroli szkodników zakłada istnienie długookresowego programu (np. 4–5-letniego) ochrony plantacji. Program jest nastawiony na jednego najważniejszego szkodnika (lub ich grupę występującą w jednym czasie), który w każdym roku obniża znacząco zbiory szyszek i nasion, zasiedlając nie mniej niż 30% szyszek. Zwalczanie fitofagów wykonuje się co roku w optymalnych terminach, monitorując w każdym sezonie uzyskane wyniki na reprezentatywnej próbie szyszek oraz (jednocześnie) wielkość urodzaju szyszek na plantacji. Taka strategia jest korzystna w przypadku zwalczania gatunków, które często przedłużają rozwój – diapauzują – i są reprezentowane na plantacji przez liczną populację lub plantacja położona jest niefortunnie w pobliżu owocujących drzewostanów tego samego gatunku, które „zasilają” szkodnikami teren plantacji. Jednokrotny zabieg lub nawet cykl dwóch lub trzech zabiegów w jednym roku nie są w stanie radykalnie zmienić sytuacji ze względu na przelegiwanie znacznej części owadów lub ich imigrację z sąsiedztwa. Wadą programu jest konieczność corocznego wykonania zabiegów ograniczających występowanie szkodnika (koszty) oraz obligatoryjne monitorowanie jego liczebności (analiza zasiedlenia szyszek lub inne wiarygodne metody, np. wywieszenie pułapek feromonowych).

Strategia optymalnego zbioru zakłada, że mamy dobrze dopracowany system monitorowania gatunku i wiemy, jak go zwalczać, wtedy nie musimy stosować zabiegów zwalczania co roku, żeby długofalowo ograniczać pojaw populacji szkodników, jedynie wybieramy odpowiedni sezon, kiedy plantacja intensywnie kwitnie, i wykonujemy skuteczny zabieg (lub ich serię) celem ograniczenia najważniejszego fitofaga odpowiedzialnego za największy procentowo odsetek uszkodzeń. Następnie zbieramy w danym roku odpowiednio duży zapas szyszek i uzyskujemy z nich nasiona, tak aby

ich ilość była wystarczająca i zaspokoila potrzeby na kilka najbliższych lat. Zaletą takiego podejścia są niskie koszty zabiegów zwalczania, np. w przeliczeniu na statystyczny kilogram zebranych nasion. Do wad należy potrzeba przechowywania większej partii nasion (koszty) oraz niewykorzystanie potencjału produkcyjnego plantacji (brak zbioru nasion w kolejnych sezonach). Nie bez znaczenia jest również możliwy niekontrolowany wzrost liczby fitofagów nasion w ciągu kolejnych lat, gdy nie stosujemy zwalczania.

Ważnym elementem takich strategii powinno być metodyczne zbieranie danych o zasiedleniu szyszek i nasion w kolejnych latach realizacji programów oraz planowy zbiór informacji o występowaniu najważniejszych szkodników powodujących straty. Dane, uzyskiwane w wielu miejscach i na wielu plantacjach, mogłyby posłużyć do weryfikacji prowadzonych strategii i optymalizacji działań w przyszłości. Nowe, bogatsze dane po pewnym okresie mogłyby dać podstawy do optymalizacji stosowanych metod postępowania i w efekcie zaowocować stworzeniem zintegrowanych metod ochrony plantacji nasiennych różnych gatunków drzew leśnych przeciwko najważniejszym gatunkom fitofagów.

5. Integrowane metody ochrony plantacji nasiennych

Metoda integrowana jest sposobem ochrony roślin przed organizmami szkodliwymi polegającym na wykorzystaniu wszystkich dostępnych taktyk zabezpieczania produkcji roślinnej, dającym pierwszeństwo metodom innym niż chemiczne i w ten sposób minimalizującym zagrożenie dla zdrowia ludzi, zwierząt oraz dla środowiska. W integrowanej ochronie roślin pierwszeństwo mają różne metody: agrotechniczne, mechaniczne, fizyczne, biologiczne, hodowlane oraz wszystkie inne, a jeśli okażą się niewystarczające, należy zastosować metodę chemiczną. W metodzie integrowanej nie chodzi również o całkowitą likwidację populacji szkodliwych organizmów, lecz jedynie ograniczenie ich liczebności, tak aby nie powodowały strat gospodarczych czy środowiskowych. Prawny obowiązek stosowania zasad integrowanej ochrony roślin przez wszystkich profesjonalnych użytkowników środków ochrony roślin, począwszy od 1 stycznia 2014 roku, wynika z postanowień art. 14 dyrektywy 2009/128/WE oraz rozporządzenia nr 1107/2009, artykuł 55.

Tyle mówią definicje i ustawowe obowiązki profesjonalnych użytkowników insektycydów, do których należą również Lasy Państwowe. Prawda jest jednak taka, że nie ma jak dotychczas programów dotyczących ograniczania szkodników szyszek, owoców i nasion na plantacjach nasiennych, które byłyby przetestowane w praktyce i które można by skutecznie wdrożyć szerzej do praktyki leśnej. Do ograniczania fitofagów szyszek mamy zarejestrowaną jedną substancję czynną – acetamipryd i kilka opartych na niej preparatów użytkowych, które mogą być przeznaczone do zwalczania śmietek w drzewostanach modrzewiowych. Gdyby nawet możliwe były do zrealizowania jakieś elementy integrowanej ochrony plantacji nasiennych dla któregośkolwiek z najważniejszych gatunków szkodników poza śmietkami, to – w obliczu słabej skuteczności metod niechemicznych – nie jest możliwe formalne użycie jakiegokolwiek insektycydu, którym

można skutecznie zwalczać danego fitofaga. Sytuacja ta jest wysoce niekorzystna dla produkcji nasion na plantacjach nasiennych, które są w zasadzie jedynym miejscem, gdzie stosowanie zwalczania jest ekonomicznie uzasadnione i możliwe do skutecznego przeprowadzenia.

6. Przegląd ważniejszych fitofagów szyszek i nasion wybranych gatunków drzew iglastych

Badania nad fitofagami szyszek i nasion drzew leśnych mają w Polsce dość długą tradycję. Ich historię zwięźle przedstawiła Skrzypczyńska [2006], zaliczając do prekursorów kierunku entomologów Kozikowskiego oraz Kuntze, którzy badali w latach 30. szkodniki szyszek jodły [Kozikowski i Kuntze, 1936]. Już w latach 60. XX wieku ukazało się bardzo dobre, jak na owe czasy, opracowanie Kapuścińskiego *Szkodniki owadzie nasion drzew leśnych* szczegółowo podsumowujące wiedzę o większości znanych w naszym kraju gatunków z tej grupy [Kapuściński 1966]. Po kolejnych 30 latach, w połowie lat 90., opublikowana została monografia szkodników nasion i szyszek drzew iglastych autorstwa Skrzypczyńskiej [1996]. Publikacja ta podsumowała wieloletnie badania autorki nad fitofagami nasion i szyszek drzew iglastych. Opracowanie zawiera „rysunkowe klucze”, umożliwiające szybką identyfikację najważniejszych szkodników szyszek i nasion: jodły, daglezi, świerka, modrzewia i sosny. Znaleźć w nim można informacje o rozsiedleniu gatunków, opisy stadiów rozwojowych, informacje o bionomii, metody diagnozowania uszkodzeń czy opisy ówczesnych metod zwalczania oraz stosowanych w latach 90. insektycydów. Autorka określa także znaczenie gospodarcze poszczególnych gatunków drzew na podstawie licznych danych literaturowych z różnych krajów Europy i Azji.

Podstawowe informacje o niektórych szkodnikach nasion można również uzyskać z innych opracowań entomologicznych czy atlasów [Schnaider 1976, 1991; Szujecki 1995; Kolk i Starzyk 1996; Stocki 2000, Skrzypczyńska 2001]. Jedynie niektóre informacje tam zgromadzone są nieścisłe lub błędne, co w większości wynika z ciągłego rozwoju wiedzy i zmieniającego się poglądów w wyniku prowadzonych badań.

6.1. Ważniejsze szkodniki nasion i szyszek gatunków iglastych

W dalszej części rozdziału przedstawione zostaną i krótko omówione najważniejsze fitofagi szyszek oraz nasion wybranych gatunków drzew iglastych z ogólnym omówieniem najważniejszych taksonów, które mogą powodować istotne straty gospodarcze na plantacjach nasiennych.

6.1.1. Fitofagi szyszek i nasion sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*)

Sosna zwyczajna, pomimo dużego udziału w drzewostanach polskich lasów, nie ma wielu gospodarczo istotnych fitofagów szyszek i nasion. Do często stwierdzanych szkodników szyszek tego gatunku zaliczyć można przede wszystkim przedstawicieli rodzaju szyszeń *Dioryctria* sp. (*Pyralidae: Lepidoptera*). Na szyszkach sosen mogą



Ryc. 4. Szyszeń pospolity *Dioryctria abietella* – samica

żerować gąsienice polifagicznego gatunku *Dioryctria abietella* (Denis i Schiffermüller, 1775) (ryc. 4). Gatunek roi się od końca maja praktycznie do września, choć z racji tego, że może być mylony z innymi gatunkami należącymi do tego rodzaju, to wspomniana informacja nie jest zupełnie pewna. Gąsienice żerują wewnątrz szyszki, pozostawiając na zewnątrz liczne, szczepione przędzą, grudki kału. Po zakończeniu żerowania, co ma miejsce w drugiej połowie lata lub jesienią, schodzą do ściółki, gdzie budują z białej przędzy płaskie i okrągłe w zarysie oprzędę zimowe. Na wiosnę gąsienica opuszcza miejsce zimowania i tworzy drugi oprzęd, eliptyczny w zarysie, z którego wychodzi motyl [Kapuściński 1966]. Skrzypczyńska 1995, 2006]. Na szyszkach sosny mogą również występować gąsienice dwóch monofagicznych i trudno odróżnialnych w stadium imago szyszeni: *D. sylvestrella* (Ratzeburg, 1840) [syn. *D. splendidella* (Herrich-Schäffer, 1848)] i *D. simplicella* (Heinemann, 1863), [syn. *D. mutarella* (Fuchs, 1903)]. Rozpoznawanie uszkodzeń i opis biologii *D. simplicella*, opisanego pod nazwą *D. mutarella*, przedstawili Kapuściński [1966] oraz Skrzypczyńska [1995]. Ten ostatni gatunek, według Kapuścińskiego [1966], może także uszkadzać w młodszych drzewostanach (5–15-letnich) pędy i pączki sosnowe. Lokalnie na plantacjach nasiennych pewne znaczenie może mieć również smolik szyszkowiec *Pissodes validirostris* (Sahlberg, 1834), który powoduje zamieranie i przedwczesne opadanie zasiedlonych szyszek [Kapuściński 1966 oraz Skrzypczyńska 1995]. Opadanie niedojrzałych szyszek może również być powodowane przez gąsienice oprzędzenia szyszkogryza *Assara terebrella* (Zincken, 1818), jednak jego występowanie oraz rola w uszkadzaniu szyszek sosny wydają się znikome i wymagają potwierdzenia, szczególnie na plantacjach. Kilka pozostałych gatunków fitofagów nasion



Ryc. 5. Szyszkówka świerkóweczka *Cydia strobilella* – motyl

i szyszek sosny, takich jak: znamionek *Megastigmus atedius* (Walker, 1851) czy *Eupithecia abietaria* (Goeze, 1781), [syn. *Eupithecia pini* (Retzius, 1783)], nie miało jak dotychczas znaczenia gospodarczego.

Z punktu widzenia praktycznej ochrony nasiennych plantacji sosnowych wydaje się uzasadniona rejestracja w przyszłości insektycydu do ograniczania imag szyszeni występujących na sośnie oraz opracowanie metod prowadzenia monitoringu rójki tych fitofagów przy użyciu różnych rodzajów pułapek: pojawowych, świetlnych lub feromonowych. Działania takie są niezbędne, ponieważ ważną przeszkodą w uzyskaniu znaczącej skuteczności zabiegów jest podawany w literaturze [Kapuściński 1966; Skrzypczyńska 1995, 2006] bardzo długi okres rójki motyli, natomiast zwalczanie żerujących wewnątrz szyszek gąsienic jest trudne do wykonania i wydaje się raczej mało efektywne.

6.1.2. Fitofagi szyszek i nasion świerka zwyczajnego (*Picea abies*)

Do najważniejszych fitofagów szyszek i nasion świerka zwyczajnego zaliczyć należy w pierwszym rzędzie zwójkówkę – szyszkówkę świerkóweczkę *Cydia strobilella* (Linnaeus, 1758) (*Tortricidae: Lepidoptera*) (ryc. 5). Gatunek roi się od końca kwietnia do końca czerwca lub początku lipca. Samice składają od kilku do kilkunastu jaj do jednej szyszki. Jeśli w szyszce znajduje się więcej niż pięć żerujących gąsienic, to nasiona są w niej niemal całkowicie uszkodzone. Cechą charakterystyczną żerowiska szyszkówki jest brak zauważalnych na zewnątrz szyszki grudek kału. Wąski korytarz jest szczelnie

wypełniony ekskrementami w postaci jednolitej, jasnobrązowej masy, ubitej za żerującą larwą (ryc. 6). Gąsienice szyszkówki żerują tuż przy rdzeniu, wyjadając wszystkie napotkane nasiona. Pod koniec żerowania wykonują podłużną komorę, która często jest zlokalizowana wewnątrz rdzenia szyszki lub w nasadzie łuski nasiennej i zasnutą białą, jedwabistą przędzą. Tu gąsienica zimuje i dopiero wiosną się przepoczwarza. Zimująca gąsienica jest barwy żółtej do cytrynowej. Część gąsienic zimuje w szyszkach wiszących na drzewie, część populacji natomiast spędza zimę w szyszkach na ziemi pod drzewami, gdzie może przelegiwać do trzech lat. Prawdopodobnie z różnicy temperatury w miejscach, w których zimują gąsienice tego gatunku, wynikać może bardzo rozciągnięta w czasie rójka motyli. Szczegółowy opis biologii i rozpoznawania zawierają prace Kapuścińskiego [1966] oraz Skrzypczyńskiej [1995, 2006].

Kolejnymi ważnymi fitofagami szyszek świerka są szyszenie (*Dioryctria* spp.) (*Pyralidae: Lepidoptera*). Na szyszkach świerka prawdopodobnie występują dwa gatunki z tego rodzaju: znany z wielu wcześniejszych opracowań szyszeń pospolity *Dioryctria abietella* (Denis i Schiffermüller, 1775) (ryc. 4) oraz drugi, *D. schuetzeella* (Fuchs, 1899). Z doniesień literatury wynika, że rójka *D. abietella* jest bardzo rozciągnięta w czasie [Kapuściński 1966 oraz Skrzypczyńska 1995, 2006], jednak może być to także efekt mylenia tego gatunku z innymi przedstawicielami z rodzaju *Dioryctria* spp. lub występowania częściowego drugiego pokolenia pierwszego gatunku. Zagadnienie wymaga bardziej szczegółowego zbadania. Jest to o tyle ważne, że prawdopodobnie najbardziej skuteczną metodą ograniczania szyszeni na plantacjach nasiennych jest zwalczanie motyli w czasie rójki. Ostatnim gatunkiem, o którym należy wspomnieć, jest oprzędzeń szyszkogryz *Assara terebrella* (Zincken, 1818) (*Pyralidae: Lepidoptera*) (ryc. 7) – gatunek o długim rozwoju powodujący opadanie niedojrzałych i niezdrewniałych do końca szyszek na ziemię, rozwijający się w opadłych szyszkach przez kolejne dwa sezony. Jego szkodliwość – według literatury – polega wyłącznie na zmniejszeniu liczby dojrzewających szyszek, które można zebrać z drzew na plantacji. W szyszkach zebranych z drzew nie jest spotykany [Kapuściński 1966]. Jego liczebność łatwo można ograniczać mechanicznie, przez zbieranie i niszczenie małych, niedorozwiniętych, a opadłych na ziemię szyszek, leżących pod drzewami na plantacji. Taka metoda, efektywna, choć pracochłonna, jest znacznie bardziej skuteczna w ograniczaniu liczebności oprzędzenia niż w przypadku szyszkówki, której znaczna część populacji zimuje w szyszkach pozostających w koronach świerków, a tylko niewielka część pod drzewami, w szyszkach opadłych na ziemię. Pewne znaczenie jako szkodniki nasion mogą mieć również: znamionek świerkowy *Megastigmus strobilobius* (Ratzeburg, 1848), śmietka świerkowa *Strobilomyia anthracina* (Czerny, 1906), *Eupithecia abietaria* (Goeze, 1781), [syn. *Eupithecia pini* (Retzius, 1783)], *Kaltenbachiola strobi* (Winnertz, 1853), *Plemeliella abietina* (Seitner, 1908), jednak wydaje się, że nie mają one zazwyczaj istotnego znaczenia gospodarczego.

Z punktu widzenia praktycznej ochrony plantacji nasiennych świerka niezbędne jest zarejestrowanie w przyszłości insektycydów do ograniczania zarówno motyli szyszkówki świerkóweczki, jak i szyszeni (zabiegi na stadium motyla) oraz prowadzenie prac rozwijających monitoring rójki tych fitofagów przy użyciu różnych dostępnych pułapek: pojawiających lub feromonowych. Co ciekawe, do przynęt świetlnych te gatunki



Ryc. 6. Obraz uszkodzeń szyszek świerka powodowanych przez gąsienice szyszkówki świerkóweczki (*Cydia strobilella*) – widoczny charakterystycznie ułożony kał i wyjedzone nasiona



Ryc. 7. Oprzędzeń szyszkogryz *Assara terebrella* – motyl na świerkowej szyszce

przylatują sporadycznie lub wcale. Inne metody ograniczania, które mogą być wykonywane w ramach metody integrowanej, to wspomniany już zbiór i niszczenie opadłych szyszek na plantacjach nasiennych. Wydaje się, że na plantacjach odpowiednio izolowanych metoda ta może być dość skutecznym sposobem zapobiegania szkodom od szyszkówki i oprzędzenia.

6.1.3. Fitofagi szyszek i nasion jodły zwyczajnej (*Abies alba*)

Ważniejszym fitofagiem szyszek jodły, powodującym w drzewostanach jodłowych największe uszkodzenia, jest barbarówka jodłoweczka *Barbara herrichiana* (Obraztsov, 1960). Gąsienica żeruje w szyszkach już od maja, stopniowo wygryzając w ich wnętrzach szerokie korytarze. Wyrośnięta gąsienica jest koloru czerwono-brunatnego lub cielisto-brunatnego, z ciemnobrunatną puszką głową i dwiema nieco jaśniejszymi, ciemnoczerwonymi, ukośnymi przepaskami (ryc. 8). Identyfikację i szczegóły biologii znaleźć można w opracowaniach Kapuścińskiego [1966] i Skrzypczyńskiej [1996]. W szyszkach jodłowych mogą również żerować szyszenie *D. abietella* (Denis i Schiffermüller, 1775) [Skrzypczyńska 1996] i *D. schuetzeella* (Fuchs, 1899) (ryc. 9). Pozostałe gatunki fitofagów: *A. terebrella* (Zincken, 1818), *Resseliella piceae* (Seitner, 1906), *Megastigmus suspectus* (Borries, 1895), *Eupithecia abietaria* (Goeze, 1781) [syn. *Eupithecia pini* (Retzius, 1783)], *Earomyia impossibile* (Morge, 1959), mają mniejsze znaczenie gospodarcze lub występują rzadko.

Dotychczas nie zostały zarejestrowane żadne preparaty do ograniczania szkodników nasion i szyszek jodły, więc nie istnieje możliwość ich legalnego zwalczania na plantacjach nasiennych. Ponadto niewielka liczba założonych plantacji nasiennych również nie sprzyja prowadzeniu badań rejestracyjnych insektycydów przeznaczonych do ograniczania występowania fitofagów szyszek jodły.

6.1.4. Fitofagi szyszek i nasion modrzewia europejskiego (*Larix decidua*)

Najważniejszymi fitofagami szyszek i nasion modrzewi w Polsce są śmietki modrzewiowe, muchówki z rodzaju *Strobilomyia Michelsen* (Diptera: Anthomyiidae) (ryc. 10). Wymienić tu należy trzy gatunki: *Strobilomyia laricicola* (Karl, 1928), *S. infrequens* (Ackland, 1965) oraz *S. melania* (Ackland, 1965). W dostępnych dotychczas publikacjach opisywano jedynie występowanie *S. laricicola* (Karl, 1928), której przez wiele lat przypisywano podstawową rolę w uszkodzaniu szyszek modrzewi w Polsce [Kapuściński 1966; Skrzypczyńska 1996]. Wszystkie wspomniane gatunki rozróżnić można na podstawie budowy aparatów kopulacyjnych oraz morfologii pokładełek samic [Michelsen 1988]. Istnieją także istotne różnice w sposobie składania jaj i strukturze budowy chorionu (ryc. 11). Można je jednak zobaczyć dopiero w powiększeniu. Jajo, które opisuje Skrzypczyńska [1996 za Dušek 1969], może być jajem jednego z dwóch gatunków – *S. melania* albo *S. infrequens*, których samice składają jaja, częściowo wciskając je za łuskę nasienną szyszki modrzewia, jednak druga jego część wyraźnie wystaje poza nią (ryc. 12). Natomiast trzeci gatunek śmiatek modrzewiowych *S. laricicola*, pojawiający się najwcześniej, bo już pod koniec marca, składa jaja zupełnie ukryte za łuskę nasienną szyszki, tak że nie są one widoczne bez jej rozcinania i odchylenia łusek. Fakt ten miał



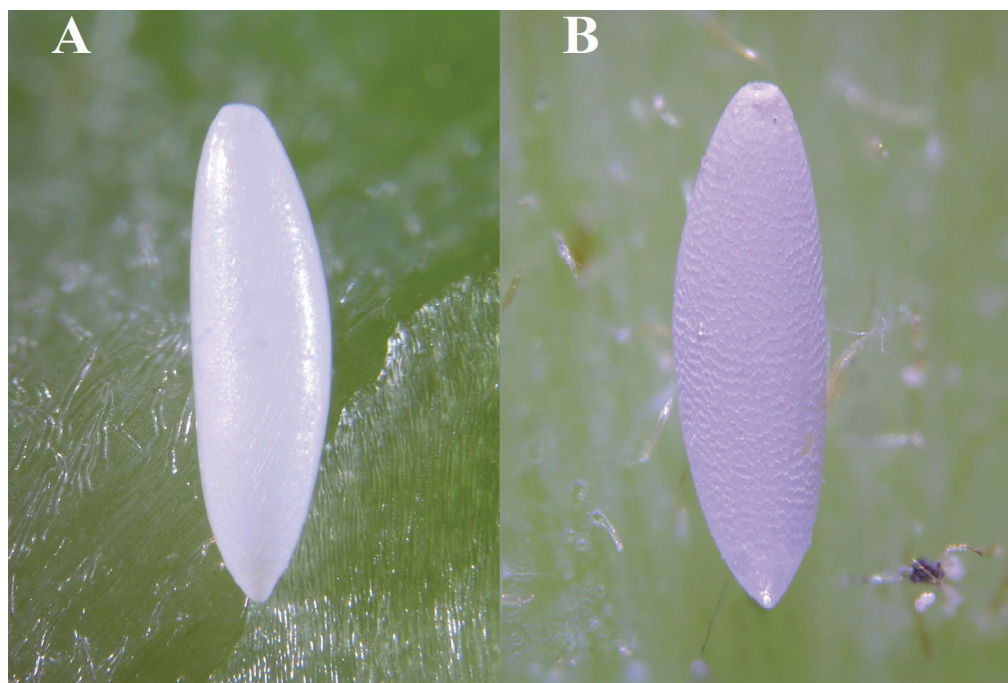
Ryc. 8. Gąsienica barbarówka jodłowieczka *Barbara herrichiana* w szyszce jodłowej (Nadl. Starachowice 2007)



Ryc. 9. Gąsienice szyszenia *Dioryctria* sp. po wyjściu z szyszki jodłowej (Nadl. Starachowice 2007)



Ryc. 10. Muchówka z rodzaju śmietka *Strobilomyia* sp. w trakcie składania jaj na szyszce modrzewia



Ryc. 11. Wygląd chorionu przedstawicieli rodzaju *Strobilomyia* sp.; A – jajo *S. laricicola*, B – jajo *S. melania* lub *S. inferquens*



Ryc. 12. Dwa złożone obok siebie jaja *Strobilomyia melania* lub *S. infrequens* wystają częściowo poza łuskę nasienną



Ryc. 13. Larwa znamionka modrzewiowca (*Megastigmus pictus*) przy wyjedzonym nasionie



Ryc. 14. Ślady żerowania larwy szyszenia na szyszkach modrzewia

duże znaczenie przy zwalczaniu śmietek na plantacjach w przeszłości, gdy uważano, że na plantacji występuje tylko jeden gatunek śmietki i często zwalczano szkodnika w momencie pojawienia się pierwszych, widocznych na szyszkach, jaj. Niestety, *S. laricicola* pojawia się nieco wcześniej (mniej więcej dziesięć do dwudziestu dni wcześniej niż dwa pozostałe gatunki) i wcześniej składa jaja, dlatego jej jaja (ukryte za łuskami) były już najczęściej złożone w znacznym procencie, co nie pozwalało osiągnąć wysokich sukcesów w zwalczaniu tych szkodników. Ten drobny fakt powodował, że utarło się przekonanie, iż śmietki są trudne do efektywnego zwalczania, co nie do końca jest prawdą, gdyż muchówki są generalnie organizmami bardzo wrażliwymi na działanie insektycydów. Ostatnie doświadczenia autora świadczą jednak o tym, że dobrą skuteczność zwalczania uzyskuje się, wykonując pierwszy zabieg między 20 a 30 kwietnia (w zależności od pogody), a drugi między 8 a 15 maja, w zależności od przebiegu temperatury powietrza w danym sezonie. Na dobrze izolowanych plantacjach 2–3-letni cykl zabiegów powinien prowadzić do znacznego spadku liczebności tych szkodników. Konieczność kilkakrotnego powtarzania zabiegów jest związana z przelegiwaniem części populacji i pojawianiem się śmietek w większej ilości co drugi lub trzeci rok od momentu zakończenia żerowania w szyszce. Pozostałe występujące wiosną gatunki fitofagów szyszek modrzewia można spotkać w podobnym okresie co śmietki. Zarówno znamionek modrzewiowiec *Megastigmus pictus* (Forster, 1841) (*Torymidae: Hymenoptera*), którego larwa żeruje wewnątrz pojedynczego nasiona (ryc. 13), jak i reseliówka modrzewiówka *Resseliella skuhravyorum* (Skrzypczyńska, 1975) (*Cecidomyiidae: Diptera*) [Skrzypczyńska 1975]



Ryc. 15. Samica znamionka daglezwego *Megastigmus spermotrophus* na igłach daglezi

mają mniejsze znaczenie i nie wyrządzają tak dotkliwych strat, jak larwy śmietek modrzewiowych. Co ważniejsze, przeprowadzenie skutecznego zabiegu przeciwko śmietkom najczęściej również bardzo skutecznie ogranicza występowanie dwóch pozostałych gatunków fitofagów. W późniejszym terminie pojawia się szyszeń pospolity *D. abietella*, którego larwy żerują w szyszkach modrzewi latem. Larwy szyszenia mogą w niektórych latach powodować większe uszkodzenia szyszek, niekiedy porównywalne nawet z uszkodzeniami powodowanymi przez śmietki. Specyficzny sposób żerowania gąsienic, a przede wszystkim pozostawianie na szyszkach kału, połączonego przędzą, jest bardzo charakterystyczną i łatwą do zdiagnozowania cechą świadczącą o występowaniu tego gatunku (ryc. 14).

Do zwalczania śmietek przeznaczona jest grupa zarejestrowanych preparatów, opartych na substancji czynnej o nazwie acetamipryd: ACELAN 20 SP, ACEPLAN 20 SP, ACETAMIP 20 SP, ACETAMOC 20 SP, MARABEL 20 SP, MIROS 20 SP, MOSPILAN 20 SP. Preparaty te, w dawce 0,2 kg/ha, są zalecane do zwalczania śmietek modrzewiowych [Skrzecz, Szmidla 2022].

6.1.5. Szkodniki szyszek i nasion daglezi zielonej (*Pseudotsuga menziesii*)

Najważniejszym fitofagiem nasion daglezi jest znamionek daglezwowiec (jedlicowcy) *Megastigmus spermotrophus* (Wachtl, 1893) (ryc. 15), zawleczony z Ameryki Północnej wraz ze sprowadzanymi nasionami tego gatunku drzewa. Interesującym zagadnieniem jest stwierdzony fakt znacznie większych uszkodzeń nasion powodowanych przez

znamionka w Europie niż w rejonach naturalnego jego występowania, w USA i Kanadzie [Kapuściński 1966; Skrzypczyńska 1996; 2006]. Ponieważ zasiedlenie nim szyszek może w Europie osiągać niemal 100%, zbiór w takich wypadkach zupełnie się nie opłaca. Proponowany zbiór wszystkich szyszek z plantacji jako metody ograniczania szkodnika jest mało realny. Dla szybko i wysoko rosnących daglezi wykonanie takich zbiorów jest niemożliwe już w kilka lat po posadzeniu drzew, więc jedynym rozsądnym rozwiązaniem są chemiczne zabiegi zwalczania szkodników. Obecnie jednak nie ma żadnego zarejestrowanego preparatu służącego do ograniczania występowania znamionka dagleziowego, choć na plantacjach, które są dostatecznie izolowane od drzewostanów dagleziowych, zwalczanie wymienionego szkodnika skutecznie działającym preparatem nie powinno nastręczać większych trudności. Konieczna do odpowiedniego wyznaczenia terminu zabiegu metoda oceny dynamiki wylęgu tego gatunku owadów, zimującego w szyszkach, nie powinna być trudna ani specjalnie pracochłonna i kosztowna. Zbyt wysoki drzewostan i zbyt mocne zwarcie plantacji mogą być zasadniczą przeszkodą w skutecznej aplikacji insektycydu przy użyciu opryskiwacza do drzew wysokich. Ponieważ daglezi jest gatunkiem bardzo dobrze wypełniającym wolne przestrzenie w sąsiedztwie korony, mocne zwarcie nie zawsze umożliwi skuteczną aplikację środka. Gatunkami, które mogą powodować uszkodzenia szyszek daglezi, są także szyszeń pospolity *D. abietella* oraz oprzędzeń szyszkogryz *A. terebrella*, wymieniane jako fitofagi szyszek daglezi. Brak jest jednak bliższych doniesień o ich szkodliwości na plantacjach nasennych tego drzewa, więc trudno wnioskować o realnej potrzebie ich ograniczania.

Literatura

- Chałupka W. 2006. *Początek badań genetycznych drzew leśnych w Kórniku*. [w:] *Elementy genetyki i hodowli selekcyjnej drzew leśnych*. (red.) Sabor S., CILP Warszawa: 29–34.
- Dušek J. 1969. *Präimaginale Stadien Mitteleuropäischer Anthomyiiden (Diptera) I*. Acta Scient. Nat. Acad. Scient. Bohemoslovacae Brno Nova Ser. III, 2, Praha: 3–337.
- Kapuściński S. 1966. *Szkodniki owadzie nasion drzew leśnych*. Warszawa, PIWRiL: 156.
- Kolka A., Starzyk J.R. 1996. *Atlas szkodliwych owadów leśnych*. Multico, Warszawa: 705.
- Kozikowski A., Kuntze R. 1936. *Szkodniki nasion jodły występujące w południowej Polsce*. „Sylwan”: 54. 1–20.
- Rykowski K. 2006. *Tezy o naturalności lasów*. [W:] *Elementy genetyki i hodowli selekcyjnej drzew leśnych*. (red.) Sabor S., CILP Warszawa: 89–98.
- Schnaider Z. 1976 (wyd. I) i 1991 (wyd. II). *Atlas uszkodzeń drzew i krzewów powodowanych przez owady i roztocze*. PWN, Warszawa: 320.
- Skrzecz I., Szmidla H. 2022. *Środki ochrony roślin oraz produkty biobójcze do zastosowania w leśnictwie w roku 2022*. IBL. *Analizy i raporty*, nr 32: 32. (www.ibles.com.pl) zakładka „Doradztwo i usługi”
- Skrzypczyńska M. 1996. *Owady – szkodniki nasion i szyszek drzew iglastych*. Gutenberg: 155.
- Stocki J. 2000. *Drzewa iglaste i owady na nich żerujące*. Multico: 228.
- Szujewski A. 1995. *Entomologia leśna*. T. 1–2. Wydawnictwo SGGW: 1–389.

VI

Zmienność
genetyczna
i przebieg procesów
reprodukcyjnych
na plantacjach
nasiennych

prof. dr hab. Andrzej Lewandowski
Instytut Dendrologii, Polska Akademia Nauk,
Pracownia Biologii Molekularnej

prof. dr hab. Jarosław Burczyk
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego,
Katedra Genetyki

Plantacje nasienne, będące ważnym ogniwem w procesie hodowlanym, z założenia mają funkcjonować jako idealne, izolowane, panmiktyczne populacje, w których wszystkie szczepy mają równe szanse udziału w procesie reprodukcyjnym. Jeżeli te założenia są spełnione, to częstości alleli i genotypów plantacji nasiennych powinny znaleźć odzwierciedlenie w populacjach potomnych, zakładanych z nasion pochodzących z tych plantacji. Tym samym cały zysk genetyczny uzyskany w danym cyklu hodowlanym powinien być przeniesiony do następnego pokolenia. Jednak w praktyce te optymistyczne oczekiwania bardzo rzadko są spełnione [np. Friedman i Adams 1981; Burczyk 1998]. W niniejszym rozdziale pokrótce omówiono główne przyczyny tego, że wartość genetyczna nasion wytwarzanych na plantacjach nasiennych najczęściej odbiega od oczekiwań i w rzeczywistości jest trudna do przewidzenia.

1. Zmienność genetyczna plantacji nasiennych

Zmienność genetyczna jest podstawą różnorodności wszystkich organizmów. Może być rozpatrywana na poziomie pojedynczej populacji (zmienność międzyosobnicza), jak i na poziomie kilku populacji (zmienność międzypopulacyjna). Większość cech fenotypowych, interesujących z punktu widzenia leśnictwa, to cechy ilościowe (piersznica, wysokość, biomasa, fenologia itd.), znajdujące się pod kontrolą wielu genów. To zmienność tych cech i warunkujących je genów decyduje o zdolnościach adaptacyjnych populacji. Jednak miarodajna ocena zmienności genów powiązanych z cechami ilościowymi jest skomplikowana i wymaga stosowania zaawansowanych metod statystycznych na podstawie odpowiednio zaplanowanych doświadczeń polowych. W związku z tym w genetyce populacyjnej używane są różnego rodzaju markery genetyczne (np. izoenzymy, markery mikrosatelitarne) o charakterze neutralnym, których zmienność może być wykorzystana do badań różnorodności genetycznej populacji.

W praktyce stosowane są różne miary zmienności genetycznej. Najczęściej używanymi są: polimorfizm genetyczny (wyrażony rzeczywistą lub efektywną liczbą alleli w *locus* czy też jako procent *loci* polimorficznych) oraz heterozygotyczność oczekiwana i obserwowana, informujące o potencjalnej lub faktycznej organizacji zmienności w ramach osobnika. Miary te są rozpatrywane w odniesieniu do różnych typów mar-

kerów genetycznych. Pod koniec XX wieku najbardziej rozpowszechnionymi markerami w badaniach nad zmiennością genetyczną i procesami zachodzącymi na plantacjach nasiennych były izoenzymy. Obecnie coraz częściej obserwuje się wykorzystanie markerów mikrosatelitarnych. Markery te (w większości) dziedziczą się zgodnie z prawami Mendla i mają charakter kodominacyjny, co pozwala na odróżnienie osobników heterozygotycznych od homozygotycznych i ułatwia prowadzenie badań systemu kojarzenia i przepływu genów.

Plantacje nasienne są specjalnym rodzajem upraw leśnych, służącym do produkcji nasion o wysokich walorach użytkowych. Plantacje nasienne mogą być tworzone poprzez wegetatywne powielenie wybranych fenotypów drzew doborowych w drodze szczepień (plantacje klonalne; ang. *clonal seed orchards*) lub przez wykorzystanie potomstwa generatywnego drzew doborowych (plantacyjne uprawy nasienne; ang. *seedling seed orchards*). Plantacyjne uprawy nasienne z natury posiadają większą zmienność genetyczną, jednak oczekiwany zysk genetyczny z takich plantacji jest z reguły niższy [Funda i El-Kassaby 2012].

Większość dotychczasowych badań zmienności genetycznej i przebiegu procesów reprodukcyjnych przeprowadzono na klonalnych plantacjach nasiennych. Ich potencjał zależy od doboru wyselekcjonowanych klonów tworzących plantację, zakresu zmienności genetycznej, jaką te klony reprezentują, oraz przebiegu procesów reprodukcyjnych na plantacji. Intensywna selekcja, prowadząca do polepszenia cech przyrostowych potomstwa plantacji nasiennych, wymaga ograniczenia liczby klonów, ponieważ osiągnięty zysk genetyczny wzrasta wraz z większą intensywnością selekcji, a więc ze spadkiem liczby wybranych drzew w procesie selekcyjnym [Danusevicius i Lindgren 2002; Funda i in. 2009]. Tworzenie klonalnych plantacji nasiennych prowadzi do ograniczenia liczby klonów również z powodów praktycznych. W sposób oczywisty wiąże się to z pewnym zawężeniem zmienności genetycznej, wynikającym z ograniczonej liczby genotypów tworzących plantację. Z drugiej strony, utrzymanie wysokiego poziomu zmienności genetycznej przez hodowców ma duże znaczenie w kontekście adaptacji gatunku do zmian zachodzących w środowisku [np. Müller-Starck 1995]. Różnorodność genetyczna populacji jest ponadto podstawowym źródłem zmienności wykorzystywanej przez człowieka w programach selekcyjnych, co w przypadku plantacji nasiennych ma znaczenie, gdy potomstwo plantacji poddawane jest kolejnym cyklom selekcji. W związku z tym umiejętne wykorzystywanie zmienności genetycznej gatunku i jej stały monitoring są ważną częścią działań na każdym etapie prac selekcyjno-hodowlanych.

W różnych krajach panują odmienne poglądy co do liczby klonów, które powinny znajdować się na plantacjach nasiennych [Ivetić i inni 2016]. Na przykład, dla Finlandii Koski [2000] postuluje liczebność nie mniejszą niż 40 klonów. Z kolei Lindgren i Prescher [2005] zalecają dla Szwecji liczbę tylko 20 klonów. Należy jednak mieć na uwadze, że w ramach programów hodowli selekcyjnej i zachowania zasobów genowych gatunku postuluje się zachowanie odpowiedniej proporcji pomiędzy liczbą klonów w ramach plantacji a liczbą plantacji wykorzystywanych w programie, przy zachowaniu zasady, że mała liczba klonów w ramach plantacji powinna być rekompensowana przez odpowiednio dużą liczbę plantacji. W naszym kraju, według obowiązujących zasad, na plantacjach nasiennych powinny być obecne szczepy z co najmniej 40 drzew matecznych

(40 klonów) dla sosny zwyczajnej i świerka pospolitego oraz 30 drzew w przypadku pozostałych gatunków [Kowalewski i in. 2013].

Jak zaznaczono wcześniej, ograniczenia dotyczące liczby klonów mogą się wiązać z utratą zmienności genetycznej na plantacjach nasiennych. Jednak przeprowadzone do tej pory badania z wykorzystaniem markerów genetycznych wskazują, że w większości przypadków na plantacjach nasiennych nie ma radykalnego spadku poziomu zmienności genetycznej w porównaniu z drzewostanami naturalnymi i gospodarczymi. Godt i in. [2001] na podstawie badań izoenzymowych stwierdzili, że na plantacjach świerka białego i sosny Banksa nie obserwuje się spadku heterozygotyczności oczekiwanej, a większość najbardziej pospolitych alleli występuje z podobnymi częstościami jak w populacjach naturalnych. Jednocześnie autorzy ci zauważają, że selekcja oparta na wyborze drzew matecznych, które wchodzi w skład plantacji nasiennych, może prowadzić do utraty rzadkich alleli, czyli tych o niskich częstościach występowania. Podobne obserwacje dotyczą także wielu innych gatunków drzew. W niektórych sytuacjach może się zdarzyć, że – mimo ograniczonej liczby osobników – plantacja nasien na będzie miała wyższy poziom zmienności genetycznej niż poszczególne populacje naturalne. Dotyczy to przypadków, gdy drzewa mateczne wybierane są z różnych subpopulacji w ramach rozległego zasięgu gatunku, a populacje charakteryzują się stosunkowo dużym zróżnicowaniem genetycznym. W wyniku tego na plantację nasienną trafiają osobniki, które w naturze nie mogłyby się krzyżować ze względu na znaczny stopień izolacji. Takie postępowanie może być niezwykle pożądane i efektywne w przypadku programów selekcyjnych drzew owadopylnych, takich jak jarzab brekinia lub czereśnia ptasia, które w naturze wykazują znaczny stopień zróżnicowania genetycznego i mają ograniczenia w szerokim rozprzestrzenianiu się pyłku [Jankowska-Wróblewska i in. 2016].

Do tej pory w Polsce przeprowadzono niewiele badań, których celem było porównanie poziomu zmienności genetycznej plantacji nasiennych z innymi drzewostanami tego samego gatunku. Burczyk i inni [2000], wykorzystując markery izoenzymowe, stwierdzili, że badana przez nich plantacja nasien sosny zwyczajnej z Gniewkowa prezentuje wysoki poziom zmienności genetycznej, porównywalny do drzewostanów naturalnych. Tym niemniej stwierdzono w niej ubytek niektórych rzadko występujących alleli. Podobne wyniki uzyskali ostatnio Lewandowski i inni [niepublikowane], porównując poziom zmienności genetycznej wyłączonego drzewostanu nasiennego i plantacji nasiennej sosny zwyczajnej z Nadleśnictwa Syców oraz upraw pochodnych z nich zakładanych, przy wykorzystaniu markerów mikrosatelitarnych. Wszystkie badane obiekty miały wysoki poziom zmienności genetycznej. Jedynie plantacja nasien na miała średnio mniej alleli w *locus*, co bezpośrednio wiąże się z mniejszą liczbą osobników na plantacji w porównaniu z pozostałymi drzewostanami.

Na wielu plantacjach nasiennych dużym problemem jest obecność innych, niż zaplanowano, osobników oraz błędne przypisanie szczepów do poszczególnych klonów. Harju i Muona [1989] wykazały, że liczba szczepów mających genotypy inne od zakładanych, na badanych w Finlandii plantacjach nasiennych sosny zwyczajnej, wyniosła około 10%. Z kolei Wheeler i Jech [1992] znaleźli wśród 20 szczepów jednego klonu amerykańskiego gatunku sosny *Pinus taeda* obecność aż czterech różnych genotypów,

co jednoznacznie świadczy o zamieszaniu szczepów. Sumaryczny udział szczepów błędnie przypisanych do konkretnych klonów na badanej przez nich plantacji nasiennej wyniósł, podobnie jak na fińskiej plantacji sosny zwyczajnej, około 10%. Z kolei na plantacji nasiennej daglezi zielonej liczba błędnie oznaczonych szczepów wyniosła od 2% do 13%, a w jednym z badanych bloków prawie aż 25% klonów miało błędnie przypisane szczepy [Adams 1983]. Również w Polsce odnotowano zamieszanie materiału na plantacjach nasiennych. Burczyk i inni [2000] stwierdzili, że na plantacji nasiennej sosny zwyczajnej w Gniewkowie liczba błędnie przypisanych szczepów może dochodzić nawet do 25%. W ostatnim czasie Leśny Bank Genów Kostrzyca rozpoczął kompleksowe badania z wykorzystaniem markerów mikrosatelitarnego DNA, mające na celu weryfikację poprawności klonowych plantacji nasiennych założonych przez Lasy Państwowe. Do tej pory sprawdzono osiem plantacji nasiennych sosny zwyczajnej, założonych w różnych latach. Wstępnie wydaje się, że plantacje młodsze były zakładane staranniej. Najwięcej nieprawidłowo oznaczonych szczepów, bo prawie 20%, stwierdzono na założonej w 1996 roku plantacji nasiennej na terenie RDLP Wrocław, natomiast najmniejsze zamieszanie (3%) obserwowano na dziewięcioletniej plantacji w Nadleśnictwie Józefów, RDLP Lublin. Zamieszanie najczęściej dotyczyło nieprawidłowego oznaczenia przynależności szczepu do danego klonu, chociaż nierzadko trafiały się drzewa z genotypami obcymi dla plantacji (od 0,2% aż do 16%).

Zamieszanie szczepów może powstać przy zbiorze zrazów, szczepieniu oraz sadzeniu szczepów na plantacji. Obce osobniki na plantacjach nasiennych bardzo często są odrostami z podkładek. Co prawda takie drzewa mogą zwiększać poziom zmienności genetycznej plantacji nasiennej, jednak ich obecność jako osobników niewyselekcjonowanych jest niekorzystna, ponieważ zarówno ich pyłek, jak i nasiona mogą nieść ze sobą cechy niepożądane lub generalnie wpływać na obniżenie cech wzrostowych potomstwa plantacji. Ponadto mogą one powodować zawyżenie oceny zanieczyszczenia plantacji pyłkiem pochodzącym spoza plantacji. Natomiast zamieszanie szczepów w obrębie plantacji nie wpływa zasadniczo na jakość genetyczną wytwarzanych nasion. Jednak weryfikacja przynależności poszczególnych szczepów do odpowiednich klonów jest niezbędna przy prowadzeniu na danej plantacji kontrolowanych krzyżowań.

2. Przebieg procesów reprodukcyjnych

Chociaż dobór odpowiednich klonów jest podstawą wysokiej jakości potomstwa uzyskiwanego z plantacji nasiennych, o efektywności plantacji decyduje również przebieg procesów reprodukcyjnych, prowadzących do powstania potomstwa generatywnego plantacji.

Przegląd literatury dotyczącej badań przebiegu procesów reprodukcyjnych w populacjach drzew leśnych (w szczególności na plantacjach nasiennych) wskazuje na trzy główne obszary badawcze: (I) analizy poziomu samozapłodnienia, (II) ocena zanieczyszczenia plantacji obcym pyłkiem oraz (III) badania zmienności sukcesu reprodukcyjnego klonów.

2.1. Samozapłodnienie

Ponieważ większość drzew leśnych to gatunki jednopienne, zgromadzenie na niewielkim obszarze (jaki zajmują poszczególne plantacje nasienne) wielu kopii wegetatywnych poszczególnych genotypów (szczepy klonów) rodziło obawy, że poziom samozapłodnienia na klonowych plantacjach nasiennych może być wyższy niż w populacjach naturalnych. W istocie zapylenie między różnymi szczepami należącymi do tego samego klonu z punktu genetyki traktowane powinno być jako samozapłodnienie. Problem ten można minimalizować przez stosowanie specyficznych układów rozmieszczenia szczepów, maksymalizujących odległość między osobnikami należącymi do tego samego klonu [Giertych 1965].

Podwyższony poziom samozapłodnienia stanowi problem, bowiem u gatunków kojarzących się w przeważającej mierze w drodze zapylenia krzyżowego (jak większość drzew leśnych) samozapłodnienie prowadzi do zjawiska depresji wsobnej. Depresja wsobna przejawia się m.in. obniżeniem żywotności potomstwa oraz pogorszeniem cech ilościowych i jakościowych, ważnych z punktu widzenia hodowli lasu. Uważa się, że jej główną przyczyną jest homozygotyzacja czynników letalnych i subletalnych, wynikająca z kojarzenia się osobników spokrewnionych, czyli kojarzenia wsobnego. Skrajną formą kojarzenia wsobnego jest właśnie samozapłodnienie [Sorensen i Miles 1982; Williams i Savolainen 1996]. Osobniki potomne, powstałe w drodze samozapłodnienia w warunkach naturalnych, powinny być eliminowane doborem naturalnym już w fazie młodocianej. Jednak zabiegi pielęgnacyjne prowadzone w szkółkach leśnych stwarzają optymalne warunki wzrostu i mogą powodować, że selekcja eliminująca osobniki wsobne nie będzie tak efektywna, jak w warunkach naturalnych. Wówczas wśród sadzonek trafiających na uprawy leśne może się znaleźć pewien procent osobników powstałych w drodze samozapłodnienia (które w typowych warunkach leśnych podlegałyby selekcji), powodując wypadki i straty ekonomiczne.

Samozapłodnienie było jedną z pierwszych charakterystyk systemu kojarzenia badanych na plantacjach nasiennych. Kluczowe prace dotyczące metodyki oceny samozapłodnienia u roślin pojawiły się już w latach 80. XX wieku [Ritland i Jain 1981; Shaw i Allard 1982; Shaw i in. 1981; Neale i Adams 1985; Ritland i El-Kassaby 1985]. Od tego czasu opublikowano wiele wyników badań dotyczących samozapłodnienia u drzew, z których znaczna część dotyczyła właśnie plantacji nasiennych.

Obszerny przegląd zmienności poziomu samozapłodnienia u drzew leśnych, oceniano za pomocą markerów izoenzymowych, przedstawili Burczyk [1989] oraz O'Connell [2003]. Ze względu na metodykę oceny systemu kojarzenia najczęściej zamiast poziomu samozapłodnienia (s) podaje się poziom zapłodnienia krzyżowego (t), a o samozapłodnieniu można wnioskować z relacji $s = 1 - t$. W przypadku drzew iglastych poziom samozapłodnienia oceniany na podstawie kiełkujących (żywotnych) nasion wahał się wokół wartości 0,10%, jednak dla wielu gatunków obserwowano wartości poniżej 5%.

U drzew liściastych również notowano niskie wartości samozapłodnienia. U buka poziom ten wahał się w granicach 0,01–0,07% [Merzeau i in. 1994; Oddou-Muratorio i in. 2010; Piotti i in. 2012; Bontemps i in. 2013; Rossi i in. 1996]. Natomiast u dębów rzadko notowano samozapłodnienie powyżej 2% [Streiff i in. 1999; Nakanishi i in. 2005; Vranckx i in. 2014 a, b; Gerber i in. 2014]. Niektórzy badacze wykazali całkowity brak

samozapłodnienia u różnych gatunków dębów, zarówno w stadium nasion [Bacilieri i in. 1996; Buiteveld i in. 2001], jak i siewek [Dow i Ashley 1996; Valbuena-Carabaña i in. 2005; Chybicki i Burczyk 2010]. Samozapłodnienie nie stanowi problemu u gatunków, które – mimo jednopienności – dysponują mechanizmami zapobiegania samozapłodnieniu, jak czeremcha ptasia i inne gatunki z rodziny *Roseaceae*.

Poziom samozapłodnienia, jako typowa cecha o charakterze ilościowym, podlega naturalnej zmienności wynikającej z uwarunkowań środowiskowych i genetycznych [Burczyk 1998]. Należy jednak zwrócić uwagę, że stwierdzone dotychczas różnice między populacjami w ramach gatunku lub między latami w ramach tej samej populacji były zazwyczaj niewielkie i wynikały głównie ze zmiennych warunków środowiskowych w czasie procesu pylenia [Burczyk 1998]. Interesującym zjawiskiem jest to, że poziom samozapłodnienia był niejednokrotnie niższy na plantacjach nasiennych niż w populacjach naturalnych [Prat i Burczyk 1998; O'Connell 2003], co może być związane z niewielkimi rozmiarami szczepów i ich specyficznym rozmieszczeniem na plantacji nasiennej, umożliwiającym wzajemne krzyżowanie między szczepami należącymi do różnych klonów.

Szczególną uwagę należy zwrócić na zmienność samozapłodnienia między różnymi osobnikami, traktowanymi jako osobniki mateczne. Chybicki i Burczyk [2013] wskazali na dużą zmienność poziomu samozapłodnienia między poszczególnymi drzewami dębów szypułkowego i bezszypułkowego, wahającą się w zakresie 0–0,074%. Znaczną zmienność samozapłodnienia między drzewami matecznymi obserwowano wśród gatunków iglastych [Burczyk 1989], jednak trzeba mieć na uwadze, że dokładność oceny samozapłodnienia dla poszczególnych drzew zależy od liczebności badanych nasion oraz rodzaju wykorzystywanych markerów genetycznych. Duże zróżnicowanie poziomu samozapłodnienia między klonami oraz wybiórczy zbiór nasion na plantacji nasiennej (zbiór nasion z wybranych klonów) może zatem spowodować, że udział potomstwa powstałego w wyniku samozapłodnienia będzie znaczny.

Poziom samozapłodnienia może się zmieniać również w obrębie korony drzewa. U większości drzew iglastych kwiatostany żeńskie zlokalizowane są głównie w górnych częściach korony natomiast kwiatostany męskie – w partiach dolnych. Powoduje to naturalne rozgraniczenie funkcji męskiej i żeńskiej osobnika, minimalizujące prawdopodobieństwo samozapylenia. Jednak kwiatostany żeńskie występujące w niższych częściach korony, są w większym stopniu narażone na samozapylenie niż kwiatostany górnych partii korony. Burczyk i in. [1991] wykazali, że poziom samozapłodnienia u modrzewia europejskiego *Larix decidua* był trzykrotnie wyższy w dolnych częściach korony w porównaniu z górnymi partiami drzewa. Podobne wyniki zaobserwowano na ponaddwudziestoletniej plantacji nasiennej sosny zwyczajnej w Nadleśnictwie Gniewkowo [Burczyk, niepublikowane].

2.2. Zanieczyszczenie plantacji nasiennych obcym pyłkiem

Dopływ genów do plantacji nasiennej za pośrednictwem pyłku pochodzącego od niewyselekcjonowanych osobników, występujących w otaczających populacjach, traktowany jest jako zanieczyszczenie. Zanieczyszczenie obcym pyłkiem może prowadzić do wzrostu poziomu zmienności genetycznej nasion wytwarzanych na plantacjach, jednak

negatywnie wpływa na ich wartość genetyczną. Jak pokazują liczne przeprowadzone do tej pory badania, zanieczyszczenie obcym pyłkiem może być bardzo zróżnicowane pomiędzy plantacjami nasiennymi i wynosi od 0% [Burczyk i Prat 1997] do 90% [Adams i Birkes 1989]. Należy jednak pamiętać, że nawet przy zanieczyszczeniu 100%, połowa wszystkich genów obecnych na plantacji i tak zostanie przekazana potomstwu (geny pochodzące od osobników matecznych), jeżeli nasiona zbierane będą ze wszystkich klonów obecnych na plantacji.

Badania zanieczyszczenia plantacji nasiennych obcym pyłkiem prowadzone są głównie przy użyciu markerów genetycznych. Badanie takie jest ułatwione w przypadku klonalnych plantacji nasiennych. Poziom zanieczyszczenia ocenia się poprzez porównanie genotypów osobników potomnych, pozyskanych z osobników matecznych, z genotypami wszystkich klonów obecnych na plantacji nasiennej. Stwierdzenie u osobnika potomnego genotypu, który nie mógł powstać przy udziale jakiegokolwiek klonu obecnego na plantacji, stanowi potwierdzenie zjawiska kontaminacji obcym pyłkiem. Proporcja takich osobników potomnych stanowi tzw. minimalny poziom zanieczyszczenia obcym pyłkiem. Tym niemniej, ponieważ część przybywającego pyłku może mieć genotyp zgodny z klonami obecnymi na plantacji, stosuje się zaawansowane metody matematyczne w celu oszacowania rzeczywistego poziomu zanieczyszczenia [Burczyk 1998]. Chociaż większość badań dotyczących poziomu zanieczyszczenia obcym pyłkiem przeprowadzono na klonalnych plantacjach nasiennych, wyniki te są w dużym stopniu miarodajne również dla plantacyjnych upraw nasiennych.

Na poziom zanieczyszczenia plantacji nasiennej obcym pyłkiem wpływa wiele czynników. Najważniejszymi z nich są: izolacja od otaczających drzewostanów, wielkość plantacji, intensywność produkcji pyłku w obrębie plantacji oraz stopień synchronizacji kwitnienia plantacji z otaczającymi ją drzewostanami. Odpowiednia izolacja uważana jest za jeden z podstawowych warunków uwzględnianych przy zakładaniu plantacji nasiennych [Sarvas 1970]. Jest to szczególnie istotne w przypadku gatunków wiatropylnych, których pyłek przystosowany jest do efektywnego przenoszenia się na dalekie odległości. W związku z tym należy oczekiwać znacznego zanieczyszczenia plantacji nasiennych obcym pyłkiem, gdy w sąsiedztwie plantacji rosną drzewostany tego samego gatunku. Badania, przeprowadzone na kilku plantacjach nasiennych sosny zwyczajnej w Szwecji, wskazują, że izolacja rzędu kilkuset metrów stanowi zwykle niewielką ochronę przed zanieczyszczeniem [Yazdani i Lindgren 1991; Wang i in. 1991].

Wielkość zanieczyszczenia może być różna w poszczególnych latach. Na przykład Fast i in. [1986] stwierdzili bardzo duże różnice zanieczyszczenia badanej przez nich plantacji daglezi w dwóch latach obserwacji, odpowiednio 44% i 89%. Z kolei Pakkanen i in. [2000] obserwowali wysokie (69–71%), ale stabilne na przestrzeni trzech lat zanieczyszczenie plantacji nasiennej świerka pospolitego w Finlandii. Burczyk [1992], badając plantację nasiennej sosny zwyczajnej w Gniewkowie, która oddalona była od najbliższego drzewostanu sosnowego o około 1 km, stwierdził, w okresie trzech lat obserwacji, zanieczyszczenia wahające się w zakresie od 13% do 18%, był to jednak tzw. minimalny poziom zanieczyszczenia. Późniejsze szczegółowe analizy przeprowadzone na tej samej plantacji wykazały zanieczyszczenie obcym pyłkiem na poziomie 49,2% [Burczyk niepublikowane].

Brak zanieczyszczenia obcym pyłkiem obserwowano na dobrze izolowanej plantacji nasiennej daglezi, zlokalizowanej poza naturalnym zasięgiem tego gatunku w południowej Francji [Burczyk i Prat 1997]. Zanieczyszczenia nie odnotowano również na plantacji nasiennej w Finlandii, składającej się z klonów modrzewia syberyjskiego i europejskiego, otoczonej naturalnym drzewostanem świerkowym, gdzie w promieniu 5 km usunięto wszystkie osobniki obu gatunków stanowiące potencjalne źródło obcego pyłku [Burczyk i in. 1997]. Należy więc zakładać, że tworzenie plantacji nasiennych poza naturalnym zasięgiem gatunku lub na obszarach, gdzie dany gatunek występuje sporadycznie, może istotnie zniwelować zanieczyszczenie obcym pyłkiem [Koski 1987; Lowe i Wheeler 1993].

Ogólnie uważa się, że udział obcego pyłku w tworzeniu nasion na plantacji nasiennej można zredukować, o ile ilość pyłku produkowana przez plantację będzie stosunkowo duża w porównaniu z otaczającymi ją drzewostanami [Lowe i Wheeler 1993]. Można więc oczekiwać, że dopływ obcych genów do plantacji będzie mały w miarę wzrostu jej rozmiarów. Szczegółowe badania zanieczyszczenia obcym pyłkiem, przeprowadzone na plantacji nasiennej daglezi w Oregonie, sugerują, że faktycznie większe plantacje są w stanie wytworzyć gęstszą chmurę pyłkową, mogącą zredukować udział obcego pyłku [Ellstrand 1992]. Z kolei badania przeprowadzone na plantacji nasiennej sosny zwyczajnej w Szwecji wykazały, że zanieczyszczenie obcym pyłkiem na skraju tej plantacji było nieznacznie większe niż w jej centrum, prawdopodobnie na skutek mniejszej ilości własnego pyłku występującego na obrzeżach plantacji [Yazdani i Lindgren 1991]. Jednak, jak również pokazują badania, porównanie rozmiarów badanych plantacji nasiennych oraz stopnia zanieczyszczenia obcym pyłkiem nie pozwala na szersze uogólnienia.

Czynnikiem komplikującym badanie związku pomiędzy wielkością plantacji nasiennych a poziomem ich zanieczyszczenia jest sezonowa zmienność intensywności kwitnienia plantacji [Burczyk 1998]. Jak się uważa, z powodu niedostatecznej produkcji własnego pyłku młode plantacje nasienne wykazują zwykle wyższy poziom zanieczyszczenia obcym pyłkiem [Lowe i Wheeler 1993; Kaya i in. 2006]. Na przykład z tego powodu na jedenastoletniej plantacji nasiennej *Pinus brutia* w Turcji tylko 9% potomstwa powstało w wyniku zapylenia przez osobniki rosnące na plantacji, w związku z czym spodziewany zysk genetyczny został obniżony do poziomu 57% teoretycznie zakładanej wartości [Kaya i in. 2006]. Natomiast starsze plantacje potencjalnie wytwarzają więcej pyłku, w związku z tym należy tam oczekiwać redukcji zanieczyszczenia obcym pyłkiem. Jednak poziom zanieczyszczenia w tych obiektach może być ciągle wysoki. Jak stwierdzili Torimaru i in. [2009], pomimo że badana przez nich siedemnastoletnia plantacja sosny zwyczajnej w Szwecji wytwarzała optymalną ilość pyłku (około 20 kg/ha), to i tak poziom zanieczyszczenia tej plantacji obcym pyłkiem wyniósł ponad 50%.

Jednym z ważniejszych czynników mających bezpośredni wpływ na poziom zanieczyszczenia plantacji jest zgodność fenologii kwitnienia klonów z kwitnieniem otaczających ją drzewostanów. Jeżeli plantacja zlokalizowana jest w obszarze, z którego pochodzą klony, to – z uwagi na dużą zgodność fenologii kwitnienia – należy się spodziewać, że udział obcego pyłku w tworzeniu nasion może być wysoki [Lowe i Wheeler 1993]. Jak wykazały Harju i Muona [1989], fenologia kwitnienia miała istotny wpływ

na zróżnicowanie poziomu zanieczyszczenia obserwowanego u różnych klonów na badanej przez nie plantacji nasiennej sosny zwyczajnej w Finlandii. Również w Finlandii zaobserwowano, że zanieczyszczenie obcym pyłkiem poszczególnych klonów małało wraz z późniejszym rozpoczęciem kwitnienia żeńskiego [Harju 1991]. Podobny trend odnotowano na plantacji nasiennej daglezi, gdzie klony o wczesnej fenologii rozwoju kwiatostanów żeńskich wykazywały znacznie wyższy poziom zanieczyszczenia (55,5%) niż klony o fenologii późniejszej (28,3%) [Slavov i in. 2005]. Również na plantacji nasiennej sosny zwyczajnej w Nadleśnictwie Gniewkowo potomstwo klonów o wczesnej fenologii prezentowało znacznie wyższy poziom zanieczyszczenia obcym pyłkiem [ok. 60%] niż klony o późnej fenologii (ok. 25%) [Burczyk, niepublikowane].

Kwitnienie plantacji nasiennych można starać się opóźnić – w stosunku do otaczających je drzewostanów – przez zraszanie plantacji zimną wodą [Silen i Keane 1969]. Zabieg ten prowadzi również do zniwelowania różnic fenologicznych pomiędzy klonami rosnącymi na plantacji nasiennej, co wpływa korzystnie na wyrównanie ich sukcesu reprodukcyjnego [Fashler i El-Kassaby 1987]. Jednocześnie może to prowadzić do obniżenia zanieczyszczenia obcym pyłkiem i zmniejszać samozapylenie [El-Kassaby i Davidson 1990]. Przez opóźnienie kwitnienia w stosunku do otaczających populacji oraz wyrównanie okresu kwitnienia w obrębie plantacji udało się zmniejszyć zanieczyszczenie obcym pyłkiem plantacji nasiennej daglezi z 24% do 9% [El-Kassaby i Ritland 1986]. Do niedawna takich rozwiązań nie stosowano w naszym kraju. Dopiero w roku 2017, w Nadleśnictwie Wejherowo, została założona pierwsza eksperymentalna plantacja 1,5 generacji modrzewia polskiego, gdzie zainstalowano deszczownię, które będzie można w przyszłości wykorzystywać do regulacji okresu kwitnienia plantacji i do ochrony wcześniej kwitnących modrzewi przed przymrozkami [Lewandowski, niepublikowane].

Jedną z metod stosowanych w celu zwiększenia urodzaju nasion na plantacjach jest tzw. dodatkowe masowe zapylenie (SMP od ang.: *Supplemental Mass Pollination*), polegające na sztucznym rozsiewaniu wcześniej zebranego pyłku na nieosłonięte kwiatostany żeńskie [Bridgewater i Trew, 1982]. Metoda ta pozwala jednocześnie zrównoważyć męski sukces reprodukcyjny klonów, wprowadzić na plantacje dodatkowe, korzystne genotypy oraz zredukować poziom samozapylenia i zanieczyszczenia obcym pyłkiem [Webber 2000]. Przy czym, jak podają Eriksson i in. [1994], metoda ta jest bardziej skuteczna, ale niestety również bardziej pracochłonna, gdy pyłek rozsiewa się bezpośrednio na pojedyncze kwiatostany żeńskie. Należy także pamiętać, że skuteczność metody jest uwarunkowana zastosowaniem jej w odpowiednim momencie rozwoju kwiatostanów żeńskich [Lindgren i Yazdani 1988]. Antola i Pulkkinen [1991] stwierdzili, że dzięki dodatkowemu, masowemu zapyleniu, przeprowadzonemu na plantacji nasiennej sosny zwyczajnej, udało się zredukować zanieczyszczenie obcym pyłkiem z 50% do 31%.

Najlepszym rozwiązaniem problemu związanego z zanieczyszczeniem plantacji nasiennych obcym pyłkiem jest kontrolowane krzyżowanie z wykorzystaniem izolatorów zakładanych na kwiatostany żeńskie przed rozpoczęciem kwitnienia. Jednak, ze względu na dużą pracochłonność i wysokie koszty, metoda ta jest wykorzystywana w celach komercyjnych jedynie w ograniczonym stopniu. Może natomiast mieć

zastosowanie w pracach selekcyjnych i ochroniarskich. Ponieważ w naturze bardzo trudno znaleźć miejsce wolne od niepożądanego pyłku, ostatnio próbuje się ograniczać dopływ obcych genów do plantacji nasiennych przez zakładanie ich w tunelach foliowych. W takich warunkach faktycznie nie obserwuje się dopływu do plantacji obcego pyłku, lecz często pojawia się wiele innych problemów związanych z ograniczeniem swobodnego przemieszczania się pyłku pod osłonami. Na plantacji nasiennej sosny zwyczajnej, prowadzonej w tunelu foliowym w Szwecji, Torimaru i in. [2013] stwierdzili wzrost samozapłodnienia nawet do 14% i zmniejszenie poziomu zmienności genetycznej produkowanych nasion. Jednak przez zastosowanie dodatkowego, sztucznego zapylenia udało się autorom tej pracy zredukować poziom wsobności o połowę i zwiększyć z sześciu do jedenastu efektywną wielkość populacji osobników ojcowskich dla puli produkowanych nasion.

2.3. Zmienność sukcesu reprodukcyjnego

Jednym z podstawowych, stosunkowo słabo zbadanych, problemów dotyczących efektywności plantacji nasiennych jest nierównomierny udział poszczególnych osobników rodzicielskich w produkcji nasion. Jak wspomniano wcześniej, o wartości plantacji nasiennej decyduje zestaw osobników rodzicielskich (genotypów) tworzących daną plantację nasienną. Zakłada się przy tym, że plantacja nasienna osiąga maksymalny zysk genetyczny, gdy wszystkie osobniki biorą równomierny udział w produkcji nasion pozyskiwanych na plantacjach. W rzeczywistości udział poszczególnych osobników rodzicielskich jest, z reguły, bardzo zróżnicowany [Burczyk 1998]. Potwierdzenie znajduje tu zasada Pareta, która – w odniesieniu do plantacji nasiennych – oznacza, że 20% osobników rodzicielskich odpowiada za produkcję 80% osobników potomnych [Funda i El-Kassaby 2012].

Istnieje wiele metod pozwalających na oszacowanie zróżnicowania sukcesu reprodukcyjnego osobników rodzicielskich (np. klonów). Najprostsze metody polegają na ocenie intensywności obradzania nasion (szyszek) lub intensywności kwitnienia żeńskiego i męskiego [Burczyk i Chałupka 1997]. Jednak zróżnicowanie intensywności kwitnienia nie zawsze znajduje odzwierciedlenie w zmienności sukcesu reprodukcyjnego. O ile ocena zróżnicowania produkcji nasion może dobrze odzwierciedlać zmienność żeńskiego sukcesu reprodukcyjnego, o tyle trudniej wnioskować o męskim sukcesie reprodukcyjnym na podstawie intensywności kwitnienia. Najbardziej miarodajną metodą badawczą wydaje się w tym względzie analiza rodzicielstwa, wykorzystująca markery genetyczne.

Analizy ojcostwa, prowadzone na licznych plantacjach nasiennych, wykazały, że udział klonów jako osobników ojcowskich był bardzo zróżnicowany [Burczyk i Prat 1997; Slavov i in. 2005; Hansen 2008]. Badania rodzicielstwa wykazały również, że męski udział klonów w produkcji nasion był zazwyczaj pozytywnie skorelowany z liczbą szczepów poszczególnych klonów [Slavov i in. 2005; Trojankiewicz 2006; Hansen 2008]. Warto w tym miejscu zwrócić uwagę, że w przypadku plantacji klonalnych poszczególne klony powinny być równomiernie reprezentowane przez porównywalne liczby szczepów. Duże dysproporcje liczby szczepów poszczególnych klonów powodują, że efektywna liczba klonów na plantacji nasiennej może być niższa niż ogólna liczba

klonów, co może prowadzić do obniżenia zmienności genetycznej potomstwa plantacji w porównaniu z wartościami oczekiwanymi przy równomiernej reprezentacji klonów. Trojankiewicz i Burczyk [2005] przeprowadzili badania efektywnej liczby klonów wśród 45 plantacji nasiennych sosny zwyczajnej w Polsce. Średnia liczba klonów na plantacji wyniosła 62,2, jednak efektywna liczba klonów – jedynie 43,7, co stanowiło 70% rzeczywistej liczby klonów. Autorzy zwrócili uwagę, że młodsze plantacje zakładane były przy udziale większej liczby klonów i zrównoważonej liczbie szczepów.

Poza wspomnianą zmienną liczbą szczepów poszczególnych klonów o zmienności sukcesu reprodukcyjnego poszczególnych osobników decyduje również zmienność intensywności kwitnienia i obradzania nasion oraz zmienność fenologii kwitnienia [Burczyk 1998; Funda i El-Kassaby 2012]. Duże różnice fenologiczne mogą spowodować, że niektóre klony nie będą miały możliwości wzajemnego kojarzenia się [Slavov i in. 2005]. Interesujące jest to, że klony charakteryzujące się późniejszą fenologią kwitnienia wykazywały zazwyczaj nie tylko niższy poziom zanieczyszczenia obcym pyłkiem, ale również wyższy poziom efektywnej liczby osobników ojcowskich biorących udział w ich zapyłaniu [Burczyk i Prat 1997; Slavov i in. 2005].

Analizy rodzicielstwa mogą być również wykorzystane w badaniach dotyczących testowania potomstwa plantacji nasiennych. Tworzenie plantacji nasiennych kolejnych generacji zakłada przetestowanie osobników rodzicielskich plantacji pod kątem jakości (głównie cech wzrostowych) osobników potomnych. Tradycyjnie metody te polegają na testowaniu potomstwa pochodzącego z wolnego zapylenia lub z kontrolowanego zapylenia między poszczególnymi klonami. Zabiegi te są pracochłonne i wymagają szczególnej dokładności w prowadzeniu doświadczeń polowych, by uniknąć ewentualnych błędów oceny wynikających z zamieszania materiału genetycznego. Analizy rodzicielstwa mogą być wykorzystane w badaniach osobników potomnych na uprawach pochodnych, pochodzących z plantacji nasiennych, w celu identyfikacji osobników rodzicielskich poszczególnych siewek i oceny wartości hodowlanej klonów. Ograniczenie analiz do potomstwa charakteryzującego się ponadprzeciętnymi walorami wzrostowymi pozwala na łatwą identyfikację najlepszych rodziców (klonów) lub wręcz par rodzicielskich i na tej podstawie tworzenie plantacji wyższych generacji na bazie najlepszych klonów. Koncepcja ta, opracowana przez El-Kassaby'ego i Lstiburka [2009], zwana metodą *Breeding Without Breedin'* (BWB, czyli hodowla bez hodowli) pozwala na skrócenie czasu prowadzenia doświadczeń polowych oraz znaczne oszczędności kosztów testowania potomstwa.

Podsumowanie

- Zmienność genetyczna plantacji nasiennych jest porównywalna ze zmiennością genetyczną populacji naturalnych. Ograniczenie zmienności genetycznej plantacji związane jest z liczbą genotypów wykorzystywanych w procesie zakładania plantacji, jednak zalecana obecnie minimalna liczba klonów (40) nie wpływa istotnie na zawężenie puli genowej potomstwa produkowanego przez plantacje nasienne.
- O jakości fenotypowej populacji potomnych pozyskiwanych z plantacji nasiennych decyduje dobór osobników tworzących plantację nasienną oraz przebieg procesów reprodukcyjnych prowadzących do powstania populacji potomnej.

- Samozapłodnienie w przypadku większości drzew leśnych jest niewielkie i w nieznacznym stopniu wpływa negatywnie na jakość nasion pozyskiwanych na plantacjach.
- Zanieczyszczenie plantacji nasiennych obcym pyłkiem dotyczyć może nawet 50% nasion plantacji i jest jednym z najpoważniejszych problemów ograniczających osiągnięcie potencjalnego zysku genetycznego na plantacjach nasiennych.
- Udział klonów w produkcji potomstwa jest z reguły bardzo nierównomierny; zazwyczaj około 20% klonów odpowiada za produkcję około 80% osobników potomnych.
- W celu maksymalizacji zysku genetycznego oraz zachowania możliwie wysokiego poziomu zmienności genetycznej potomstwa plantacji nasiennych należy dążyć do równomiernej reprezentacji nasion pozyskiwanych z poszczególnych klonów.

Literatura

- Adams W.T. 1983. *Application of isozymes in tree breeding*. [W:] Tanksley S.D., Orton T.J. (Eds) *Isozymes in Plant Genetics and Breeding*, Part A. Amsterdam. Elsevier Science Publishers.
- Adams W.T., Brikes D.S. 1989. *Mating patterns in seed orchards*. Proceedings of the 20th Southern Forest Tree Improvement Conference, Charleston, South Carolina.
- Antola J., Pulkkinen P. 1991. *Efficiency of supplemental mass-pollination in a Scots pine (Pinus sylvestris L.) seed orchard for northern Finland*. [W:] Lindgren D. (Ed.). *Pollen Contamination in Seed Orchards*. Proceedings of the Meeting of the Nordic Group for Tree Breeding 1991, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå.
- Bridgewater F.E., Trew I.F. 1982. *Supplemental mass pollination*. [W:] Franklin E.C. (ed.) *Pollen management handbook*. USDA Agric. Handbook 587.
- Burczyk J. 1992. *System kojarzenia a fenologia i intensywność kwitnienia na wybranej plantacji nasiennej sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.)*. Rozprawa doktorska. ID PAN Kórnik.
- Burczyk J. 1998. *Systemy kojarzenia drzew iglastych*. Wydawnictwo Uczelniane WSP w Bydgoszczy.
- Burczyk J., Działuk A., Lewandowski A. 2000. *Zmienność genetyczna sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) na klonowej plantacji nasiennej w Gniewkowie*. „Sylwan” 144: 65–74.
- Burczyk J., Nikkanen T., Lewandowski A. 1997. *Evidence of an unbalanced mating pattern in a seed orchard composed of two larch species*. „Silvae Genetica” 26: 176–181.
- Burczyk J., Prat D. 1997. *Male reproductive success in Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco: the effect of spatial structure and flowering characteristics*. „Heredity” 79: 638–648.
- Danusevicius D., Lindgren D. 2002. *Two-stage selection strategies in tree breeding considering gain, diversity, time and cost*. „Forest Genetics” 9: 147–159.
- El-Kassaby Y.A., Davidson R. 1990. *Impact of crop management-practices on the seed crop genetic quality in a Douglas-fir seed orchard*. „Silvae Genetica” 39: 230–237.
- El-Kassaby Y.A., Ritland K. 1986. *The relation of outcrossing and contamination to reproductive phenology and supplemental mass pollination in a Douglas-fir seed orchard*. „Silvae Genetica” 35: 240–244.
- Eriksson U.R., Yazdani R., Wilhelmsson L., Danell O. 1994. *Success rate of supplemental mass pollination in a seed orchard of Pinus sylvestris L.* „Scandinavian Journal of Forest Research” 9: 60–67.
- Fashler A.K., El-Kassaby Y.A. 1987. *The effect of water spray cooling treatment on reproductive phenology in a Douglas-fir seed orchard*. „Silvae Genetica”, 36(5–6): 245–249.
- Fast W., Dancik B.P., Bower R.C. 1986. *Mating system and pollen contamination in a Douglas-fir clone bank*. „Canadian Journal of Forest Research” 16: 1314–1319.
- Friedman S.T., Adams W.T. 1981. *Genetic efficiency in loblolly pine seed orchards*. In Proceedings of the 16th Southern Forest Tree Improvement Conference: 27–28.
- Funda T., Lstiburek M., Lachout P., Klápšte J., El-Kassaby Y.A. 2009. *Optimization of combined genetic gain and diversity for collection and deployment of seed orchard crops*. „Tree Genetics & Genomes” 5: 583–593.
- Giertych M. 1965. *Systematic lay-outs for seed orchards*. „Silvae Genetica” 14: 91–93.
- Godt M.J.W., Hamrik J.L., Edwards-Burke M.A., Williams J.H. 2001. *Comparisons of genetic diversity in white spruce (Picea glauca) and jack pine (Pinus banksiana) seed orchards with natural populations*. „Canadian Journal of Forest Research” 31: 943–949.

- Harju A. 1991. *Flowering phenology and pollen contamination in Scots pine seed orchards*. [W:] Lindgren D. (ed.). *Pollen Contamination in Seed Orchards*. Proceedings of the Meeting of the Nordic Group for Tree Breeding 1991, Swedish University of Agricultural Sciences. Umeå.
- Harju A., Muona O. 1989. *Background pollination in Pinus sylvestris seed orchards*. „Scandinavian Journal of Forest Research” 4: 513–520.
- Ivetić V., Devetaković J., Nonić M., Stanković D., Šijačić-Nikolić M. 2016. *Genetic diversity and forest reproductive material – from seed source selection to planting*. „iForest Biogeosciences and Forestry” 9: 801–812.
- Kaya N., Isik K., Adams W.T. 2006. *Mating system and pollen contamination in a Pinus brutia seed orchard*. „New Forests” 31: 409–416.
- Koski V. 1987. *Long geographic transfers, a possible way of eliminating pollen contamination in advanced-generation seed orchards of Pinus sylvestris*. „Forest Ecology and Management” 19: 267–271.
- Koski V. 2000. *A note on genetic diversity in natural populations and cultivated stands of Scots pine Pinus sylvestris L.* Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales (Fuera de Serie 1): 89–95.
- Kowalewski M., Przypaśniak J., Rostek K., Paleń A., Kus M., Szaj J. 2013. Zarządzenie nr 29 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 21 marca 2013 r. (znak: ZH-7132-7/2013) w sprawie ochrony leśnych zasobów genowych na potrzeby nasiennictwa i hodowli drzew leśnych. Warszawa.
- Lindgren D., Prescher F. 2005. *Optimal clone number for seed orchards with tested clones*. „Silvae Genetica” 54: 80–92.
- Lindgren D., Yazdani R. 1998. *Paternal contributions following artificial pollination in Pinus sylvestris L.* „Scandinavian Journal of Forest Research” 3: 299–304.
- Lowe W.J., Wheeler N.C. 1993. *Pollen contamination in seed orchards*. [W:] Bramlett D.L., Askew G.R., Blush T.D., Bridgwater F.E., Jett J.B. (eds.). *Advances in Pollen Management*. U.S. Department of Agriculture Forest Service. Washington, DC.
- Merzeau D., Comps B., Thiebaut B., Letouzey J. 1994. *Estimation of Fagus sylvatica L. mating system parameters in natural populations*. „Annales des Sciences Forestières” 51 (2): 163–173.
- Muller-Starck G. 1995. *Protection of genetic variability in forest trees*. „Forest Genetics” 2: 121–124.
- Neale D.B., Adams W.T. 1985. *The mating system in natural and shelterwood stands Douglas-fir*. „Theor. Appl. Genet.” 71: 201–207.
- O’Connell L.M. 2003. *The evolution of inbreeding in western redcedar (Thuja plicata: Cupressaceae)* Doctoral dissertation, University of British Columbia.
- Oddou-Muratorio S., Bontemps A., Klein E.K., Chybicki I., Vendramin G.G., Suyama Y. 2010. *Comparison of direct and indirect genetic methods for estimating seed and pollen dispersal in Fagus sylvatica and Fagus crenata*. „Forest Ecology and Management” 259: 2151–2159.
- Pakkanen A., Nikkanen T., Pulkkinen P. 2000. *Annual variation in pollen contamination and outcrossing in Picea abies seed orchard*. „Scandinavian Journal of Forest Research” 15: 399–404.
- Proceedings of 16th Southern Forest Tree Improvement Conference. Blackburg VA: 213–224.
- Ritland K., El-Kassaby Y.A. 1985. *The nature of inbreeding in a seed orchard of Douglas-fir as shown by an efficient multilocus model*. Theor. Appl. Genet. 71: 375–384.
- Ritland K., Jain S. 1981. *A model for the estimation of outcrossing rate and gene frequencies using n independent loci*. „Heredity” 47: 35–52.
- Rossi P., Vendramin G.G., Giannini R. 1996. *Estimation of mating system parameters in two Italian natural populations of Fagus sylvatica*. „Canadian Journal of Forest Research”, 26 (7): 1187–1192.
- Sarvas R. 1970. *Establishment and registration of seed orchards*. „Folia Forest”. 89: 1–24.
- Shaw D.V., Allard R.W. 1982. *Estimation of outcrossing rates in Douglas-fir using isozyme markers*. „Theor. Appl. Genet.” 62: 113–120.
- Shaw D.V., Kahler A.L., Allard R.W. 1981. *A multilocus estimator of mating system parameters in plant populations*. „Proc. Natl. Acad. Sci.” USA 78: 1298–1302.
- Silen R.R., Keane G. 1969. *Cooling a Douglas-fir seed orchard to avoid pollen contamination*. U.S.D.A. Forest Service Research Note PNW-101.
- Slavov G.T., Howe G.T., Adams W.T. 2005. *Pollen contamination and mating patterns in a Douglas-fir seed orchard as measured by simple sequence repeat markers*. „Canadian Journal of Forest Research” 35: 1592–1603.

- Sorensen F.C., Miles R.S. 1982. *Inbreeding depression in height, height growth, and survival of Douglas-fir, ponderosa pine, and noble fir to 10 years of age.* „Forest Science” 28: 283–292.
- Torimaru T., Wennstrom U., Andersson B., Almqvist C., Wang X.-Ru 2013. *Reduction of pollen contamination in Scots pine seed orchard crop by tent isolation.* „Scandinavian Journal of Forest Research” 28: 715–723.
- Trojankiewicz M. 2006. *Efektywna wielkość populacji na plantacji nasiennej sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) w Nadleśnictwie Gniewkowo.* Rozprawa doktorska, Instytut Dendrologii, Polska Akademia Nauk, Kórnik.
- Wang K.S. 2003. *Mating system in isolated stands of European beech (Fagus sylvatica L.).* „Forest Genetics” 10: 159–164.
- Wang X.-Ru, Lindgren D., Szmidt A., Yazdani R. 1991. *Pollen migration into a seed orchard of Pinus sylvestris and the methods of its estimation using allozyme markers.* „Scandinavian Journal of Forest Research” 6: 379–385.
- Webber J.E. 2000. *Western hemlock: a manual for tree improvement seed production:* 44.
- Wheeler N., Jech K.S. 1992. *The use of electrophoretic markers in seed orchard research.* „New Forests” 6: 311–328.
- Williams C.G., Savolainen O. 1996. *Inbreeding depression in conifers: Implications for breeding strategy.* „Forest Sci.” 42: 102–117.
- Yazdani R., Lindgren D. 1991. *Variation of pollen contamination in a Scots Pine seed orchard.* „Silvae Genetica” 40: 243–246.

VII

Zastosowanie
metod analiz
molekularnych
DNA do certyfikacji
leśnego materiału
rozmnożeniowego

Wprowadzenie

Certyfikacja leśnego materiału rozmnożeniowego (LMR) jest procesem złożonym z wielu elementów i prowadzi się ją, wykorzystując różne metody badawcze. W ostatnich latach z coraz większym powodzeniem stosuje się do tego celu narzędzia oparte na badaniach genetycznych z użyciem markerów DNA. Markery to charakterystyczne fragmenty DNA, umożliwiające identyfikację genotypu. Przez genotyp rozumiemy informację genetyczną zapisaną w sekwencji DNA każdego organizmu za pomocą czterech typów nukleotydów, noszących nazwy od zasad azotowych: adeniny (A), cytozyny (C), guaniny (G) i tyminy (T). Z punktu widzenia badań drzew ważną cechą jest obecność w ich genomie licznych powtórzeń określonych sekwencji DNA. Tak zwane markery mikrosatelitarne – wielokrotne powtórzenia krótkich sekwencji (ang. *Simple Sequence Repeat*, SSR, synonim: STR ang. *Short Tandem Repeat*) – od 1 do 6 par zasad, np. (AT)_n, (ATC)_n, (GACA)_n, są szczególnie przydatne. Mikrosatelity znajdują się w sekwencjach kodujących (genach) i w obszarach pozagenowych, są równomiernie i często rozmieszczone w genomie. Z powodu powszechności występowania i wysokiego polimorfizmu znalazły szerokie zastosowanie w badaniach gatunków, populacji, a także pojedynczych osobników. W przypadku materiału roślinnego analiza już czterech sekwencji DNA mikrosatelitarnego umożliwia wykluczenie bądź potwierdzenie identyczności materiału badanego z porównawczym nawet na poziomie 99,99% [Nowakowska 2006]. Markery DNA można obecnie wykorzystywać przy analizach wszystkich kategorii LMR, np. do identyfikacji źródła jego pochodzenia czy zgodności z właściwościami genetycznymi leśnego materiału podstawowego (LMP). Podstawą tych analiz jest precyzyjny opis zmienności genetycznej.

U organizmów rozmnażających się płciowo, a takimi są w przeważającej większości drzewa leśne, pokolenia potomne dziedziczą genomy jądrowe od obu rodziców. Genom jądrowy (nDNA) to haploidalny zestaw chromosomów zlokalizowanych w jądrze komórkowym. W przypadku drzew jego wielkość jest bardzo zróżnicowana, od 485 mln par zasad u topoli kalifornijskiej do ponad 20 miliardów par zasad u drzew iglastych. Sekwencje mikrosatelitarne genomów jądrowych wykazują charakter dziedziczenia zgodny z prawami Mendla. Umożliwia to rozróżnienie homozygoty mającej identyczne allele w chromosomach homologicznych (np. AA, aa) od heterozygoty mającej różne allele (np. AB, ab) w tym samym *locus*. *Locus* (l. mnoga: *loci*) oznacza określoną lokalizację badanej

sekwencji DNA w chromosomie. Polimorfizm jądrowych markerów SSR cechuje występowanie średnio od 8 do 40 alleli w jednym *locus*. Genomy jądrowe drzew leśnych są dziedziczone dwurodzicielsko, a genomy pozajądrowe są przekazywane tylko przez jednego z rodziców. Genomy pozajądrowe to koliste cząsteczki DNA, umiejscowione w mitochondriach (mDNA) i plastydach (cpDNA). U większości roślin okrytonasiennych i nagonasiennych mitochondrialny DNA (mDNA) jest dziedziczony w linii matczynej, choć np. w przypadku sekwoi wiecznie zielonej (*Sequoia sempervirens*) jest przekazywany ojcowsko. Mitochondrialne genomy roślinne mają zróżnicowaną wielkość, od 200 do 2500 tys. par zasad. W każdej komórce roślinnej występują w wielu kopiach. W przypadku drzew iglastych badania genetycznego pokrewieństwa koncentrują się głównie na zmienności mitochondrialnych genów dehydrogenazy NADH (*nad*) i oksydazy cytochromowej (*cox*). DNA chloroplastowy (cpDNA) dziedziczy się w linii matczynej u roślin okrytonasiennych, natomiast u nagonasiennych dziedziczy się w linii ojcowskiej. Genomy chloroplastowe są niewielkie, liczą od 120 do 220 tys. par zasad. W każdej komórce roślinnej występują w wielu kopiach. Badania gatunków drzew liściastych polegają w większości na analizie polimorficznych *loci* DNA chloroplastowego, które wykazują dużą zmienność w obrębie haplotypów. Haplotyp to unikatowa kombinacja alleli markerów genetycznych, występująca w obrębie jednej cząsteczki DNA; w przypadku genomów organelowych jest dziedziczona łącznie. Markery DNA organelowego umożliwiają identyfikację rzadkich haplotypów oraz porównanie filogenetycznych powiązań między populacjami drzew leśnych, natomiast ich jednorodzielskie dziedziczenie umożliwia szybkie porównanie np. z drzewem matecznym.

Badania DNA mogą być wykorzystywane w certyfikacji LMR, szczególnie przy określaniu pochodzenia materiału rozmnożeniowego, pokrewieństwa między drzewami matecznymi a pochodzącymi z nich nasionami czy identyfikacji gatunkowej. Sposoby wykorzystania markerów molekularnych w procesie selekcji i hodowli do oceny leśnego materiału rozmnożeniowego są zdefiniowane w postaci uwarunkowań prawnych.

1. Uwarunkowania prawne

Od momentu wstąpienia do Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) w 1996 roku w Polsce obowiązują prawa i standardy funkcjonowania gospodarki w zakresie polityki ekologicznej wspólne dla państw członkowskich. Program OECD dotyczący certyfikacji leśnego materiału rozmnożeniowego (LMR) określony został w dyrektywach Rady Europejskiej. Podstawowym aktem prawnym definiującym pojęcie leśnego materiału rozmnożeniowego jest ustawa z 7 czerwca 2001 r. (Dz.U. z 18 lipca 2001 r.) sporządzona na podstawie m.in. wymogów legislacyjnych obowiązujących kraje UE. Przez LMR rozumie się:

- jednostki nasienne – nasiona, owoce, owocostany i szyszki;
- części roślin przydzielone do produkcji materiału sadzeniowego – zrzesy, pąki, odkłady, zrazy, tkanki roślin lub inne ich części;
- materiał sadzeniowy – rośliny wyhodowane z jednostek nasiennych, z części roślin lub rośliny z odnowienia naturalnego, posiadające świadectwo pochodzenia.

Zasadniczym celem ustawy jest zapewnienie stosowania LMR o wysokiej jakości genetycznej i wartości użytkowej, dostosowanego do warunków siedliskowych oraz zachowanie i utrzymanie różnorodności biologicznej łącznie z całą zmiennością genetyczną. Akty wykonawcze powyższej ustawy spełniają założenia Dyrektywy Rady Unii Europejskiej nr 1999/105/WE z 22 grudnia 1999 roku w sprawie obrotu LMR. Pełna lista gatunków i sztucznych krzyżówek, wymienionych w rozporządzeniu Ministra Środowiska z 18 lutego 2004 roku w sprawie szczegółowych wymagań, jakie powinien spełniać leśny materiał rozmnożeniowy, obejmuje 48 taksonów. W praktyce produkcja LMR w Polsce odnosi się do 29 drzew będących źródłem jednostek nasiennych i 25 drzew hodowanych dla materiału w postaci sadzonek [Puchniarski 2006]. W art. 8.1. ustawa określa cztery kategorie LMR: (1) ze zidentyfikowanego źródła, (2) wyselekcjonowany, (3) kwalifikowany i (4) przetestowany. Do kategorii „przetestowany” zalicza się materiał po wykonaniu odpowiednich testów sprawdzających wartość genetyczną i hodowlaną. W ustawie określone zostało też pojęcie leśnego materiału podstawowego (LMP), które zastąpiło używany wcześniej termin „baza nasienne”. LMP w myśl ustawy stanowią: drzewo (źródło nasion) z określonego obszaru; drzewostan; plantacja nasienne; drzewo mateczne; klon lub mieszanka klonów, z których pozyskuje się materiał przeznaczony do produkcji LMR. W 2006 roku wdrożono zarządzenie nr 7a w sprawie ochrony leśnych zasobów genowych na potrzeby nasiennictwa i hodowli drzew leśnych, precyzujące m.in. sposoby certyfikacji LMR. Określenie wartości genetycznej i jakości hodowlanej składników leśnego materiału podstawowego jest realizowane poprzez testowanie potomstwa. Testowanie potomstwa drzew leśnych zostało wpisane do zadań *Programu zachowania leśnych zasobów genowych i hodowli selekcyjnej drzew leśnych w Polsce na lata 1991–2010* i w jego kontynuacji na lata 2011–2035. Obiektami testowania drzew leśnych są: wyłączone drzewostany nasienne, drzewa doborowe, plantacje nasienne i plantacyjne uprawy nasienne. Program testowania potomstwa obejmuje 15 gatunków uwzględnionych w Krajowym Rejestrze LMP, z których 12 (brzoza brodawkowata, buk zwyczajny, dąb szypułkowy i bezszypułkowy, grab pospolity, jesion wyniosły, jodła pospolita, modrzew japoński i europejski, olsza czarna, sosna zwyczajna i świerk pospolity) może być przedmiotem certyfikacji DNA. Aktualne listy gatunków LMR w poszczególnych krajach UE można znaleźć na stronie internetowej FOREMATIS (ang. *Forest Reproductive Material*), pod adresem <https://ec.europa.eu/forematis> (dostęp 8.11.2022). FOREMATIS zapewnia dostęp do danych rejestrów krajowych zawierających szczegóły zatwierdzonego materiału podstawowego, w tym dane dotyczące obszarów i lokalizacji geograficznej.

Wykorzystanie markerów molekularnych do identyfikacji genetycznej LMP i LMR umożliwia wystawianie certyfikatów DNA dla partii nasion pozyskanych z drzew matecznych i plantacji nasiennych oraz weryfikację wyselekcjonowanych klonów czy wczesną ocenę cech genetycznych sadzonek. Należy pamiętać, że w przypadku otwartego zapyłania pula genetyczna zmienia się z roku na rok. W konsekwencji samo stanowisko nasienne (tj. materiał wyjściowy) nie może służyć do jednoznacznej identyfikacji pozyskanego materiału. LMR jest przetwarzany w kilku etapach – od zebrania materiału siewnego do sprzedanej rośliny. Ważne jest, aby podczas tych etapów nie dochodziło do znaczących zmian w strukturze genetycznej populacji, tj. nie było selekcji kierunkowej

ani dryfu. W przeciwnym razie porównanie genetyczne nasion i sadzonek może prowadzić do błędnych wniosków z kontroli tożsamości. W celu uniknięcia tych błędów stosuje się m.in. systemy wykorzystujące próbki referencyjne, umożliwiające właściwą ocenę składu genetycznego partii nasion z danego stanowiska. Do certyfikacji LMR na podstawie próbek referencyjnych najodpowiedniejsze są markery charakteryzujące się umiarkowaną zmiennością genetyczną, co pozwala na wykazanie różnic genetycznych między zbiorami z różnych drzewostanów. Markery muszą też wykazywać stabilność ontogenetyczną, aby umożliwić porównanie nasion i sadzonek. Badania na nasionach *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Abies alba* i *Pseudotsuga menziesii*, zebranych w tym samym drzewostanie w różnych latach, potwierdzają słuszność tego systemu [Konnert i Behm 2005]. Podstawowym warunkiem poprawności takiej oceny jest zastosowanie określonych procedur wyznaczonych w standardowych metodach analiz DNA.

2. Podstawowe metody badania markerów molekularnych DNA

Zastosowanie markerów genetycznych pozwala na identyfikację osobniczą na podstawie niewielkiej ilości materiału, np. jednej igły sosny. Ekstrakcja DNA jest zabiegiem dobrze opracowanym, a wybiórcze powielanie (amplifikowanie) wybranych fragmentów genomu z zastosowaniem techniki łańcuchowej reakcji polimerazy (ang. *Polymerase Chain Reaction*, PCR) umożliwia otrzymanie znacznej liczby pożądanego odcinka DNA o znanej sekwencji (kolejności nukleotydów). Obecnie jest to najczęściej stosowana metoda w badaniach nad polimorfizmem markerów DNA, a uzyskane tą drogą informacje mają szerokie zastosowanie w oszacowaniu wielu wskaźników opisujących zmienność genetyczną i ustaleniu genotypów osobników, co jest niezbędnym elementem certyfikacji materiału rozmnożeniowego w leśnictwie. Podstawowym warunkiem wiarygodności oceny LMR, przeprowadzonej za pomocą markerów molekularnych, jest praca z właściwie przygotowanym materiałem w postaci DNA. Kolejne etapy analiz obejmują (1) ekstrakcję (izolację) DNA, (2) powielanie fragmentów DNA w reakcji łańcuchowej polimerazy (PCR) i (3) analizę otrzymanych profili genetycznych.

2.1. Ekstrakcja DNA z tkanek roślinnych

Materiał przeznaczony do badania (np. nasiona, liście, igły, drewno) powinien być, do czasu izolacji, przechowywany w odpowiednich warunkach, tj. takich, które zabezpieczają DNA przed degradacją: w suchym (przy wilgotności powietrza nie większej niż 40%) i chłodnym pomieszczeniu (w temperaturze poniżej 0°C). Celem izolacji DNA z tkanek roślinnych jest otrzymanie kwasu nukleinowego o jak największej czystości i w możliwie jak najwyższym stężeniu. Należy pamiętać, aby stosować odczynniki o odpowiedniej czystości, sterylizować używane próbówki i tipsy oraz korzystać z wody dejonizowanej do przygotowywania buforów. Izolację DNA z leśnego materiału rozmnożeniowego (LMR) można przeprowadzić z użyciem gotowego zestawu odczynników np. firmy Qiagen – DNeasy Plant Mini Kit bądź Syngen-Plant DNA MINI Kit. Wykorzystywanie komercyjnych zestawów do ekstrakcji DNA umożliwia używanie

identycznych metod w różnych laboratoriach i ułatwia standaryzację stosowanych procedur, nie zawsze jednak nadaje się do badania konkretnych gatunków. Alternatywną, tańszą i powszechnie wykorzystywaną metodą ekstrakcji DNA jest metoda z zastosowaniem bromku heksadecylotrimetyloamonu – CTAB [Doyle i Doyle 1987, 1990]. Pozyskany w wyniku ekstrakcji materiał badawczy należy, przed podjęciem dalszych analiz, poddać ocenie jakości i ilości DNA. Można to wykonać, stosując analizy spektrofotometryczne, np. za pomocą aparatu NanoDrop. Po stwierdzeniu obecności DNA w izolacie dokonuje się jeszcze oceny jakościowej otrzymanego DNA za pomocą migracji elektroforetycznej, np. w 1-procentowym żelu agarozowym, barwionym bromkiem etydydy. Opis izolacji DNA przedstawiony powyżej dla miękkich tkanek (liści czy igieł) może, po pewnych modyfikacjach, być stosowany także do tkanek zdrewniałych. Tego typu analizy wykonywane są jednak znacznie rzadziej. Główne modyfikacje protokołów ekstrakcji z drewna w porównaniu ze świeżą tkanką odnoszą się do sposobu mechanicznego rozrywania tkanek, stosowania zmienionego składu buforu lizującego i, często znacznie wydłużonego, czasu inkubacji. Zmodyfikowany protokół CTAB wymaga dostosowania się do właściwości fizycznych zdrewniałych tkanek, zniwelowania inhibicyjnych właściwości związków (np. fenolowych, które utrudniają ekstrakcję DNA) czy usunięcia DNA pochodzącego z innych organizmów. Przykłady zastosowania modyfikacji metod ekstrakcji znaleźć można w pracy Finkeldeya i in. [2010], gdzie wymienione są metody izolacji DNA z endokarpu owoców pestkowych z rodzaju *Prunus*, z żołądzi dębowych (*Quercus* spp.) czy z nasion jodły (*Abies alba*). Wyekstrahowane DNA służy jako matryca do dalszych analiz, mających na celu identyfikację prób na podstawie powielania wybranych fragmentów DNA w reakcji łańcuchowej polimerazy – PCR.

2.2. Reakcja PCR i elektroforeza w żelu agarozowym

DNA z materiału roślinnego jest, po izolacji, namnażane w reakcji PCR polegającej na przeprowadzeniu wielu cykli syntezy nici DNA w tzw. termocyklerze. Urządzenie to umożliwia wielokrotne podgrzewanie i oziębianie fragmentów kwasów nukleinowych w obecności termostabilnego enzymu – polimerazy, najczęściej polimerazy *Taq*, uzyskiwanej z ciepłolubnej bakterii *Thermus aquaticus*. W uproszczeniu reakcja łańcuchowa polimerazy przedstawia się następująco: pierwszy etap amplifikacji, odbywający się w temperaturze 94°C, prowadzi do denaturacji dwuniciowej matrycy DNA, w kolejnym następuje przyłączanie starterów do jednoniciowych fragmentów DNA (tzw. annealing w temp. 45–65°C), a dalej synteza nici DNA komplementarnej do matrycy (tzw. elongacja w temp. 72°C). W efekcie do wyizolowanej matrycy DNA startery oligonukleotydowe (inaczej primery – sekwencje o długości od 10 do 24 par zasad, flankujące określony odcinek DNA) dołączają cztery rodzaje deoksynukleotydów (dATP, dGTP, dCTP i dTTP), będące substratami do budowy nowej nici DNA. Reakcja namnażania DNA przebiega zwykle w 30–40 cyklach. Produktem tych reakcji są powielone fragmenty DNA, zawierające właściwe dla prowadzonych analiz sekwencje markerowe, np. mikrosatelitarnego DNA. Wydajność i precyzja reakcji PCR są niezwykle wysokie, teoretycznie pozwalają na uzyskanie nawet do 10⁹ kopii wyjściowej matrycy cząsteczki DNA [Sambrook i Russell 2001]. Zazwyczaj istnieje konieczność zoptymalizowania warunków

reakcji PCR – temperatura i czas trwania poszczególnych jej etapów są bowiem zależne od wielu czynników, głównie od rodzaju matrycowego DNA użytego do reakcji, od wielkości starterów czy rodzaju zastosowanej polimerazy. Przykładowo zbyt niska temperatura etapu przyłączania starterów powoduje, że będą się one przyłączały w niespecyficznych miejscach.

Fragmety DNA otrzymane w wyniku reakcji PCR można rozdzielić i analizować, stosując do tego celu elektroforezę w żelu agarozowym. Proces ten wykorzystuje zjawisko ruchu cząsteczek pod wpływem pola elektrycznego. W tym przypadku cząsteczki DNA naładowane ujemnie migrują w żelu, znajdującym się w buforze pod napięciem, w stronę dodatniej elektrody z prędkością proporcjonalną do ich wielkości i masy cząsteczkowej. W zależności od tego, jakiej długości odcinki DNA chcemy rozdzielać, dobieramy odpowiednie stężenie żelu agarozowego. Im wyższe stężenie agarozy, tym większa możliwość rozdziału krótszych fragmentów. W zależności od potrzeb stosuje się stężenia od 0,7% do 2%. Żel agarozowy wybarwia się barwnikami fluorescencyjnymi, np. powszechnie stosowanym bromkiem etydyny, który wnika między pary zasad DNA i posiada zdolność emisji promieniowania w świetle UV, co pozwala na wizualizację rozdzielanych fragmentów. W celu amplifikacji wybranych *loci* mikrosatelitarnych obecnie stosuje się najczęściej technikę multiplex-PCR, która – przez użycie kilku rodzajów starterów podczas jednej reakcji PCR – pozwala na powielenie wielu różnych sekwencji DNA jednocześnie. Umożliwia to na przykład ustalenie przynależności danej próby LMR do określonego gatunku. W rodzaju *Populus* do odróżniania 11 gatunków potrzebne są cztery kombinacje starterów.

2.3. Analiza wyników

Uzyskane obrazy zmienności markerów muszą być poddane analizom statystycznym, które – dzięki zastosowaniu odpowiednich programów obliczeniowych, np. PopGene32 [Yeh i in. 2000] czy GenAlEx [Peakall, Smouse 2006] – umożliwiają identyfikację materiału LMR na podstawie alleli występujących w poszczególnych *loci* zarówno DNA jądrowego, jak i organellowego. Dla każdego *locus* oblicza się takie parametry, jak: liczba alleli, efektywna liczba alleli w *locus*, obserwowana i oczekiwana heterozygotyczność w nDNA, współczynnik zróżnicowania genetycznego na podstawie częstości alleli i haplotypów organellowego DNA i wiele innych. Ustanowione w ten sposób profile genetyczne mogą być wykorzystywane do certyfikacji drzew.

3. Identyfikacja leśnego materiału rozmnożeniowego na podstawie analiz molekularnych

Markery molekularne, szczególnie te oparte na analizie DNA, dają niezwykle szerokie możliwości oceny zmienności LMR i, w konsekwencji, identyfikacji osobniczej, gatunkowej i populacyjnej. Analizy DNA jądrowego i organellowego przeprowadza się głównie z tkanek diploidalnych (o podwójnym zestawie chromosomów – 2n), takich jak liście, części roślin bądź całe rośliny. Badanie tkanek haploidalnych (mających po-

jedynczy komplet chromosomów – n), np. z prabielma nasion nagonasiennych, wiąże się z analizą jedynie połowy informacji genetycznej, np. pochodzącej z drzewa macecznego. Tkanki triploidalne (3n), znajdujące się w bielmie u roślin okrytonasiennych, praktycznie nie są wykorzystywane w badaniach LMR. Użycie markerów molekularnych umożliwia uzyskanie wielu różnych informacji, począwszy od identyfikacji gatunkowej, przez wykrywanie mieszańców czy określanie stopnia pokrewieństwa z drzewami macecznymi, po śledzenie pochodzenia LMR z odpowiedniego stanowiska siewnego i opisywanie jego zmienności genetycznej. Kontrola LMR obejmuje wszystkie etapy hodowli, od zbioru nasion do wysadzenia sadzonek, co znajduje odzwierciedlenie w szczegółowej dokumentacji. Rolą badań genetycznych jest wykluczanie nieprawidłowości dotyczących wszystkich tych etapów.

3.1. Zastosowanie markerów DNA do identyfikacji gatunkowej drzew leśnych

Punktem wyjścia do uzyskania właściwego LMR jest prawidłowa identyfikacja taksonomiczna. Rozróżnianie gatunków na podstawie cech morfologicznych nie zawsze jest możliwe, szczególnie gdy trzeba określić przynależność taksonomiczną nasion, siewek, blisko spokrewnionych taksonów czy mieszańców. W gospodarce leśnej jest to istotny problem, niewłaściwe oznaczenie gatunku zmniejsza bowiem skuteczność prowadzonych prac hodowlanych. W takich przypadkach szczególnie przydatne są metody oparte na markerach molekularnych, które wykorzystują fakt, że każdy organizm posiada właściwy tylko dla niego zapis informacji genetycznej w postaci sekwencji nukleotydów. Warunkiem niezbędnym do korzystania z tych metod jest określenie markerów specyficznych dla gatunku, to znaczy znalezienie fragmentu genomu identycznego dla osobników należących do jednego gatunku i odmiennego od genomu osobników reprezentujących inne gatunki. Na podstawie takich różnic tworzy się tzw. kod paskowy DNA – barkod – umożliwiający ustalenie specyficznej dla danego gatunku sekwencji nukleotydów. Międzynarodowe konsorcjum CBOL (ang. *Consortium for the Barcode of Life*) opracowuje zestawy takich sekwencji ściśle określonych genów. Zgodnie z jego zaleceniami, w przypadku roślin są to geny zlokalizowane w genomie chloroplastowym: gen *matK* kodujący maturazę i gen *rbcl* kodujący dużą podjednostkę RuBisCO. Ten uniwersalny rdzeń kodu kreskowego (*rbcl* + *matK*) został rozszerzony o niekodujące regiony plastydowe (*trnH-psbA*, *atpF-atpH* i *psbK-psbI*) oraz intron *trnL*, który jest zalecany w sytuacjach dotyczących silnie zdegradowanych tkanek. Taki zestaw barkodów nie jest w pełni uniwersalny i każdorazowo trzeba eksperymentalnie dobierać barkody najlepsze dla testowanych gatunków, np. przy identyfikacji 17 gatunków z rodziny *Pinaceae* użyto ośmiu barkodów chloroplastowego DNA: poza wymienionymi powyżej *matK*, *rbcl* i *trnH-psbA* były to jeszcze *trnL-trnE*, *rpl20-rps18*, *trnV*, *ycf1* i *ycf2* [Celiński i in. 2017]. Metody barkodingu mogą być używane do identyfikacji drzew leśnych znajdujących się na liście drzew stanowiących LMR, są to m.in.: dąb szypułkowy i bezszypułkowy, lipa drobnolistna, modrzew japoński i europejski, jodła pospolita, gatunki z rodzaju *Pinus* (np. *P. sylvestris*, *P. nigra*, *P. mugo*), *Taxus* (np. *T. baccata*), *Picea* (*P. abies*) czy *Juniperus* (*J. sabina*, *J. communis*). Lista markerów i gatunków możliwych do oznaczenia za pomocą barkodów jest nieustannie poszerzana.

Gatunkowy „odcisk palca” opiera się też często na markerach SSR. Zastosowanie multipleksów, złożonych z 13 sekwencji SSR o dużej liczbie powtórzeń (≥ 12), pozwala identyfikować jednoznacznie modrzew europejski [Wagner i in. 2012]. Podobny zestaw markerów umożliwia też odróżnienie modrzewia alpejskiego od *Larix decidua* var. *polonica* i *L. sudetica*, które są jednorodne pod względem genetycznym i cechują się stosunkowo niskim poziomem zróżnicowania [Dostalek i in. 2018]. Praktycznym przykładem zastosowania metod molekularnych do identyfikacji gatunkowej mogą być też dęby. Dąb szypułkowy i bezszypułkowy wykazują dużą zmienność cech morfologicznych i, na wczesnym etapie życia (nasiona, siewki, młode sadzonki), poprawne przyporządkowanie ich do właściwego gatunku nie zawsze jest możliwe. Genomowe różnice między nimi mogą być badane zarówno na podstawie *loci* SSR [Blanc-Jolivet i in. 2015; Sandurska i in. 2017], jak i markerów SNP [Rellstab i in. 2016]. Markery SNP (ang. *Single Nucleotide Polymorphism*), w odróżnieniu od SSR, oparte są nie na tandemowych powtórzeniach, lecz na polimorfizmie pojedynczych nukleotydów (tzw. mutacje punktowe). Są wynikiem zmian w sekwencji DNA, które polegają na wymianie pojedynczego nukleotydu (A, T, C lub G). SNP stanowią najbardziej liczną grupę markerów molekularnych i, pomimo niskiego stopnia polimorfizmu, są – podobnie jak SSR – dobrym narzędziem do identyfikacji taksonomicznej. Na przykład w rodzaju *Populus* do odróżniania 11 gatunków potrzebne są cztery kombinacje starterów SNP, w rodzaju *Larix* identyfikacja opiera się na 47 markerach SNP.

3.2. Badanie mieszańców

Określenie różnic na poziomie DNA między blisko spokrewnionymi gatunkami, które mogą się ze sobą krzyżować, daje możliwość testowania LMR pod kątem wykrywania mieszańców. Z punktu widzenia hodowli jest to niezwykle ważne zagadnienie, gdyż drzewa wyrosłe z nasion powstałych na drodze wolnego zapyłania mogą być hybrydami. Przykłady takich międzygatunkowych krzyżowań spotyka się choćby wśród topoli, lip, dębów czy sosen. Ich identyfikacja wyłącznie na podstawie wyglądu zewnętrznego (fenotypu) nie zawsze jest zgodna z właściwościami genotypu, co obniża wartość hodowlaną populacji będących przedmiotem certyfikacji. Topola (*Populus* spp.) oraz jej sztuczne hybrydy, dęby rosnące w naturalnych sympatrycznych populacjach (*Q. robur* i *Q. petraea*), modrzew europejski i japoński to dobrze znane z praktyki hodowlanej gatunki LMR. W przypadku modrzewia europejskiego występuje zanieczyszczenie genami modrzewia japońskiego, co prowadzi do erozji genomu rodzimego gatunku. Jednoznaczne wykluczenie mieszańców z PN, oprócz usuwania z sąsiedztwa drzewostanów modrzewia japońskiego z regionów o charakterze matecznym modrzewia europejskiego, jest gwarancją pozyskania wysokiej jakości LMR tego gatunku. U modrzewia genom mitochondrialny jest dziedziczony po matce, a chloroplastowy po ojcu. W związku z tym markery DNA chloroplastowego i mitochondrialnego są idealnym narzędziem umożliwiającym identyfikację modrzewia eurojapońskiego (*Larix x eurolepis* Henry) oraz jego gatunków rodzicielskich. Hybrydy mogą być identyfikowane na podstawie obecności mitochondrialnych sekwencji odziedziczonych z jednego gatunku rodzicielskiego i chloroplastowych sekwencji odziedziczonych z drugiego gatunku [Eriksson i Ekberg 2001; Jagielska 2008]. U dębów, w przeciwieństwie do modrzewia eurojapoń-

skiego, zjawisko mieszańcowości może obniżać wartość hodowlaną nasion. Opisane we wcześniejszych rozdziałach różnice międzygatunkowe na poziomie DNA jądrowego i organellowego dają możliwość zastosowania narzędzi molekularnych do identyfikacji mieszańców i wykluczania ich z LMP przed kolejnymi etapami hodowli. Znajomość różnic międzygatunkowych pozwala też utrzymywać odpowiedni poziom zróżnicowania genetycznego populacji naturalnych i zmniejszać poziom introgresji u rodzimych gatunków, np. czereśni ptasiej. Dla tego gatunku problematyczne jest określenie, czy dane drzewo to czereśnia ptasia, czy płodny mieszaniec, np. z udomowionymi formami czereśni mogącymi stanowić zagrożenie dla naturalnych pochodzeń LMR.

3.3. Zastosowanie markerów molekularnych do certyfikacji nasion z drzew matecznych

Jednorodzielskie dziedziczenie markerów DNA organellowego umożliwia szybkie wykrycie pokrewieństwa między potomstwem a drzewem matecznym. Użycie kilku markerów cpSSR pozwala na sprawdzenie poprawności zbioru nasion z pojedynczych drzew matecznych różnych gatunków. Zawarte w nasionach bielmo pierwotne posiada genotyp chloroplastowy, pochodzący od jednego drzewa matecznego. Istnieją już dobrze opracowane procedury umożliwiające tego typu analizy, np. w przypadku sosny zwyczajnej, podstawowego gatunku lasotwórczego w Polsce. Zostały wdrożone przy gromadzeniu zasobów genowych drzew matecznych sosny zwyczajnej w Leśnym Banku Genów Kostrzyca. Na bazie 10 polimorficznych *loci* mikrosatelitów chloroplastowych w reakcji multiplex-PCR opracowano całościową koncepcję weryfikacji poprawności zbioru nasion z pojedynczych drzew matecznych *Pinus sylvestris*. Jest to dobry przykład certyfikacji jakości nasion LMR pod kątem zgodności genetycznej z określonym drzewem matecznym. Podobne badania prowadzono też dla jodły pospolitej, dębów czy świerka. Uzyskane wyniki wskazują, że technika analizy chloroplastowych *loci* mikrosatelitarnych w reakcji multiplex-PCR jest metodą umożliwiającą eliminowanie błędów przy zakładaniu plantacji przez porównanie zgodności haplotypów nasion i szczepów z drzewami matecznymi.

3.4. Zastosowanie markerów DNA do identyfikacji osobniczej i populacyjnej drzew leśnych oraz określenie pochodzenia i bogactwa genetycznego populacji

Drzewa leśne to najczęściej dominujące elementy krajobrazu strefy umiarkowanej północnej półkuli, co jest wynikiem ich znacznych rozmiarów, długowieczności i płodności. Olbrzymia produkcja pyłku i nasion oraz zdolność do ich dalekiego transportu umożliwiają intensywny przepływ genów w tej grupie organizmów [Lindgren i in. 1995]. Ważnym elementem kształtującym zmienność genetyczną drzew leśnych jest znacząca przewaga zapłodnień krzyżowych w stosunku do samozapłodnień [Adams, 1992; Mitton 1992]. W konsekwencji współdziałania powyższych elementów drzewa wyróżniają się na tle roślin zielnych znacznym zróżnicowaniem wewnątrzpopulacyjnym w stosunku do zróżnicowania międzypopulacyjnego [Hamrick i Godt 1996; Austerlitz i in. 2000]. Poznanie i zrozumienie zakresu zmienności genetycznej stanowi jedno

z podstawowych źródeł informacji o potencjale adaptacyjnym drzew leśnych. Zróżnicowanie genetyczne kształtowane jest przez losowe mutacje oraz rekombinację. Dobór naturalny i dryf genetyczny to siły ewolucyjne, efektywnie kształtujące struktury genetyczne populacji. Wynikiem tych wszystkich procesów jest obserwowane dzisiaj znaczne zróżnicowanie międzyosobnicze i międzypopulacyjne większości gatunków drzew. Wysoki poziom zmienności genetycznej może stanowić o liczbie korzystnych alleli. Krzyżowanie się osobników o takich właściwościach przyczynić się może do wzrostu dostosowania populacji. Obecnie, w okresie zmian klimatycznych, znaczny potencjał genetyczny, wyrażany przez odpowiedni poziom różnorodności genetycznej, nabiera szczególnego znaczenia. Międzypopulacyjne i wewnątrzpopulacyjne zróżnicowanie drzew leśnych jest wypadkową współdziałania wielu czynników wyróżnionych powyżej, ale także historycznych o dalszej i bliższej perspektywie. Dalsza to ukształtowanie się zasięgów drzew po ustąpieniu zlodowacenia Wisły z jego apogeum, datowanym na 20–18 mln lat p.n.e. [Mojski 1993]. W tym okresie mieszanie się w obrębie refugium glacialnych różnych linii migracyjnych, a następnie różnokierunkowe migracje drzew ku północy, za ustępującym lądolodem, ukształtowało dzisiejsze zasięgi. Natomiast bliższa perspektywa wiąże się z działalnością człowieka, począwszy od okresu neolitycznego (ok. 10000–4000 p.n.e.). Od wczesnego średniowiecza intensywna gospodarka doprowadzała do sukcesywnie postępujących wylesień, a w wieku XIX i XX do przemieszczeń materiału siewnego różnych pochodzeń w obrębie zasięgów poszczególnych gatunków. Niewątpliwie również właściwości biologiczne drzew leśnych, dominujące u nich krzyżowe zapylenie oraz daleki transport pyłku i nasion kształtowały i kształtują obserwowane zróżnicowanie genetyczne.

Analiza zróżnicowania genetycznego między populacjami drzew leśnych ma swoją długą tradycję. Początki badań tego zagadnienia sięgają XIX wieku, gdy Vilmorin, szkółkarz francuski, w uprawach porównawczych analizował populacje sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) różnego pochodzenia. W wynikach swoich badań podkreślił, że szczególną wartość ma sosna pochodząca z krajów bałtyckich (tzw. sosna ryska).

Rozwój i dostępność metod biologii molekularnej, opartych na ocenie polimorfizmu DNA, umożliwiły bardziej wszechstronną ocenę zróżnicowania genetycznego w obrębie populacji drzew leśnych. Jednakże podstawowe dotychczas spostrzeżenia pozostały aktualne: zmienność genetyczna wewnątrz populacji zdecydowanie dominuje nad zróżnicowaniem międzypopulacyjnym. Przykładem potencjału informacyjnego *loci* jądrowych i chloroplastowych są badania sosny zwyczajnej z Nadleśnictwa Miłomłyn [Lesiczka i in. 2017]. Charakteryzując, na podstawie polimorfizmu sekwencji DNA, tę wyróżniającą się pozytywnie w wielu doświadczeniach proveniencyjnych sosnę taborską, badacze zwracają uwagę na jej znaczne zróżnicowanie genetyczne. Każde z 30 drzew badanych z użyciem 7 *loci* genomu jądrowego miało odrębny genotyp, zastosowanie zaś 8 *loci* genomu chloroplastowego pozwoliło na zidentyfikowanie 28 haplotypów [Lesiczka i in. 2017]. Przydatność sekwencji mikrosatelitarnego chloroplastowego DNA do oceny zróżnicowania genetycznego 22 gatunków europejskich drzew okrytonasiennych, w tym: *Acer campestre*, *Alnus glutinosa*, *Betula pendula*, *Carpinus betulus*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus* sp., *Quercus* sp., *Tilia cordata*, *Ulmus* sp., wykazują Petit i in. [2003]. U wszystkich z badanych gatunków wykryto od czterech do 50 haplotypów

i określono zróżnicowanie genetyczne w ich obrębie. Najniższe wartości G_{ST} , wskazujące na znaczny przepływ genów poprzez nasiona, zidentyfikowano u *Salix* i *Populus* (0,09 i 0,11). Oba gatunki mają lekkie, łatwo się unoszące, otoczone puchem nasiona. Natomiast zdecydowanie wyższe wartości współczynników zróżnicowania genetycznego (0,89, 0,74 i 0,84) charakteryzują gatunki mające ciężkie nasiona, roznoszone głównie przez zwierzęta: leszczynę, buk i dęby. Wyraźnie większe zróżnicowanie wewnątrzpopulacyjne gatunków zlokalizowanych na terenach na północ od głównych maszywów górskich Europy może wynikać ze zmieszania się różnych haplotypów cpDNA [Petit i in. 2003].

Szczególne miejsce, wręcz modelowe, w sferze badań nad zmiennością genetyczną zajęły dęby (*Quercus* sp.), zasiedlające wiele ekosystemów leśnych półkuli północnej, których część gatunków tworzy hybrydy. Dęby – szypułkowy (*Q. robur* L.) i bezszypułkowy (*Q. petraea* Matt Liebl.) posiadają rozległe zasięgi na terenie Europy. Stanowią istotny element wielu ekosystemów leśnych i źródło cennego drewna, wykorzystywanego w gospodarce. Wyróżniając odmienne warianty haplotypowe, zidentyfikowane w genomie chloroplastowym (cpDNA), opracowano zróżnicowanie genetyczne obu gatunków w skali całej Europy. Uzyskane tą drogą dane pozwoliły na wyróżnienie dróg rekolonizacji określonych linii genetycznych w okresie postglacjalnym i ustalenie ich refugium glacialnych na półwyspach: Iberyjskim, Apenińskim, Bałkańskim, oraz w rejonach okalających Morze Czarne [Petit i in. 2002a, b, c]. Podobne badania Dering i in. [2008] wskazały linię bałkańską jako dominujący element migracyjny w zasiedleniu terenu południowej Polski, linie iberyjska i apenińska przeważają zaś na północy. Szczególną wagę autorzy przypisują linii iberyjskiej, nadając jej najbardziej naturalny status. Do realizacji powyższych badań zastosowano markery RFLP (polimorfizm długości fragmentów restrykcyjnych). Technika ta, obecnie rzadziej stosowana, zastępowana jest przez analizę markerów mikrosatelitarnych z użyciem reakcji PCR. Z powodzeniem i na szeroką skalę zastosowano też markery SSR do opisu zróżnicowania i zmienności genetycznej sosny zwyczajnej między populacjami i w ich obrębie na terenie Europy i Azji [Naydenov i in. 2007; Semerikov i in. 2014]. Natomiast w Polsce szczegółowymi badaniami objęto populacje sosny zwyczajnej z całego krajowego zasięgu [Nowakowska 2007]. Opisano niewielkie zróżnicowanie międzypopulacyjne $F_{ST} = 3,3\%$ dla markerów SSR z genomu jądrowego i $F_{ST} = 11,8\%$ dla markerów STS z genomu mitochondrialnego.

Badania populacji świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst) z zastosowaniem analiz molekularnych, opartych na zmienności markerów DNA mitochondrialnego genu *nad1* (intron b/c), umożliwiły identyfikację populacji północnoeuropejskich z przewagą haplotypu „c” genu *nad1*. Populacje południowoeuropejskie natomiast wykazują dominację haplotypu „a” [Sperisen i in. 2001]. Ta reguła w takim samym zakresie geograficznym dotyczy populacji świerka z terenu Polski. Natomiast w strefie środkowopolskiej, tzw. bezświerkowej, identyfikuje się populacje mieszane z przewagą haplotypu południowego [Dering i Lewandowski 2009; Nowakowska 2009].

W przytoczonych przykładach wykorzystywano markery DNA, aby zbadać istniejącą różnorodność genetyczną populacji różnych gatunków drzew. Wiedza ta jest niezbędna dla określenia zarówno pochodzenia materiału siewnego, jak i jego jakości genetycznej, co jest absolutnie kluczowe przy certyfikowaniu LMR.

Podsumowanie

W ostatnich dziesięcioleciach wykorzystywano analizy DNA głównie do badania istniejącej różnorodności genetycznej populacji różnych gatunków drzew. Dzisiaj opracowanie dużej liczby markerów genetycznych otwiera możliwości precyzyjnej i skutecznej kontroli LMR na podstawie składu genetycznego. Określenie markerów specyficznych dla gatunku jest warunkiem wstępnym do korzystania z zalet stosowania markerów genetycznych. Znalezienie takiego obszaru genomu nie zawsze jest łatwe, a niekiedy, np. w przypadku bliskiego pokrewieństwa, wręcz niemożliwe. Utrudnia to długa żywotność drzew, częsty brak dobrze zdefiniowanych odmian i podgatunków oraz trudność wypracowania wspólnych standardowych protokołów dla najważniejszych europejskich gatunków drzew leśnych. Dzisiejszy stan wiedzy pozwala na stwierdzenie, że LMR badany przy użyciu markerów DNA cechuje się właściwym bogactwem genetycznym, opracowane systemy działają dobrze, mimo że nadal są czasochłonne i kosztochłonne. Przytoczone przykłady stanowią jedynie wycinek możliwości zastosowania metod pobierania genetycznych „odcisków palców”. Mimo że wymagają one dobrze wyposażonych laboratoriów, stosunkowa różnorodność genetyczna w większości drzewostanów utrudnia szybką i niezawodną identyfikację materiału przeznaczanego do hodowli. Dynamiczny rozwój metod opracowywania i genotypowania markerów znacznie poprawił możliwości analizowania intensywnie badanych gatunków „modelowych”. Należą do nich, ważne z punktu widzenia gospodarki leśnej, główne rodzime gatunki lasotwórcze (sosna zwyczajna, świerk pospolity, buk zwyczajny, rodzime dęby), dla których metodyka badań laboratoryjnych, na podstawie polimorfizmu markerów DNA, ułatwia już dziś certyfikację LMR. Nawet w przypadku gatunków o dużym rozmiarze genomu i względnie niskim ogólnym polimorfizmie markery mikrosatelitarne można z powodzeniem opracować przy użyciu technologii sekwencjonowania nowej generacji. Stosowanie markerów molekularnych do identyfikacji LMR wymaga od instytucji wyznaczonych dróg materiałów eksploatacyjnych i odpowiednio wyszkolonego personelu, co stanowi niewątpliwie ważny element w procesie certyfikacji leśnego materiału rozmnożeniowego, którego znaczenie w najbliższych latach będzie coraz większe.

Literatura

- Adams W.T. 1992. *Gene dispersal within forest tree populations*. „New Forests” 6: 217–240.
- Austerlitz F., Mariette S., Machon N., Gouyon P.H., Godelle B. 2000. *Effects of colonization processes on genetic diversity: Differences between annual plants and tree species*. „Genetics” 154: 1309–1321.
- Blanc-Jolivet C., Liesebach M. 2015. *Tracing the origin and species identity of Quercus robur and Quercus petraea in Europe: a review*. „Silvae Genetica”, 64–4, 182–193.
- Celiński K., Kijak H., Wojnicka-Półtorak A., Buczkowska-Chmielewska K., Sokołowska J., Chudzińska E. 2017. *Effectiveness of the DNA barcoding approach for closely related conifers discrimination: A case study of the Pinus mugo complex*. „Comptes Rendus Biologies”, 340 (6–7): 339–348.
- Dreing M., Lewandowski A. 2009. *Finding the meeting zone: Where have the northern and southern ranges of Norway spruce overlapped?* „Forest Ecology and Management” 259: 229–235.
- Dering M., Lewandowski A., Ufnalski K., Kędzierska A. 2008. *How far to the east was the migration of white oaks from the Iberian refugium?* „Silva Fennica” vol. 42 no. 3 article id 240.
- Dostálek J., Frantik T., Pospišková M., Křížová M. 2018. *Population genetic structure and delineation of conservation units in European larch (Larix decidua Mill.) across its native range*. „Flora – Morphology Distribution Functional Ecology of Plants”: 246–247, 26–32.
- Doyle J.J., Doyle J.L. 1987. *A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue*. „Phytochemical Bulletin” 19: 11–15.

- Doyle J.J., Doyle J.L. 1990. *Isolation of plant DNA from fresh tissue*. „Focus” 12: 13–15.
- Eriksson G., Ekberg I. 2001. *An introduction to forest genetics*. SLU Repro Uppsala, Sweden.
- Finkeldey R., Leinemann L., Gailing O. 2010. *Molecular genetic tools to infer the origin of forest plants and wood*. „Applied Microbiology and Biotechnology” 85[5]: 1251–1258;
- Hamrick J.L., Godt M.J. W. 1996. *Effects of life history traits on genetic diversity in plant species*. „Philosophical Transactions of the Royal Society of London” Series B: 351, 1291–1298.
- Jagielska A. 2008. *Zastosowanie markerów genetycznych w identyfikacji gatunkowej modrzewia europejskiego (Larix decidua Mill.) i japońskiego (Larix kaempferi Sorg.) oraz ich mieszańców*. „Leśne prace badawcze” 69 (1): 21–25.
- Konnert M., Behm A. 2005. *Proof of identity of forest reproductive material based on reference samples*. „Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst-und Holzwirtschaft” (BFH): 221/2006: 61–71.
- Lesiczka P., Pawlaczyk E.M., Łabiszak B., Urbaniak L. 2017. *Zmienność taborskiej sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) z Nadleśnictwa Miłomłyn wyrażona w analizie cech morfologii igieł oraz polimorfizmie mikrosatelitarnego DNA*. „Leśne Prace Badawcze” 78 (2): 136–148.
- Lindgren D., Paule L., Xihuan S., Yazdani R., Segerström U., Wallin J.E., Lejdebrom M. 1995. *Can viable pollen carry Scots pine genes over long distances?* „Grana”: 34, 64–69.
- Mitton J.B. 1992. *The dynamic mating systems of conifers*. „New Forests” 6: 197–216.
- Mojski J. 1993. *Europa w plejstocenie*. Wyd. PAE Warszawa.
- Naydenov K., Senneville S., Beaulieu J., Tremblay F., Bousquet J. 2007. *Glacial vicariance in Eurasia: mitochondrial DNA evidence from Scots pine for a complex heritage involving genetically distinct refugia at mid-northern latitudes and in Asia Minor*. „BMC Evolutionary Biology” 7(1): 1–12.
- Nowakowska J.A. 2006. *Zastosowanie markerów DNA (RAPD, SSR, PCR-RFLP i STS) w genetyce drzew leśnych, entomologii, fitopatologii i łowiectwie*. „Leśne Prace Badawcze” 1: 73–101.
- Nowakowska J.A. 2009. *Mitochondrial and nuclear DNA differentiation of Norway spruce (Picea abies L. Karst.) populations in Poland*. „Dendrobiology” 61: 119–129.
- Peakall R., Smouse P.E. 2006. *GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research*. „Molecular Ecology” Notes 6: 288–295.
- Petit R., Brewers S., Bordacs S., Burg K., Cheddadi R., Coart E., Cottrell J., Csaiłk U.M.I. in. 2002a. *Identification of refugia and post-glacial colonisation routes of European white oaks based on chloroplast DNA and fossil pollen evidence*. „Forest Ecology and Management” 156: 49–74.
- Petit R., Csaiłk U.M., Bordacs S., Burg K., Coart E., Cottrell J., van Dam B., Deans J.D. i in. 2002b. *Chloroplast DNA variation in European white oaks: phylogeography and patterns of diversity based on data from over 2600 populations*. „Forest Ecology and Management” 156: 5–26.
- Petit R., Latouche-Hallé C., Pemonge M.H., Kremer A. 2002c. *Chloroplast DNA variation of oaks in France and the influence of forest fragmentation on genetic diversity*. „Forest Ecology and Management” 156: 115–129.
- Petit R., Aquinagalde I., de Beaulieu J.L., Bittkau C., Brewer S., Cheddadi R., Ennos R. i in. 2003. *Glacial refugia: hotspots but not melting pots of genetic diversity*. „Science” 300 (5625): 1563–1565.
- Puchniarski T.H. 2006. *Ustawa o leśnym materiale rozmnożeniowym. Poradnik leśniczego*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.
- Rellstab C., Bühler A., Graf R., Folly C., Gugerli F. 2016. *Using joint multivariate analyses of leaf morphology and molecular-genetic markers for taxon identification in three hybridizing European white oak species (Quercus spp.)*. „Annals of Forest Science” 73: 669–679.
- Sambrook J., Russell D. 2001. *Molecular Cloning: A Laboratory Manual*, 3rd ed. Cold Spring Harbor, NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Sandurska E., Ulaszewski B., Burczyk J. 2017. *Genetic insights into ecological succession from Oak (Quercus robur L.) to Beech (Fagus sylvatica L.) dominated forest stands*. „Acta Biologica Cracoviensia”, Series Botanica 59/1: 23–33.
- Semerikov V.L., Semerikova S. A., Dymshakova O.S., Zatssepina K.G., Tarakanov V. V., Tikhonova I.V., Ekart A.K., Vidyakin A.I. i in. 2014. *Microsatellite loci polymorphism of chloroplast DNA of scots pine (Pinus sylvestris L.) in Asia and eastern Europe*. „Russian Journal of Genetics”, Volume 50, Issue 6: 577–585.
- Sperisen C., Büchler U., Gugerli F., Mátyás G., Gebourek T., Vendramin G.G. 2001. *Tandem repeats in plant mitochondrial genomes: application to the analysis of population differentiation in the conifer Norway spruce*. „Molecular Ecology” 10: 257–263.
- Wagner S., Gerber S., Petit R. 2012. *Two highly informative dinucleotide SSR multiplexes for the conifer Larix decidua (European larch)*. „Molecular Ecology Resources” 12 (4): 717–25.
- Yeh F.C., Yang R.C., Boyle T.B.J. 1999. *POPGENE, version 1.32, Microsoft Window-Based software for Population Genetic Analysis: a quick user's guide [M]*. University of Alberta, Edmonton, Canada.

VIII

Zysk
genetyczny
z plantacji
nasiennych

Pojęcie zysku genetycznego ściśle wiąże się z hodowlą selekcyjną. W trakcie realizacji programu hodowli selekcyjnej hodowca, mając na celu poprawę interesującej go cechy lub zespołu cech w populacji hodowlanej, dąży właśnie do osiągnięcia zysku genetycznego. Możliwa do osiągnięcia wielkość zysku jest właściwa dla określonej populacji i zależy od zmienności interesującej nas cechy, jej odziedziczalności i intensywności selekcji. Bezpośrednie porównania zysku genetycznego między różnymi gatunkami i programami hodowli selekcyjnej są więc niemożliwe, chociaż mogą służyć jako źródło informacji o tym, jak wysokiego zysku możemy się spodziewać, stosując daną metodę selekcji. W hodowli selekcyjnej drzew leśnych to plantacje nasienne są kanałem, przez który zysk genetyczny, osiągnięty na danym poziomie cyklu hodowlanego, jest przekazywany do praktyki leśnej.

Zysk genetyczny jest pojęciem odrębnym od zysku ekonomicznego. Z punktu widzenia hodowli interesujący jest zysk genetyczny, mówiący o tym, na ile wyhodowany materiał jest lepszy pod względem określonych cech od materiału nieulepszanego. Wartość handlowa ulepszanego materiału będzie źródłem zysku ekonomicznego, lecz nie jest ona przedmiotem analizy genetycznej, chociaż powinna tę podwyższoną wartość genetyczną odzwierciedlać.

W tym rozdziale będziemy rozważać, czym jest zysk genetyczny, z czego wynika i jakie są jego ograniczenia; przeanalizujemy również przykłady zrealizowanego zysku genetycznego w programach hodowli różnych gatunków drzew leśnych oraz możliwe sposoby realizacji zysku genetycznego w praktyce leśnej.

1. Oczekiwany i zrealizowany zysk genetyczny

Dla zrozumienia idei zysku genetycznego niezbędna jest znajomość niektórych pojęć z zakresu statystyki i genetyki ilościowej, takich jak wariancja, odchylenie standardowe, odziedziczalność, różnica selekcyjna i intensywność selekcji, które zostaną pokrótce przedstawione poniżej.

W hodowli drzew wybieramy osobniki charakteryzujące się określonymi, pożądanymi przez hodowcę cechami lub odrzucamy osobniki o cechach niepożądanych. Postępując w ten sposób, kierujemy się wyglądem, wymiarami lub innymi cechami, które

możemy obserwować i mierzyć, a więc fenotypem osobników. Miarą zmienności cechy w populacji jest wariancja, oznaczana jako σ^2 . Na wariancję fenotypową (σ_F^2) składa się wpływ czynników genetycznych (σ_G^2) oraz środowiskowych (σ_E^2):

$$(1) \sigma_F^2 = \sigma_G^2 + \sigma_E^2$$

Ocenę wariancji fenotypowej oraz jej komponentów można uzyskać jedynie przez testowanie drzew w doświadczeniach założonych zgodnie z wymogami analizy statystycznej, pozwalających na ocenę wpływu środowiska i genotypu na fenotyp. Hodowca jest zainteresowany tym, by zmienność fenotypowa w jak największym stopniu zależna była od zmienności genetycznej, a w jak najmniejszym stopniu od zmienności środowiskowej. Miarą, wyrażającą udział zmienności genetycznej w zmienności fenotypowej, jest odziedziczalność:

$$(2) h_{sl}^2 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_F^2} = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_G^2 + \sigma_E^2}$$

Tak określona odziedziczalność jest nazywana odziedziczalnością ogólną (*sensu lato* – h_{sl}^2) lub stopniem determinacji genetycznej [Falconer i Mackay 1996]. Wykorzystuje ona całość zmienności genetycznej, jaka jest charakterystyczna dla danego genotypu, dlatego jest przydatna do określania zysku genetycznego dla materiału mnożonego wegetatywnie. Jeżeli celem hodowli są drzewa rozmnażane generatywnie, to interesuje nas, w jakim stopniu cecha przekazywana jest potomstwu generatywnemu. W procesie rozmnażania płciowego powstają nowe genotypy, które mają różne układy genów warunkujących daną cechę. Na zmienność genetyczną danej cechy w populacji (σ_G^2) składają się komponenty związane z efektami oddziaływania genów na daną cechę: komponent addytywny lub wariancja wartości hodowlanych (σ_A^2), komponent dominacji (σ_D^2) – związany z odchyleniami od średniej spowodowanymi dominacją między allelami genów w ramach określonych *loci*, oraz komponent interakcji (σ_I^2) – związany z odchyleniami spowodowanymi interakcjami między genami w różnych *loci* (epistazą). Najbardziej interesuje nas komponent addytywny, ponieważ to właśnie on formułuje odziedziczalność *sensu stricto* (h_{ss}^2), która określa, na ile fenotyp osobnika jest determinowany genami przekazanymi przez rodziców:

$$(3) h_{ss}^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_F^2} = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2 + \sigma_E^2}$$

A zatem odziedziczalność *sensu stricto* (h_{ss}^2) określa stopień podobieństwa fenotypowego między spokrewnionymi osobnikami [Falconer i Mackay 1996]. Z punktu widzenia analizy danych z doświadczeń testujących potomstwo wyróżniamy odziedziczalność indywidualną, opartą na pomiarach poszczególnych drzew, oraz odziedziczalność rodową, opartą na wartościach średnich dla rodów [Van Buijtenen 1992]. Czytelnika zainteresowanego dokładniejszą analizą komponentów wariancji genetycznej oraz ich zależności od częstości genów w populacji zachęcamy do lektury opracowań, w których te zagadnienia przedstawione są bardziej szczegółowo [Fins i in. 1992; Falconer i Mackay 1996; White i in. 2007].

Następnym pojęciem, niezbędnym do obliczenia zysku genetycznego, jest różnica selekcyjna, czyli różnica między średnią cechy dla osobników wybranych do dalszej hodowli (\bar{y}_s) a średnią dla całej populacji przed selekcją (μ_F):

$$(4) S = \bar{y}_s - \mu_F$$

Wreszcie zysk genetyczny, który jest iloczynem odziedziczalności i różnicy selekcyjnej:

$$(5) \Delta G = h^2 S$$

Tak zdefiniowany zysk genetyczny będzie zyskiem oczekiwanym z selekcji w danej populacji. Zakłada on, że znamy wartość obu czynników równania 5. Często zdarza się jednak, że hodowca chciałby oszacować zysk genetyczny, nie znając konkretnej wartości różnicy selekcyjnej, a jedynie proporcję drzew wybranych z populacji, lub chciałby porównać oczekiwany zysk genetyczny dla różnych cech lub populacji, jak również porównać różne metody selekcji. W takim przypadku bardzo przydatna jest standaryzowana różnica selekcyjna, zwana intensywnością selekcji:

$$(6) i = \frac{S}{\sigma_F}$$

We wzorze 6. (σ_F) jest fenotypowym odchyleniem standardowym, które – podobnie jak wariancja – jest miarą zmienności cechy ($\sigma_F = \sqrt{\sigma_F^2}$). Przyjmuje się przy tym, że cecha ma rozkład normalny w sensie statystycznym (założenie to jest właściwe dla większości cech mierzalnych w populacjach drzew), a intensywność selekcji wyznacza się z właściwości rozkładu normalnego i proporcji drzew wybranych z populacji. W ten sposób określamy, o ile odchyłeń standardowych średnia wybranej grupy osobników będzie się różniła od średniej ogólnej. W tym miejscu wypada wspomnieć o częstym nieporozumieniu, związanym z pojęciem intensywności selekcji, ponieważ wartość i podana powyżej nie określa ostrości selekcji w sensie proporcji wybranych osobników, ale jest od niej zależna. Tak więc przy wyborze 50% osobników z populacji intensywność selekcji wyniesie 0,7978, a przy wyborze 1% osobników $i=2,6652$. Wartości i mogą być odczytane ze specjalnych tablic [np. Falconer i Mackay 1996]. Hodowca, określając proporcję osobników do wyboru, może więc oszacować spodziewany zysk genetyczny jako:

$$(7) \Delta G = h^2 \sigma_F i$$

Zysk genetyczny zależy zatem od odziedziczalności cechy, jej zmienności w populacji i intensywności selekcji. Należy pamiętać przy tym, że ocena zysku genetycznego obliczonego w ten sposób dotyczy tylko jednej cechy. Każda cecha będzie miała inną odziedziczalność, zależną od jej zmienności w danej populacji. Zysku obliczonego dla różnych cech nie należy traktować łącznie [Giertych 1966].

Przydatność oczekiwanego zysku genetycznego leży w możliwości oceny efektywności różnych strategii selekcyjnych w programie hodowli selekcyjnej. W przypadku

plantacji nasiennych ocenę oczekiwanego zysku genetycznego otrzymuje się przez testowanie potomstwa drzew (klonów) wchodzących w ich skład. Na podstawie wyników z testów potomstwa otrzymujemy wartości odziedziczalności, dzięki którym możemy obliczyć oczekiwany zysk genetyczny, przyjmując określoną strategię postępowania hodowlanego i związaną z nią intensywność selekcji (lub różnicę selekcyjną). W tabeli 1 podano oczekiwane wartości zysku genetycznego dla plantacji nasiennych na różnym etapie zaawansowania programu hodowli selekcyjnej.

Tab. 1. Oczekiwany zysk genetyczny z plantacji nasiennych na różnych etapach programu hodowli selekcyjnej (za Giertychem 1976, zmienione). We wzorach pominięto σ^2

Metoda hodowli	Oczekiwany zysk genetyczny	Uwagi
Plantacja nasienne klonowa	$i h_{ss}^2$	i reprezentuje intensywność selekcji przy wyborze drzew doborowych
Plantacja nasienne klonowa po czyszczeniach genetycznych, na podstawie testów potomstwa z wolnego zapylenia	$i_1 h_{ss}^2 + \frac{1}{2} i_2 h_{ss}^2$	i ₂ reprezentuje intensywność selekcji po testach potomstwa
Plantacja nasienne rodowa (plantacyjna uprawa nasienne)	$\frac{1}{2} i h_{ss}^2$	podobnie jak w przypadku plantacji klonowej, ale zysk będzie zredukowany o połowę (nieznani ojcowie w rodach na plantacji)
Plantacja nasienne rodowa po redukcji do najlepszych rodów	$\frac{1}{2} i_1 h_{ss}^2 + \frac{1}{4} i_2 h_{ss}^2$	podobnie jak w przypadku plantacji klonowej, ale dodatkowy zysk jest o połowę mniejszy
Plantacja nasienne rodowa po redukcji do najlepszych drzew z najlepszych rodów	$\frac{1}{2} i_1 h_{ss}^2 + \frac{1}{4} i_2 h_{ss}^2 + \frac{3}{4} i_3 h_{ss}^2$	dodatkowy zysk z selekcji wewnątrz rodów (i ₃)

Oczekiwany zysk genetyczny jest przydatny przy planowaniu strategii hodowlanej, jednak to zrealizowany zysk genetyczny jest najbardziej interesujący dla hodowcy. Ocenę zrealizowanego zysku genetycznego prowadzi się na podstawie wyników doświadczeń porównawczych, w których ulepszony i nieulepszony materiał jest sadzony w wielu lokalizacjach w układzie losowym z powtórzeniami. Aby takie doświadczenia przyniosły wiarygodne wyniki, muszą być spełnione następujące kryteria: 1) nasiona powinny być zebrane w sposób odzwierciedlający zwyczajne postępowanie hodowlane; 2) potomstwo porównywanych obiektów musi być posadzone na poletkach, które będą na tyle małe, aby zredukować element zmienności środowiskowej, a na tyle duże, aby odzwierciedlać procesy zachodzące w drzewostanie; 3) czas oceny musi pozwolić na wiarygodną interpretację wyników w wieku rębności [Weng i in. 2008].

Zrealizowany zysk genetyczny zwykle jest wyrażony w procentach w porównaniu z materiałem nieulepszonym:

$$\text{zysk zrealizowany} = [(\text{ulepszony} - \text{nieulepszony}) / \text{nieulepszony}] \times 100\% \quad (8)$$

White i in. [2007] wyróżniają jeszcze jeden rodzaj zysku genetycznego – modelowany (symulowany) zysk genetyczny. Jest on uzyskiwany przez reprezentację ulepszo-

nego materiału genetycznego w modelach komputerowych, symulujących wzrost i rozwój drzewostanów przy różnego rodzaju założeniach. Jest to również forma zysku oczekiwanego, ale obliczonego nie na podstawie wymienionych wzorów, lecz danych o interesujących hodowcę cechach testowanego materiału (przeważnie mierzonych w młodym wieku) i predykcji tych cech do wieku rębności przez reprezentację procesów wzrostu, konkurencji i przeżywalności w modelach komputerowych. Należy przypuszczać, że rola takich modeli, a zatem również uzyskanej z ich użyciem oceny zysku genetycznego, będzie rosła w przyszłości.

2. Różnice między zyskiem oczekiwanym a zrealizowanym i ograniczenia dla zysku genetycznego

Obliczanie oczekiwanego zysku genetycznego wiąże się z wieloma założeniami dotyczącymi populacji poddanej selekcji. W przypadku oceny zysku z plantacji nasiennych zakładamy, że klony krzyżują się ze sobą losowo, a wszystkie klony na plantacji mają równy udział w potomstwie – zarówno jako matki, jak i ojcowie. Zakładamy również, że nasiona z plantacji reprezentują potomstwo wyłącznie drzew obecnych na plantacji, powstałe bez udziału obcego pyłku. Przyjmuje się też, że komercyjne potomstwo z plantacji będzie wykorzystywane w warunkach środowiskowych identycznych z tymi w testach potomstwa.

Zrealizowany zysk genetyczny z plantacji nasiennych jest z reguły niższy niż zysk spodziewany, wyliczony na podstawie wzoru 7. Po części może to wynikać z faktu, że oczekiwany zysk obliczony jest na podstawie wyników testów potomstwa. W takich doświadczeniach drzewa poszczególnych rodów rosną w innym układzie niż na normalnej uprawie lub na uprawie porównawczej, oceniającej zysk zrealizowany. Zwykle w testach potomstwa zakładane są małe poletka lub poletka jednodrzewowe, co powoduje bardziej intensywną konkurencję między rodami niż w przypadku dużych poletek rodowych. Może to prowadzić do zawyżenia różnic między rodami, a w konsekwencji również zawyżenia oceny zysku genetycznego. Obniżenie zysku zrealizowanego, w porównaniu z oczekiwanym, wynika też z przekroczenia wcześniej wspomnianych założeń.

Równomierny udział klonów na plantacjach nasiennych, jako rodziców pokolenia potomnego, jest raczej wyjątkiem niż regułą. Przekroczenie tego założenia może wynikać z różnic w produkcji kwiatów czy kwiatostanów męskich i żeńskich lub z różnic fenologicznych, utrudniających krzyżowanie niektórych klonów. Z badań na plantacjach nasiennych wynika, że tylko pewien procent klonów produkuje większość kwiatostanów lub jest rodzicami większości produkowanych nasion [Wesoły i in. 1984; Chałupka 1988; Burczyk i Chałupka 1997]. Na plantacji nasiennej daglezi wykazano, że 80% gamet żeńskich było produkowanych przez 23% do 39% klonów, a 80% gamet męskich przez 45% klonów [El-Kassaby i in. 2010; Lai i in. 2010; Kess i El-Kassaby 2015]. Przy tym tylko dwa klony odpowiadały za produkcję 46% gamet żeńskich, natomiast dwa klony o największym udziale w puli gamet męskich odpowiadały łącznie za produkcję 16,5%

gamet [El-Kassaby i in. 2010]. Nierównomierny udział klonów może wynikać też z różnej liczby szczepów między klonami na plantacji, chociaż obserwowano również brak bezpośredniego przełożenia między sukcesem reprodukcyjnym klonu a liczbą szczepów [El-Kassaby i in. 2010]. Wymienione czynniki powodują, że skład potomstwa z plantacji może być różny od teoretycznej idealnej mieszaniny nasion.

Pewien stopień zanieczyszczenia obcym pyłkiem, pochodzącym spoza plantacji, jest nieunikniony w przypadku większości rodzimych gatunków drzew. Ocenia się, że w normalnych warunkach polowych zanieczyszczenie obcym pyłkiem na plantacjach gatunków wiatropylnych wynosi średnio od 20 do 50% i może wahać się w szerokich granicach od 1 do 91% [źródła cytowane przez Działuka i Burczyka, 2005]. Stopień zanieczyszczenia pyłkiem na plantacjach nasiennych jest zależny od ich wieku, wielkości, stopnia izolacji od najbliższych drzewostanów danego gatunku oraz zgodności fenologii kwitnienia klonów. Przy stuprocentowym udziale obcego pyłku, co może nastąpić np. na plantacjach młodych, zysk genetyczny będzie zredukowany o połowę w stosunku do spodziewanego [Eriksson i in. 2013]. Porównanie wyników testowania potomstwa sosny z kontrolowanego krzyżowania z praktycznymi wynikami uprawy drzew pochodzących z plantacji nasiennych w Szwecji wykazało, że osiągnięto około 60% zysku oczekiwanego przy założeniu, że nasiona z plantacji powstają bez udziału obcego pyłku [Högberg i Jansson 2001 za Janssonem 2007]. Problem obniżania zrealizowanego zysku przez zanieczyszczenie obcym pyłkiem staje się ważniejszy wraz z ulepszaniem populacji hodowlanej w kolejnych cyklach selekcji [Li i in. 1999].

Zrealizowany zysk zależy również od warunków siedliskowych. Zróżnicowanie cech może ujawniać się w większym stopniu na siedliskach bogatszych, materiał o lepszych właściwościach może wykazywać większy zysk na siedliskach lepszych w porównaniu ze słabszymi [Dhakal i in. 1996; Matziris 2000; Weng i in. 2008], chociaż nie jest to regułą [Weng 2011]. Warunki również mogą wpływać na poziom zrealizowanego zysku. Dla przykładu, u daglezi zanotowano znacznie większy zysk na miąższości w wieku 15 lat w więźbie gęstej ($1,8 \times 1,8$ m) niż w rozluźnionej ($3,6 \times 3,6$ m) dla materiału elitarnego, a odwrotną zależność dla materiału o niższym poziomie ulepszenia genetycznego [Ye i in. 2010]. U sosny Elliotta obserwowano większy zysk dla średniego rocznego przyrostu miąższości na hektar w warunkach zwalczania roślinności konkurencyjnej w porównaniu z wariantem kontrolnym, chociaż różnice te były związane raczej ze zwiększeniem przeżywalności niż zwiększeniem miąższości drzew (Vergara i in. 2004).

Obniżenie zysku genetycznego z plantacji nasiennych może również wynikać z braku prowadzenia cięć selekcyjnych (czyszczeń genetycznych). Na podstawie testów potomstwa uzyskuje się ocenę wartości hodowlanej drzew obecnych na plantacji. Klony drzew matecznych o najniższej wartości hodowlanej powinny być usunięte w cięciach selekcyjnych. Jeżeli te drzewa pozostają na plantacji, to nawet jeśli nie są zbierane z nich nasiona, ich pyłek bierze udział w produkcji pokolenia potomnego i obniża jego wartość, analogicznie do zanieczyszczenia obcym pyłkiem z drzew o nieznannej wartości hodowlanej. Dlatego, po uzyskaniu wiarygodnych ocen wartości hodowlanej drzew na plantacji, niezbędne jest przeprowadzenie cięć selekcyjnych. Warto nadmienić, że w naszej dotychczasowej praktyce hodowlanej cięcia „selekcyjne” na plantacjach 1. generacji były prowadzone jedynie na podstawie oceny stanu szczepów

i w celu rozluźnienia więzby na plantacjach. Dopiero wyniki uzyskane w ramach *Programu testowania potomstwa...* [Sabor i in. 2004] pozwolą na weryfikację składu plantacji opartą na wartości hodowlanej drzew.

Ostateczną przyczyną ograniczającą osiąganie zysku genetycznego w programach hodowli selekcyjnej jest utrata zmienności genetycznej. Jak wynika z przedstawionych definicji, jeżeli w populacji hodowlanej nie istnieje zmienność, to niemożliwe jest przeprowadzenie selekcji, a w związku z tym osiągnięcie postępu hodowlanego. Ryzyko utraty zmienności w pierwszej lub drugiej generacji cyklu selekcyjnego jest bardzo niewielkie, lecz zwiększa się wraz z postępowaniem programu hodowlanego. Dlatego ważnym zagadnieniem jest utrzymanie odpowiedniego poziomu zmienności genetycznej w populacji hodowlanej, tak by zachować równowagę między wielkością zysku genetycznego a możliwością jego osiągnięcia zarówno w krótkim, jak i długim (kilkanaście pokoleń drzew) przedziale czasowym. W populacjach hodowlanych zmienność genetyczna jest, siłą rzeczy, mniejsza niż w populacji źródłowej, obejmującej cały gatunek. Jednak przez odpowiednie zarządzanie zmiennością genetyczną i pokrewieństwem w populacji hodowlanej hodowcy są w stanie zapewnić trwałość zysku genetycznego. Problem ten obejmuje zagadnienia mieszczące się w ogólnej strategii hodowlanej dla danego gatunku, takie jak wielkość i struktura populacji hodowlanej, struktura krzyżowania oraz dobór osobników do dalszej hodowli. Skład i prowadzenie przyszłych plantacji nasiennych będą związane z tymi zagadnieniami. Warto nadmienić, że nawet jeśli w populacji hodowlanej, traktowanej jako całość, występuje podwyższony poziom wsobności, a więc obniżony poziom zmienności genetycznej, to do składu plantacji nasiennych można i należy dobierać osobniki niespokrewnione, tak aby potomstwo, które trafi do odnowień i zalesień, było jak najbardziej zróżnicowane genetycznie.

3. Przykłady zrealizowanego zysku genetycznego

W literaturze jest stosunkowo mało doniesień na temat zrealizowanego zysku genetycznego. Jest to spowodowane tym, że doświadczenia demonstrujące zysk zrealizowany muszą spełniać kryteria wymienione powyżej, a więc są kosztowne w założeniu i utrzymaniu. Poza tym, wiarygodne wyniki takich testów są dostępne dopiero powyżej połowy zakładanego wieku użytkowania rębnego, co opóźnia proces selekcji i hodowli, w konsekwencji spowalniając postęp genetyczny w programach hodowlanych. Dlatego programy hodowli selekcyjnej w większości wykorzystują dane z testów potomstwa i w prowadzeniu prac selekcyjnych opierają się na ocenie spodziewanego zysku genetycznego. Niemniej uprawy demonstrujące zrealizowany zysk genetyczny są bardzo użytecznym narzędziem do sprawdzenia efektywności podejmowanych decyzji hodowlanych.

W tabeli 2 przedstawiono kilkanaście przykładów zrealizowanego zysku genetycznego z różnych programów hodowlanych gatunków iglastych. W tabeli zawarto głównie cechy związane z przyrostem, a więc o największej wadze ekonomicznej – wysokość i pierśnicę oraz miąższość indywidualnych drzew lub w przeliczeniu na jednostkę powierzchni (poletko doświadczalne lub hektar).

Tab. 2. Przykłady zrealizowanego zysku genetycznego w różnych programach hodowlanych drzew leśnych (b.d. oznacza brak danych)

Ciatunek	Wiek oceny (lata)	Cecha	Kategoria ulepszanego materiału	% zysku ponad materiał nieulepszony		Uwagi	Kraj	Źródło		
				zrealizowany	modelowany					
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
sosna zwyczajna (<i>Pinus sylvestris</i>) świerk pospolity (<i>Picea abies</i>)	b.d.	miąższość indywidualnych drzew	PN 1. gen. bez czyszczeń	10			Szwecja	Eriksson i in. 2013		
			PN 1. gen. po czyszczeniach	12						
			PN 2. gen. bez czyszczeń	25						
sosna zwyczajna (<i>Pinus sylvestris</i>)	30	wysokość	b.d.	9			Szwecja	Eriksson i in. 2013		
		pierśnica		6						
		miąższość indywidualnych drzew		19						
sosna zwyczajna (<i>Pinus sylvestris</i>)	7 do 10	wysokość	drzewa doborowe 1. gen.	10,5		średnia z pięciu testów potomstwa z kontrolowanych krzyżówek	Szwecja	Jansson 2007		
	26 do 36	miąższość na ha		11,7						
sosna zwyczajna (<i>Pinus sylvestris</i>)	14 do 15	wysokość	PN 1. generacji	7,7			Finlandia	Haapanen i in. 2016		
		wysokość	PN 1.5 generacji	11,7						
		pierśnica	PN 1. generacji	6,3						
		pierśnica	PN 1.5 generacji	13,3						
		miąższość indywidualnych drzew	PN 1. generacji	14,5						
		miąższość indywidualnych drzew	PN 1.5 generacji	33,5						
		roczny przyrost miąższości	dojrzała plantacja 1. gen.							10,6
			dojrzała plantacja 1. gen. po czyszczeniach							12,3
			młoda plantacja 1.5 gen.							15,8
			dojrzała plantacja 1.5 gen.							22,9
			dojrzała plantacja 1.5 gen. po czyszczeniach							25,3

Gatunek	Wiek oceny (lata)	Cecha	Kategoria ulepszanego materialu	% zysku ponad materiał nieulepszony		Uwagi	Kraj	Źródło
				zrealizowany	modelowany			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
sosna zwyczajna (<i>Pinus sylvestris</i>)	4	wysokość	PN 1. gen. bez czyszczeń	1.1		porównanie z potomstwem gospodarczych drzewostanów nasiennych	Polska	Chmura i in. 2003 Chmura niepubl.
	8			1.5				
	13	pierśnica		1.16				
sosna czarna (<i>Pinus nigra</i>)	9	wysokość	PN 1. gen. bez czyszczeń	6			Grecja	Matziris 2005
		pierśnica		8				
		miąższość indywidualnych drzew		24				
		wysokość	PN 1. gen. po czyszczeniach (usunięte 20% najgorszych klonów)	8				
		pierśnica		11				
		miąższość indywidualnych drzew		32				
sosna alepska (<i>Pinus halepensis</i>)	10	wysokość	PN 1. gen. bez czyszczeń	6,03			Grecja	Matziris 2000
		pierśnica		7,67				
		miąższość indywidualnych drzew		13,06				
		wysokość	PN 1. gen. po czyszczeniach (usunięte 20% najgorszych klonów)	7,9				
		pierśnica		10,38				
		miąższość indywidualnych drzew		21,25				
sosna nadmorska (<i>Pinus pinaster</i>)	18	pierśnica	rasa lokalna	4 do 8		porównanie z proveniencją „typową”, sprawdzoną bezpośrednio z Portugalii	Australia	Butcher i Hopkins 1993
			drzewostan nasienny	5 do 6				
			PN 1. generacji	9 do 10				
		przekrój pierśnicowy na hektar	rasa lokalna	8				
			drzewostan nasienny	11				
			PN 1. generacji	21 do 26				
sosna taeda (<i>Pinus taeda</i>)	b.d.	miąższość indywidualnych drzew	PN 1. gen. bez czyszczeń	8			USA	Eriksson i in. 2013
			PN 1. gen. po czyszczeniach	13				
			PN 2. gen. bez czyszczeń	18				
			PN 2. gen. po czyszczeniach	30				

Plantacje nasienne drzew leśnych w Polsce

Gatunek	Wiek oceny (lata)	Cecha	Kategoria ulepszanego materialu	% zysku ponad materiał nieulepszony		Uwagi	Kraj	Źródło
				zrealizowany	modelowany			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
sosna taeda (<i>Pinus taeda</i>)	8	wysokość	PN 2. generacji	17,25		średnia z czterech regionów testowania	USA	Li i in. 1997
sosna Elliotta (<i>Pinus elliotii</i>)	4 do 20	miąższość indywidualnych drzew	grupa 1	-3	potomstwo z kontrolowanych krzyżówek, pogrupowane na podstawie przewidywanej wartości hodowlanej (ocena rodziców) od 1 – grupa najstarsza do 5 – grupa najlepsza	USA	Dhakal i in. 1996	
			grupa 2	10				
			grupa 3	15				
			grupa 4	19				
			grupa 5	22				
sosna Elliotta (<i>Pinus elliotii</i>)	5 do 6	miąższość indywidualnych drzew	9 do 23 rodów z wolnego zapylenia lub mieszanina z PN 1. generacji	10,5	średnia z 19 powierzchni badawczych	USA	Vergara i in. 2004	
	7 do 10			7,2				
	11 do 13			6,2				
	15 do 18			6,2				
	5 do 6		mieszanina sześciu rodów z kontrolowanych krzyżówek	13,9				średnia z 18 powierzchni badawczych z dwoma wariantami (usuwanie roślinności konkurencyjnej oraz kontrola)
	7 do 10			8,9				
	11 do 13			8,7				
	5 do 6		średni roczny przyrost miąższości na hektar	9 do 23 rodów z wolnego zapylenia lub mieszanina z PN 1. generacji				9,3
	7 do 10	7,1						
	11 do 13	8,1						
	15 do 18	10						
	5 do 6	mieszanina sześciu rodów z kontrolowanych krzyżówek		20,9	średnia z 18 powierzchni badawczych z dwoma wariantami (usuwanie roślinności konkurencyjnej oraz kontrola)			
	7 do 10			11,5				
	11 do 13			12,7				

Gatunek	Wiek oceny (lata)	Cecha	Kategoria ulepszanego materialu	% zysku ponad materiał nieulepszony		Uwagi	Kraj	Źródło
				zrealizowany	modelowany			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
sosna kalifornijska (<i>Pinus radiata</i>)	15 do 17	wysokość	PN 1. gen. bez czyszczeń	4		porównanie z materiałem nieulepszonym	Nowa Zelandia	Carson i in. 1999
			PN 1. gen. – kontrolowane krzyżówki między najlepszymi rodzicami	6,2				
			PN 1. gen. bez czyszczeń	4,5		porównanie z materiałem komercyjnym 1. generacji		
			PN 2. gen – kontrolowane krzyżówki między najlepszymi rodzicami	5,3				
		pierśnica	PN 1. gen. bez czyszczeń	7,8	porównanie z materiałem nieulepszonym			
			PN 1. gen. – kontrolowane krzyżówki między najlepszymi rodzicami	13,3				
			PN 1. gen. bez czyszczeń	5,6	porównanie z materiałem komercyjnym 1. generacji			
			PN 2. gen – kontrolowane krzyżówki między najlepszymi rodzicami	11,4				
		miąższość na ha	PN 1. gen. bez czyszczeń	18,8	porównanie z materiałem nieulepszonym			
			PN 1. gen. – kontrolowane krzyżówki między najlepszymi rodzicami	33,8				
			PN 1. gen. bez czyszczeń	15	porównanie z materiałem komercyjnym 1. generacji			
			PN 2. gen – kontrolowane krzyżówki między najlepszymi rodzicami	33,6				

Plantacje nasienne drzew leśnych w Polsce

Gatunek	Wiek oceny (lata)	Cecha	Kategoria ulepszanego materiału	% zysku ponad materiał nieulepszony		Uwagi	Kraj	Źródło
				zrealizowany	modelowany			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
sosna Banksa (<i>Pinus banksiana</i>)	5	wysokość	Plantacja rodowa 1 gen. bez czyszczeń	3,6			Kanada	Weng i in. 2008
			Plantacja rodowa 1 gen. po pierwszym czyszczeniu	1,5				
			Plantacja rodowa 1 gen. po drugim czyszczeniu	5,3				
	10	wysokość	Plantacja rodowa 1 gen. bez czyszczeń	0,9				
			Plantacja rodowa 1 gen. po pierwszym czyszczeniu	2,7				
			Plantacja rodowa 1 gen. po drugim czyszczeniu	4,3				
	15	wysokość	Plantacja rodowa 1 gen. bez czyszczeń	0,2				
			Plantacja rodowa 1 gen. po pierwszym czyszczeniu	3,1				
			Plantacja rodowa 1 gen. po drugim czyszczeniu	3,8				
	15	piersznica	Plantacja rodowa 1 gen. bez czyszczeń	-1,1				
			Plantacja rodowa 1 gen. po pierwszym czyszczeniu	0,8				
			Plantacja rodowa 1 gen. po drugim czyszczeniu	1,6				
	15	miąższość na ha	Plantacja rodowa 1 gen. bez czyszczeń	4,9				
			Plantacja rodowa 1 gen. po pierwszym czyszczeniu	17,4				
			Plantacja rodowa 1 gen. po drugim czyszczeniu	19,9				

Zysk genetyczny z plantacji nasiennych

Gatunek	Wiek oceny (lata)	Cecha	Kategoria ulepszanego materiału	% zysku ponad materiał nieulepszony		Uwagi	Kraj	Źródło
				zrealizowany	modelowany			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
sosna Banksa (<i>Pinus banksiana</i>)	15	miąższość na ha	Plantacja rodowa 1 gen. po drugim czyszczeniu		16	miąższość modelowana w pakiecie STAMAN	Kanada	Weng i in. 2008
	20				10			
	25				9,5			
	30				8,2			
	35				8,1			
	40				6			
	45				4,3			
dagleźnia zielona (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)	8	pierśnica	materiał średni	1,3	materiał średni – potomstwo z kontrolowanego krzyżowania o spodziewanym zysku gen. dla miąższości ind. drzew w wieku lat 15 wynoszącym 8% materiał elitarny jw., lecz o spodziewanym zysku gen. wynoszącym 25%	USA	Ye i in. 2010	
	8		materiał elitarny	7,8				
	15		materiał średni	3,3				
	15		materiał elitarny	5,2				
	8	wysokość	materiał średni	2,2				
	8		materiał elitarny	5,7				
	15		materiał średni	2,8				
	15		materiał elitarny	4,2				
	8	miąższość na ha	materiał średni	11,3				
	8		materiał elitarny	43,8				
	15		materiał średni	12,2				
	15		materiał elitarny	22,1				
świerk czarny (<i>Picea mariana</i>)	5	wysokość	elitarny drzewostan nasienny	10,1		Kanada	Weng 2011	
			plantacja rodowa 1. gen. po czyszczeniu genetycznym (usunięte 52% rodów)	9,4				
			plantacja klonowa 2 gen.	15,7				
			mieszanina 8 elitarnych rodów z kontrolowanego zapyleńia	25,6				

Jak wynika z analizy danych przedstawionych w tabeli 2, selekcja prowadzi do osiągnięcia zysku genetycznego, chociaż jego wielkość jest zróżnicowana. Po pierwsze, zrealizowany zysk dla miąższości jest średnio ponaddwukrotnie wyższy niż dla wysokości lub pierśnicy. Tak więc, prowadząc selekcję na wysokość i/lub pierśnicę, można spodziewać się wyższego zysku na miąższości, niż wynika to z zysku dla tych dwóch cech oddzielnie.

Po drugie, im wyżej znajdujemy się w cyklu selekcyjnym, tym większy jest zrealizowany zysk. W źródłach podanych w tabeli 2 nie zawsze możliwa była dokładna identyfikacja kategorii ulepszanego materiału, ale średnio zysk zrealizowany dla plantacji nasiennych 1. generacji, bez czyszczeń selekcyjnych (genetycznych), wyniósł 4,1% dla wysokości, 5,6% dla pierśnicy i 13,0% dla miąższości. Wartości dla plantacji nasiennych po czyszczeniach genetycznych wyniosły odpowiednio 6,3%, 9,9% i 19,9%, a dla plantacji nasiennych 2. generacji – 12,5%, 12,3% oraz 27,5%. Wyraźnie więc zaznacza się powiększenie zysku w miarę postępu cyklu selekcyjnego.

Do zysku genetycznego, związanego ze zwiększeniem produktywności masy drzewnej, należy dodać zysk wynikający z możliwości zastosowania luźniejszej więzby sadzenia, a przez to ograniczenia kosztów związanych z wczesnymi zabiegami pielęgnacyjnymi [Butcher i Hopkins 1993], chociaż wskazana jest tutaj uważność [Ye i in. 2010]. Należy zauważyć, że zysk genetyczny wyrażony w procentach (równanie 8) może zmniejszać się z wiekiem nawet mimo zwiększających się różnic absolutnych między materiałem ulepszonym i nieulepszonym [Carson i in. 1999a; Jansson 2007; Weng i in. 2008; Ye i in. 2010].

Dodatkowym zyskiem, rzadko uwzględnianym w ocenie zrealizowanego zysku genetycznego, może być „zysk na czasie”, ponieważ ulepszony materiał może mieć szybsze tempo osiągania zakładanych wymiarów [Carson i in. 1999a; Haapanen i in. 2016]. Przykładowo, dla sosny zwyczajnej w Finlandii przy określaniu dojrzałości rębnej na podstawie średnicy drzew, wykorzystując symulację w modelu przyrostowym MOTTI, prognozowano znaczne skrócenie wieku rębności z 64 do 51 lat (20,3%), gdy odnowienie powstało na żyzniejszym siedlisku z nasion pochodzących z dojrzałej plantacji nasiennej 1,5 generacji po czyszczeniach genetycznych [Haapanen i in. 2016].

Dla hodowców, oprócz cech przyrostowych, ważne są również cechy jakościowe oraz odporność na szkodniki i patogeny. Wyniki doświadczeń wskazują, że cechy te, szczególnie odpornościowe, poddają się efektywnej selekcji. W przypadku daglezi zielonej notowano poprawę prostości pnia od 15% do 43% nawet w materiale ulepszonym tylko pod względem cech przyrostowych [Ye i in. 2010], chociaż u sosny zwyczajnej stwierdzono zwiększoną liczbę drzew rozdwojonych [Haapanen i in. 2016].

U sosny Elliotta, przez prowadzenie selekcji w kierunku odporności na rdzę wywołwaną przez grzyby z rodzaju *Cronartium*, można spodziewać się obniżenia porażenia przez rdzę do 53–70% poziomu porażenia wykazywanego przez materiał nieulepszony [Dhakał i in. 1996]. Rody charakteryzowane jako odporne na rdzę wykazały również zysk genetyczny na miąższości (10–15%), lecz głównie na siedliskach silnie narażonych na występowanie rdzy. Ten zysk został wyliczony tylko dla miąższości pojedynczych drzew – prawdopodobnie należy spodziewać się większego zysku dla produkcji sumarycznej, jeśli przeżywalność odpornych rodów będzie większa niż materiałowi nieulep-

szonemu [Dhakal i in. 1996]. Potwierdzają to wyniki innego doświadczenia wykazujące, że mieszanina rodów sosny Elliotta odpornych na rdzę osiągnęła średni przyrost miąższowości w wieku 16 lat większy o prawie 25% od mieszaniny rodów wrażliwych na rdzę, co wiązało się głównie z różnicami wywołanymi większą śmiertelnością rodów wrażliwych [Vergara i in. 2007].

4. Praktyczne wykorzystanie zysku genetycznego

Aby zysk genetyczny, osiągnięty w danym cyklu programu hodowlanego, mógł zostać zrealizowany i przełożony się na zysk ekonomiczny, nasiona z plantacji nasiennych powinny zostać odpowiednio wykorzystane. Na stopień realizacji potencjalnego zysku genetycznego wpływa sposób, w jaki nasiona zostaną zebrane i potraktowane w trakcie produkcji sadzonek oraz jak i gdzie zostaną wykorzystane sadzonki [Foster 1992].

Nasiona zebrane z plantacji nasiennej mogą reprezentować potomstwo oddzielnych klonów lub stanowić mieszaninę potomstwa wszystkich klonów na plantacji – lub tylko części z nich. Zbiór tylko z określonych klonów praktykowany jest zwykle w przypadkach, gdy wartość hodowlana wszystkich drzew na plantacji została oceniona, lecz z różnych przyczyn nie usunięto jeszcze drzew dających potomstwo o najniższej wartości. Pomimo że zachowanie tożsamości nasion z poszczególnych drzew zwiększa pracochłonność zbioru, jest to zabieg polecany, ponieważ nasiona zebrane w taki sposób można następnie zmieszać w różnych proporcjach, jeśli zajdzie taka potrzeba, natomiast wydzielenie poszczególnych rodów z mieszaniny nasion jest niewykonalne.

Produkcja sadzonek z ulepszonych nasion może również przebiegać w sposób umożliwiający zachowanie tożsamości potomstwa. Nabiera to szczególnego znaczenia w przypadku, gdy mamy do czynienia z materiałem o określonych właściwościach, np. rodami o określonej odporności na patogeny lub o różnych wymaganiach siedliskowych. Utrzymanie odrębności potomstwa poszczególnych drzew na etapie zbioru nasion i produkcji sadzonek w szkółce znacznie zwiększa możliwości dalszego postępowania z materiałem sadzeniowym.

W przypadku stosowania bloków upraw rodowych zachowanie przynależności do rodów jest niezbędne. Bloki upraw rodowych zakładane są przez sadzenie pojedynczych rodów bądź mieszaniny dwóch lub kilku rodów na uprawach. W przypadku mieszaniny rodów mieszanie powinno odbyć się na etapie zakładania upraw, a nie zbioru nasion. Bloki takie zwykle zajmują kilka do kilkunastu hektarów, chociaż mogą być też większe. Dla przykładu, przedsiębiorstwa wchodzące w skład kooperatyw prowadzących programy hodowlane w południowo-wschodnich stanach USA, które należy uznać za jedne z najbardziej zaawansowanych programów hodowlanych dla drzew leśnych na świecie, wprowadzają rody z wolnego zapylenia w blokach rodowych dla dwóch głównych gatunków sosen w tym regionie. Według danych z 2003 roku – dla *Pinus taeda* na większości z tych upraw (59%), a dla *Pinus elliotii* na 43% powierzchni – sadzone były pojedyncze rody, a pozostała część obsadzana była mieszaniną rodów w różnych proporcjach. Średnio w użyciu w tych przedsiębiorstwach było 47 (od 4 do 90) rodów *P. taeda* oraz 12 (od

3 do 22) rodów *P. elliotii*, a powierzchnia bloków wahała się od 20 ha do 81 ha dla *P. taeda* i od 20 ha do 121 ha dla *P. elliotii* [McKeand i in. 2003]. Należy dodać, że wiodącą funkcją takich upraw jest produkcja surowca drzewnego i często są one prowadzone w wysokiej kulturze, tzn. z intensywnym zwalczaniem roślinności konkurencyjnej w pierwszych latach, a nawet z nawożeniem. W każdym przypadku wielkość i skład (genetyczny) takich upraw oraz ich rozmieszczenie na poziomie krajobrazu (fizjocenozy) powinny być uzależnione od ich wiodącej funkcji oraz oceny ryzyka i opłacalności ekonomicznej takiego przedsięwzięcia. Należy podkreślić, że zachowanie odrębności rodów od zbioru nasion do momentu sadzenia na uprawie stwarza dużą elastyczność wyboru metody wprowadzania ulepszonych materiału do przyszłych upraw.

Efektom końcowym, wprowadzanym do praktyki leśnej w najbardziej zaawansowanych programach hodowli selekcyjnej drzew są również klony. W ten sposób realizowany jest zysk genetyczny z odziedziczalności *sensu lato*. W leśnictwie klonalnym wymagane jest bardzo dokładne poznanie cech konkretnych osobników mnożonych wegetatywnie oraz ich reakcji w różnych warunkach środowiskowych. Wysoki zysk genetyczny w leśnictwie klonalnym osiągnięty jest jednak kosztem znacznej redukcji zmienności genetycznej w uprawach (zwykle jest to 20–50 klonów), co również obciążone jest wyższym ryzykiem niż uprawy rodowe. Jednakże w niektórych wypadkach mnożenie wegetatywne wykorzystuje się także w uprawach rodowych. Przy zastosowaniu kontrolowanego krzyżowania (zapyłania określonych matek pyłkiem znanych ojców) uzyskanie dużych ilości nasion z konkretnych krzyżówek może być problematyczne. W takich przypadkach sadzonki rodów z kontrolowanych krzyżówek sadi się w tzw. żywopłotach (ang. *hedges*), które są intensywnie przycinane dla uzyskania jak największej liczby pędów i utrzymania zdolności do ukorzenia. Z żywopłotów pozyskuje się zrzesy, które następnie się ukorzenia, uzyskując w ten sposób wiele kopii danego genotypu. W tym ujęciu sadzonki wegetatywne z jednego osobnika stanowią klon, ale klony te uzyskuje się z wielu osobników w ramach rodów (pełnych rodzeństw), które są zmienne przez rekombinacje zachodzące podczas rozmnażania płciowego. Odziedziczalność, na której opieramy zysk genetyczny, w tym przypadku dotyczy rodów (*sensu stricto*), a nie – jak w przypadku leśnictwa klonalnego – całości zmienności genetycznej (*sensu lato*), ponieważ korzystamy z informacji o wartości hodowlanej rodów. Ponadto, zmienność w uprawach rodowych z mnożenia wegetatywnego może być znacznie zwiększona przez mieszanie klonów z różnych rodów (z różnych krzyżówek), w porównaniu z typowym leśnictwem klonalnym [White i in. 2007].

Wpływ lokalizacji uprawy, jakości siedliska oraz zabiegów hodowlanych na cechy przyrostowe drzew i drzewostanów może być znaczny w porównaniu z efektami genetycznymi [Carson i in. 1999b]. Na siedliskach bogatszych zrealizowany zysk genetyczny jest z reguły większy niż na siedliskach uboższych [Dhakai i in. 1996; Weng i in. 2008]. Ulepszony materiał powinien więc trafiać do odnowień i zalesień na optymalnym siedlisku i być traktowany z wykorzystaniem najlepszej dostępnej wiedzy o prowadzeniu drzewostanów danego gatunku.

Na poziom zysku mogą mieć również wpływ inne zabiegi hodowlane, które nie są typowo wykonywane w normalnych uprawach, np. nawożenie czy podkrzesywanie. W każdym przypadku zabiegi takie powinny mieć uzasadnienie ekonomiczne.

Ważnym zagadnieniem praktycznej realizacji zysku genetycznego jest jego sprawdzanie w warunkach terenowych [Foster 1992]. W polskim leśnictwie funkcję takich powierzchni demonstracyjnych z powodzeniem mogą pełnić bloki upraw pochodnych z plantacji nasiennych, przy czym powinny zostać zachowane pewne warunki. Przede wszystkim ważne jest bardzo dokładne udokumentowanie pochodzenia nasion i roku zbioru. Powinno się dokumentować, z ilu (i z których) klonów zbierane były nasiona w danym roku oraz w jaki sposób były zmieszane. Jeśli nasiona nie były zmieszane, potomstwo określonych rodów powinno być oznaczone na uprawie. Ważnym aspektem, nieuwzględnionym do tej pory w wytycznych do zakładania upraw pochodnych, jest potrzeba włączenia w ramach bloków standardu (najlepiej nieulepszzonego materiału) reprezentującego materiał lokalnie wykorzystywany gospodarczo. Taki standard powinien być ten sam w kolejnych cyklach programu hodowlanego, dlatego należałoby do tego celu zabezpieczyć znaczną ilość nasion [Foster 1992]. Ten wymóg może być trudny do zrealizowania dla gatunków, których nasion nie da się przechowywać długoterminowo.

Podsumowanie

Zysk genetyczny jest celem, do którego dąży się przez realizację programów hodowli selekcyjnej. Możliwy do osiągnięcia zysk genetyczny jest właściwy dla określonej populacji i zależy od zmienności cech poddanych selekcji, ich odziedziczalności i intensywności selekcji. Poprzez nasiona z plantacji nasiennych zysk genetyczny, osiągnięty na danym poziomie cyklu hodowlanego, jest przekazywany do praktyki leśnej.

Oczekiwany zysk genetyczny dla zakładanej strategii hodowlanej wyliczany jest na podstawie wartości hodowlanej drzew uzyskanej w testach potomstwa. Jednak najbardziej interesujący, z punktu widzenia praktyki leśnej, jest zrealizowany zysk genetyczny. Jego ocenę prowadzi się na podstawie wyników doświadczeń terenowych, w których bezpośrednio porównywane są cechy materiału ulepszzonego i nieulepszzonego. Zysk zrealizowany jest zwykle niższy od oczekiwanego z uwagi na przekroczenie założeń teoretycznych dotyczących zysku genetycznego, głównie związanych z zanieczyszczeniem plantacji obcym pyłkiem i nierównomiernym udziałem klonów w produkcji pokolenia potomnego z plantacji nasiennych. Dostępne dane literaturowe dotyczące zrealizowanego zysku genetycznego w różnych programach hodowli selekcyjnej drzew wskazują, że zrealizowany zysk dla miąższości jest większy niż dla pierśnicy lub wysokości drzew oraz że zysk rośnie w miarę postępu programu hodowlanego. Przeanalizowane przykłady pokazują, że dla miąższości drzew, w porównaniu z materiałem nieulepszonym, można spodziewać się średniego zysku genetycznego wynoszącego około 13% z plantacji nasiennych 1. generacji bez czyszczeń selekcyjnych i około 27% z plantacji 2. generacji. Podane wartości opierają się na danych z programów hodowlanych różnych gatunków iglastych w różnych warunkach środowiskowych, dlatego należy spodziewać się, że podobne wartości zysku genetycznego możliwe są do uzyskania również w polskich warunkach.

Nasiona z plantacji nasiennych powinny zostać odpowiednio wykorzystane, aby zysk genetyczny, osiągnięty w danym cyklu programu hodowlanego, mógł przełożyć się na zysk ekonomiczny. Nie bez znaczenia jest tu sposób, w jaki nasiona zostaną zebrane i potraktowane w trakcie produkcji sadzonek oraz jak i gdzie zostaną wykorzystane

sadzonki. Utrzymanie tożsamości potomstwa poszczególnych drzew od zbioru nasion przez produkcję sadzonek na szkółce znacznie zwiększa możliwości dalszego postępowania z materiałem sadzeniowym. Ulepszony materiał powinien trafiać do odnowień i zalesień na optymalnym siedlisku i być traktowany z wykorzystaniem najlepszej dostępnej wiedzy o prowadzeniu drzewostanów danego gatunku. Ważnym zagadnieniem praktycznej realizacji zysku genetycznego jest jego sprawdzanie w warunkach terenowych, co może być z powodzeniem realizowane w blokach upraw pochodnych z plantacji nasiennych.

Literatura

- Burczyk J., Chałupka W. 1997. *Flowering and cone production variability and its effect on parental balance in a Scots pine clonal seed orchard*. „Annales Des Sciences Forestieres” 54 (2): 129–144.
- Butcher T.B., Hopkins E.R. 1993. *Realized gains from breeding Pinus pinaster*. „Forest Ecology and Management” 58 (3–4): 211–231.
- Carson S.D., Garcia O., Hayes J.D. 1999a. *Realized gain and prediction of yield with genetically improved Pinus radiata in New Zealand*. „Forest Science” 45 (2): 186–200.
- Carson S.D., Kimberley M.O., Hayes J.D., Carson M.J. 1999b. *The effect of silviculture on genetic gain in growth of Pinus radiata at one-third rotation*. „Canadian Journal of Forest Research” 29 (12): 1979–1984.
- Chałupka R. 1988. *Kwitnienie i zamieranie szczepów na modelowej plantacji nasiennej świerka pospolitego (Picea abies L. Karst.) w Kórniku*. „Arboretum Kórnickie” 33: 127–157.
- Chmura D.J., Giertych M., Rożkowski R. 2003. *Early height growth of Scots pine (Pinus sylvestris L.) progenies from Polish clonal seed orchards*. „Dendrobiology” 49: 15–23.
- Dhakal L.P., White T.L., Hodge G.R. 1996. *Realized genetic gains from slash pine tree improvement*. „Silvae Genetica” 45 (4): 190–197.
- Działuk A., Burczyk J. 2005. *Intensywność przepływu genów u drzew leśnych*. „Wiadomości Botaniczne” 49 (3/4): 15–27.
- El-Kassaby Y.A., Funda T., Lai B.S.K. 2010. *Female reproductive success variation in a Pseudotsuga menziesii seed orchard as revealed by pedigree reconstruction from a bulk seed collection*. „Journal of Heredity” 101 (2): 164–168.
- Eriksson G., Ekberg I., Clapham D. 2013. *Genetics applied to forestry*. Department of Plant Biology and Forest Genetics, Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala: 206.
- Falconer D.S., Mackay T.F.C. 1996. *Introduction to quantitative genetics*. 4th edition. Pearson Education Ltd., Harlow, England: 464.
- Fins L., Friedman S.T., Brotschol J.V. [red.] 1992. *Handbook of quantitative forest genetics*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.
- Foster G.S. 1992. *Estimating yield: Beyond breeding values* [w:] Fins L., Friedman S. T., Brotschol J.V. [red.]. *Handbook of quantitative forest genetics*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London: 229–269.
- Giertych M. 1966. *Zysk genetyczny a metoda produkcji nasion drzew leśnych*. „Sylwan” 110 (11): 59–64.
- Giertych M. 1976. *Doskonalenie składu genetycznego populacji drzew leśnych*. Wydawnictwo SGGW-AR w Warszawie: 59.
- Haapanen M., Hynynen J., Ruotsalainen S., Siipilehto J., Kilpeläinen M.L. 2016. *Realised and projected gains in growth, quality and simulated yield of genetically improved Scots pine in southern Finland*. „European Journal of Forest Research” 135 (6): 997–1009.
- Högberg K.A., Jansson G. 2001. *Field tests of practical harvests in Scots pine seed orchards in southern Sweden* („Redogörelse” nr 3). Uppsala, SkogForsk.
- Jansson G. 2007. *Gains from selecting Pinus sylvestris in southern Sweden for volume per hectare*. „Scandinavian Journal of Forest Research” 22 (3): 185–192.
- Kess T., El-Kassaby Y.A. 2015. *Estimates of pollen contamination and selfing in a coastal Douglas-fir seed orchard*. „Scandinavian Journal of Forest Research” 30 (4): 266–275.

- Lai B.S., Funda T., Liewlaksaneeyanawin C., Klapste J., Van Niejenhuis A., Cook C., Stoehr M.U., Woods J., El-Kassaby Y.A. 2010. *Pollination dynamics in a Douglas-fir seed orchard as revealed by pedigree reconstruction*. „Annals of Forest Science” 67 (8).
- Li B., McKeand S., Hatcher A.V., Weir R.J. 1997. *Genetic gains of second generation selections from the NCSU-Industry Cooperative Tree Improvement Program*. 24th Biennial Southern Forest Tree Improvement Conference, Orlando, Florida, June 9–12, 1997.
- Li B., McKeand S., Weir R.J. 1999. *Tree improvement and sustainable forestry – impact of two cycles of loblolly pine breeding in the USA*. „Forest Genetics” 6 (4): 229–234.
- Matziris D. 2005. *Genetic variation and realized genetic gain from black pine tree improvement*. „Silvae Genetica” 54 (3): 96–104.
- Matziris D.I. 2000. *Genetic variation and realized genetic gain from Aleppo pine tree improvement*. „Silvae Genetica” 49 (1): 5–10.
- McKeand S., Mullin T., Byram T., White T. 2003. *Deployment of genetically improved loblolly and slash pines in the south*. „Journal of Forestry” 101 (3): 32–37.
- Sabor J., Barzdajn W., Blonkowski S., Chałupka W., Fonder W., Giertych M., Korczyk A., Matras J., Potyrałski A., Szelaż Z., Zajączkowski S. 2004. *Program testowania potomstwa wyłączonych drzewostanów nasiennych, drzew doborowych, plantacji nasiennych i plantacyjnych upraw nasiennych*. Warszawa, Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych: 81.
- Van Buijtenen J.P. 1992. *Fundamental genetic principles* [W:] Fins L., Friedman S.T., Brotschol J.V. [red.] *Handbook of quantitative forest genetics*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London: 29–68.
- Vergara R., White T.L., Huber D.A., Schmidt R.A. 2007. *Realized genetic gains of rust resistant selections of slash pine (Pinus elliottii var. elliottii) planted in high rust hazard sites*. „Silvae Genetica” 56 (5): 231–242.
- Vergara R., White T.L., Huber D.A., Shiver B.D., Rockwood D.L. 2004. *Estimated realized gains for first-generation slash pine (Pinus elliottii var. elliottii) tree improvement in the southeastern United States*. „Canadian Journal of Forest Research” 34 (12): 2587–2600.
- Weng Y.H. 2011. *Early realized gains for two-cycle Selection for black spruce and their implications for testing effort allocation*. „Silvae Genetica” 60 (5): 178–186.
- Weng Y.H., Tosh K., Adam G., Fullarton M.S., Norfolk C., Park Y.S. 2008. *Realized genetic gains observed in a first generation seedling seed orchard for jack pine in New Brunswick, Canada*. „New Forests” 36 (3): 285–298.
- Wesoły W., Urbański K., Barzdajn W. 1984. *Kwitnienie i obrządzanie sosny zwyczajnej [Pinus silvestris L.] na plantacjach nasiennych*. „Sylwan” 128 (2): 33–42.
- White T.L., Adams W.T., Neale D.B. 2007. *Forest genetics*. CABI Publishing, Cambridge, MA, USA: 682.
- Ye T.Z., Jayawickrama K.J.S., St-Clair J.B. 2010. *Realized gains from block-pot Coastal Douglas-fir trials in the northern Oregon Cascades*. „Silvae Genetica” 59 (1): 29–39.

Choć plantacje nasienne pełnią tak ważną rolę w hodowli selekcyjnej drzew leśnych i poczyniono w tej dziedzinie znaczne nakłady finansowe, w literaturze polskojęzycznej nie ma zbyt wielu opracowań na temat tych obiektów.[...]

Wydaje się więc, że wraz z wchodzeniem w okres obradzania młodych plantacji i uzyskiwaniem wyników na temat wartości hodowlanej tych obiektów w programie testowania [Sabor i in. 2004; Kowalczyk i in. 2016] plantacje nasienne będą stanowić coraz bardziej znaczące źródło nasion dla gospodarki leśnej. Niniejsze opracowanie zbiorowe zestawia podstawową wiedzę na temat plantacji nasiennych. Mamy nadzieję, że przyczyni się do pełniejszego naświetlenia tematyki związanej z prowadzeniem plantacji nasiennych w warunkach polskich, a tym samym – do prowadzenia ich przez praktyków leśników w taki sposób, aby zoptymalizować wykorzystanie wielkiego potencjału tej bazy nasiennej.

Ze wstępu
prof. Jana Kowalczyka