



Stowarzyszenie  
Inżynierów  
i Techników  
Leśnictwa  
i Drzewnictwa

# postępy techniki w leśnictwie 157

Kierunki rozwoju  
nowoczesnej ochrony lasu



# **postępy techniki w leśnictwie**

# **157**

**Kierunki rozwoju  
nowoczesnej ochrony lasu**



**Stowarzyszenie  
Inżynierów  
i Techników  
Leśnictwa  
i Drzewnictwa**

*Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych rekomenduje publikację do celów szkoleniowych kadry leśnej.*

**Komitety Redakcyjne „Postępów Techniki w Leśnictwie”:**

Przewodniczący i redaktor naczelny – *Krzysztof Jodłowski*

Zastępca przewodniczącego – *Marek Berft*

Redaktorzy – *Tomasz Jabłoński, Olgierd Łęski, Tadeusz Moskalik,  
Anna Tylman, Jerzy Zieliński*

Redaktor wiodący zeszytu – *Tomasz Jabłoński*

Treść artykułów zamieszczanych w „Postęпах Techniki w Leśnictwie” jest wyrazem poglądów prezentowanych przez Autorów opracowań.

Komitet Redakcyjny zastrzega sobie prawo do dokonywania zmian wynikających z opracowania redakcyjnego artykułów.

© Copyright by Zarząd Główny SITLiD, Warszawa 2022 r.

ISSN 0562-1445



Wydawnictwo „Świat”

Okładka: Głowica operacyjna do zwalczania kornika drukarza (*fot. T. Jabłoński*)

Nakład 2000 egz., ark. wyd. 3,50, ark. druk. 3,00 + 0,25 (wkl. barwna) = 3,25.

## Spis treści

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Od Komitetu Redakcyjnego</b> . . . . .                                                                                                   | 5  |
| <i>Iwona Skrzecz</i>                                                                                                                        |    |
| <b>Kierunki rozwoju metod ochrony lasu w perspektywie najbliższych lat</b> . . . . .                                                        | 7  |
| <i>Tomasz Jabłoński</i>                                                                                                                     |    |
| <b>Wykorzystanie nowoczesnych technologii w ochronie lasu</b> . . . . .                                                                     | 13 |
| <i>Miłosz Tkaczyk</i>                                                                                                                       |    |
| <b>Biostymulatory w nowoczesnej uprawie drzew leśnych</b> . . . . .                                                                         | 19 |
| <i>Katarzyna Sikora</i>                                                                                                                     |    |
| <b>Nowe techniki bioindykacji</b> . . . . .                                                                                                 | 24 |
| <i>Miłosz Tkaczyk, Hanna Szmidla</i>                                                                                                        |    |
| <b>Zastosowanie technologii cyfrowej do oceny skuteczności środków ochrony roślin</b> . . . . .                                             | 28 |
| <i>Alicja Sierpińska, Iwona Skrzecz</i>                                                                                                     |    |
| <b>Co badać, aby wykorzystać potencjał metod biologicznych w nowoczesnej ochronie lasu przed owadami?</b> . . . . .                         | 33 |
| <i>Artur Rutkiewicz</i>                                                                                                                     |    |
| <b>Występowanie jemioli rozpięchłej w drzewostanach sosnowych, jako przykład reakcji organizmów leśnych na zmiany klimatyczne</b> . . . . . | 40 |
| <b>Literatura uzupełniająca</b> . . . . .                                                                                                   | 46 |



## ***Od Komitetu Redakcyjnego,***

Ochrona lasu jest jedną z ważniejszych dziedzin wiedzy leśnej oraz działalności gospodarczej mającej na celu zabezpieczenie lasu (drzewostanu) przed szkodami powodowanymi przez różnego rodzaju czynniki. Można je podzielić na 3 podstawowe grupy: biotyczne (żywe organizmy, np. owady, grzyby, rośliny pasożytnicze, wirusy, bakterie, itp.), abiotyczne (przyroda nieożywiona, np. wiatr, śnieg, woda, temperatura, itp.) i antropogeniczne (działalność człowieka, np. imisje przemysłowe).

Ważnym elementem skutecznej ochrony ekosystemów leśnych jest cykliczna ocena zagrożenia ze strony ważniejszych szkodników a następnie zastosowanie, adekwatnych do stwierdzonego poziomu zagrożenia, zabiegów ochronnych.

Konsekwentna ochrona lasu na każdym etapie życia (rozwoju) drzewostanu jest podstawą racjonalnej gospodarki leśnej. Wszelkie zaniedbania w tym zakresie, szczególnie w młodszych drzewostanach, mogą być przyczyną uaktywnienia się silnych procesów chorobowych w późniejszym okresie ich życia, i co za tym idzie, znacznego wzrostu kosztów gospodarowania w takich drzewostanach lub, w skrajnych przypadkach, jego całkowitej nieopłacalności.

Jak należy definiować „nowoczesność” ochrony lasu? Dotychczas oznaczało to zazwyczaj wyłącznie wysoką skuteczność stosowanych metod ochronnych. W sytuacji zachodzących w ostatnich latach zmian klimatycznych szczególnego znaczenia nabiera właściwe określenie głównych kierunków dalszego rozwoju tej dziedziny leśnictwa, w ramach której prowadzone są bezpośrednie działania zmierzające do ograniczenia negatywnego wpływu szeregu organizmów i czynników na las.

W niniejszym Zeszycie przedstawiamy Państwu serię artykułów omawiających główne kierunki rozwoju ochrony lasu ze szczególnym uwzględnieniem uwarunkowań prawnych, technologicznych, badawczych i aplikacyjnych. Niewątpliwie „nowoczesna” ochrona lasu powinna być przede wszystkim skuteczna oraz jednocześnie, m.in. integrowana, selektywna, precyzyjna i uwzględniająca profilaktykę. Wskazuje to jednocześnie na coraz wyższy poziom zaawansowania technologicznego opracowywanych aktualnie i w przyszłości metod ochronnych.

**Komitet Redakcyjny  
Postępów Techniki w Leśnictwie  
Zarządu Głównego SITLiD**



*Iwona Skrzecz*  
*Instytut Badawczy Leśnictwa*

## Kierunki rozwoju metod ochrony lasu w perspektywie najbliższych lat

Współczesna ochrona lasu to ochrona całych ekosystemów leśnych, która korzysta również z wiedzy i praktyki dotyczącej hodowli, zarządzania oraz użytkowania lasu. Najważniejszym zadaniem ochrony lasu jest zahamowanie destrukcyjnych procesów zachodzących w ekosystemach leśnych poprzez integrację różnych działań zmierzających do ukształtowania zdrowych i stabilnych drzewostanów. Lasy Państwowe stosują zasady integrowanej ochrony roślin obejmującej (1) działania profilaktyczne zwiększające odporność lasu na pojawiające się zagrożenia, (2) monitoring stanu ekosystemów leśnych oraz (3) zabiegi ochronne, w których pierwszeństwo mają metody niechemicznie. Ochrona lasu w przyszłości będzie się zmieniać, a przestrzeganie zasad integrowanego podejścia do zagrożeń lasu będzie odgrywało coraz większą rolę. Z pewnością rozwój nowych metod detekcji szkodliwych owadów i patogenów pozwoli na wykrywanie zagrożeń na bardzo wczesnym etapie, co powinno zaowocować redukcją stosowania środków ochrony roślin w leśnictwie.

### 1. Wstęp

Ochrona lasu to dziedzina gospodarki leśnej monitorująca i identyfikująca obecne oraz przyszłe czynniki oddziałujące negatywnie na ekosystemy leśne, a także stosująca różnego typu metody przeciwdziałające tym zagrożeniom. Najczęściej, ochrona lasu rozumiana jest jako wiedza i działalność praktyczna, mająca na celu zabezpieczenie lasu przed niekorzystnym wpływem licznych czynników abiotycznych, biotycznych i antropogenicznych. Ochrona ta dotyczy obszarów leśnych na terenie całego kraju i wspiera trwałe oraz zrównoważone użytkowanie wszystkich funkcji lasu, stąd od zawsze była jednym z priorytetów gospodarki leśnej. Ochrona lasu kładzie akcenty na ochronę czynną, jednocześnie uwzględniając aspekty przyrodnicze oraz ekonomiczne, gospodarcze i społeczne w skali od lokalnej do ogólnokrajowej.

Ochrona lasu to również monitoring obszarów zagrożonych oraz postępowanie zmierzające do zwiększenia ich trwałości i odporności na zagrożenia ze strony czynników biotycznych (np. owady szkodliwe, grzyby patogeniczne), abiotycznych (silne wiatry, ulewne deszcze, śnieg) i antropogenicznych (pożary, zanieczyszczenia powietrza, wód i gleb). Aktualna ocena stopnia zagrożenia lasu przed wymienionymi czynnikami jest określana na podstawie wielu elementów mających wpływ na dany drzewostan, wraz z jego wszystkimi składowymi (gleba, ściółka, runo, podszyt i drzewa) i powiązaniami biocenotycznymi. W ochronie lasu funkcjonują określenia szkodnik, patogen, zwalczanie i pomimo wielu opinii krytycznych dotyczących tych sformułowań, są one zdefiniowane w aktualnym prawodawstwie unijnym i krajowym.

Tak zdefiniowana ochrona lasu rozumiana jest jako ochrona drzew i drzewostanów w trakcie ich całego rozwoju i takie podejście wynika zarówno z tradycji edukacji leśnej, jak i literatury przedmiotu. Zdaniem autorki, aktualna ochrona lasu to nie tylko monitoring i usuwanie zagrożeń, ale również wiedza o procesach zachodzących w przyrodzie, ponieważ gradacje owadów, choroby drzew i zamieranie drzewostanów są zjawiskami kompleksowymi pojawiającymi się w wyniku współoddziaływania różnych czynników. Stąd, przychylam się do opinii Hilszczańskiego i Sieroty (2011, 2014) oraz Szabli i Szujeckiego (2016), że współczesna ochrona lasu to ochrona całych ekosystemów łącznie ze stosowaniem zabiegów redukcji liczebności szkodliwych owadów lub ograniczania rozwoju patogenów grzybowych.

Ochrona lasu należy do najdynamiczniej rozwijających się dziedzin gospodarki leśnej, ze względu na ciągle zmiany wynikające z pojawiania się nowych lub wcześniej występujących gatunków owadów oraz patogenów grzybowych (Skrzecz i Perlińska 2018). Obserwowane w ostatnim dziesięcioleciu skutki zmian klimatu zwracają uwagę na rosnące, w przypadku zagrożenia trwałości drzewostanów, znaczenie ochrony lasu, która uwzględnia również wiedzę z zakresu hodowli, urządzania i użytkowania lasu. Odpowiednie kształtowanie drzewostanów ma niezwykle istotne znaczenie dla ich odporności na zagrożenia ze strony czynników biotycznych i abiotycznych.

Na zmiany w ochronie lasu wpływ ma również, ulegający dynamicznym przemianom, asortyment środków ochrony roślin, na który z kolei wpływ ma coraz większa wiedza wynikająca z badań naukowych. Nie bez znaczenia jest presja społeczeństwa domagająca się środowiska wolnego od chemicznych środków ochrony, których użycie jest częstą metodą zapobiegania rozwoju szkodników i patogenów grzybowych. Zmiany w ochronie roślin, w tym lasu, są także konsekwencją wdrażania kolejnych aktów prawa krajowego i międzynarodowego, co nakłada, przede wszystkim na profesjonalnych użytkowników pestycydów, obowiązek monitorowania zmian w prawodawstwie i ich wdrażanie do praktyki ochrony roślin.

## **2. Akty prawne regulujące ochronę lasu przed owadami i patogenami grzybowymi**

Ochrona lasu w zakresie stosowania środków ochrony roślin (ś.o.r.), podlega tym samym regulacjom prawnym, które obowiązują w rolnictwie. Na współczesną ochronę roślin w Polsce w największym stopniu wpływ miało przystąpienie kraju do Unii Europejskiej, które wymusiło potrzebę dostosowania krajowych aktów prawnych do ustaleń unijnych. W bardzo znaczący sposób zmieniły się przepisy i działania w zakresie dopuszczania środków ochrony roślin (ś.o.r.) do obrotu i stosowania. Na obecny zakres i sposób stosowania metod ochrony lasu wpływ mają następujące akty prawne:

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/128/WE z 21 października 2009 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania na rzecz zrównoważonego stosowania pestycydów,
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1107/2009 z 21 października 2009 r. dotyczące wprowadzania do obrotu środków ochrony roślin i uchylające dyrektywę Rady 79/117/EWG i 91/414/EWG,
- Ustawa o środkach ochrony roślin z 8 marca 2013 r.
- Instrukcja Ochrony Lasu (aktualna edycja).

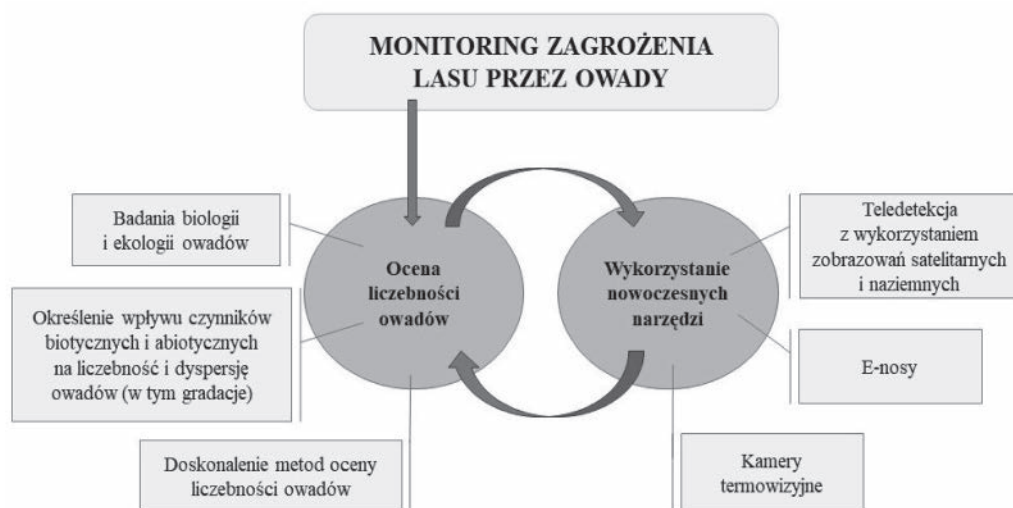
Wyżej wymienione akty prawne obowiązują w kraju od wielu lat i ich wpływ został omówiony w wielu publikacjach (Tomalak 2007, Banaszkiewicz 2010, Matyjaszczyk i in. 2018, Karpiłowicz i in. 2018). Warto tylko przypomnieć, że przyjęcie unijnych regulacji prawnych do praktyki ochrony lasu przed owadami i patogenami grzybowymi skutkowało:

- znacznym zmniejszeniem liczby środków ochrony roślin posiadających rejestrację w leśnictwie, ze względu na zmniejszone zainteresowanie producentów wysokimi kosztami wprowadzenia środków do obrotu i stosowania;
- obowiązkiem wdrożenia metod integrowanej ochrony lasu.

### 3. Kierunki rozwoju metod ochrony lasu przed szkodliwymi owadami – prognozy

**Monitoring stanu ekosystemów leśnych oraz prowadzenie działań profilaktycznych** zapobiegających powstawaniu szkód powodowanych przez owady z wykorzystaniem zaleceń z zakresu ochrony lasu, hodowli i użytkowania, **to nadal aktualne i przyszłe zadania stojące przed ochroną lasu.**

Doskonalenie metod oceny stopnia zagrożenia drzewostanów przez owady jako element monitoringu stanu ekosystemów leśnych będzie przebiegać dwukierunkowo (ryc. 1).



**Rycina 1.** Kierunki rozwoju metod monitoringu zagrożenia lasu przez owady (opracowanie własne)

Pierwszy kierunek obejmuje **badania dotyczące biologii i ekologii owadów** oraz czynników biotycznych (np. wrogowie naturalni, współwystępowanie innych gatunków owadów, patogenów grzybowych oraz szkód powodowanych przez zwierzyne) i abiotycznych (warunki pogodowe, np.: susze, wiatry, okiść opady atmosferyczne) mających wpływ na fluktuacje liczebności owadów oraz ich rozprzestrzenianie. Wiedza ta pozwala na bezpośrednią detekcję owadów w środowisku leśnym (liczenie owadów w glebie, ściółce i w drzewostanie) oraz opracowania metod „pośredniej” detekcji poprzez odłowy owadów do różnego rodzaju pułapek z atraktantami lub feromonami agregacyjnymi i płciowymi. Prawidłowe wskazanie miejsc wzmożonego występowania owadów, jak i znajomość mechanizmów ich rozprzestrzeniania, stwarza możliwość ograniczania gradacji w jej ogniskach, a przez to niedopuszczenie do ich powstania.

Drugim kierunkiem badawczym są działania związane z **konstrukcją i wdrożeniem do praktyki nowoczesnych narzędzi**, które wspomogą stosowane od dawna metody monitoringu i w ten sposób ułatwiają leśnikom szybką reakcję oraz działanie w zakresie ochrony lasu. Będą to narzędzia wykorzystywane w dynamicznie rozwijającej się teledetekcji obszarów leśnych (zobra-



zowania satelitarne oraz uzyskane z bezzałogowych statków powietrznych), która wraz z systemami informacji przestrzennej (GIS) dostarczy informacji o uszkodzonych drzewostanach i kierunkach rozprzestrzeniania się tych zjawisk, a także pomoże w szczegółowej inwentaryzacji zagrożonych obszarów. Innymi narzędziami, które z pewnością w przyszłości znajdą zastosowanie do detekcji owadów w leśnictwie, są e-nosy lub różnego rodzaju czujniki, które są już wykorzystywane do wykrywania obecności szkodników magazynowych lub w rolnictwie, zwłaszcza w uprawach bawełny, soi i ryżu (Lan i in. 2008, Wu i in. 2013, Xu i in. 2014). Wykorzystanie tych narzędzi do wczesnej detekcji owadów i patogenów w środowisku leśnym jest również przedmiotem badań prowadzonych w kraju, podobnie jak próby zastosowania kamer termowizyjnych do oceny stopnia zagrożenia przez szkodniki wtórne (Skrzecz i in. 2018, Sowińska i in. 2020, Dixon 2022). Dane zebrane w wyniku opisanych wyżej działań są wykorzystywane do prognozowania występowania owadów w kolejnym roku, co jest przykładem prognozowania krótkoterminowego. W perspektywicznej ochronie lasu niezwykle pomocne będą modele średnioterminowe (do 5 lat) i długoterminowe (powyżej 5 lat) (Sukovata 2016). Jednak ze względu na złożoność ekosystemów leśnych i współwystępowanie wielu czynników determinujących dynamikę liczebności owadów, tego typu modele są nadal trudne do opracowania, zwłaszcza w perspektywie długoterminowej.

Analizując perspektywiczne kierunki rozwoju ochrony lasu należy podkreślić niezmiennie istotną rolę oraz **konieczność doskonalenia działań profilaktycznych**, które kształtują odporność drzewostanów na zagrożenia ze strony czynników biotycznych, abiotycznych i antropogenicznych. Działania profilaktyczne, oprócz zaleceń z zakresu hodowli, urządzania, użytkowania i ochrony lasu, powinny być wzbogacone m.in. o (1) analizę podatności lasów na działanie czynników szkodotwórczych, (2) określenie trendu zmian uszkodzenia drzewostanów w czasie oraz o (3) tworzenie krótko- i średnioterminowych prognoz stanu zdrowotnego lasu.

Wprowadzenie od 2014 r. obowiązku stosowania integrowanej ochrony roślin, w tym lasu, stwarza zielone światło dla dynamicznego rozwoju **metod biologicznych**, które przechodziły już wiele okresów zdecydowanego poparcia. Wiązało się to zwykle z popularyzacją negatywnych skutków stosowania środków chemicznych lub z przełomowymi osiągnięciami w zakresie masowej produkcji oraz wysokiej skuteczności środków niechemicznych. W Europie, jak do tej pory metody biologiczne znalazły zastosowanie przede wszystkim w uprawach rolniczych pod osłonami, natomiast w krajach Ameryki Północnej i Południowej również w uprawach m.in. bawełny soi i roślin warzywnych (Tomalak 2007, Lipa i Pruszyński 2010). **Dlaczego więc metody biologiczne, choć zapewniają sobie stały udział w integrowanych programach ochrony roślin mają nadal bardzo ograniczony udział w praktyce ochrony lasu?** Wątpliwości te dotyczą stosowania metod biologicznych zwłaszcza w lasach, charakteryzujących się niezwykle złożonością procesów biocenotycznych, co odróżnia je od agrocenoz. Gradacje owadów, choroby drzew, zamieranie drzewostanów są przykładami zjawisk kompleksowych pojawiających się w wyniku kombinacji różnych czynników biotycznych i abiotycznych. Stąd opracowanie metod z wykorzystaniem wrogów naturalnych (drapieżców, pasożytów oraz mikroorganizmów chorobotwórczych) w ograniczaniu liczebności owadów leśnych jest niezwykle trudne, z uwagi na wspomnianą już różnorodność powiązań biocenotycznych. Niestety, często obserwowany brak przeniesienia wyników uzyskanych w warunkach laboratoryjnych do warunków polowych skutkuje tym, że tylko nieliczne biopreparaty znalazły praktyczne zastosowanie w integrowanej ochronie lasu przed owadami. Do tej grupy preparatów należą insektycydy biologiczne oparte na bakterii *Bacillus thuringiensis*, które od 1994 r. są nieprzerwanie wykorzystywane na terenach Lasów Państwowych.

Rozwój metody biologicznych, oprócz tradycyjnego wykorzystania wrogów naturalnych (drapieżców, pasożytów i mikroorganizmów chorobotwórczych) w ograniczaniu liczebności szkodliwych organizmów, z pewnością powinien **uwzględnić znaczenie procesów, jakie mają**

**miejsce w środowisku naturalnym.** Poznanie lub pogłębianie wiedzy na temat tych procesów należy uznać za niezwykle perspektywiczny kierunek rozwoju biologicznych metod ochrony lasu.

**Na ochronę lasu z użyciem preparatów chemicznych wpływ będą miały<sup>1</sup>:**

- kolejne przepisy regulujące stosowanie ś.o.r., które stopniowo zaostrzają ich wykorzystanie w praktyce;
- dostępność ś.o.r. w leśnictwie, która będzie wypadkową ich dostępności na terenie Unii Europejskiej oraz opłacalności rejestracji w leśnictwie.

Z kolei dostępność ś.o.r. w Unii Europejskiej będzie zależała od liczby wycofywanych i wprowadzanych do obrotu substancji aktywnych na terenie Unii Europejskiej. Należy zwrócić uwagę na stopniowe wycofywanie z obrotu substancji o szerszym spektrum i dłuższym okresie działania na rzecz substancji selektywnych, krócej działających. Ponadto większość aktualnie obecnych na rynku substancji aktywnych wchodziła w skład kilku preparatów z tą samą substancją aktywną, ale różniących się składem chemicznym innych związków. Natomiast nowe substancje aktywne są aktualnie wprowadzane na rynek zazwyczaj w jednym środku i dopiero z czasem rejestrowane są kolejne. Tak więc wycofywanie dotychczasowych substancji aktywnych z rynku może skutkować wycofaniem nawet kilkunastu lub kilkudziesięciu produktów, natomiast przy rejestracji nowej substancji pojawi się tylko jeden środek. Zasada ta dotyczy również różnej liczby zarejestrowanych zastosowań dla „starych” i „nowych” substancji aktywnych. Nowe środki, z zupełnie nowymi substancjami aktywnymi, mają na ogół wąski zakres zarejestrowanych zastosowań, w porównaniu z substancjami dostępnymi od lat, które na ogół mają szeroki zakres zastosowań.

Przedstawione zmiany będą skutkowały koniecznością rejestracji większej liczby preparatów i powtarzania zabiegów przy dużej presji szkodników, co zwiększy pracochłonność i koszt ochrony. **Należy przypuszczać, że sytuacja ta może przyczynić się do zmniejszenia liczby stosowanych preparatów w leśnictwie**, ze względu na ograniczone zainteresowanie producentów wprowadzaniem ś.o.r. do ochrony lasu, wynikające m.in. z konieczności poniesienia dużych nakładów finansowych na rejestrację, które mogą być nie rekompensowane ze względu na znacznie mniejszy areal zastosowania, w porównaniu z rolnictwem.

Przy omawianiu kierunków rozwoju metod ochrony lasu z wykorzystaniem ś.o.r. należy zwrócić uwagę na rozwijany w rolnictwie trend **precyzyjnej ochrony roślin** polegający na stosowaniu ś.o.r. w ilości zależnej od nasilenia szkód w uprawie (Doruchowski 2008, Stępień i in. 2022). Takie podejście wymaga identyfikacji zdrowotnego statusu roślin, a następnie precyzyjnego pozycjonowania i mapowania szkód na powierzchni chronionej z wykorzystaniem najnowocześniejszych technologii w postaci satelitarnej lub naziemnej nawigacji maszyn i urządzeń. Takie postępowanie będzie umożliwiało indywidualne podejście do roślin, a precyzyjne pozycjonowanie roślin na etapie siewu lub sadzenia będzie mogło być wykorzystane również w pielęgnacji roślin (np. nawożenie, zwalczanie chwastów). Wydaje się, że tego typu podejście w ochronie lasu powinno w przyszłości znaleźć zastosowanie przede wszystkim w szkołkach i uprawach leśnych, które najbardziej są zbliżone do upraw rolniczych, stąd wdrożenie technologii precyzyjnego stosowania ś.o.r. będzie najłatwiejsze na tym etapie rozwoju lasu. Należy również przypomnieć, że systemy informacji przestrzennej umożliwiające precyzyjną aplikację ś.o.r. są od wielu lat powszechnie stosowane w agrolotniczych zabiegach ochrony lasu przed szkodnikami liściożernymi (Głowacka i in. 2009).

Kolejnym, perspektywnym zagadnieniem, z którym ochrona lasu będzie się stykać coraz częściej wskutek obserwowanych zmian klimatu, to **postępowanie ochronne na terenach klęsk wielkopowierzchniowych**, gdzie uszkodzenia drzew sprzyjają koncentracji szkodników wtórnych,

<sup>1</sup> Przedstawione przez autorkę opinie dotyczące perspektywnego wykorzystania ś.o.r. w leśnictwie wynikają z analizy aktualnych trendów dotyczących obrotu i stosowania pestycydów w Unii Europejskiej.

które stają się zagrożeniem również dla sąsiednich drzewostanów. Ze względu na odmienne uwarunkowania oraz skalę przestrzenną tych zjawisk, takie podejście będzie wymagało indywidualnego podejścia ochronnego w zakresie wiedzy i praktyki.

#### 4. Podsumowanie

Rozwój ochrony lasu w ciągu najbliższych kilkudziesięciu lat będzie zmierzał w kierunku:

- wzrostu znaczenia działań profilaktycznych zapobiegających powstawaniu szkód oraz doskonalenia metod monitoringu stanu ekosystemów leśnych, również z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi i technologii;
- doskonalenia metod prognozowania występowania szkodliwych owadów i grzybów w oparciu o (1) badania biologii i ekologii tych organizmów, (2) analizę podatności lasów na działanie czynników szkodliwych wraz z określeniem trendu zmian uszkodzenia drzewostanów w czasie oraz w oparciu o (3) krótko- i średnioterminowe prognozy stanu zdrowotnego lasu;
- rozwoju metod biologicznych (biopreparaty), ze szczególnym wykorzystaniem naturalnych procesów, jakie mają miejsce w środowisku leśnym;
- ograniczenia chemizacji środowiska leśnego, któremu towarzyszyć będzie rozwój prawodawstwa systematycznie zmniejszającego użycie chemicznych środków ochrony roślin;
- wprowadzania do praktyki ochrony lasu środków ochrony roślin coraz bardziej selektywnych i o krótszym okresie działania, co może przyczynić się do wzrostu kosztów ochrony lasu;
- precyzyjnej ochrony roślin polegającej na stosowaniu środków ochrony roślin w ilości zależnej od nasilenia szkód w drzewostanie;
- opracowania metod i strategii postępowania ochronnego na terenach klęsk wielkopowierzchniowych.



**Tomasz Jabłoński**  
*Instytut Badawczy Leśnictwa*

## Wykorzystanie nowoczesnych technologii w ochronie lasu

Zmieniające się przyrodnicze, gospodarcze i społeczne warunki prowadzenia trwale zrównoważonej gospodarki leśnej wskazują na potrzebę wprowadzania coraz doskonalszych metod i narzędzi niezbędnych do prowadzenia racjonalnej i efektywnej ochrony ekosystemów leśnych. Ich „nowoczesność” można rozpatrywać na wielu płaszczyznach, m.in. w aspekcie organizacyjnym, kosztowym, wydajnościowym oraz skuteczności i efektywności. W niniejszym artykule przedstawiono teoretyczne i praktyczne podstawy wprowadzania w ochronie lasu nowych (nowoczesnych, innowacyjnych) metod i technologii oraz omówiono szerzej dwa rozwiązania dotyczące monitoringu i zwalczania organizmów uznanych za szkodliwe w gospodarce leśnej.

### Wstęp

Pojawiające się sukcesywnie w ochronie lasu nowe metody i technologie są przede wszystkim rezultatem trwałego nieustannie postępu technicznego i technologicznego. Warto w tym miejscu wyjaśnić, że postęp techniczny jest procesem związanym z opracowywaniem i wdrażaniem nowych, doskonalszych maszyn, urządzeń i narzędzi. Postęp technologiczny dotyczy natomiast rozwoju sposobów ich wykorzystania. W ochronie lasu mamy do czynienia z oboma rodzajami postępu. Sukcesywnie wdrażane są rozwiązania dedykowane dla ochrony lasu oraz adaptowane te powstające dla innych dziedzin gospodarki, również tych nie dotyczących leśnictwa.

Oprócz ogólnosiwiatowych trendów związanych z rozwojem cywilizacji, wśród głównych przyczyn nieustannego doskonalenia metod ochrony lasu należy wymienić unikalność i wielofunkcyjność ekosystemów leśnych. Dotyczy to zwłaszcza różnic pomiędzy lasem i terenami użytkowanymi rolniczo, z którymi las bardzo często graniczy (tab. 1). Wysoka specyficzność ekosystemów leśnych wymaga zastosowania adekwatnych metod ochronnych, jednocześnie uniemożliwia też proste przeniesienie i zastosowanie metod używanych np. w rolnictwie.

**Tabela 1.** Porównanie wybranych cech terenów leśnych i rolnych

| Cecha                  | Las                                                                                                      | Rola                                                                                                                                            |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Różnorodność gatunkowa | Wysoka – ekosystemy wielogatunkowe                                                                       | Niska – monokultury                                                                                                                             |
| Czas                   | Generacja – 100 lat lub więcej                                                                           | Generacja 1 roczna                                                                                                                              |
| Struktura pionowa      | Wielowarstwowość; Zróżnicowana gęstość; Duża wysokość                                                    | Jedna warstwa; Zunifikowana gęstość; Mała wysokość                                                                                              |
| Pokrycie terenu        | Wysokie                                                                                                  | Niskie                                                                                                                                          |
| Gleba i mikrobiom      | Bogaty, zróżnicowany i stały mikrobiom; Dominacja gleb piaszczystych z niskimi zdolnościami retencyjnymi | Mikrobiom specyficzny dla uprawy; zmienny w zależności od sposobu uprawy i gatunku; Dominacja żyznych gleb z wysokimi zdolnościami retencyjnymi |

Ekosystemy leśne są środowiskiem życia wielu organizmów. Jest to niezaprzeczalna zaleta wskazująca i podkreślająca ekologiczną funkcję lasów. Jednocześnie, w pewnych sytuacjach np. nadmierny rozwój populacji owadów lub grzybów związanych z lasotwórczymi gatunkami drzew, jest „wadą” wynikającą z obawy o kondycję i stabilność lasów poddanych ich nadmiernej presji. Długowieczność drzew (lasu) jest w pewnym sensie „gwarancją” pojawienia się zaburzeń w pełnieniu ich (jego) funkcji (produkcyjnych i pozaprodukcyjnych), związanych z występowaniem całej gamy czynników biotycznych osłabiających lub wręcz niszczących całe ekosystemy leśne. Na każdym etapie swojego rozwoju, począwszy od uprawy poprzez młodnik aż do drzewostanu dojrzałego, drzewa są atakowane przez różne grupy owadów, patogenów grzybowych i innych organizmów uznanych za szkodliwe w wielofunkcyjnym leśnictwie (tab. 2). Już w tym miejscu można wskazać, że tak wysoka różnorodność organizmów i czynników szkodliwych wymaga stałego i sukcesywnego rozwoju stosowanych metod ochronnych.

**Tabela 2.** Liczba organizmów i czynników szkodliwych podlegających monitoringowi i ocenie zagrożenia dla ekosystemów leśnych

| Organizm lub czynnik szkodliwy | Liczba monitorowanych organizmów lub czynników                                         | Główne grupy organizmów lub czynników                                                  |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Owady                          | Ok. 100 gatunków                                                                       | Kambio- i ksylofagi;<br>Foliofagi;<br>Szkodniki glebowe                                |
| Grzyby                         | Ok. 30 gatunków                                                                        | Patogeny korzeniowe;<br>Wieloczynnikowe zamieranie;<br>Patogeny aparatu asymilacyjnego |
| Czynniki abiotyczne            | Ok. 10 czynników                                                                       | Susza;<br>Wiatr;<br>Grad                                                               |
| Inne organizmy                 | Ok. 5–20 gatunków (nie można aktualnie oszacować skali występowania nowych organizmów) | Rodzime: jemiółka;<br>Obce: m.in. węgorek sosnowiec, opieńka jesionowa                 |

## Kierunki rozwoju nowoczesnych technologii w ochronie lasu

Skuteczna i racjonalna ochrona lasu wymaga postępowania według reguły:

**MONITORING ⇒ PROGNOZA ⇒ ZWALCZANIE**

Pierwszym etapem postępowania ochronnego jest zawsze monitoring zagrożeń. Zazwyczaj jest on prowadzony w oparciu o różnego rodzaju obserwacje wzrokowe i pomiary naziemne. Niestety coraz częściej dochodzi do sytuacji w których stosowane aktualnie metody nie pozwalają na odpowiednio wczesne wykrycie zagrożenia. Dotyczyło to m.in. skali osłabienia lasów przez suszę, gradacji kornika ostrozębnego czy też opanowania drzewostanów sosnowych przez jemiółkę.

Rzeczony rozwój metod wspomagających monitorowanie stanu ekosystemów leśnych jest ukierunkowany na jak najszersze zastosowanie zdalnych technik teledetekcyjnych. Jest to bezpośrednio związane z coraz powszechniejszym i coraz tańszym dostępem do wszelkiego rodzaju zobrażeń satelitarnych i lotniczych. Należy pamiętać, że specyfika występowania organizmów i czynników szkodliwych w lasach wymaga zastosowania zaawansowanych zobrażeń multispektralnych lub hiperspektralnych. Konieczna jest też odpowiednia rozdzielczość przestrzenna i czasowa. W większości przypadków konieczne jest wykonanie kilku – kilkunastu analiz w ciągu roku (rozdzielczość czasowa). Istotny jest również poziom szczegółowości zobrażenia, np. oddział, wydzielanie, grupa drzew, pojedyncze drzewo (rozdzielczość przestrzenna). Aktualnie, w wielu ośrodkach badawczych trwają prace nad opracowaniem zdalnych metod monitoringu stanu lasu.





**Rycina 1.** Świerki zamarte na skutek oddziaływania długotrwałej suszy i gradacji kornika drukarza (fot. T. Jabłoński)



**Rycina 2.** Młode sosny zamierające pod wpływem smolika znaczonego (fot. T. Jabłoński)

Ciekawym przykładem zastosowania zdalnych metod monitoringu szkodnika owadziego jest, testowany przez Zakład Ochrony Lasu IBL w 2022 r., system monitoringu liczebności szeliniaka sosnowca rozwijany przez firmę SPOTTA LIMITED z Wielkiej Brytanii. Jest to przykład wdrożenia w leśnictwie (Szkocja) rozwiązania opracowanego i stosowanego pierwotnie w hotelarstwie. Metoda integruje satelitarną technologię przesyłu danych z naziemnymi detektorami zliczającymi szeliniaki (wkładka barwna). Detektor zawiera atraktant, który wabi szeliniaki. W momencie ich przejścia pod detektorem są one zliczane. Ciekawostką jest możliwość identyfi-

kacji przez detektor poszczególnych szeliniaków w celu wykluczenia wielokrotnego zliczenia tego samego osobnika lub policzenia innego gatunku owada jako szeliniaka. Każdy detektor zawiera moduł GPS, co umożliwi precyzyjne wskazanie miejsca monitoringu i przesył danych w trybie rzeczywistym, za pośrednictwem stacji bazowej, na serwer firmy. Użytkownik systemu otrzymuje dostęp do aplikacji, w której może wyświetlić mapę z detektorami i wynikami odłowów.

Do zalet testowanego rozwiązania można zaliczyć, m.in.:

- detektory pracują nieprzerwanie, zliczają szeliniaka również w nocy (okres największej aktywności tego owada) co przekłada się na wzrost dokładności monitoringu,
- nie ma potrzeby cyklicznej kontroli detektorów, wpływa to na prawie całkowitą likwidację kosztów pracy ludzkiej; w klasycznej metodzie monitoringu szeliniaka mogą one stanowić nawet 70% całkowitych kosztów oceny liczebności szkodnika,
- możliwość szybkiego dostępu do danych w trybie rzeczywistym (zarówno na komputerach stacjonarnych, jak również na urządzeniach mobilnych) umożliwia skoncentrowanie działań ochronnych tylko na uprawach realnie zagrożonych przez szeliniaka,
- potencjalny użytkownik systemu nie musi wykonywać instalacji i deinstalacji urządzeń ani żadnych czynności serwisowych; firma SPOTTA sprzedaje kompleksową usługę obejmującą instalację i serwis.

Do wad testowanego systemu można zaliczyć cenę testowanego rozwiązania. Aktualnie jest ona wyższa od średnich dla kraju cen klasycznego monitoringu szeliniaka. Jest to bolećka większości nowoczesnych technologii. Należy jednak pamiętać, że obecna sytuacja na rynku usług leśnych już spowodowała wzrost wynagrodzeń, co w niedalekiej przyszłości może spowodować wzrost kosztów klasycznego monitoringu. Spadek zatrudnienia w usługach leśnych może z kolei spowodować nadmierne obciążenie służby leśnej czynnościami z zakresu ochrony upraw przed szeliniakiem. Niewątpliwie zastosowanie zdalnych (bezobsługowych) metod monitoringu może stanowić interesująca alternatywę.

Wykrycie danego organizmu lub czynnika szkodotwórczego nie jest jednoznacznym wskazaniem do jego zwalczania. Konieczna jest wiedza dotycząca jego potencjalnego rozwoju i wpływu na las w przyszłości czyli prognoza występowania. Prognozowanie, czyli przewidywanie mających nastąpić zjawisk, zdarzeń lub procesów na podstawie danych terenowych, obserwacji naukowych i dotychczasowej wiedzy, odgrywa we współczesnej ochronie lasu podstawową, wielokrotnie potwierdzoną w praktyce istotną rolę. W literaturze przedmiotu wyróżnia się prognozowanie krótkoterminowe, czyli przewidywanie na okres do 1 roku, oraz średnioterminowe i długoterminowe tj. na kilka bądź kilkanaście lat. Prognoza krótkoterminowa jest prowadzona systematycznie przez służbę leśną na podstawie bezpośrednich obserwacji wybranych stadiów rozwojowych szkodliwych owadów. Niestety wysoka dynamika zmian klimatycznych wskazuje na potrzebę rozwoju prognoz średnioterminowych. Jako przykład działań w tym zakresie można wskazać rozwijane w Zakładzie Ochrony Lasu średnioterminowe prognozy początku gradacji brudnicy mniszki. Są to modele zbudowane na podstawie historycznych danych o występowaniu i zwalczaniu brudnicy mniszki oraz danych meteorologicznych. Określają one prawdopodobieństwo początku gradacji tego gatunku na terenie poszczególnych rdLP na 2–4 lata do przodu. Modele średnioterminowe powinny być wykorzystywane do tzw. planowania strategicznego, w przeciwieństwie do prognozowania krótkoterminowego, które jest wykorzystywane wyłącznie do tzw. działań operacyjnych (bieżących, w danym roku).

Wiedza zdobyta w ramach monitoringu i prognozowania występowania organizmów i czynników szkodotwórczych stanowi podstawę do podjęcia decyzji odnośnie zastosowania, lub nie, zabiegów ochronnych, zgodnie z poniższym schematem:

DANE  $\Rightarrow$  WIEDZA  $\Rightarrow$  DECYZJA

Decyzje są integralną częścią wszelkiej działalności gospodarczej. Podejmowanie decyzji jest aktem wyboru jednej możliwości spośród ich zestawu. Zgodnie z teorią decyzji (podej-

ście normatywne) w zależności od zasobu dostępnych informacji decyzje mogą być podejmowane w warunkach pewności, ryzyka lub niepewności. Dotyczy to również gospodarki leśnej, a zwłaszcza ochrony lasu przed szkodliwymi organizmami, gdzie mamy do czynienia z zagadnieniem podejmowania decyzji w warunkach wymagających analizy wielu czynników, mających niejednokrotnie różny charakter (ekonomiczny, ekologiczny, społeczny i inny).

Stosowanie klasycznych metod ochronnych niejednokrotnie jest nieefektywne lub ich skuteczność jest zbyt niska. Dodatkowo zmieniają się przepisy prawa regulujące możliwości stosowania poszczególnych metod. Problematykę tą szczegółowo opisano w poprzednim artykule pt. „Kierunki rozwoju metod ochrony lasu w perspektywie najbliższych lat”. Wskazuje to jednoznacznie, że również w tym aspekcie (metody ochronne) należy poszukiwać nowych rozwiązań polegających na opracowywaniu nowych środków ochrony roślin, metod ich aplikacji oraz zabiegów profilaktycznych.

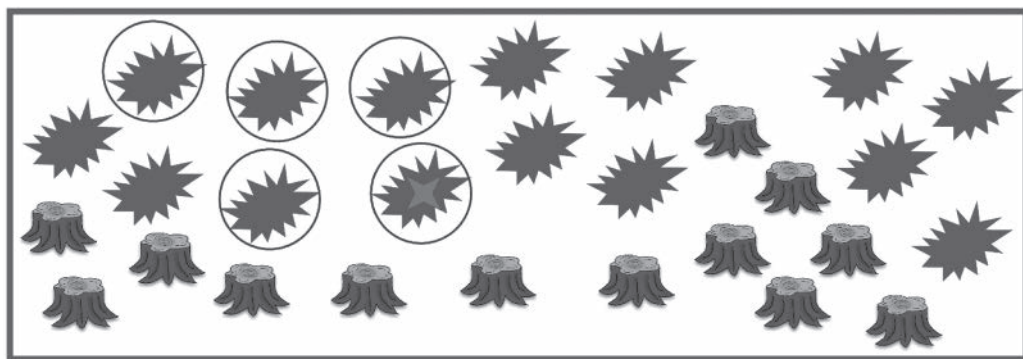
Interesującym przykładem jest testowany przez Zakład Ochrony Lasu IBL w 2022 r. nowatorski system zwalczania kornika drukarza na drzewach stojących oferowany przez firmę SILVANA ECO SOLUTIONS.

Mimo dobrze rozpoznanej biologii gatunku wciąż nie można wypracować w pełni skutecznych sposobów prowadzenia walki z tym owadem. Aktualnie stosowane metody ograniczania szkód powodowanych przez ten gatunek, to ścinka i wywóz zasiedlonego surowca świerkowego, palenie pozostałości pozębów, oraz do niedawna, zabezpieczanie stosów pozyskanego drewna siatką STORANET. Dodatkowo wszystkie powyższe metody charakteryzują się wysoką pracochłonnością i związanymi z tym kosztami.

Opracowana w Czechach nowatorska metoda ochrony drzewostanów świerkowych oparta jest o aplikację insektycydu na grupy żywych i niezasiedlonych świerków za pomocą specjalnej głowicy operacyjnej.

Dzięki zastosowaniu głowicy współpracującej z ciągnikiem rolniczym i opryskiwaczem (wkładka barwna), możliwa jest aplikacja insektycydu na stojące, żywe świerki do wysokości maksymalnie 20 metrów i pierwszych żywych gałęzi korony. Nalatujące korniki, wabione dodatkowo feromonem, po kontakcie z preparatem giną. Koncepcja metody polega na stworzeniu swego rodzaju bariery na ścianie lasu z grup ok. 5–6 drzew rozmieszczonych co 30 m jedna od drugiej (ryc. 3). Zabieg wykonywany jest 2–3 razy w roku, w zależności od intensywności rozwoju owada. Aplikacja wiosenna powinna wyprzedzać rójkę I generacji o ok. 14 dni.

Głowica z urządzeniem niosącym środek ochrony roślin przemieszcza się po strzale drzewa od odziomka w kierunku wierzchołka, oczyszczając go z gałęzi. Po osiągnięciu oczekiwanej wysokości, zjeżdżając w dół, za pomocą 10 dysz wykonywana jest aplikacja insektycydu



**Rycina 3.** Schemat rozmieszczenia drzew pułapkowych w grupie na ścianie drzewostanu (źródło: <https://silvana.com.pl/walka-z-kornikiem-drukarzem/>)

na całym obwodzie drzewa. Drugi zabieg (letni) wykonuje się po ok. 2 miesiącach od zabiegu wiosennego, na tych samych drzewach.

Do zalet testowanej metody można zaliczyć:

- możliwość wielokrotnego wykorzystania stojących, żywych świerków w charakterze drzew pułapkowych,
- zmniejszenie kosztów pracy ludzkiej związanych z wyszukiwaniem, ewidencją i usuwaniem drzew zasiedlonych,
- metoda oferowana jest przez firmę SILVANA ECO SOLUTIONS w formie kompleksowej usługi, użytkownik nie ponosi żadnych dodatkowych kosztów związanych np. z serwisem głowicy, wynajmem opryskiwacza wraz z ciągnikiem, itp.
- metodę można stosować zarówno prewencyjnie w sytuacji narastającego zagrożenia niezasiedlonych świerczyn, jak również w kulminacji gradacji – uzupełniając, tworząc bariery odławiające kornika drukarza nalatującego na ścianę lasu.

Jako wadę metody należy wskazać miejscowe zastosowanie nieselektywnego insektycydu stwarzające ryzyko niszczenia pożytecznej fauny.

## Podsumowanie

Obecna sytuacja (dynamiczne zmiany klimatyczne) jasno wskazuje na konieczność podjęcia aktywnych działań uwzględniających wpływ tzw. czynników losowych na wielofunkcyjną gospodarkę leśną. Można tu wymienić m.in.:

- łagodzenie/ograniczanie wpływu czynników klęskowych na las,
- odpowiednie zagospodarowania terenów poklęskowych zmniejszające ryzyko rozwoju gradacji i epifitoz,
- zwiększanie stabilności lasów,
- rozpraszanie ryzyka zarówno w aspekcie przyrodniczym (trwałość lasu) jak i gospodarczym (las jako źródło drewna),
- planowanie strategiczne uwzględniające możliwości/zasady dalszej ochrony i hodowli gatunków drzew obecnie występujących w Polsce.

Biorąc pod uwagę powyższe niewątpliwie należy rozwijać również dostępny zasób metod ochronnych. Musi on być przydatny przede wszystkim w trzech przypadkach:

- wczesnego wykrywania organizmów i czynników szkodotwórczych (czasami zauważamy objawy osłabienia/zasiedlenia zbyt późno),
- prognoza zagrożenia (krótkoterminowe, średniookresowe, długoterminowe) pozwalająca podjąć adekwatne działania operacyjne i strategiczne,
- ocena ryzyka (na podstawie monitoringu i prognozy) i decyzja o zastosowaniu profilaktyki lub konkretnych metod ochronnych.





*Miłosz Tkaczyk*  
*Instytut Badawczy Leśnictwa*

## **Biostymulatory w nowoczesnej uprawie drzew leśnych**

Lasy w Europie zajmują powierzchnię 158 milionów hektarów. Aby zachować je na stałe, konieczne jest zapewnienie wysokiej jakości materiału sadzeniowego do odnowienia i ponownego zalesienia. Przy stale malejącej liczbie dopuszczonych w Unii Europejskiej środków ochrony roślin coraz popularniejsze staje się poszukiwanie alternatywnych metod poprawy kondycji i rozwoju sadzonek w szkółkach leśnych. Jedną z takich alternatyw mogą być preparaty zwane regulatorami wzrostu i rozwoju roślin lub biostymulatorami. Na Polskim rynku istnieje wiele preparatów spełniających wyżej opisane kryteria. Ich skład różni się diametralnie. Część biostymulatorów bazuje na związkach chemicznych takich jak np. fosforyny, inne zaś na wyciągach z roślin np. ekstrakcie z alg morskich *Ascophyllum nodosum*. Wiele z tych preparatów od lat z powodzeniem stosowane jest w rolnictwie i ogrodnictwie, w leśnictwie natomiast tematyka ta dopiero zyskuje na znaczeniu. W niniejszej pracy przedstawiono ogólne informacje na temat biostymulatorów oraz wyniki prowadzonych w Instytucie Badawczym Leśnictwa prac związanych z omawianym zagadnieniem.

### **Wstęp**

Wszystkie żywe organizmy, nie wykluczając rośliny, mogą być narażone na występowanie niekorzystnych czynników środowiskowych zarówno o charakterze biotycznym jak i abiotycznym. Zjawiska takie mają różną intensywność i czas trwania, występowanie ich przez długi czas może generować zjawisko stresu. Roślina jak każdy żywy organizm jest w stanie odpowiedzieć na stres poprzez szereg reakcji obronnych zakodowanych w jej genotypie. Pierwszą reakcją roślin na stres jest ograniczanie przyrostu czy produkcji owoców na rzecz reakcji obronnej. W genotypie roślin są zapisane szlaki metaboliczne, które zostają uruchamiane w razie wystąpienia stresu. Reakcje te są dla rośliny bardzo energochłonne i z reguły do ich zafunkcjonowania konieczne jest przeniesienie całego metabolizmu rośliny, co w praktyce odbija się na pozostałych funkcjach takich jak np. wzrost. Reakcja rośliny na czynnik stresowy może być specyficzna dla danego stresora lub niespecyficzna, tj. wspólna dla kilku różnych czynników stresowych. Ponieważ rośliny nie mogą uniknąć stresu występującego na zajmowanym przez siebie obszarze, na drodze ewolucji konieczne było wykształcenie różnych strategii obronnych, takich jak: zdolność do unikania stresu (w tym bariery morfologiczne i biochemiczne uniemożliwiające lub opóźniające aktywność stresora w komórce) i/lub tolerancja na stres (w tym alternatywne szlaki, które umożliwiają komórce funkcjonowanie w stresujących warunkach).

W obliczy zmian klimatu oraz coraz trudniejszego zadania, jakim jest zapobieganie szkodom powodowanym przez organizmy szkodliwe lub stresy abiotyczne w szkółkach leśnych, produkcja i ochrona roślin powinna opierać się na stymulowaniu i rozwoju roślin w celu zapewnienia wysokiej jakości materiału szkółkarskiego, przy jednoczesnym ograniczeniu zagrożeń dla



ludzi i środowisko. Strategia „Europejski Zielony Ład” wdrażana w krajach Unii Europejskiej (UE) od 2021 r. w swoich zapisach ma dwa podstawowe cele dotyczące ochrony roślin. Pierwszy cel zakłada zmniejszenie o 50% zużycia chemicznych środków ochrony roślin we wszystkich krajach UE. Drugi cel obejmuje działania mające na celu zmniejszenie ryzyka związanego ze stosowaniem chemicznych środków ochrony roślin. Zapisy te odnoszą się głównie do substancji czynnych insektycydów i herbicydów, ale nie wykluczają również fungicydów. Oprócz wspomnianego wyżej dokumentu, ważnym czynnikiem zmniejszającym różnorodność substancji aktywnych dostępnych w środkach ochrony roślin na rynku, jest podejrzenie negatywnego wpływu na równowagę hormonalną ssaków oraz szkodliwego wpływu niektórych z nich na środowisko. Z kolei inne substancje czynne, w tym fungicydy, zostały wycofane ze względu na brak zainteresowania posiadaczy (właścicieli) substancji odnowieniem ich rejestracji w UE. W ostatnich latach, zgodnie z Rozporządzeniami Wykonawczymi Komisji Europejskiej (UE) 2018/1500 (2018), 2019/677 (2019), 2020/1498 (2020) i 2020/2087 (2020), wiele substancji czynnych ważnych dla leśnictwa zostały wycofane. Do ważniejszych można zaliczyć między innymi: ti-ram, chlorotalonil, tiofanat metylowy i mankozeb. Dodatkowo stosowanie chemicznych środków ochrony roślin w leśnictwie jest znacznie ograniczane przez „Politykę pestycydową” wprowadzoną do lasów certyfikowanych zgodnie ze standardem Forest Stewardship Council (FSC).

W dobie opisanych powyżej intensywnych zmian, stosowanie biostymulatorów wydaje się być najlepszym sposobem na zaspokojenie pilnych potrzeb alternatywnych metod organiczania szkód, opartych na nowych, przyjaznych dla środowiska i bezpiecznych dla człowieka substancjach biologicznie czynnych. Zgodnie z definicją zawartą w Rozporządzeniu Wykonawczym Komisji Europejskiej (UE) 2019/1009 (2019), biostymulanty to produkty, które nie dostarczają wprowadzić same składników pokarmowych, ale jednak stymulują naturalne procesy odżywiania roślin. W przypadku gdy takie produkty mają na celu wyłącznie lepsze przyswajanie składników pokarmowych przez rośliny, zwiększenie ich odporności na stres abiotyczny, poprawienie ich cech jakościowych lub zwiększenie dostępności składników pokarmowych z form trudno dostępnych w ryzosferze, są one z natury bardziej podobne do produktów nawozowych niż do większości kategorii środków ochrony roślin. Ich działanie uzupełnia działanie nawozów w celu optymalizacji ich skuteczności i ograniczenia ilości używanych składników pokarmowych. Takie produkty powinny zatem kwalifikować się do oznakowania CE na podstawie niniejszego rozporządzenia i zostać wyłączone z zakresu stosowania rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1107/2009. Należy zatem odpowiednio zmienić rozporządzenie (WE) nr 1107/2009. Ponadto ich jedynym celem jest poprawa jednej lub więcej z poniższych właściwości roślin lub ryzosfery roślin: a) efektywność wykorzystania składników pokarmowych, b) odporność na stres abiotyczny, c) cechy jakościowe, d) przyswajalność składników pokarmowych z form trudno dostępnych w ryzosferze.

Na polskim rynku istnieje wiele preparatów, które spełniają powyższe wymagania. Omówienie wszystkich w przedstawionej pracy byłoby zadaniem bardzo trudnym. W związku z tym zdecydowano się na omówienie dwóch chyba najlepiej przebadanych rodzajów biostymulatorów w leśnictwie. Pierwszym rodzajem są biostymulatory bazujące na związkach chemicznych wpływających na poprawę odporności roślin tj. związki fosforynowe, drugim preparaty na bazie wyciągów z alg morskich *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis.

## Preparaty na bazie *Ascophyllum nodosum*

W przeszłości wielokrotnie zdarzało się, że w leśnictwie testuje się preparaty, które wcześniej sprawdzone były w innych gałęziach gospodarki. Nie inaczej było w przypadku zastosowania biostymulatorów na bazie alg morskich *Ascophyllum nodosum*. Ekstrakt taki zawiera wiele cennych składników, które mają pozytywny wpływ na metabolizm roślin i przyswajanie składni-

ków odżywczych. Jego głównymi składnikami są hormony wzrostu roślin, takie jak cytokiny, gibereliny i auksyny oraz naturalne cząsteczki organiczne, w tym betainy, mannitol, polisacharydy i aminokwasy. Preparaty te sprawdzają się m.in. w uprawach rolniczych i ogrodniczych. Co więcej, okazały się również skuteczne w ograniczaniu występowania chorób grzybiczych. Stosowane były dotychczas w uprawach m.in. pomidorów, gdzie zastosowano 0,2% stężenia roztworu zawierająca *A. nodosum* co znacząco poprawiła wysokość roślin (o 10%) i plon owoców roślin (51%) w porównaniu do warunków kontrolnych. Podobne efekty uzyskano podczas uprawy papryki. Jednak preparaty na bazie *A. nodosum* to nie tylko poprawa wzrostu czy plonu. W literaturze opisane są doświadczenia potwierdzające skuteczność tych preparatów w ograniczaniu chorób grzybowych na ogórkach w warunkach szklarniowych. Natomiast zastosowanie tego preparatu w uprawach marchwi doprowadziło do znacznego ograniczenia występowania grzybów *Alternaria radicina* oraz *Botrytis cinerea*.

W ramach prac prowadzonych przez pracowników Zakładu Ochrony Lasu IBL, przetestowano zastosowanie dwóch preparatów zawierających w swoim składzie ekstrakt z alg *A. nodosum*, na rozwój dębów na szkółkach leśnych. Preparaty zastosowano na poletkach, gdzie wcześniej przeprowadzono rutynowy zabieg podcinania systemów korzeniowych. Zjawisko to wywołuje silny stres u roślin, więc zastosowanie biostymulatorów jest uzasadnione w celu podniesienie ich odporności oraz uchronienia przed niekorzystnym oddziaływaniem czynników biotycznych. Badania wykazały pozytywną reakcję roślin na wykonany zabieg. Zaobserwowano istotne różnice statystyczne w rozwoju systemy korzeniowe drzew. Odnotowano wzrost o ponad 10% w ciągu zaledwie jednego sezonu wegetacyjnego (Ryc. 1). Nie zaobserwowano istotnego przyrostu na wysokość drzew, jednak jest to cech drugorzędna z punktu widzenia odporności rośliny. Odbudowa systemów korzeniowych jest niezwykle ważna dla późniejszego przetrwania rośliny, zwłaszcza w niesprzyjających warunkach. Co więcej, nawet w sytuacji, gdy część nadziemna jest niewielka, ale ma dobrze rozwinięty system korzeniowy, takie drzewa mogą się rozwijać lepiej na późniejszym etapie.

Jednocześnie przeprowadzono ocenę porażenia dębów przez mączniaka dębu (powodowanego przez grzyb *E. alphitoides*). Pomimo pozytywnych informacji z literatury o możliwości zastosowania ekstraktu z alg w ograniczaniu infekcji ze strony grzybów, nie udało się zaobser-



**Rycina 1.** Przykładowy obraz skanowanego korzeni sadzonki z wariantu opryskanego biostymulatorem na bazie *A. nodosum* (po lewej), oraz wariantu kontrolnego (po prawej)

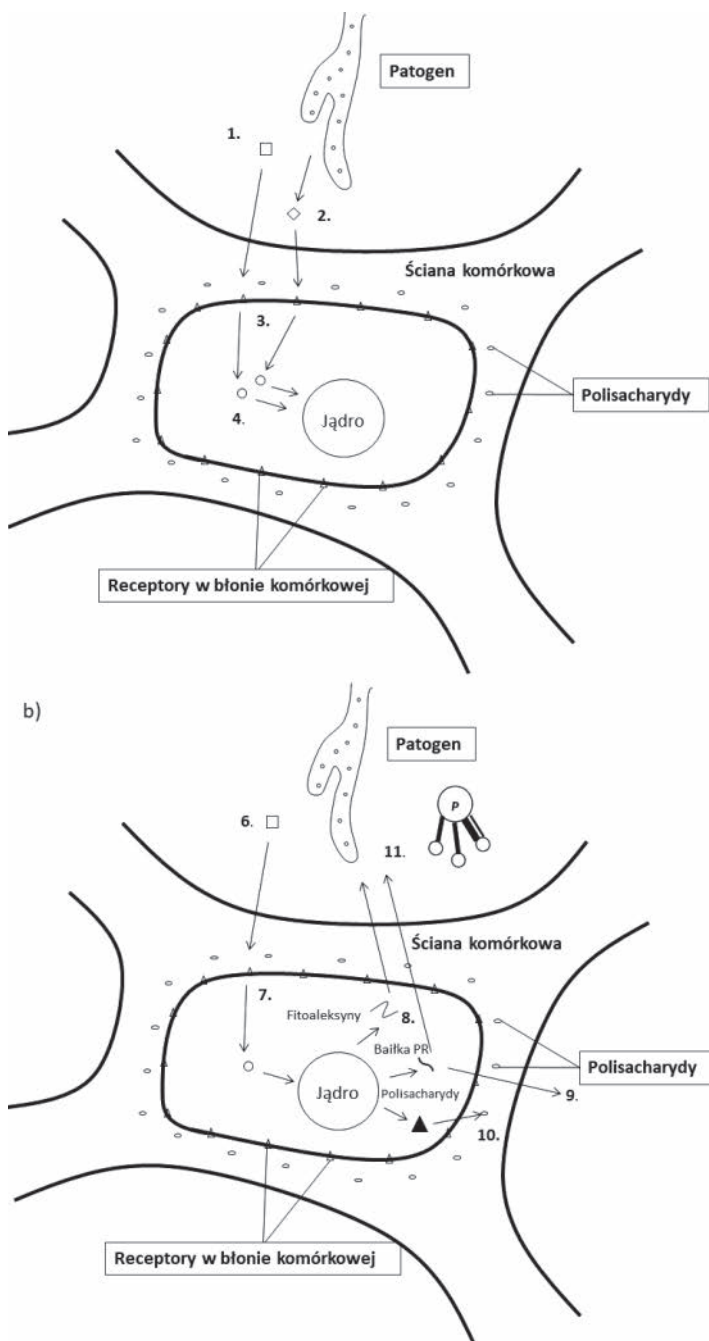
wować istotnych różnic w porażeniu liści przez mączniaka. Pomimo to pozytywnym efektem zastosowania biostymulatorów na bazie *A. nodosum* przyczyniło się do odbudowy systemów korzeniowych, co na dłuższą metę może przyczynić się do zwiększenia odporności drzew poprzez poprawienie ich kondycji zdrowotnych. Na rynku istnieją inne preparaty, które mają potwierdzone działanie w podnoszeniu odporności i ograniczaniu szkód powodowanych przez grzyby w leśnictwie. Dobrym tego przykładem są biostymulatory na bazie związków fosforynowych.

## Fosforyny jako środki zwiększające odporność roślin

W literaturze, można znaleźć wiele informacji dotyczących zastosowania fosforynów jako środków podnoszących odporność roślin. Zastosowanie takich preparatów nie ma za zadanie wpływać bezpośrednio na zagrożenie w postaci patogenów (jak to się dzieje w przypadku fungicydów), a jedynie w sposób pośredni poprzez podnoszenie odporności rośliny. Dobrym przykładem zastosowania biostymulatorów do podnoszenia odporności rośliny oraz ograniczania szkód ze strony patogenów mogą być związki zawierające w sobie fosforyny.

Fosforyny, jako sole kwasu fosforowego  $H_3PO_3$ , różnią się od kwasu fosforowego  $H_3PO_4$  jednym atomem tlenu mniej. Różnica ta sprawia, że fosforyny mają większą mobilność w glebie i tkankach roślinnych niż fosforany oraz możliwość wnikania do roślin poprzez liście, łodygi i korzenie, a dzięki temu są łatwiej pobierane i transportowane za pośrednictwem ksylemu i floemu. Badania nad zastosowaniem tej substancji zaczęto prowadzić w latach 70. dwudziestego wieku. Preparaty na bazie fosforynów pierwotnie stosowano jako nawozy jednak bardzo szybko zaobserwowano, że rośliny opryskane fosforynami są znacznie mniej podatne na infekcje ze strony patogenów. Dalsze badania potwierdziły tą tezę oraz udowodniły, że aktywacja związków fosforynowych następuje w momencie kontaktu z patogenami. Zatem, fosforyny oprócz bezpośredniego wpływu na wzrost i rozwój rośliny, ograniczają wytwarzanie supresorów (związków odpowiedzialnych za maskujących obecność patogenów) i w ten sposób przyspieszają reakcje obronne roślin. Kontakt tkanek roślinnych z patogenami w obecności fosforynów wywołuje reakcje obronne między innymi poprzez syntezę fitoaleksyn w komórkach roślinnych. Reakcja rośliny odpornej jak i podatnej na infekcję jest podobna, różnica polega jedynie na szybkości tworzenia się fitoaleksyn. Odporność jest dziedziczona, a po ustąpieniu infekcji stopniowo zanika. Ilość wytwarzanych fitoaleksyn zależna jest od wieku rośliny, temperatury otoczenia, zawartości tlenu w powietrzu i ilości inokulum. Kolejnymi procesami zachodzącymi w zainfekowanych komórkach w obecności fosforynu są: biosynteza etylenu, zwiększenie odporności rośliny na warunki stresowe, wzrost aktywności liazy fenyloalaninowej oraz biosynteza ligniny. Roślina jest w stanie odizolować porażone komórki od pozostałych, co w konsekwencji prowadzi do ograniczenia rozprzestrzeniania się choroby. Na rycinie 2, przedstawiono schemat reakcji komórki roślinnej na obecność patogenu w obecności fosforynów.

W literaturze naukowej istnieje wiele doniesień z różnych krajów Europy (między innymi z Niemiec czy Hiszpanii), potwierdzających skuteczność tych preparatów w ograniczaniu szkód powodowanych przez patogeny z rodzaju *Phytophthora*, nie tylko na szkołkach leśnych ale również w dojrzałych drzewostanach dębowych. W IBL również prowadzono badania, które potwierdziły pozytywne działanie fosforynów na podnoszenie odporności dębów na Płyce Krotoszyńskiej. W ramach wspomnianych badań przez 5 lat prowadzono coroczny monitoring 180 dębów na trzech różnych powierzchniach badawczych. Połowę drzew opryskano preparatem na bazie fosforynu potasu. Obserwacje wykazały istotną statystycznie poprawę obserwowaną zarówno w koronach drzew jak i w budowie systemów korzeniowych.



1. Pewna ilość cząsteczek propagacyjnych patogenu rozpoznawana jest przez komórkę rośliny-gospodarza,
2. Patogen maskuje swoją obecność poprzez wydzielanie supresorów,
3. Nie dochodzi do rozpoznania sprawcy choroby,
4. Do jądra komórki dociera słaby sygnał o zagrożeniu, powodując opóźnienie reakcji obronnych
5. Rozwój patogena zostaje zahamowany poprzez bezpośredni kontakt z fosforinami
6. Supresory maskujące obecność patogena nie są produkowane w obecności fosforinów,
7. Sprawca choroby zostaje rozpoznany przez komórkę roślinną,
8. Jako mechanizmy obronne produkowane są fitoaleksyny i białka PR, które bezpośrednio oddziałują na patogeny,
9. Powstałe białka alarmują o zagrożeniu zdrowie komórki,
10. Polisacharydy wzmacniają ścianę komórkową,
11. Patogeny wywołujące chorobę zostają ograniczone lub zwalczone przez systemy obronne rośliny.

**Rycina 2.** Reakcja komórki roślinnej na obecność patogenów bez fosforinów (a) i w obecności fosforinów (b), (Tkaczyk i in. 2016)



**Katarzyna Sikora**  
*Instytut Badawczy Leśnictwa*

## Nowe techniki bioindykacji

Wraz z obserwowanymi zmianami klimatu możemy spodziewać się modyfikacji lub zaniku wielu siedlisk. Zmiany klimatu w połączeniu z rozwojem przemysłu wpływają na stan środowiska zarówno poprzez czynniki biotyczne jak i abiotyczne. Monitorowanie stanu środowiska oraz jego zmian w czasie możliwe jest poprzez analizę organizmów wskaźnikowych, nazywanych bioindykatorami. Rozwój nowoczesnych technik molekularnych umożliwił włączenie do bioindykacji mikroorganizmów, takich jak bakterie czy grzyby mikroskopowe.

Zmiany klimatu mają niewątpliwie wpływ na środowisko, a mówiąc szczegółowo – na stan siedlisk. Konsekwencją zmian klimatycznych jest zwiększenie częstotliwości i skali występowania ekstremalnych zaburzeń układu czynników biotycznych (np. susza, późne wiosenne przymrozki) i abiotycznych (np. zanieczyszczenia, zmiany w użytkowaniu gruntów) w ekosystemach leśnych w całej Europie. Zmiany klimatyczne mogą mieć również wpływ na stan siedlisk poprzez umożliwienie introdukcji, rozprzestrzeniania i rozwoju agrofagów kwarantannowych oraz inwazyjnych gatunków obcych, równocześnie jednak w niektórych obszarach Europy mogą zwiększyć wydajność upraw i umożliwić hodowlę innych gatunków drzew na skutek przesunięcia zasięgu ich występowania. Wszystkie te procesy mogą prowadzić do zaburzenia stanu siedlisk poprzez ich modyfikację lub zniszczenie.

Do oceny jakości środowiska i jego zmian w czasie wykorzystywane są bioindykatory, czyli m.in. procesy biologiczne, gatunki lub ich zbiorowiska. Zastosowanie bioindykatorów można podzielić na trzy zasadnicze obszary:

1. monitorowanie środowiska (tj. zachodzących w nich zmian fizycznych i/lub chemicznych),
2. monitorowanie procesów ekologicznych oraz
3. monitorowanie różnorodności biologicznej.

Jednymi z pierwszych bioindykatorów były kanarki, wykorzystywane przez górników w kopalniach. Ich mała pojemność płuc i specyficzny sposób ich wentylacji sprawiały, że były bardziej wrażliwe na niewielkie stężenia tlenu węgla i metanu niż ludzie. Niebawem wrażliwość tych ptaków na trujące gazy służyła jako bioindykator niebezpiecznych warunków w kopalniach węgla w Wielkiej Brytanii aż do 1986 roku. Bioindykacja, jako metoda oceny stanu środowiska, rozwinęła się w latach 60. XX wieku. Z biegiem lat zakres bioindykatorów sukcesywnie się powiększał, aby umożliwić badanie wszystkich typów środowisk (tj. wodnych i lądowych), z wykorzystaniem wszystkich głównych grup taksonomicznych. Nie wszystkie jednak procesy biologiczne, gatunki czy zbiorowiska mogą służyć jako skuteczne bioindykatory. Czynniki fizyczne, chemiczne i biologiczne (np. podłoże, światło, temperatura, konkurencja) różnią się w zależności od środowiska. Również procesy ewolucyjne, zachodzące w niektórych populacjach w określonym zakresie czynników środowiskowych, wykluczają status bioindykatora. Gatunki bioindykacyjne skutecznie wskazują na stan środowiska ze względu na ich umiarkowaną tolerancję na zmienność środowiskową. Z kolei gatunki rzadkie (lub zespoły gatunków) o wąskiej tolerancji są często zbyt wrażliwe na zmiany środowiskowe lub zbyt rzadko spotykane, by odzwierciedlać



ogólną reakcję biotyczną. Podobnie, gatunki ubikwistyczne (lub zespoły gatunków) o bardzo szerokiej tolerancji są mniej wrażliwe na zmiany środowiskowe, przez co nie są w stanie ich odzwierciedlać dostosowując się do nich stopniowo. Podsumowując, bioindykatory powinny cechować się dobrze rozpoznalym, dość wąskim i specyficznym zakresem wymagań ekologicznych, a pomimo tego występować w różnych środowiskach ekologicznych. Ich populacje powinny być liczne, a osobniki cechować się długowiecznością lub występowaniem szeregu nakładających się pokoleń. Najważniejszą jednak cechą bioindykatorów powinna być ich łatwość identyfikacji gatunkowej. Obecnie, do głównych bioindykatorów zaliczane są m.in. okrzemki (Indeks Okrzemkowy), rośliny wodne (Makrofitowy Indeks Rzeczny), ryby, mchy, porosty (Skala porostowa) czy ptaki. W leśnictwie bioindykacja jest również spotykana w formie identyfikacji gatunków wskaźnikowych związanych z cennymi przyrodniczo siedliskami. Przykładem może być wykrywanie i identyfikacja chrząszczy saproksylicznych z rodzaju *Cucujus* czy *Osmoderma* związanych z drewnem martwych lub zamierających drzew. Gatunki te coraz częściej są obiektem inwentaryzacji, co wynika ze ścisłego powiązania części z nich z różnymi cechami środowiska (gatunek drzewa, stopień rozkładu drewna, wilgotność/nasłonecznienie stanowiska). Niektóre gatunki stały się rzadkie na skutek intensywnych działań gospodarczych, w tym usuwania martwego drewna, co jest szczególnie zauważalne w Europie Zachodniej. Wszystko to sprawia, że chrząszcze saproksyliczne dobrze spełniają funkcję bioindykacyjną dla środowisk leśnych o różnym stopniu przekształcenia przez człowieka, a więc pośrednio ich obecność może świadczyć o przydatności środowiska także dla innych organizmów leśnych.

Kluczowym etapem bioindykacji jest wybór bioindykatora, który będzie adekwatnie i syntetycznie odzwierciedlał stan siedliska. Kolejnym etapem jest pomiar właściwych parametrów stanu bioindykatora i wnioskowanie na podstawie tych parametrów o stanie całego siedliska. Bioindykacja wykorzystuje naturalne komponenty środowiska, czyli faunę i florę, do oceny skumulowanego wpływu zarówno czynników antropogenicznych, jak i czynników biotycznych na zmiany siedliska w czasie. W odróżnieniu od badań chemicznych, bioindykatory dodają komponent czasowy odpowiadający długości życia lub czasu przebywania organizmu w danym systemie, reagują na incydentalne zmiany czynników stresogennych oraz wykrywają bardzo niskie stężenia zanieczyszczeń lub czynników biologicznych. Inną zaletą stosowania bioindykatorów jest ich zdolność do wskazywania pośrednich efektów działania czynników stresogennych, podczas gdy wiele pomiarów fizycznych lub chemicznych nie jest w stanie ich wychwycić.

Jak dotąd przeważająca część badań inwentaryzacyjnych prowadzona była tradycyjnymi metodami, a więc w oparciu o klasyczną identyfikację taksonomiczną. Badania wykorzystujące bioindykatory są dość często obciążone problemami takimi jak trudność identyfikacji, brak specjalistów, trudności w objęciu badaniami większych obszarów siedliska czy wysokie koszty realizacji. Coraz częściej wykorzystywanym rozwiązaniem w badaniach inwentaryzacyjnych a także bioindykacji są techniki analiz molekularnych. Niekiedy jest to jedyna metoda mogąca dać jednoznaczny wynik, np. dla rozróżnienia gatunków kryptycznych (bliźniaczych) czy form trudnych do identyfikacji, takich jak np. larwy. Techniki molekularne są również niezastąpione w przypadku tzw. prób trudnych, jak np. fragmentów ciał owadów pozostałych w próchnie, na podstawie których określenie gatunku macierzystego w sposób tradycyjny jest często niemożliwe. Badania, o których mowa powyżej odbywają się coraz częściej w oparciu o wykorzystanie DNA zawartego w próbkach środowiskowych i są z powodzeniem wykorzystywane w badaniach różnorodności organizmów na całym świecie. Przykładem może być chociażby ocena wpływu hodowli ryb na zbiorowiska otwornice bentosowych za pomocą sekwencjonowania DNA środowiskowego pobranego z osadów dennych czy inwentaryzacja pachnicy dębowej na podstawie śladów DNA obecnych w próchnowiskach drzew dziuplastych.

Czym zatem jest DNA środowiskowe? Środowiskowe DNA (eDNA, ang. *environmental DNA*) jest to DNA zarówno mikro-, jak i makroorganizmów, wyizolowane bezpośrednio z próbki m.in. gleby, tkanek roślinnych czy odchodów, bez konieczności odławiania danego organi-

zmu. Tego typu podejście opiera się na założeniu, że każdy organizm pozostawia w środowisku ślad genetyczny. Uzyskany materiał genetyczny porównywany jest następnie z referencyjną bazą danych DNA np. NCBI (National Center for Biotechnology Information; [www.ncbi.nlm.nih.gov](http://www.ncbi.nlm.nih.gov)) czy BOLD (Barcode of Life Data System; [www.boldsystems.org](http://www.boldsystems.org)), których zasób wciąż się powiększa dzięki współpracy wielu ośrodków naukowo-badawczych. Analiza eDNA jest metodą nieinwazyjną (nie wymaga uśmiercania lub pobierania fragmentu tkanek z żywego organizmu), co ma szczególne znaczenie przy badaniach gatunków chronionych lub zagrożonych wyginięciem. Ma też szczególnie znaczenie dla małych, często izolowanych populacji danego taksonu. Dzięki analizie eDNA możemy łatwiej i szybciej uzyskać wiele cennych informacji na temat gatunków zasiedlających dane środowisko, niż wykorzystując tradycyjne analizy oparte na obserwacji czy odławianiu osobników. Sekwencjonowanie DNA środowiskowego, tzw. metabarkodowanie, może przełamać problemy związane z identyfikacją morfologiczną i stać się alternatywą dla rutynowej identyfikacji na poziomie gatunku. Sekwencje DNA mogą być łatwo uzyskane, przeanalizowane i zinterpretowane i, z nielicznymi wyjątkami, są bardzo dokładne w identyfikacji gatunków bezkręgowców. Środowiskowe DNA jest obecnie niezaprzeczalnie najlepszą metodą identyfikacji mikroorganizmów wskaźnikowych (m. in. mikrobiomu bakteryjnego lub mykobioty np. ryzosfery drzew leśnych). Jak dotąd ograniczenia wynikające z trudności identyfikacji morfologicznej mikroorganizmów wykluczały je ze statusu organizmów wskaźnikowych. Analiza DNA środowiskowego wykorzystywana jest do detekcji i identyfikacji organizmów, niezależnie od ich pochodzenia, stadium rozwoju czy płci; umożliwia określenie rozmieszczenia organizmów wskaźnikowych w danym siedlisku czy szacowanie wielkości populacji, co może przyczynić się do lepszej ochrony zagrożonych gatunków i ekosystemów. DNA środowiskowe wykorzystywane jest również w przypadku identyfikacji próbek kopalnych lub analizy szczątków lub fragmentów osobników. Identyfikacja gatunkowa oparta na eDNA pozwala wykryć więcej gatunków z większą dokładnością niż tradycyjne metody morfologiczne w monitoringu środowiska. Środowiskowe DNA ma także zastosowanie w detekcji organizmów inwazyjnych, dzięki czemu możliwe jest monitorowanie ich introdukcji i rozprzestrzeniania. Niewątpliwą zaletą stosowania analiz opartych na DNA środowiskowym jest również możliwość automatyzacji procesu identyfikacji, usuwająca potrzebę ludzkiej ingerencji w rozwój referencyjnych baz danych i późniejsze przypisywanie gatunków, które w tradycyjnym podejściu wymagałyby rozległego wysiłku wielu badaczy.

W bioindykacji wykorzystującej DNA środowiskowe konieczne jest ustalenie rodzaju markera genetycznego, na podstawie którego dokonywana będzie identyfikacja taksonomiczna organizmów znajdujących się w danej próbce. Markerem takim może być dowolny gen lub fragment DNA o znanym położeniu w chromosomie, którego obecność można łatwo zidentyfikować. Markerem może być także obecność lub brak wybranego fragmentu DNA, albo występowanie jakiejś szczególnej jego postaci (tzn. unikatowej sekwencji). Na podstawie analizy markerów genetycznych można również zbadać różnorodność genetyczną populacji i procesy w niej zachodzące. Szczególnym rodzajem markera genetycznego jest barkod, czyli krótki odcinek DNA kodujący część odpowiedniego genu, który jest obecny u wszystkich organizmów w podobnej formie, lecz różniący się dostatecznie, aby móc odróżnić poszczególne gatunki od siebie. Podstawowym barkodem do identyfikacji genetycznej większości organizmów eukariotycznych, rekomendowanym przez Consortium for the Barcode of Life (CBOL), jest fragment genu podjednostki 1 oksydazy cytochromu c (COI) kodowany w DNA mitochondrialnym. Referencyjne bazy barkodów mają jednak wiele luk wśród taksonów. Intensywnie badane grupy i organizmy modelowe (np. muszka owocowa – *Drosophila melanogaster*) mają zgromadzonych wiele sekwencji lub nawet całe dostępne genomy, ale zdecydowana większość gatunków nie ma żadnych danych dotyczących sekwencji i czeka na opisanie. Jest to obecnie największe wyzwanie stojące na drodze rozwoju technik molekularnych w bioindykacji.

Od strony technicznej bioindykacja na podstawie sekwencjonowania barkodów w DNA środowiskowym (metabarkodingu) w ostatnich latach osiągnęła niebywały postęp. Sekwencjo-

nowanie nowej generacji (NGS) może być potencjalnie wykorzystywane do rutynowego monitorowania środowiska, ponieważ w odróżnieniu od tradycyjnego sekwencjonowania metodą Sangera w jednym przebiegu instrumentu jednocześnie może być sekwencjonowanych wiele gatunków w wielu próbkach, co zmniejsza czas i koszty związane z przetwarzaniem próbek. Porównanie metod sekwencjonowania przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Porównanie różnych technologii sekwencjonowania możliwych do wykorzystania w bioindykacji i analizach DNA środowiskowego (na podstawie opr. Khouk 2018)

| Technologia          | Długość odczytu (pz)* | Czas reakcji | Zalety                                     | Wady                        | Rok opracowania |
|----------------------|-----------------------|--------------|--------------------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| <i>I generacja</i>   |                       |              |                                            |                             |                 |
| Sanger               | ~1000                 | 2 h          | Długość pojedynczej sekwencji              | Wysoki koszt jednostkowy    | 1977            |
| <i>II generacja</i>  |                       |              |                                            |                             |                 |
| Roche 454            | 700                   | 24 h         | Długość sekwencji                          | Wysoki poziom błędów, koszt | 2005            |
| Illumina             | 100–200               | 2–8 dni      | Niski koszt, niski poziom błędów           | Długi czas reakcji          | 2006            |
| AB Solid             | 85                    | 8–14 dni     | Niski koszt, niski poziom błędów           | Długi czas reakcji          | 2007            |
| Helicos Biosciences  | 35–55                 | 8 dni        | Niski poziom błędów                        | Długi czas reakcji          | 2009            |
| Ion Torrent          | 400                   | 2 h          | Krótki czas reakcji, niski koszt aparatury | Wysoki poziom błędów        | 2010            |
| <i>III generacja</i> |                       |              |                                            |                             |                 |
| Pacific Biosciences  | 3000                  | 1,5–4 h      | Długość sekwencji, krótki czas reakcji     | Wysoki poziom błędów        | 2010            |
| Minlon               | >9000                 | 6 h          | Długość sekwencji, niski koszt aparatury   | Wysoki poziom błędów        | 2014            |

\* pz – par zasad; jednostka długości sekwencji DNA

Dla przykładu, dzięki zastosowaniu pirosekwencjonowania 454 możemy uzyskać dłuższe sekwencje barkodów, potrzebne do dokładnej identyfikacji w porównaniu z innymi platformami NGS. Z kolei technologia IonTorrent daje wyniki w najkrótszym czasie z porównywanych technologii II generacji. Obecnie coraz częściej wykorzystywane są technologie tzw. III generacji, pozwalające na jeszcze szybszą analizę długich fragmentów DNA, jednak ich wyzwaniem jest dość wysoki poziom błędów w odczytach sekwencji. Ponadto, niezależnie od użytej technologii sekwencjonowania, konieczne jest ustalenie optymalnej liczby barkodów wymaganych do precyzyjnej identyfikacji gatunków, a także określenie poziomu wykrywalności gatunków w próbkach mieszanych wraz z dopuszczalnym poziomem błędów w sekwencji DNA. Ponadto istnieje potrzeba opracowania prostych procedur analizy danych NGS, wykorzystujących nowe narzędzia i oprogramowanie bioinformatyczne.

Podsumowując, bioindykatory mają dwie zalety w stosunku do tradycyjnych miar jakości środowiska. Po pierwsze, gatunki bioindykatorów pozwalają naukowcom ocenić zmiany w ekosystemie w czasie. Po drugie, bioindykatory mogą pomóc w przewidywaniu pośrednich zmian środowiskowych, pozwalając naukowcom zobaczyć większy obraz siedliska. Wdrożenie technik molekularnych do bioindykacji otwiera drogę do wykorzystania mikroorganizmów jako gatunków wskaźnikowych. Środowiskowe DNA charakteryzuje się lepszą wykrywalnością gatunków, wymaga mniejszego nakładu pracy, nie powoduje zaburzeń w ekosystemie, umożliwia wykrywanie bez uprzedniej znajomości gatunków i może być wdrażane na obszarach, gdzie tradycyjne badania są niemożliwe, co czyni je niezwykle obiecującym rozwiązaniem dla przyszłości monitoringu różnorodności biologicznej.



*Miłosz Tkaczyk*



*Hanna Szmidla*

*Miłosz Tkaczyk, Hanna Szmidla*  
*Instytut Badawczy Leśnictwa*

## **Zastosowanie technologii cyfrowej do oceny skuteczności środków ochrony roślin**

W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania nowymi technologiami zarówno w uprawie roślin jak i ich ochronie. Zabiegi ochronne choć mają niewątpliwie liczne zalety, mogą również oddziaływać niekorzystnie na warunki i efekty produkcyjne oraz środowisko. Metody mechaniczne są bardzo czasochłonne, a stosowanie prewencyjne środków ochrony roślin na całej powierzchni uprawy wiąże się z dużymi kosztami. Czasochłonna i kosztochłonna jest również ocena skuteczności działania takich preparatów. Dlatego coraz więcej producentów ma w swojej ofercie technologie, które w znaczący sposób ograniczają czas i koszty związane zbadaniem skuteczności środków ochrony roślin.

### **Wstęp**

Środki ochrony roślin to preparaty celowo uwalniane do środowiska często, aby zniszczyć organizmy żywe. Jeśli substancja zabija pewne organizmy występujące w środowisku, to może stanowić również zagrożenie dla innych organizmów, w tym dla ludzi. Z tego powodu w ochronie roślin dopuszczone jest stosowanie jedynie środków zarejestrowanych.

Na terenie krajów należących do Unii Europejskiej (UE) obowiązuje dwuetapowy system rejestracji:

- rejestracja substancji czynnej (wspólna dla całej UE),
- rejestracja środków ochrony roślin (odrębna w każdym państwie członkowskim).

Procedura rejestracji środków ochrony roślin jest sformalizowana, czasochłonna i kosztowna. Konieczność wykonania wielu badań oraz sformalizowania procedury stanowi barierę dla wielu małych firm. Koszty poniesione w trakcie rejestracji producenci muszą uwzględnić w cenie produktów, co powoduje, że jest ona stosunkowo wysoka. Z drugiej strony liczne badania leżą w interesie użytkowników, ponieważ gwarantują skuteczność i bezpieczeństwo środków ochrony roślin zarówno dla ludzi, jak i środowiska.

### **Ocena skuteczności środków ochrony roślin – regulacje prawne**

Badania skuteczności działania środków ochrony roślin w Polsce, regulowane są szeregiem przepisów, spośród których do najważniejszych zalicza się:

- ustawę z dnia 8 marca 2013 r. o środkach ochrony roślin (Dz.U. z 2013 r. poz. 455);
- rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) NR 1107/2009 z dnia 21 października 2009 r. dotyczące wprowadzania do obrotu środków ochrony roślin i uchylające dyrektywę Rady 79/117/EWG i 91/414/EWG (Dz.Urz. UE L 309 z 24.11.2009, str. 1, z późn. zm.);

- ustawę z dnia 18 grudnia 2003 r. o ochronie roślin (tekst jednolity Dz.U. z 2014 r. poz. 621);
- rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 24 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy stosowaniu i magazynowaniu środków ochrony roślin oraz nawozów mineralnych i organiczno-mineralnych (Dz.U. NR 99 poz. 896, z późn. zm.).

Skuteczność środka ochrony roślin względem agrofagów oraz bezpieczeństwo dla rośliny uprawnej (selektywność) badane są w serii doświadczeń polowych realizowanych w naturalnych warunkach polowych zgodnie z zasadami Dobrej Praktyki Eksperymentalnej (z ang. Good Experimental Practice, GEP) i wytycznymi Europejsko-Śródziemnomorskiej Organizacji Ochrony Roślin (z ang. European and Mediterranean Plant Protection Organization, EPPO).

Zasady Dobrej Praktyki Eksperymentalnej gwarantują, że doświadczenia przeprowadzone przez jednostkę posiadającą certyfikat GEP są wykonane według jednolitych zasad, zapewniają odpowiednią „jakość i wiarygodność” prezentowanych danych oraz mogą być wykorzystane w procesie rejestracji na terenie całej Unii Europejskiej. O tym jak należy prowadzić badania skuteczności i selektywności środków ochrony roślin informują wytyczne (metodyki, standardy) EPPO. Pierwsze z nich zostały opublikowane w 1977 roku. Aktualnie lista metodyk liczy 324 pozycje, wśród których znajdują się standardy opisujące ogólne zasady prowadzenia doświadczeń i będące źródłem wskazówek dla organów rejestracyjnych i wnioskodawców oraz metodyki szczegółowe, opisujące krok po kroku jak należy założyć i prowadzić doświadczenie oraz wykonać oceny skuteczności względem wybranego szkodnika/patogenu lub całej grupy w zależności od biologii agrofagów i chronionych roślin, np. PP 1/100 (2) *Lophodermium seeditiosum* to metodyka opisująca przebieg doświadczenia mającego na celu ocenę skuteczności fungicydów w zwalczaniu *Lophodermium seeditiosum* u sosny, a PP 1/127 (2) *Hylobius abietis* to standard opisujący przebieg doświadczeń, których celem jest ochrona drzew przed szeliniakiem sosnowcem. Standardy EPPO opisują przebieg doświadczeń w przypadku badania środków z grupy herbicydów, fungicydów, insektycydów, akaricydów, bakteriocydów, moluskocydów, nematocydów, rodentycydów czy regulatorów wzrostu.

Standardy EPPO dotyczące oceny skuteczności środków ochrony roślin dostarczają istotnych informacji dla przeprowadzania poszczególnych badań. Badania to studia doświadczalne przeprowadzone w odpowiednich warunkach w celu uzyskania informacji o pewnych skutkach, właściwościach i warunkach stosowania środków ochrony roślin (np. badań skuteczności działania, badań bezpieczeństwa roślin uprawnych). Każda indywidualna norma dotyczy konkretnego obiektu na konkretnej roślinie i może zawierać informacje o badaniach przeprowadzonych dla różnych celów na tym układzie.

Wytyczne EPPO są generalnie ułożone w następującym porządku:

- „Warunki doświadczenia”, obejmujące aspekty, co do których eksperymentator może podejmować decyzje zakładając doświadczenie;
- „Zastosowanie środków”, obejmujące środki i warunki dokonywania zabiegów, o których ponownie decyduje eksperymentator;
- „Sposób oceniania, rejestrowania wyników i dokonywania pomiarów”, obejmujący dane dotyczące populacji agrofagów, uszkodzeń roślin i strat, które eksperymentator zapisuje podczas doświadczenia. Zawarte są tu również spostrzeżenia dotyczące warunków meteorologicznych i glebowych, na które eksperymentator z reguły nie ma wpływu;
- „Wyniki”

Badania skuteczności działania środka ochrony roślin mogą być prowadzone na terytorium Polski wyłącznie przez podmioty upoważnione przez Głównego Inspektora Ochrony Roślin i Nasiennictwa. Upoważnienie do prowadzenia badań skuteczności działania środka ochrony roślin następuje, w drodze decyzji administracyjnej, na wniosek podmiotu ubiegającego się o udzielenie takiego upoważnienia. Główny Inspektor prowadzi i aktualizuje rejestr podmiotów



upoważnionych do prowadzenia badań nad środkami ochrony roślin. Obecnie, najdłuższe tradycje w prowadzeniu badań skuteczności działania środka ochrony roślin z grupy insektycydów, fungicydów, herbicydów i repelentów w szkołkach, uprawach i drzewostanach leśnych iglastych i liściastych w Polsce ma Instytut Badawczy Leśnictwa.

Nadzór nad podmiotami upoważnionymi do prowadzenia badań skuteczności działania środka ochrony roślin oraz kontrolę w zakresie spełniania wymagań dobrej praktyki doświadczalnej w rozumieniu art. 3 pkt 20 rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) NR 1107/2009 z dnia 21 października 2009 r. dotyczącego wprowadzania do obrotu środków ochrony roślin i uchylającego dyrektywy Rady 79/117/EWG i 91/414/EWG, sprawuje Państwo w Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa.

W ostatnich latach dynamiczny rozwój technologii cyfrowej, przyczynił się do powstania nowych, często dokładniejszych metod związanych z oceną skuteczności środków ochrony roślin. Zastosowanie dronów z kamerami 4K, jest już tak powszechne, że tylko kwestią czasu było, aż zacząć być wykorzystywane na skalę przemysłową znacząco ograniczając czas potrzebny na ocenę wykonanych zabiegów. Idąc tym tropem, również organizacje takie jak EPPO musiały uwzględnić rozwój technologii przy pisaniu norm. W tym celu w czerwcu 2022 roku w Holandii zorganizowane zostały warsztaty pt. „EPPO Workshop on Adoption of Digital Technology for Data Generation for the efficacy evaluation of Plant Protection Products”. Warsztaty zostały zorganizowane na prośbę krajów członkowskich EPPO, które wskazały na potrzebę krytycznej dyskusji, w jaki sposób technologie cyfrowe wykorzystywane w badaniach skuteczności mogą być walidowane i akceptowane w ramach systemów Dobrej Praktyki Eksperymentalnej (GEP) oraz przez organy regulacyjne w przyszłości. W spotkaniu obecnych było 72 uczestników z 17 krajów EPPO. Podczas warsztatów skoncentrowano się na wymianie doświadczeń w zakresie wykorzystania technologii cyfrowych w ocenie skuteczności środków ochrony roślin, określeniu, w jaki sposób technologie cyfrowe mogą wspierać istniejące metody dla określonych rodzajów oceny oraz omówieniu luk w wiedzy. Uczestnicy dyskutowali o tym, jak technologie cyfrowe mogą być walidowane, kalibrowane i weryfikowane, a także jakie dalsze prace lub wytyczne mogą być potrzebne. Warsztaty skupiły się również na możliwej pracy, jaką EPPO może wykonać, aby pomóc swoim krajom członkowskim, w aktualizacji istniejących lub przygotowaniu nowych Norm EPPO.

Uczestnicy zostali podzieleni na cztery Grupy Robocze w celu omówienia wykorzystania technologii cyfrowych w ocenie skuteczności. Trzy grupy skupiły się na różnych grupach środków ochrony roślin, rozważając specyfikę badań skuteczności herbicydów, fungicydów i insektycydów, a czwarta grupa omawiała wykorzystanie technologii cyfrowych w ramach systemów GEP. Na ostatniej sesji plenarnej sprawozdawca każdej grupy podsumował wnioski swojej grupy dla wszystkich uczestników warsztatów.

Na podstawie wyników trzydniowych prac grup roboczych podczas sesji plenarnej opracowano ogólne wnioski i zalecenia, które podsumowano w następujący sposób.

- W chwili obecnej nie ma potrzeby rewizji określonych Standardów EPPO dotyczących technologii cyfrowych, ponieważ Standardy nie precyzują, w jaki sposób dane są pozyskiwane. W przyszłości może być potrzebna rewizja, jeśli technologie cyfrowe będą wykorzystywane do generowania dodatkowych parametrów.

- Walidacja technologii cyfrowych ma kluczowe znaczenie.
- Potrzebny jest słowniczek terminów technicznych, m.in. wyjaśnienie znaczenia terminów „kalibracja”, „weryfikacja” i „walidacja”.
- Surowe dane próbne są danymi wyjściowymi ocen, a nie obrazami lub plikami danych.
- Kalibracja, weryfikacja i walidacja to przede wszystkim obowiązek systemu GEP.
- Pilnie potrzebny jest nowy standard lub alternatywnie dodatek do EPPO PP1/181 opisujący procedury kalibracji, weryfikacji i walidacji technologii cyfrowych.

- Połączenie menedżerów GEP mogłoby promować harmonizację wykorzystania technologii cyfrowych.
- Branża może rozważyć udostępnienie wspólnego zestawu danych do walidacji.

## Rozwój technologii cyfrowych: stan obecny i potencjalne możliwości na przyszłość

Podczas spotkania przedstawione zostały również najnowsze osiągnięcia w ramach testowania nowych technologii w ocenie skuteczności środków ochrony roślin. Jednym z nich była prezentacja przygotowana przez zespół naukowców z Wageningen University & Research. W ramach tematu o nazwie OPTIMA (ang. **OPT**imised **INT**egrated **PE**st **MAN**agement), opracowali metodą wczesnego wykrywania chorób: liści powodowanych przez grzyby z rodzaju *Alternaria* na marchwi, parcha jabłoni oraz mączniaka rzekomego winogron. Głównymi założeniami tematu było:

- Zoptymalizowanie modelu przewidywania chorób roślin i opracowanie zaawansowanych metod wczesnego wykrywania chorób.
- Ocena biologicznych i syntetycznych środków ochrony roślin oraz ocena roślin i mechanizmy odporności na patogeny dla skutecznej kontroli choroby.
- Udoskonalanie i rozwijanie innowacyjnych technologii precyzyjnego aplikowania środków ochrony roślin.
- Przetestowanie i ocena proponowane nowe elementy w warunkach polowych.
- Ocena wpływu i ryzyko zdrowotne, środowiskowe i społeczno-gospodarcze proponowanego systemu.

W ramach prac stworzono oprogramowanie bazujące na metodzie uczenia maszyn tzw. Deep Learning, które przy wykorzystaniu kamery spektralnej oraz rejestrowaniu zwykłego zdjęcia w zakresie widzialnym, było w stanie z dokładnością rzędu 70%, określić czy fotografowany liść jest porażony czy nie, a następnie na obszarze występowania choroby wykonać precyzyjny zabieg odpowiednimi środkami ochrony roślin. Zastosowanie takiej technologii w znacznym stopniu ograniczy zużycie środków ochrony roślin a także zmniejszy koszty oraz czas potrzebny na ocenę oraz wykonanie samego zabiegu zwalczania chorób.

Kolejnym interesującym rozwiązaniem było zaprezentowane przez grupę Botany Group, urządzenie o roboczej nazwie PhenoVerius. Jest to pierwszy zautomatyzowany system zapewniający możliwość zliczania określonych stadiów wzrostu owadów za pomocą zautomatyzowanej technologii. Urządzenie to co prawda, nie jest do stosowania bezpośrednio na uprawie (jak w przypadku opisanego powyżej systemu grupy OPTIMA), jednak jest równie skuteczne. Zasada działania jest bardzo podobna, w pierwszym etapie pobiera się bardzo dużo zdjęć poszczególnych stadiów owadów (głównie mszyc), a następnie za pomocą technologii Deep Learning, maszyna uczona jest rozpoznawania ich na obrazie. Prace z tym urządzeniem polegają na pobraniu liści w terenie a następnie umieszczeniu ich pod specjalnym „mikroskopem” do którego jest podłączona kamera. Oprogramowanie jest w stanie rozpoznać kilka gatunków, a także zliczyć ich liczbę na obserwowanym fragmencie liścia.

Podczas warsztatów zaprezentowano również wiele urządzeń produkowanych przez firmy komercyjne takie jak BASF, Corteva czy Syngenta. Są to dobrze znane urządzenia służące do oceny znormalizowanego różnicowego wskaźnik wegetacji (z ang. Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) jak GreenSeeker, ale też mniej znane jak np. AR glasses. Są to okulary podłączone do smartphon’a, gdzie dzięki specjalnemu oprogramowaniu możliwe jest wprowadzanie danych za pomocą głosu jednocześnie mając ciągle wyświetlony arkusz właśnie w okularach. Dodatkowo okulary takie, mają wbudowaną kamerę, dzięki czemu możliwe jest zapisywanie obrazu jednocześnie cały czas mając wolne obie ręce.

Nowe technologie są również ciągle rozwijane w ramach badań prowadzonych w Instytucie Badawczym Leśnictwa (IBL). W Zakładzie Ochrony Lasu w ramach tematu „Prognozowanie zagrożenia ekosystemów leśnych poprzez implementację innowacyjnego elektronicznego systemu rozpoznawania zapachów”, testowane są możliwości wykorzystania tzw. elektronicznego nosa, do detekcji patogenów wywołujących patogeniczną zgorzel siewek w szkółkach leśnych oraz jesiennych poszukiwań foliowagów sosny ze szczególnym uwzględnieniem barczatki sosnowki. Działanie elektronicznego nosa oparte jest na reakcji czujników na specyficzne dla danego organizmu lotne związki zapachowe, które są następnie interpretowane przez sztuczną inteligencję i klasyfikowane zgodnie z wcześniej wyuczonymi algorytmami. W ramach prac prowadzonych w IBL gromadzone są ogromne ilości danych związanych z zapachami czy to grzybów wywołujących patogeniczną zgorzel w szczególności tych należących do rodzaju *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Cylindrocarpon*, *Phytophthora* czy *Pythium*, czy barczatki sosnowki w różnych stadiach rozwoju. Następnie zgromadzone zapachy służą jako dane wejściowe do tworzenia sieci neuronowych, których zadaniem jest wyuczenie się zapachów tak aby po zwalidowaniu możliwe było stworzenie urządzenia, które byłoby w stanie rozpoznawać wyżej wspomniane organizmy.

## Podsumowanie

Rozwój technologii od zawsze towarzyszy człowiekowi, a nowoczesne urządzenia nie raz były w stanie zrewolucjonizować podejście do wielu aspektów życia codziennego. Podobnie jest z zastosowaniem nowych technologii w ocenie skuteczności środków ochrony roślin, które bez wątpienia przyspieszają i ułatwiają zbieranie danych. W dużej mierze technologie te są dokładniejsze od człowieka, ponieważ mogą między innymi precyzyjnie określić procent porażonego liścia czy miejsce i powierzchnię na której konieczne jest przeprowadzenie zabiegu chemicznego. W tym wszystkim jednak nie powinniśmy zapominać o jednym najistotniejszym elemencie. Na obecną chwilę wszystkie te technologie wymagają walidacji przez człowieka. To operator ostatecznie powinien zatwierdzić, czy infekcja na liściu to faktycznie nekroza a nie zacienienie. Nie powinniśmy zatem stosować technologii jako remedium na problemy i do uzyskanych danych podchodzić w sposób bezkrytyczny, a pamiętać, że jest to narzędzie takie samo jak zwykły aparat, opryskiwacz czy nawet linijka za pomocą której zmierzymy powierzchnię uszkodzeń.



*Alicja Sierpińska*



*Iwona Skrzecz*

*Alicja Sierpińska, Iwona Skrzecz*  
*Instytut Badawczy Leśnictwa*

## Co badać, aby wykorzystać potencjał metod biologicznych w nowoczesnej ochronie lasu przed owadami?

**Autorki omawiają pokrótce wyzwania badawcze w ochronie lasu i stwierdzają, że nie ma gotowych rozwiązań, które można łatwo wdrożyć, nie ma też rozwiązań nad którymi prace byłyby bardzo zaawansowane. Proponują podjęcie działań w kierunku ograniczenia liczebności populacji szkodliwych owadów leśnych na wczesnym etapie rozwoju gradacji. Wtedy dany gatunek szkodliwego owada jest jeszcze daleki od takiego pułapu liczebności, który oznacza dla leśników konieczność podjęcia akcji ratowniczej.**

### Wstęp

Ze względu na zmiany w systemie prawnym po akcesji Polski do Unii Europejskiej, a także z powodu wymagań stawianych przez FSC, wiążących się z poważnymi ograniczeniami w stosowaniu dotychczas używanych środków chemicznych w ochronie lasu, aktualne potrzeby leśnictwa w zakresie możliwości wpływania na liczebność szkodliwych owadów stały się bardziej widoczne. W związku z wejściem w życie polskich i europejskich aktów prawnych<sup>1</sup>, od pierwszego stycznia 2014 r. koniecznością pozostaje stosowanie integrowanych metod ochrony lasu przed owadami i w związku z tym wykorzystanie – w pierwszej kolejności – metod biologicznych. Przez metody biologiczne rozumiemy w ślad za Eilenbergiem i in. (2001) zastosowanie żywych organizmów<sup>2</sup> w celu ograniczenia gęstości populacji innych organizmów lub ich szkodliwego wpływu (poprzez uczynienie ich mniej licznymi i/lub mniej szkodliwymi niż byłyby bez takiego działania). Obecnie brakuje przyjaznych środowisku metod i środków, a nawet strategii, które w uzasadnionych przypadkach mogłyby być zastosowane w ochronie lasu. „Przyjaznych środowisku” oznacza, że mają to być metody i środki działające wybiórczo na możliwie wąską grupę organizmów i mające krótki okres półtrwania w środowisku. W obliczu wspomnianych aktów prawnych, szczególnie pilna stała się potrzeba znalezienia takich rozwiązań, dzięki którym naturalny opór środowiska wobec szkodliwych owadów zostanie odpowiednio wykorzystany, np. poprzez introdukcję organizmów chorobotwórczych do miejsc, gdzie zaczyna się gradacja, czy wspomaganie rozwoju i zwiększanie liczebności organizmów pasożytniczych dla gatunków owadów powodujących szkody. Przez odpowiednie wykorzystanie rozumiemy takie działanie, które spowoduje, że gradacja nie rozwinie się do fazy masowego pojawu, zakładamy zatem wykorzystanie tych organizmów w innym momencie rozwoju gradacji szkodnika niż szczyt masowego pojawu – wtedy, kiedy jego liczebność dopiero zaczyna narastać (przy czym dla zapewnienia

<sup>1</sup> Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady nr 1107/2009 z 21 października 2009 r., Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2009/128/WE z 21 października 2009 r. oraz Ustawa Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej o środkach ochrony roślin z 8 marca 2013 r. (Dz. U. z 2019 r. poz. 1900).

<sup>2</sup> **Żywe organizmy – oznacza tutaj także** bakulowirusy, ale nie geny lub ich produkty (uprawy roślin GMO) i nie metabolity owadów (np. feromony) lub roślin (np. niektóre kairomony).

sukcesu bardzo ważne będzie prawidłowe wskazanie lokalizacji, w których takie działanie może nastąpić). Opracowywanie nowej strategii działania na potrzeby ochrony lasu przed owadami, wymaga dobrego przygotowania teoretycznego i praktycznego w kilku dziedzinach, połączonego w przyszłości z corocznym, praktycznym wykonywaniem wysokiej jakości oceny stanu populacji szkodliwych owadów (co jest rutynowo robione przez leśników) i wskazywaniem przez odpowiednie służby miejsc, gdzie opracowywane środki mogą być użyte. Wspomniane w poprzednim zdaniu dziedziny, których znajomość jest konieczna by pracować nad nową strategią, a w przyszłości ją wdrożyć, to wiedza na temat czynnika powodującego redukcję liczebności danego gatunku owada gradacyjnego, wiedza dotycząca tego gatunku owada, a zwłaszcza krótkoterminowego prognozowania jego gradacji (zwłaszcza w skali lokalnej) i wreszcie – wiedza związana z praktycznym zastosowaniem czynnika biologicznego w konkretnym miejscu, która pozwoli uwzględnić różne aspekty sytuacji mogących wpływać na wynik takiego działania.

## Ochrona lasu przed owadami liściożernymi

### Metody tradycyjne

Dotychczas stosowana i zdająca egzamin, także w warunkach polskich, strategia ochroniarska, polega na wprowadzaniu do środowiska życia szkodliwych owadów, trujących dla nich środków ochrony roślin – chemicznych lub biologicznych wtedy, kiedy liczebność larw jest wysoka, a ich żerowanie zagraża trwałości lasu. Największym na skalę światową sukcesem w dziedzinie wykorzystania środków biologicznych w ochronie lasu, pozostaje dotychczas wykorzystanie bakterii *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* do likwidowania masowych pojawów różnych gatunków Lepidoptera. Od końca lat 60. XX wieku, przez około 20 lat trwały w Ameryce Północnej prace nad komercjalizacją tej bakterii do zastosowania w ochronie lasu. Ostatecznie sukces stał się faktem, a u jego źródeł leżało duże zapotrzebowanie leśników z USA i Kanady na skuteczny środek ochrony roślin, zarazem bezpieczny dla ludzi i środowiska. W latach 1980–2014 środki ochrony roślin z *B. thuringiensis* zastosowano w Kanadzie do ograniczania liczebności zwójki *Choristoneura fumiferana* na powierzchni około 7,62 mln ha, a w USA, do ograniczania brudnicy nieparki *Lymantria dispar* na powierzchni około 3,18 mln ha. W Polsce, przez ostatnie 40 lat użyto środki biologiczne z bakterią *B. thuringiensis* przeciwko kilku gatunkom z rzędu Lepidoptera na powierzchni około 0,63 mln ha.

Jednym z nierozwiązanych problemów ochroniarskich pozostaje w polskim leśnictwie brak jakichkolwiek środków biologicznych do ograniczania liczebności rośliniarek (Hymenoptera: Symphyta). Oznacza to, że w razie potrzeby przeprowadzania akcji opryskiwania lasu pozostają do użycia tylko środki chemiczne. W latach 1953–2017 – liczebność populacji rośliniarek (z rodzin: Diprionidae, Pamphilidae, Tenthredinidae) ograniczano w Polsce na powierzchni blisko miliona ha. W tym miejscu warto powiedzieć, że najbardziej wybiórczo działają na owady biologiczne środki ochrony roślin zawierające jako substancję aktywną bakulowirusy (często jest tak, że jeden bakulowirus działa na larwy jednego gatunku owada). Jednak poza borecznikowcem rudym, bakulowirusy były rzadko znajdowane w larwach Diprionidae, co skierowało wysiłki naukowców na znalezienie szczepu *B. thuringiensis* o wysokiej aktywności owadobójczej wobec rośliniarek. Pierwsze próby znalezienia szczepu *B. thuringiensis* o wysokiej aktywności owadobójczej wobec rośliniarek miały miejsce w Szwajcarii, w 1994 r. Wtedy, znaleziono w larwach zasnuj wysokogórskiej *Cephalcia falleni* pochodzących z Polski, z Gorczańskiego PN, szczep K24 *B. thuringiensis* subsp. *israelensis*, który powodował w laboratorium 100% śmiertelności larw borecznika sosnowca *Diprion pini* L. W kolejnych latach nie uzyskano jednak powtarzalnych, równie zachęcających wyników. Następnie, badania hiszpańskie z 2001 i 2008 r. wykazały specyficzne wobec larw rośliniarek, ale słabe, owadobójcze działanie białka Cry 5 innego szczepu *B. thuringiensis* (PS86Q3). Trzecia próba znalezienia szczepu *B. thuringiensis* o działaniu



owadobójczym wobec larw rośliniarek była podjęta w Kanadzie w 2013 r. Badano wtedy aktywność owadobójczą dla boreczników innego szczepu *B. thuringiensis*, PS201T6. Białko Cyt1Ba produkowane przez ten szczep i odpowiadające za jego toksyczność nie działało jednak tylko na larwy rośliniarek, ale również na owady z czterech innych rzędów. Ten brak specyficzności zdyskwalifikował szczep PS201T6 jako potencjalną substancję aktywną środków ochrony roślin. A zatem, mimo podejmowanych prób, nie znaleziono jeszcze środka biologicznego do ograniczania liczebności rośliniarek.

### Nowa strategia – ograniczanie rozwoju gradacji owadów liściożernych zimujących w ściółce przez poprawę samoregulacji w biocenozach lasów zagospodarowanych

Wracając do zagadnienia zarysowanego we wstępie, spróbujemy odpowiedzieć na pytanie: co właściwie rozumiemy przez „wypracowanie nowych strategii wpływania na liczebność szkodliwych owadów”? Obecnie istnieją trudności w zakresie dostosowania praktyki ochrony lasu do istniejącego prawa w tym zakresie, głównie dlatego, że brakuje środków i metod ograniczania liczebności owadów leśnych, które można nazwać biologicznymi. Dlatego proponujemy podjęcie działań, przy wykorzystaniu czynników działających – z różnych powodów – wybiórczo, w kierunku poradzenia sobie z problemem na wczesnym etapie rozwoju gradacji, kiedy dany gatunek owada jest jeszcze daleki od takiego pułapu liczebności, który oznacza dla leśników stan klęski i konieczność podjęcia akcji ratowniczej. Nasza propozycja nie jest rozwiązaniem uniwersalnym, do zastosowania przeciwko wszystkim szkodnikom i dotyczy ograniczania liczebności niektórych gatunków owadów liściożernych zimujących pod ściółką. Nie gwarantujemy, że użycie proponowanego przez nas czynnika niezawodnie nie dopuści do rozwoju konkretnej gradacji, ale liczymy na to, że czas trwania takiej gradacji, jej zasięg przestrzenny i szkodliwość dla gospodarki leśnej ulegną ograniczeniu (a tym samym zmniejszone zostanie stosowanie środków ochrony roślin). Uogólniając – proponujemy postawić na rozwój metod biologicznych stanowiących element profilaktyki w ochronie lasu. Jeśli chodzi o ograniczanie skali gradacji niektórych owadów leśnych, metody biologiczne mogą być cennym uzupełnieniem działań hodowlano – urządzeniowych prowadzonych w kierunku dostosowania drzewostanu do siedliska, znanych jako przebudowa drzewostanów, podejmowanych w bardzo wielu miejscach Polski. W wyniku tych działań wymierne efekty ochroniarskie są uzyskiwane po dłuższym czasie, kiedy przebudowywany las osiągnie wiek, w którym pojawiają się (lub nie) różne gatunki szkodników, czyli często po kilkudziesięciu latach od przebudowy. Należy też wziąć pod uwagę, że lasy z ogniskami gradacyjnymi położone na suchych, ubogich siedliskach, nawet jeśli dochodzi w nich często do rozwoju gradacji, raczej nie będą przebudowywane. Naszą propozycję można by wdrażać na szerszą skalę po kilkunastu latach od rozpoczęcia badań, także w lokalizacjach, które będą w tym czasie oczekiwać na przebudowę lub tam, gdzie nie jest ona możliwa i celowa. Propozycja ta nawiązuje luźno do sformułowanych przez profesora Koehlera w latach sześćdziesiątych XX wieku założeń metody kompleksowej. W 1968 r. profesor Koehler pisał: „Istotę jej<sup>3</sup> można sformułować następująco: kompleksowa metoda ochrony lasu jest to otwarty, wzbogacany w miarę postępu wiedzy program działania, zmierzający do najwyższego, osiągalnego przyrodniczo i uzasadnionego ekonomicznie podnoszenia zdolności samoregulacji stosunków ilościowych w biocenozach lasów zagospodarowanych, realizowany na drodze organizowania sił oporu środowiska.” Nasza propozycja nawiązuje do tej metody tylko pośrednio i teoretycznie, bez podejmowania praktycznego organizowania „ogródków Koehlerowskich”. Istotę i cel nowej, proponowanej metody, dobrze oddają słowa z przytoczonej wyżej definicji: jest to dążenie do „poprawy samoregulacji stosunków ilościowych w biocenozach lasów zagospodarowanych”.

Poprawa ma polegać na introdukcji do miejsc znanych jako ogniska gradacyjne (wtedy, kiedy właśnie zaczyna tam narastać liczebność populacji szkodnika) martwych osobników szkod-

<sup>3</sup> metody kompleksowej (przypis mój)

nika porażonych przez rodzimy gatunek działający na tę liczebność ograniczająco. Celem tego działania jest spowodowanie zainfekowania niektórych zdrowych osobników szkodnika i samostne, bez dalszej ingerencji ludzi, zwiększenie w kolejnych latach frekwencji osobników porażonych w populacji, dzięki samorzutnemu rozsiewaniu się czynników infekcyjnych w kolejnej generacji. Warto jeszcze raz przypomnieć, że nie ma jednego rozwiązania odpowiedniego dla wszystkich gatunków szkodliwych owadów. Ten sam czynnik biologiczny, ze względu na swój rozwój i znane terminy infekowania lub porażania żywicieli, może wyniszczać tylko podatne populacje gatunków, które w odpowiednim miejscu i czasie są obecne w środowisku. Upraszczając nieco opis sytuacji, np. grzyb owadobójczy maczużnik bojowy *Cordyceps militaris* (L.: Fr.) Fr.<sup>4</sup> (Ascomycota), którego podkładki znajdowane są m.in. w runie leśnym, wytwarza dużo infekcyjnych askospor w okresie od połowy sierpnia, do mniej więcej końca września. W związku z tym, jego celem mogą być osobniki gatunków, które w tym czasie ten ładunek askospor mogą otrzymać – tutaj będą to np. barczatka sosnowka *Dendrolimus pini*, poproch cetyniak *Bupalus piniaria*, druga generacja borecznika sosnowca *Diprion pini*, czy zasnuja świerkowa *Cephalcia abietis*, których larwy żerują także w tym okresie. Oczywiście, na ostateczny rezultat jednego ze sposobów wprowadzania *C. militaris* do środowiska mogą wpływać także inne okoliczności oprócz obecności grzyba i owada w tym samym miejscu i w tym samym czasie. Mogą to być np. temperatura, wilgotność w miejscach uwalniania askospor i ich kiełkowania, siła i kierunek wiatru w okresie uwalniania askospor, zagęszczenie czynnika infekcyjnego w środowisku, podatność larw szkodnika na wprowadzany czynnik, czy jego zdolność do utrzymania się w populacji szkodnika w kolejnych latach i in. Podsumowując, stopień skomplikowania zagadnienia jest zależny od tak wielu zmiennych, że nie sposób z góry zagwarantować, że użycie danego czynnika niezawodnie i zawsze zapobiegnie rozwojowi konkretnej gradacji, ale niewątpliwie może wpłynąć na jej ograniczenie.

W przypadku *C. militaris* naturalna zdolność do utrzymania się w populacji szkodnika, a nawet do zwiększania jego udziału została odnotowana w różnych populacjach barczatki sosnowki, co potwierdzają badania polskie z lat 1963–66 (okolice Myszyńca) i litewskie z 1996–98 i 2010–11 (okolice Druskiennik). W Japonii pod koniec lat 90. XX wieku także odnotowano zwiększanie udziału osobników porażonych przez *C. militaris* w populacji *Syn-tipistis punctatella* (Motchulsky) w miarę trwania gradacji tego szkodnika lasów bukowych. Uznano w Japonii, że *C. militaris* jest istotnym czynnikiem regulującym liczebność populacji *S. punctatella*. W latach 2015–19, w projekcie „Możliwości wykorzystania patogenów, pasożyto-idów i drapieżców do ograniczania liczebności szkodliwych owadów”, w zespole IBL badaliśmy możliwości wykorzystania przeciw szkodliwym owadom owadobójczego grzyba – *C. militaris*, pasożyto-idów jaj oraz nicieni owadobójczych z rodzajów *Steinernema* sp. i *Heterorhabditis* sp. Badania nad wykorzystaniem *C. militaris* i część badań nad pasożyto-idami jaj miały charakter nowatorskich badań wstępnych, które mogą pozwolić w przyszłości na rozszerzenie zakresu metod integrowanej ochrony lasu. Badania nad nicieniami owadobójczymi i część badań nad pasożyto-idami jaj – prowadzono w celu znalezienia biopreparatów komercyjnych nie podlegających obowiązkowi rejestracji i już w czasie trwania projektu dostępnych praktykom.

## Ochrona lasu przed kornikami

Czynnikiem biologicznym, którego praktyczne zastosowanie przeciwko kornikom dewastującym lasy iglaste nie tylko w Polsce i w Europie, wydaje się dzisiaj najbardziej sensowne są grzyby owadobójcze. Wiadomo od kilkudziesięciu lat, że mogą one infekować różne gatunki korników. Światowa historia badań laboratoryjnych i prób terenowych wykorzystania

<sup>4</sup> *C. militaris*, nie posiada genów odpowiadających za wytwarzanie toksycznych dla ludzi substancji i jest używany w krajach azjatyckich jako tradycyjne lekarstwo (medycyna chińska) i przyprawa kulinarna.

grzybów owadobójczych przeciwko kornikom jest długa, ale wciąż brakuje zadowalających rezultatów. Ostatnio, na podstawie bogatej literatury światowej, także polskiej, autorzy amerykańscy zidentyfikowali wiele luk w wiedzy potrzebnej do osiągnięcia sukcesu na tym polu. Dostępne fakty naukowe pozwalają dzisiaj wyobrazić sobie kilka sposobów, dzięki którym aktywne owadobójcze szczepy grzybów mogą zostać wprowadzone do środowiska i porażać korniki. Przykładowo, do opryskiwania leżących dłużej można użyć zawieszin spor, z dodatkiem substancji chroniących je przed UV; dla ochrony nie zaatakowanych drzewostanów można zastosować metodę „zwab i zabij” (poprzez zastosowanie w terenie konstrukcji, w których jakiegoś rodzaju feromon wabi *imagines*, które w tej samej konstrukcji muszą zetknąć się ze sporami grzyba); czy też można użyć w jakiś sposób szczepów endofitycznych (zasiedlających tkanki drzew) grzybów owadobójczych. Obecnie przyjęta kolejność badań wskazuje jednak, że najpierw trzeba dysponować szczepem grzyba o potwierdzonej laboratoryjnie aktywności owadobójczej, najlepiej wobec wszystkich stadiów rozwojowych danego gatunku korników, a potem zastanawiać się nad efektywnym sposobem wprowadzenia owadobójczych grzybów do środowiska. W trakcie rozwiązywania wymienionych problemów badawczych trzeba też uwzględniać, że tkanki drzew żywicielskich wydzielają substancje, które mogą w różny sposób wpływać na owady lub na grzyby, że korniki mogą wyczuwać i unikać lotnych, organicznych substancji chemicznych (volatile organic chemicals) wytwarzanych przez grzyby owadobójcze, a także, że np. rola, jaką pełnią wobec korników towarzyszące im mikroorganizmy nie jest dobrze rozpoznana.

## Ochrona lasu przed szkodnikami korzeni

Inny, nierozwiązany na razie problem ochrony lasu, to kwestia szkód powodowanych w uprawach przez szkodniki korzeni, a zwłaszcza przez pędraki chrabąszczy *Melolontha* spp. Obecnie, począwszy od 17 kwietnia 2020 nie ma żadnego zarejestrowanego środka (chemicznego lub biologicznego) przeznaczonego do ograniczania liczebności pędraków w glebie. Dlatego, by zmniejszyć ich presję na uprawy leśne, od 2012 r. stosuje się opryski agrolotnicze i naziemne dojrzałych drzewostanów w czasie żeru uzupełniającego *imagines* chrabąszczy preparatami zawierającymi acetamipryd. Inne dostępne rozwiązanie to zastosowanie starych, znanych od ponad stu lat praktyk hylo- i agrotechnicznych, które jednak bywają nieskuteczne przy wysokiej liczebności populacji tych owadów. Przez pewien czas uważano, że wspomniane wyżej metody ochrony drzew leśnych przed pędrakami chrabąszczy można będzie zintegrować ze stosowaniem doglebowych środków biologicznych na bazie owadobójczego grzyba *Beauveria brongniartii* (Sacc.) Petch. *B. brongniartii* była wykorzystywana w Europie przeciwko pędrakom chrabąszczy w ochronie różnych roślin od 1880 r. Po przeprowadzeniu w latach 2003–08, w Polsce serii doświadczeń terenowych w 2–5-letnich uprawach sosny i dębu i w szkółkach leśnych, okazało się, że badania wtedy szczep *B. brongniartii* działał na pędraki tylko w ograniczonym zakresie: na tych kwaterach szkółek leśnych, gdzie pH gleby po wielu latach użytkowania było podwyższone w stosunku do normalnego pH gleb leśnych. Wprowadzanie do obrotu środków ochrony roślin z *B. brongniartii* na terenie Unii Europejskiej zostało zabronione decyzją Komisji Europejskiej 2008/768/WE z dnia 30 września 2008 r. Decyzja cofała jednocześnie wszystkie tymczasowe pozwolenia, udzielane wcześniej w krajach Unii przez rządy różnych państw. Zakaz wiązał się wtedy z jednym szczepem, który był wówczas produkowany i stosowany na mocy tymczasowych pozwoleń, a jedyny producent, który wcześniej zgłaszał Komisji chęć prowadzenia procesu weryfikacji *B. brongniartii* jako środka ochrony roślin podjął decyzję o rezygnacji z tych działań. Nie wyklucza to, że w przyszłości ktoś znajdzie szczep<sup>5</sup> tego samego lub innego gatunku owado-

<sup>5</sup> W myśl istniejących przepisów mikroorganizmy do celów ochrony roślin bada się i rejestruje na poziomie konkretnego szczepu.

bójczego grzyba (lub innego czynnika biologicznego), wykazujący pożądaną aktywność również (lub tylko) w warunkach gleb leśnych. Trzeba pamiętać, że potencjalny producent jest prawnie zobowiązany przedłożyć stosownym urzędnikom polskim i unijnym wyniki odpowiednich badań laboratoryjnych i dopiero po tym i po uzyskaniu pozwoleń na prowadzenie badań terenowych może je legalnie przeprowadzić. Przystępując do takich badań warto wiedzieć, jakie są prawne wymagania odnośnie rodzaju przedkładanych badań i zapoznać się z unijnymi aktami prawnymi określającymi sposób postępowania przy uzyskiwaniu pozwoleń na wprowadzanie do obrotu nowych substancji aktywnych, które są mikroorganizmami<sup>6</sup> (pozwolenie takie, jeżeli chodzi o nową substancję aktywną, jest udzielane na poziomie unijnym).

Dysponując wyselekcjonowanym szczepem grzyba owadobójczego, o sprawdzonej aktywności owadobójczej wobec np. szkodników korzeni, stajemy przed problemem jak wprowadzić go tam, gdzie będzie mógł skutecznie działać. Metody opierające się na wprowadzaniu grzyba bezpośrednio do gleby wraz z substratem lub bez, zwłaszcza w warunkach temperaturowych jakie panują podczas sadzenia lasu, są dalekie od optymalnych dla jego rozwoju i działania. Lepszym pomysłem wydaje się inna niż w przypadku korników metoda typu „zwab i zabij”. Czy pędraki chrabąszczy można zwabić? W Niemczech pewien zespół badawczy pracujący 10 lat temu odkrył, że pędraki chrabąszczy posiadają na głowie organy węchowe pozwalające im wyczuwać zapachy. Jednak do dzisiaj nie wiadomo, jakie zapachy najlepiej je wabia i z jakiej odległości. Być może jest tak, że na większą odległość pędraki chrabąszczy w glebie kierują się do źródła dwutlenku węgla, a następnie – do źródła innego zapachu, sygnalizującego bezpośrednio obecność pokarmu. Znając powyższe fakty można by pracować nad pierwszym elementem metody, czyli „zwab”. Pozostawałoby jeszcze umiejętne połączenie elementów metody „zwab i zabij” w jakiejś konstrukcji uwzględniającej behavior tych owadów i łatwość praktycznego zastosowania.

Można też poszukiwać szczepów grzybów owadobójczych endofitycznych. W tym przypadku może to być łatwiejsze, niż w przypadku korników, ponieważ samo zasiedlanie tkanek korzeni przez takie szczepy odbywa się poprzez maczanie kiełkujących nasion lub młodych korzeni roślin w zawiesinach spor grzybowych. Jednak jest to metoda, która także w odniesieniu do roślin wykorzystywanych rolniczo tkwi jeszcze w powijakach i potrzeba wielu badań podstawowych, by jak najlepiej wykorzystać ją w praktyce. Poza tym, nie wiadomo jeszcze, czy endofityczne szczepy grzybów stosowane do celów ochrony roślin będą objęte procedurami rejestracyjnymi.

Wreszcie, są opisywane w literaturze światowej przypadki wykorzystania wielostopniowych powiązań troficznych przeciwko owadom – szkodnikom korzeni. Np. w 2005 r. znaleziono w USA szczep grzyba owadobójczego z rodzaju *Metarhizium* spp., który wytwarzał obficie zarodniki na powierzchni drobnych korzeni świerków w szkółkach i chronił drzewka przed nad-

---

<sup>6</sup> Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) Nr 1107/2009 z dnia 21.10.2009 r. dotyczące wprowadzania do obrotu środków ochrony roślin.

Rozporządzenie Komisji (UE) 2022/1438 z dnia 31.08.2022 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1107/2009 w odniesieniu do szczególnych kryteriów zatwierdzania substancji czynnych będących mikroorganizmami.

Rozporządzenie Komisji (UE) 2022/1439 z dnia 31.08.2022 r. zmieniające rozporządzenie (UE) nr 283/2013 w odniesieniu do informacji, które należy przedłożyć w zakresie substancji czynnych, oraz szczególnych wymogów dotyczących danych w zakresie mikroorganizmów.

Rozporządzenie Komisji (UE) 2022/1440 z dnia 31.08.2022 r. zmieniające rozporządzenie (UE) nr 284/2013 w odniesieniu do informacji, które należy przedłożyć w zakresie środków ochrony roślin, oraz szczególnych wymogów dotyczących danych w zakresie środków ochrony roślin zawierających mikroorganizmy.

Rozporządzenie Komisji (UE) 2022/1441 z dnia 31.08.2022 r. zmieniające rozporządzenie (UE) nr 546/2011 w odniesieniu do szczególnych jednolitych zasad oceny i udzielania zezwoleń na środki ochrony roślin zawierające mikroorganizmy.

miernymi żerami szkodnika *Otiorhynchus sulcatus* (Coleoptera: Curculionidae). Zaistniał zatem jakiś rodzaj symbiozy między drzewkami, a tym szczepem grzyba owadobójczego. Było to badanie przeprowadzone w warunkach szkółek kontenerowych, gdzie podłożem dla roślin nie była gleba i odkrywca nie badał możliwości domniemanego pośrednictwa grzybów mykoryzowych we wzajemnych multitroficznych powiązaniach. Nie można zatem wykluczyć, że potrzebne byłoby sprawdzanie w jakim kierunku zmienia się mikrobiom mykoryz drzew leśnych pod wpływem zastosowanego szczepu grzyba owadobójczego.

## Podsumowanie

Od pierwszego stycznia 2014 r. koniecznością stało się stosowanie integrowanych metod ochrony lasu przed owadami i w związku z tym wykorzystanie – w pierwszej kolejności – metod biologicznych. Ponadto, w lasach certyfikowanych przez FSC, trzeba dostosowywać działania z zakresu ochrony lasu do polityki pestycydowej tej organizacji, promującej użycie środków biologicznych. Wypracowana przez dziesięciolecia w ochronie lasu strategia, która zdawała i zdaje egzamin praktyczny, polega na wprowadzaniu do środowiska życia szkodliwych owadów, trujących dla nich środków ochrony roślin – biologicznych lub chemicznych wtedy, kiedy liczebność larw jest wysoka, a ich żerowanie zagraża trwałości lasu. W tej chwili praktycy ochrony lasu dysponują biologicznymi środkami ochrony roślin jedynie do likwidacji masowych pojawów foliofagów z rzędu Lepidoptera. Nie ma przyjaznych środowisku metod i środków, jak również strategii, które pozwoliłyby skutecznie radzić sobie z gradacjami i/lub masowymi pojawami groźnych szkodników, tak różnych jak foliofagi należące do rośliniarięk (Hymenoptera: Symphyta), szkodniki korzeni, zwłaszcza chrabąszcze *Melolontha* spp., czy korniki, zwłaszcza kornik drukarz *Ips typographus*.

Omawiając pokrótce wyzwania badawcze w ochronie lasu, stwierdzamy, że nie ma gotowych rozwiązań, które można łatwo wdrożyć, nie ma też rozwiązań nad którymi prace byłyby bardzo zaawansowane. Proponujemy podjęcie działań w kierunku ograniczenia liczebności populacji szkodliwych owadów leśnych na wczesnym etapie rozwoju gradacji. Wtedy dany gatunek szkodliwego owada jest jeszcze daleki od takiego pułapu liczebności, który oznacza dla leśników konieczność podjęcia akcji ratowniczej. Mają to być działania w kierunku osiągnięcia stabilności układu szkodnik – gatunki ograniczające.

Mimo, że poszukiwanie konkretnego czynnika owadobójczego zwykle obarczone jest dużym ryzykiem, że nie uda się tego czynnika znaleźć, to jednak potencjalne, ogromne korzyści w przypadku sukcesu takiego przedsięwzięcia wydają się to ryzyko równoważyć. Artykuł dotyczy możliwości wykorzystania w nowoczesnej ochronie lasu przeciwko owadom różnych czynników infekcyjnych i nie uwzględnia ewentualnego wykorzystania parazytoidów. Trudno jest liczyć na to, że jeden czynnik (owadobójczy grzyb lub parazytoid), nawet w przypadku powodzenia podjętych działań, w każdych warunkach zahamuje rozwój gradacji foliofaga. Szanse rosną, jeśli zastosuje się dwa czynniki jednocześnie w tym samym miejscu i podobnym czasie.





**Artur Rutkiewicz**  
Instytut Badawczy Leśnictwa

## Występowanie jemioli rozpierzchłej w drzewostanach sosnowych, jako przykład reakcji organizmów leśnych na zmiany klimatyczne

Występowanie jemioli w drzewostanach sosnowych na gospodarczo istotną skalę jest kolejnym z zagrożeń dla dużej części lasów w Polsce. Dlatego, stan wiedzy i wypracowanie metod monitoringu i kontroli zagrożenia z jej strony wydaje się bardzo ważnym i aktualnym zagadnieniem do rozwiązania dla nauki i praktyki leśnej.

W artykule przedstawiono najważniejsze informacje, dane i wyniki badań nad występowaniem, znaczeniem i wpływem jemioli na drzewostany sosnowe i z panującą w składzie gatunkowym w naszej strefie klimatycznej. Szczególne znaczenie zwrócono na te cechy biologii i ekologii, które są zależne od czynników klimatycznych i stanu pogody, co wprost i pośrednio preferuje jemiolę w skali jej ekspansji.

Obserwowane w ostatnich dekadach zmiany klimatu mają znaczący wpływ na wiele sektorów gospodarki. Leśnictwo i rolnictwo, są sektorami szczególnie narażonymi i wrażliwymi na zagrożenia wynikające z tych zmian. W leśnictwie widać to, jako pogarszająca się kondycja zdrowotna drzewostanów, na skutek synergicznego oddziaływania wielu czynników biotycznych i abiotycznych. Szczególnego znaczenia w kontekście obserwowanych zmian zdrowotności i stanu sanitarnego drzewostanów sosnowych ma masowe, o rosnącym znaczeniu gospodarczym, występowanie jemioli.

Według danych IBL, w 2020 roku całkowitą powierzchnię drzewostanów uszkodzonych przez wszystkie, występujące w lasach Polski gatunki jemioli, oszacowano na 127,5 tys. ha. W skali gospodarczej ma ona regionalne znaczenie w drzewostanach pięciu rdLP: we Wrocławiu (22,4 tys. ha), Poznaniu (20,4 tys. ha.), Lublinie (16,3 tys. ha), Warszawie (11,2 tys. ha) oraz w Katowicach (10,3 tys. ha).

Niestety, w obecnych warunkach środowiskowych, obszar występowania jemioli w polskich lasach, w dużej części, pokrywa się z obszarami dotkniętymi suszą. Skala osłabienia drzewostanów sosnowych, wynikająca z niedoborów wody oraz permanentnego występowania tzw. posuchy i masowego występowania jemioli pospolitej jest na tyle duża, iż rośnie prawdopodobieństwo pogłębiania się procesu silnego osłabienia drzewostanów sosnowych.

Jemioli (*Viscum* L.) to rośliny pasożytnicze, obecnie z rodziny sandałowcowatych (dawniej z rodziny jemiolowatych). Nazwa rodzajowa jemioli „*Viscum*” w języku łacińskim oznacza lep, co jest charakterystyczne dla ich nasion. Rodzaj Jemiola (*Viscum* L.) obejmuje ok. 113–150 gatunków.

W Polsce występuje jeden gatunek, jemiola pospolita *Viscum album* sp. W obrębie gatunku *Viscum* w Europie wyróżniono cztery podgatunki o znaczeniu gospodarczym: *V. subsp. albumu*

*album*, zasiedlający drzewa i krzewy gatunków liściastych; *V. subsp. albumu austriacum*, występujący wyłącznie na dwóch rodzajach wśród drzew iglastych: *Pinus* i *Picea*; *V. subsp. albumu abietis*, występujący wyłącznie na jodłach (*Abies* spp.); oraz *V. subsp. albumu creticum*, który rozwija się tylko na sośnie kalabryjskiej (*Pinus brutia*) na Krecie. Wśród tych podgatunków dwa zyskały znaczenie w skali gospodarczej: *V. album subsp. austriacum* (na sośnie pospolitej) i *V. album subsp. Abietis* (na jodle pospolitej).

Jemioli, są szeroko rozpowszechnione geograficznie i jako grupa organizmów, mają szeroki zasięg żywicieli, głównie występują na drzewach oraz innych roślinach drzewiastych. Większość gatunków i odmian jemioli jest specjalnie przystosowanych do zapylania przez ptaki, a kilka ich gatunków jest głównym wektorem dyspersji. Jemioli, to rośliny półpasożytnicze rosnące na drzewach iglastych i liściastych i za pomocą ssawek pobierające z nich wodę i sole mineralne.

W Polsce, jemiolę stwierdzono na prawie 200 gatunkach drzewiastych. Najczęściej jest obserwowana na drzewach w wieku, co najmniej 20 lat.

Jemioli uważane są, za jeden z czynników biotycznych, przyczyniających się do zanikania lasów na obszarach o umiarkowanym lub intensywnym deficycie wody. Równocześnie, jemioli są czynnikami predysponującymi, poprzez osłabienie drzew żywicielskich lub powodując utratę wzrostu i zwiększenie defoliacji u drzew silnie porażanych. Intensywna inwazja jemioli predysponuje drzewa na stres suszy zwłaszcza, gdy rosną na siedliskach ubogich w wodę. Pobieranie przez jemiolę od żywicieli wody, produktów fotosyntezy i składników mineralnych, pogłębia skutki stresu suszy i pogarsza bilans węgla zasiedlanych drzew. W końcowym efekcie, zwiększa się śmiertelność drzew, wywołana stresem suszy. Równocześnie, jemiola wpływa niekorzystnie na wzrost wysokości i średnicy oraz obniża żywotność żywiciela.

Jemiolę charakteryzuje wysoki pobór wody. Niektóre gatunki utrzymują otwarte aparaty szparkowe w niekontrolowany sposób. W ten sposób utrzymują wysokie tempo transpiracji nawet w warunkach panującej w środowisku suszy. Intensywna transpiracja jemioli wywołuje obniżenie potencjału wodnego korony, w konsekwencji zakłócając stosunki wodne w całym drzewie. Dopóki potencjał wodny w koronie pozostaje wystarczająco wysoki, a drzewo ma wystarczającą ilość pobieranej na bieżąco wody, jej utrata wywołana przez jemiolę, może być w pewnej mierze tolerowana. Kryzys ma miejsce, w warunkach suszy, kiedy zasiedlone drzewa tracą dużą ilość wody przez jemiolę, która nie ogranicza swojej transpiracji. Sosna, co prawda ma w pewnym zakresie możliwość regulacji systemu wodnego, ale nie ma skutecznego mechanizmu ograniczenia inwazji jemioli lub kontrolowania uwalniania wody przez stale transpirującego półpasożyta. Kryzys wodny żywiciela jest pogłębiany, przez zrekompensowanie dodatkowej utraty wody wywołanej przez jemiolę, poprzez zmniejszenie własnej transpiracji, w efekcie zamknięcie aparatów szparkowych igieł sosny. W dłuższej perspektywie prowadzi to, do zwiększenia defoliacji u drzewa. Jemiola, co prawda, nie prowadzi bezpośrednio do zamierania drzewa, ale jej obecność na drzewie potęguje wpływ suszy i silnie ogranicza zdolność sosny do asymilacji węgla w warunkach posuchy. Łączne działanie jemioli i suszy wywołują ograniczenia wzrostu i produkcji bielu i nasilenia defoliacji w drzewostanach sosnowych oraz zmniejszają efektywność wykorzystania wody przez porażone drzewa o około 10%.

W Szwajcarskich dolinach Alpejskich, gdzie rośnie sosna, jej drzewostany, zasiedlone przez jemiolę wykazują ponad dwukrotną, wyższą śmiertelność w porównaniu do niezasiedlonych. Większość drzew o stwierdzonej tam, silnej defoliacji należała do najbardziej narażonych na stres wodny wywołany przez jemiolę. Wynika z tych obserwacji, że jemiola na sośnie wymiernie zwiększa ryzyko śmiertelności żywicieli.

Rośliny półpasożytnicze modyfikują wzorce żywieniowe żywicieli. Żywiciele mogą próbować zrekompensować zwiększone zapotrzebowanie żywieniowe spowodowane przez pasożyty poprzez zwiększenie poboru składników odżywczych.

Przypuszcza się, że na siedliskach o dodatnim bilansie wodnym roślinom żywicielskim łatwiej jest pobierać składniki odżywcze ze względu na dostępność wystarczającej ilości wody w glebach. Dlatego uważa się, że zasobność siedliska, ma istotny wpływ na potencjał żywieniowy jemioli i jej żywiciela. Pobieranie składników pokarmowych przez jemiolę ma związek z ilością składników pokarmowych dostępnych w roślinach żywicielskich i jest zależne zarówno od gatunku jemioli jak i gospodarza.

Konsekwencjami intensywności zasiedlenia drzewa przez jemiolę są: deficyt dostępności wody i składników mineralnych; zahamowanie parametrów wzrostu, takich jak zawartość suchej masy i chlorofilu oraz długości igieł. Igły porażonych sosen zawierają mniejszą ilość niektórych pierwiastków (P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, B, Ni i Na), niż igły sosen zdrowych.

Ilość różnych form azotu w sośnie, na ogół jest niższa niż w krzaczkach jemioli, dla której może być składnikiem limitującym wzrost. Uważa się, że jedną z przyczyn tego efektu, może być brak możliwości szybkiej rekompensacji strat azotu w roślinie żywicielskiej.

Uważa się, że obecność jemioli jest czynnikiem predyspozycyjnym dla zasiedlania drzew przez szkodniki wtórne, co wynika z ich rozpoznania, jako przydatnych dla zasiedlenia oraz obniżenia zdolności obronnych drzewa, na skutek oddziaływania pasożyta. Opisano to w badaniach z Ameryki Północnej, gdzie wykazano, że silnie zasiedlona przez jemiolę *Arceuthobium vaginatum* sosna żółta (*Pinus ponderosa*) jest bardziej podatna na atak korników *Ips pini* i *Dendroctonus brevicomis*.

Co ciekawe, w badaniach prowadzonych w Hiszpanii wykazano, że występowanie jemioli *Viscum album* subsp. *Austriacum* (obecnej powszechnie w Polsce na sośnie pospolitej) ma negatywne oddziaływanie na drzewa-gospodarzy (w Hiszpanii: sosna czarna, *Pinus nigra*), a jednocześnie dla kilku związanych z nią gatunków owadów liściożernych. Jest to efekt pogorszenia się, jakości igieł będących pokarmem tych owadów na skutek negatywnego oddziaływania jemioli. Przy tym autorzy tych badań twierdzą, że stopień porażenia drzewa przez jemiolę nie jest jedynym czynnikiem mogącym mieć znaczenie w procesie zasiedlania drzew przez szkodniki owadzie. Konieczne jest uwzględnienie w badaniach także innych parametrów, jak żyzność, zasobność i jakość siedliska czy pozycja biosocjalna zasiedlanych drzew.

Za udane szybkie i intensywne rozsiedlenie jemioli w lasach odpowiadają głównie migrujące ptaki żywiące się w okresie jesienno-zimowym owocami. Również inne gatunki ptaków oraz niektóre ssaki, jak wiewiórka i mysz leśna, także żerują na nasionach jemioli, lecz mają one marginalne znaczenie w ekspansji pasożyta. Jednocześnie wykazano, że niska wartość odżywcza jagód jemioli wymaga, aby ptaki spożywały duże ilości nasion w celu zaspokojenia ich potrzeb kalorycznych (nawet do 100 jagód dziennie). Jest to kluczowa strategia w przetrwaniu i rozprzestrzenianiu się jemioli.

Drugim czynnikiem sukcesu ekspansji jemioli są, powszechna dostępność żywiciela (sosny pospolitej) oraz silny wzrost produkcji owoców jemioli wynikający ze wzrostu liczebności, a więc skali produkcji, oraz obfitego obradzenia, jako wyniku sprzyjających warunków pogodowych. Nie bez znaczenia jest też poprawa kondycji ptaków wektorów w najtrudniejszym dla nich okresie, co może mieć wpływ na wzrost liczby par przystępujących do rozrodu i ich sukces rozrodczy. Obserwowana na podstawie przeglądu danych, presja jemioli przybiera kierunek z południa na północ Polski, co jest bardzo charakterystyczny modelem zasiedlania i sukcesji gatunków zachodzącym pod wpływem obserwowanych zmian klimatycznych.

W badaniach prowadzonych nad jemiolą występującą na sośnie pospolitej w Alpach Szwajcarskich stwierdzono, iż w ciągu ostatniego stulecia maksymalna wysokość, na której ona występuje, przesunęła się o 200 m w górę. Prawdopodobnie dzieje się tak z powodu wzrostu temperatury w sezonie zimowym, a właśnie minimalna temperatura w trakcie zimy jest jednym z głównych czynników ograniczających jemiolę w jej ekspansji. A więc, to zmiany klimatyczne

będą obecnie powodować zmiany zakresu występowania gatunku i podgatunków europejskich, zarówno maksymalnej wysokości jak też intensywności na terenach nizinnych. Obecnie przypuszcza się, iż geograficzny zasięg, oraz intensywność występowania jemioli, kształtują w głównej mierze warunki klimatyczne a w szczególności obserwowane ich zmiany na jej korzyść. Wśród cech klimatu, za sukces populacyjny jemioli, odpowiadają zmiany temperatury i ilości opadów (procentowa zmiana długoterminowych średnich temperatury powietrza i opadów wiosną). Z ich analizy wynika, że największy obszar drzewostanów najintensywniej zasiedlonych przez jemiolę występuje na południu kraju, z obszarami najsilniej zasiedlanymi biegnącymi w paśmie w kierunku północno-wschodnim, a więc w kierunku przeważających ciepłych wiatrów. Według analizy danych meteorologicznych z danymi o nasileniu występowania jemioli na sośnie, jej rozmieszczenie w drzewostanach sosnowych lub z jej przewagą, stwierdza się głównie na obszarach o najwyższym procentowym wzroście temperatury powietrza w okresie wiosennym i spadku sumarycznej ilości opadów.

Biologia *Viscum album* i jej wpływ na gospodarza: Czynniki stymulujące kiełkowanie jemioli są światło i temperatury w zakresie 8–10°C, natomiast optymalna temperatura dla jej rozwoju wynosi 15–20°C. Wymagania dotyczące rozmieszczenia i siedlisk jemioli wykazały, że czynnikiem ograniczającym północną i wschodnią granicę dystrybucji *Viscum album* są temperatury, czyli termosfera, jako funkcja odpowiadających im średnich temperatur stycznia i lipca. *Viscum album* jest klasyfikowana, jako gatunek przystosowany do klimatu umiarkowanego, poza ekstremalnymi regionami kontynentalnymi. Analizując preferencje środowiskowe, stwierdzono, że jemiola może występować na obszarach, gdzie średnia temperatura sezonu utrzymuje się powyżej 15°C w najcieplejszym miesiącu i gdzie średnia utrzymuje się powyżej -8°C w miesiącu najzimniejszym.

*Viscum album* jest gatunkiem wymagającym dużo światła, szczególnie do kiełkowania. Zgodnie z wartościami wskaźnikowymi preferencji zakresu wymagań świetlnych, gatunek jest klasyfikowany, jako rosnący głównie w pełnym świetle, ale czasami zauważany w lekkim ocienieniu.

W badaniach nad osadzaniem się jemioli na sośnie, wskazuje się, że *Viscum album* infekuje głównie słabo zdrewniałe długie pędy, gdzie 34% roślin jemioli, znajduje się na górnej części pędu a 57% po bocznej stronie pędu i 9% na dolnej stronie gałązki.

Najlepiej udokumentowane badania nad dynamiką inwazji *Viscum album* na sosnę, zostały przeprowadzone we Francji, gdzie prowadzono obserwacje w 120-letnich drzewostanach sosny czarnej (*Pinus nigra subsp. nigra*). Łącznie przeanalizowano wyniki obserwacji z okresu od roku 1962 do 1995. Średnia liczba jemioli na drzewo wynosiła 287,4 (zakres od 64 do 720); średni wiek osobników jemioli wynosił 6,7 lat (zakres od 4,9 do 9,9). Średnio pierwsza infekcja jemioli miała miejsce około 1975 roku (zakres 1962–1982). Średnia maksymalna liczba osobników na drzewo rocznie wynosiła 46,1 (zakres 8–110). Maksymalne nasilenie inwazji wystąpiła od 10 do 15 lat od jej rozpoczęcia. Wykazano tu również, pewną zależność kierunku rozprzestrzeniania się jemioli w drzewostanie od kierunków migracji ptaków stanowiących jej wektor.

Dojrzałe rośliny jemioli pojawiają się w maju i czerwcu. Kwiaty rozwijają się wczesnym latem, dlatego zimują z w pełni rozwiniętymi pylnikami i zarodkami, zanim otworzą się następnej wiosny. Czas kwitnienia trwa od marca do kwietnia. W roku o ciepłych warunkach klimatycznych kwitnienie rozpoczyna się już w lutym. Okres kwitnienia trwa kilka tygodni, ale zależy to od klimatu i stanu pogody. Kwiaty są zapylane latem, a jagody zaczynają dojrzewać od listopada do grudnia. Jagody są przenoszone między lutym a majem. Wzmocniony transfer obserwowano, od lutego do marca, kiedy ptaki wędrowne (głównie drozdy) odlatują z powrotem na północ. W części północnej naturalnego zasięgu rozprzestrzenianie się może być kontynuowane do kwietnia lub maja. Kiełkowanie zachodzi między marcem a kwietniem, a w regionach północnych naturalnego zasięgu dopiero w maju. Pierwsze liście pojawiają się najwcześniej w następ-

nym roku, ale czasami od osadzenia się może upłynąć do trzech lat, zanim powstanie pierwsza para liści. Liczba jagód na kg. jemioli wynosi średnio 175 (maks. 237, min. 96) w zależności od gatunku drzewa żywiciela.

W przeglądzie literatury wykazywane są następujące gatunki ptaków przyczyniających się do rozproszenia jemioli: drozd Paszkot (*Turdus viscivorus*), drozd Kwiczoł (*Turdus pilaris*), jemioluska (*Bombycilla garrula*) i pokrzewka czarnogłowa (*Sylvia atricapilla*). Drozdy połykają całą jagodę i trawią część jej okrywy. Wykazano, że przejście przez jelito u ptaka, nie jest konieczne do kiełkowania nasiona. Prawdopodobnie wartość odżywcza jagód jemioli jest bardzo niska, ponieważ tylko niewielka ich część jest trawiona. Dlatego ptaki muszą intensywnie żerować tak, aby uzyskać wystarczającą ilość pożywienia.

Drozdy przenoszą jagody jemioli przeważnie w kierunku z południa na północ. Na północnym krańcu obszaru naturalnego występowania *Viscum album* głównym wektorem nie jest już drozd, ale jemioluska. Eksperymenty z jemioluskami wykazały, że ptak potrzebuje na przejście przez jelito owocu jemioli, jedynie 7–10 minut. Tak, więc minimalna odległość, na jaką może mieć miejsce transport wynosi około 5–6 km. Przenoszenie owoców jemioli na duże odległości prawdopodobnie, odbywa się w inny sposób, na przykład przez przyklejenie na upierzeniu lub dziobie ptaka. Poza wymienionymi gatunkami, na jemiole obecne są też inne ptaki śpiewające, ale nie ma dowodów na to, że działają, jako wektory. „Nasiona” przenoszone przez ptaki zimą kiełkują między marcem a kwietniem. Kiełkowanie można rozpocząć w temperaturze 8–10°C, co odpowiada temperaturze w marcu/kwietniu. Optymalna temperatura kiełkowania wynosi 15–20°C a maksymalna to około 30°C. Młode, tegoroczne jemioli są odporna na mróz do -15°C.

Odporność liści jemioli jest regulowana sezonowo, dlatego w okresie zimowym tolerują wyraźnie niższą temperaturę (do -20°C) niż latem jedynie (do -5°C). Podobnie, ilość substancji zmieniających punkt krzepnięcia wody w roślinie zmienia się w ciągu roku, z najwyższymi ilościami w okresie zimowym i najniższymi w lecie. Podobnie, tolerancja na suszę liści jest bardzo wysoka w zimie i jest znacznie obniżona wiosną i latem.

Dostępne aktualnie dane o występowaniu jemioli na terenie lasów Polski pozwalają na identyfikację obszarów zagrożonych jak i śledzenie dynamiki i nasilenia porażania drzewostanów w skali poszczególnych powierzchni obserwacyjnych i przestrzennego występowania pasożyta. Wpływ jemioli na drzewostany sosnowe należy rozpatrywać w kontekście jej roli w procesie wieloczynnikowego zamierania tych drzewostanów. W zależności od warunków środowiskowych i klimatycznych, pasożyt może zarówno współuczestniczyć w tym procesie, zasadniczo pogłębiając ich stres, jak również, w skrajnych przypadkach, może decydować o zamieraniu zasiedlonych drzew. Jemiola w znaczącym stopniu wpływa na zamieranie sosen dotkniętych suszą i niedoborem wody. Według badań przeprowadzonych w Instytucie Badawczym Leśnictwa jemiola stanowi poważny problem, który będzie narastał i w konsekwencji doprowadzi do zmian w strukturze polskich lasów.

Aby odpowiednio zarządzać szkodami powodowanymi przez jemiolę, konieczna jest znajomość biologii tego gatunku, mechanizmu dystrybucji oraz relacji i interakcji z gatunkiem żywicielskim. Ocena wpływu jemioli na roczny wzrost drzew (tym samym na produktywność drzewostanów) jest możliwa np. za pomocą badania na powierzchniach referencyjnych. Ocena wpływu jemioli na drzewostan, powinna opierać się nie tylko na ocenie jej ognisk (obserwacji z gruntu i z powietrza), ale także na analizie wpływu na stan zdrowotny poszczególnych drzew, w powiązaniu do ich wieku i miejsca w drzewostanie. Dopiero w oparciu o takie analizy można podejmować decyzje w sprawie, kiedy lub czy usunąć jemiolę lub usunąć drzewa zainfekowane jemiolą.

Chemiczna kontrola jemioli stwarza duże trudności: brak technologii aplikacji; zbyt niska selektywność możliwych do zastosowania środków, w efekcie jego negatywny wpływ na gospo-



darza; pomimo udanego zabiegu możliwa ponowna inwazja z powodu kiełkowania niezniszczonych nasion jemioli; chemiczne zanieczyszczenie środowiska; niska trwałość zabiegu. Z tych powodów istnieje potrzeba alternatywnych metod kontroli, takich jak kontrola biologiczna (tzw. biokontrola). Zabiegi ochronne polegające na usuwaniu jemioli z sosen powodują poprawę odżywienia drzew: zwiększoną dostępność N i przyrost zawartości węgla w roślinie, co z kolei prowadzi do zwiększonego tempa wzrostu takich drzew. Niestety w skali gospodarczej, oraz stanu ilościowego drzewostanów porażonych, zabieg taki nie jest możliwy. Mimo tego, na obszarach, na których jemiola jest powszechna, a intensywność porażenia jest duża, może być rozważane częściowe jej usunięcie, w celu poprawy żywotności drzew, szczególnie w przypadku drzew młodszych.

Właściwa gospodarka leśna i utrzymanie większej gęstości drzewostanu mają ogromne znaczenie dla zwalczania infekcji jemioli. Jemiola jest spotykana na dominujących, najwyższych drzewach w drzewostanie, ze względu na optymalny poziom światła w górnej części korony.

Dotychczasowe obserwacje i analizy danych wykonane w Instytucie Badawczym Leśnictwa wykazują, że dynamika intensywności porażenia jemiolą, jest wysoka i nadal rośnie. Jest ona największa spośród obecnych w metodyce monitoringu lasu czynników sprawczych uszkodzeń drzew leśnych, oraz jest jednokierunkowa, tzn. rejestrowany jest ciągły wzrost liczby porażonych drzew na stałych powierzchniach obserwacyjnych, gdzie jemiola występuje.

## Literatura uzupełniająca

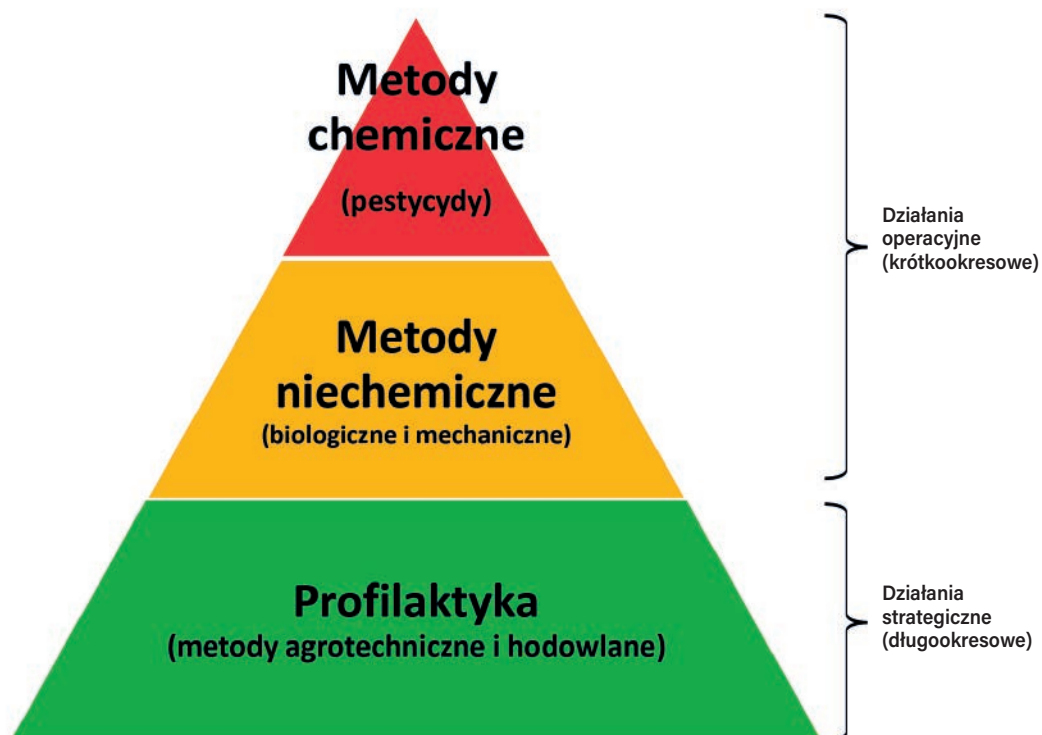
- Banaszkiewicz T. 2010.** Evolution of pesticide use. *Contemporary Problems of Management and Environmental Protection* 5: 7–18.
- Buraczyk, W., Żybura, H., Ostaszewska, E., Studnicki, M., Aleksandrowicz-Trzcińska, M., 2020.** Zastosowanie biostymulatorów w hodowli i ochronie sadzonek dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) w gruntowej szkółce leśnej. *Sylvan*, 164 (4): 292–299.
- Dixon L. 2022.** Nowatorski system monitorowania szeliniaka sosnowca. *Głos Lasu*, 7: 28–29.
- Doruchowski G. 2008.** Postęp i koncepcje w rolnictwie precyzyjnym. *Inżynieria rolnicza* 9 (107): 19–31.
- European Commission, 2021.** Delivering the European Green Deal [online].
- FSC, 2018.** International Generic Indicators FSC–STD–60–004 V1–0 EN [online]. Forest Stewardship Council, Bonn.
- FSC, 2019.** Lists of highly hazardous pesticides FSC–POL–30–001a EN [online]. Forest Stewardship Council, Bonn.
- FSC, 2019.** Pesticides Policy FSC–POL–30–001 V3–0 [online]. Forest Stewardship Council, Bonn. Available from <https://ic.fsc.org/es/document-center/id/376> [accessed: 22.02.2022].
- Gawrońska, H., Przybysz, A., 2011.** Biostymulatory: mechanizmy zastosowania i przykłady zastosowań. In: M. Sroczynski, J. Miecznik, eds. *Materiały konferencyjne TSW*, Warszawa, 5–6 stycznia 2011 r., Agrosimex Sp. z o.o., pp. 7–13.
- Głowacka B., Majewski S., Perlińska A., Rodziewicz A., Rowiński R., Zalewska E. 2009.** Zabiegi agrolotnicze w ochronie lasu. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, ISBN 978-83-89744-88-3.
- Grodzki W. [red], 2013.** Kornik drukarz i jego rola w ekosystemach leśnych. CILP
- Hilszczański J., Sierota Z. 2011.** Kierunki rozwoju ochrony lasu. Materiały III Sesji Zimowej Szkoły Leśnej przy Instytucie Badawczym Leśnictwa „Strategia rozwoju lasów i leśnictwa w Polsce do roku 2030, 184–193.
- Hilszczański J., Sierota Z. 2014.** Ochrona lasu w perspektywie XXI wieku. Po pierwsze nie szkodzić. Materiały 4. panelu ekspertów w ramach prac nad Narodowym programem Leśnym „Ochrona. Lasy i gospodarka leśna jako narzędzia kształtowania środowiska naturalnego i ochrony przyrody, 110–113.
- Holt E. A., Miller S. W. 2010.** Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts. *Nature Education Knowledge* 3(10):8
- Karmilowicz E., Skrzecz I., Matyjaszczyk E. 2018.** Plant protection and forest protection – the development of legislation and forest protection services in Poland. *Folia Forestalia Polonica, Series A-Forestry* 60 (1): 52–6.
- Kchouk M., Elloumi M. 2018.** An Error Correction and DeNovo Assembly Approach for Nanopore Reads Using Short Reads. *Current Bioinformatics* 13: 241–252
- Lan Y, Zheng X., Westbrook J.K., Lopez J., Lacey R., Hoffman W.C. 2008.** Identification of Stink Bugs Using an Electronic Nose. *Journal of Bionic Engineering* 5: 172–180.
- Lipa J.J., Pruszyński S. 2010.** Stan wykorzystania metod biologicznych w ochronie roślin w Polsce i na świecie. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin* 50 (3): 1033–1043.
- Maciejewski, T., Szukała, J., Jarosz, A. 2007.** Wpływ biostymulatora Asahi SL i Atonik SL na cechy jakościowe bulw ziemniaków. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 52 (3): 109–112.
- Matyjaszczyk E., Karmilowicz E., Skrzecz I. 2018.** How European Union accession and implementation of obligatory integrated pest management influenced forest protection against harmful insects: A case study from Poland. *Forest Ecology and Management* 433:146–152.

- Matyjaszczyk, E. 2015.** Wprowadzanie biostymulatorów do obrotu handlowego w Polsce. Sytuacja bieżąca i uwarunkowania prawne. (The introduction of biostimulants on the Polish market. The present situation and legal requirements) (in Polish). *Przemysł Chemiczny*, 94 (10): 1841–1844.
- Regulation (EU) 2018/1500 of 9 October 2018 concerning the non-renewal of approval of the active substance thiram, and prohibiting the use and sale of seeds treated with plant protection products containing thiram, in accordance with Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council concerning the placing of plant protection products on the market, and amending Commission Implementing Regulation (EU) No 540/2011.
- Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003.
- Regulation (EU) 2019/677 of 29 April 2019 concerning the non-renewal of the approval of the active substance chlorothalonil, in accordance with Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council concerning the placing of plant protection products on the market, and amending Commission Implementing Regulation (EU) No 540/2011.
- Regulation (EU) 2020/1498 of 15 October 2020 concerning the non-renewal of approval of the active substance thiophanate-methyl, in accordance with Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council concerning the placing of plant protection products on the market, and amending the Annex to Commission Implementing Regulation (EU) No 540/2011.
- Regulation (EU) 2020/2087 of 14 December 2020 concerning the non-renewal of the approval of the active substance mancozeb, in accordance with Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council concerning the placing of plant protection products on the market, and amending the Annex to Commission Implementing Regulation (EU) No 540/2011.
- Skrzecz I., Karpierz M., Ślusarski S., Oszaiko T., Tkaczyk M. 2018.** Modern technologies in forest protection – an attempt to use an electronic nose for detecting harmful insects and pathogens. *Folia Forestalia Polonica, Series A-Forestry* 60 (2): 131-133.
- Skrzecz I., Perlińska A. 2018.** Current problems and tasks of forest protection in Poland. *Forestalia Polonica Series, A- Forestry* 60 (3): 161-172.
- Sowińska A. i in. 2020.** Monitoring oraz metody ograniczania liczebności populacji kornika ostrozębnego *Ips acuminatus* i przyplaszczka granatka *Phaenops cyanea* w drzewostanach sosnowych. Dokumentacja końcowa z projektu nr 500 437 finansowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych w latach 2016-2020.
- Stereńczak K., Mielcarek M., Modzelewska A., Kraszewski B., Fassnacht F. E., Hilszczański J., 2019.** Intra-annual *Ips typographus* outbreak monitoring using a multi-temporal GIS analysis based on hyperspectral and ALS data in the Białowieża Forests. *Forest ecology and management*. 442, 105-116
- Stępień M., Pudielko R., Gozdowski D., Dobers E., S., Samborski S. 2022.** Rolnictwo precyzyjne. Wydawnictwo Naukowe PWN
- Sukovata L. 2016.** Modele do średnioterminowego prognozowania gradacji brudnicy mniszki – porównanie typów zależności od głównych grup czynników meteorologicznych w różnych regionach Polski. Materiały VIII Sesji Zimowej Szkoły Leśnej przy Instytucie Badawczym Leśnictwa „Zagrożenia lasu oraz jego funkcji – przyczyny, konsekwencje i szanse dla gospodarki leśnej”, 151–160.
- Sukovata L.** Średnioterminowe prognozy początku gradacji brudnicy mniszki. 24-27. W: Jabłoński T. [red] praca zbiorowa, 2022. Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce w 2022 roku. Instytut Badawczy Leśnictwa. Analizy i Raporty nr 34. 145 pp.
- Sukovata L., Jakoniuk H., Jaworski T. 2022.** A novel method for assessing the threat to oak stands from geometrid defoliators. *Forest Ecology and Management* 520, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120380>
- Szabla K., Szujewski A. 2016.** W poszukiwaniu perspektywicznej koncepcji ochrony lasu. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej* 18 (46): 22-31.
- Szmidla Hanna, Miłosz Tkaczyk, Radosław Plewa, Grzegorz Tarwacki, and Zbigniew Sierota. 2019.** „Impact of Common Mistletoe (*Viscum album* L.) on Scots Pine Forests—A Call for Action” *Forests* 10, no. 10: 847. <https://doi.org/10.3390/f10100847>
- Szyp-Borowska I., Sikora K. 2019.** Kod kreskowy DNA – praktyczne narzędzie taksonomii i inwentaryzacji entomofauny. *Leśne Prace Badawcze* 80 (3): 227–232.

- Tkaczyk, M., Kubiak, K.A., Sawicki, J., Nowakowska, J.A., Oszako, T., 2016.** The use of phosphates in forestry. *Forest Research Papers*, 77 (1): 76–84.
- Tkaczyk, M. and Sikora, K. 2020.** First report of the occurrence of *Sphaeropsis visci* on Mistletoe (*Viscum album* L.) in Poland. *Baltic Forestry* 26(1): 2–4. <https://doi.org/10.46490/BF461>
- Tkaczyk, M., Nowakowska, J.A., Oszako, T. 2014.** Nawozy fosforynowe jako stymulatory wzrostu roślin w szkółkach leśnych. *Sylvan*, 158 (1): 3–9.
- Tomalak M. 2007.** Rejestracja biologicznych środków ochrony roślin w Europie – nowe perspektywy. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin* 47 (4): 233-240.
- Wu J., Jayas D.S., Zhang Q., White N.D.G., York R.K. 2013.** Feasibility of the application of electronic nose technology to detect insect infestation in wheat. *Canadian Biosystems Engineering/Le génie des biosystèmes au Canada* 55: 3.1-3.9.
- Xu S., Zhou Z., Lu H., Luo X., Lan Y., Zhang Y., Li Y. 2014.** Estimation of the age and amount of brown rice plant hoppers based on bionic electronic nose use. *Sensors* 14: 18114–18130.

<https://www.spotta.co/forest-pod>

<https://silvana.com.pl/walka-z-kornikiem-drukarzem/>



Rycina 1. Ideowy schemat integrowanej ochrony lasu z podziałem na działania operacyjne i strategiczne (autor: T. Jabłoński)

## MONITORING, PROGNOZA I OCHRONA:



Rycina 2. Skala zadań z zakresu ochrony lasu obejmujących monitoring, prognozę i zabiegi ochronne realizowane rokrocznie w LP (autor: T. Jabłoński, K. Sikora)





**Rycina 3. Detektor SPOTTA do monitoringu szeliniaka - widok z osłoną** (fot. T. Jabłoński)



**Rycina 4. Detektor SPOTTA do monitoringu szeliniaka - widok bez osłony z widocznymi pojemnikami z atraktantem** (fot. T. Jabłoński)



**Rycina 5. Cirillo - urządzenie do zliczania owadów na liściach** (fot. P. Korsten - Botany Group)





Rycina 6. Okulary do zbierania danych w terenie Data collection app + AR glasses (fot. M. Tkaczyk)



Rycina 7. Pułapka z feromonem do monitoringu populacji smolika znaczonego (fot. T. Jabłoński)



Rycina 8. Zestaw opryskiwacz + głowica operacyjna do zwalczania kornika drukarza przygotowana do transportu (fot. T. Jabłoński)





**Rycina 9. Gołoźer w drzewostanie sosnowym spowodowany przez boreczniki**



**Rycina 10. Sosna zasiedlone przez jemiolę (fot. A. Rutkiewicz)**