KOSMOS
PROBLEMY NAUK BIOLOGICZNYCH

Tom 71 **2022**
Numer 3 **(336)**
Strony **371-383**

Polskie Towarzystwo Przyrodników im. Kopernika

LIDIA SUKOVATA, IWONA SKRZECZ

Zakład Ochrony Lasu
Instytut Badawczy Leśnictwa
Braci Leśnej 3, Sękocin Stary, 05-090 Raszyn
E-mail: l.soukovata@ibles.waw.pl
i.skrzecz@ibles.waw.pl

OWADY LEŚNE, ZAGROŻENIA I METODY OCHRONY LASU

WSTĘP

Las jest formacją przyrodniczą mającą wpływ na życie człowieka od momentu jego pojawienia się na Ziemi. Jest jednym z głównych czynników kształtujących środowisko i pełni wiele funkcji przyrodniczych, społecznych i gospodarczych. W ciągu ostatniego 20-lecia powierzchnia lasów w Polsce zwiększyła się z 8 865 tys. ha w 2000 r., do 9 260 tys. ha w 2020 r. Lesistość Polski, która wynosi 30,9% (GŁÓWNY URZĄD STATYSTYCZNY 2021 – stan na 31.12.2020), jest zbliżona do przeciętnej lesistości świata wynoszącej 30,6% i Europy (bez Rosji) – 32,2%. Blisko 81% to lasy, których właścicielem jest Skarb Państwa, z czego Lasy Państwowe gospodarują na 77% zasobów leśnych Polski, a parki narodowe na 2%. Nieco ponad 19% powierzchni leśnej znajduje się w rękach prywatnych.

Jednym z najważniejszych czynników mających wpływ na wzrost i rozwój lasu jest zgodność jego składu gatunkowego z warunkami siedliska (ZASADY HODOWLI LASU 2012). W Polsce dominują siedliska borowe, które zajmują około 53% powierzchni leśnej, reszta to siedliska lasowe. Taki układ siedlisk determinuje skład gatunkowy drzewostanów. Udział gatunków iglastych stanowi blisko 79%, w tym udział sosny pospolitej (*Pinus silvestris* L.) stanowi 67%. Systematycznie wzrasta udział gatunków liściastych, który w okresie powojennym zwiększył się z 16% do 21% w 2021 r.

LAS W STRESIE

Polskie lasy należą w Europie do najbardziej narażonych na działanie czynników: (1) abiotycznych – nieożywionych elementów przyrody, (2) biotycznych – związanych z organizmami żywymi oraz (3) antropogenicznych – wynikających z działalności człowieka (SKRZECZ i PERLIŃSKA 2018). Zagrożenia abiotyczne wynikają przede wszystkim z położenia Polski w centrum Europy, gdzie ścierają się wpływy klimatu morskiego i kontynentalnego, co jest przyczyną wahań temperatur powietrza, gwałtownych wiatrów i opadów atmosferycznych oraz długotrwałych susz. Ponadto, obserwowane obecnie ocieplenie klimatu skutkuje nasileniem występowania zjawisk wcześniej nietypowych, takich jak ekstremalne upały i susze, gwałtowne burze często połączone z potężnym gradobiciem, huraganowe wiatry i trąby powietrzne. Zimy w Polsce są coraz cieplejsze, nadchodzą później i szybko się kończą, co w znacznym stopniu wydłuża okres wegetacji. Systematyczne oddziaływanie tych zjawisk obniża kondycję zdrowotną drzewostanów, które są atakowane przez owady lub patogeny grzybowe. Najważniejszym czynnikiem oddziałującym bezpośrednio na entomofaunę jest temperatura powietrza, której wzrost średnio nawet o 1–2°C może prowadzić do skracania cykli rozwojowych, a przez to do zwiększenia liczby pokoleń owadów, a także może modyfikować ich procesy fizjologiczne i zdolności dyspersyjne (NETHERER i SCHOPF 2010, JAWORSKI i HILSZCZAŃSKI 2013). Z drugiej strony, wysokie temperatury powietrza (ponad 30°C) mogą hamować rozwój owadów poprzez ograniczenie ich płodności i aktywności żerowej. Ekstremalne temperatury powietrza mogą wpływać także na liczebność owadów pośrednio, np. poprzez ograniczenie aktywności biologicznej naturalnych wrogów owadów, natomiast długotrwałe susze i deficyt wody w glebie

Słowa kluczowe: integrowana ochrona lasu, monitoring, prognozowanie zagrożenia, szkodliwe owady, zdrowotność i trwałość lasu

– poprzez obniżenie kondycji zdrowotnej roślin żywicielskich. Również patogeny korzeni drzew lepiej rozwijają się przy wyższej temperaturze gleby (SIEROTA i MAŁECKA 2016). Systemy korzeniowe uszkodzone przez susze, nagłe przymarzanie lub naderwanie wskutek huraganowych wiatrów stają się „wrotami" infekcji dla patogenów grzybowych inicjujących wieloetapowy proces chorobowy drzewostanów, często kończący się ich zamarciem, w którym współuczestniczą szkodliwe owady.

INTEGROWANA OCHRONA LASU PRZED CZYNNIKAMI BIOTYCZNYMI

Ochrona lasu to dziedzina gospodarki leśnej monitorująca i identyfikująca obecne oraz przyszłe czynniki oddziałujące negatywnie na ekosystemy leśne, a także stosująca różne metody przeciwdziałające tym zagrożeniom (HILSZCZAŃSKI i SIEROTA 2011). Dotyczy to obszarów leśnych na terenie całego kraju i wspiera trwałe oraz zrównoważone użytkowanie wszystkich funkcji lasu (SZABLA i SZUJECKI 2016). To także wiedza o procesach zachodzących w przyrodzie, ponieważ gradacje owadów, choroby drzew i zamieranie drzewostanów są zjawiskami kompleksowymi, pojawiającymi się w wyniku współoddziaływania różnych czynników.

Współczesna ochrona lasu opiera się na koncepcji integrowanej ochrony roślin (SKRZECZ 2017a, KARMIŁOWICZ i współaut. 2018), której stosowanie jest obowiązkiem wszystkich profesjonalnych użytkowników środków ochrony roślin. Obowiązek ten wynika z postanowień Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/128/WE oraz Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1107/2009. W integrowanej ochronie roślin głównym celem wszystkich zabiegów pozostaje roślina, stąd niezmiernie istotne są jej reakcje na zasiedlające ją organizmy i powiązania biocenotyczne ze środowiskiem. Bardzo ważnym elementem tej koncepcji jest profilaktyka. W praktyce leśnej działania profilaktyczne mają na celu wzmocnienie odporności drzewostanów na ataki ze strony owadów lub porażenie przez patogeny. W przypadku wystąpienia zagrożenia lasu rozważana jest konieczność wykonania zabiegów ratowniczych, wśród których pierwszeństwo mają metody niechemiczne, obejmujące m.in. stosowanie insektycydów biologicznych i substancji wpływających na zachowanie się owadów (np. feromonów i kairomonów). Natomiast zabiegi chemiczne są ostatecznością, stosowaną po wyczerpaniu innych metod i w przypadkach zagrażających trwałości drzewostanów. Ocena liczebności szkodnika i stanu jego populacji oraz stopnia zagrożenia drzewostanu, z wykorzystaniem różnych metod stanowi podstawę wielostopniowego procesu podejmowania decyzji o konieczności, rodzaju i skali zabiegu ratowniczego (JABŁOŃSKI 2017).

Szkodliwe owady można podzielić na grupy, stosując różne kryteria, np. fazę rozwoju drzewostanu (od uprawy po starodrzew), rodzaj pobieranego pokarmu (korzenie, liście, kambium, drewno), kolejność zasiedlania drzew (pierwotne i wtórne). W leśnictwie, zazwyczaj najwięcej szkód wyrządzają owady występujące w szkółkach i uprawach leśnych oraz w drzewostanach w wieku powyżej 20 lat. Te ostatnie, w sposób najbardziej naturalny można podzielić na owady liściożerne i te, które odżywiają się kambium i łykiem drzew. Z tego powodu, w ochronie lasu najwięcej uwagi poświęca się właśnie tym trzem grupom.

OWADY POWODUJĄCE SZKODY W SZKÓŁKACH I UPRAWACH LEŚNYCH

Bardzo ważnym, jednocześnie nierozwiązanym problemem w ochronie szkółek i upraw leśnych są zagadnienia związane z ograniczaniem w glebie liczebności larw (pędraków) chrabąszcza majowego [*Melolontha melolontha* (L.)] i chrabąszcza kasztanowca (*Melolontha hippocastani* Fabr.) z rodziny poświętnikowatych Scarabaeidae. Pierwszy z nich jest kojarzony z otwartymi przestrzeniami (polami/ugorami/uprawami), podczas gdy drugi jest gatunkiem typowo leśnym. Niemniej jednak, zmiany klimatu, a przede wszystkim wzrost temperatury powietrza powodują, że coraz częściej chrabąszcz majowy współwystępuje z chrabąszczem kasztanowcem wewnątrz drzewostanów, unikając silnie nagrzewanych i przesuszonych powierzchni. Rozwój pędraków chrabąszczy trwa 3 do 5 lat (w zależności od gatunku, warunków termicznych i dostępności pokarmu), w tym czasie żerują one na korzeniach wielu gatunków roślin. W szkółkach i uprawach leśnych niszczą systemy korzeniowe młodych drzew (siewek i sadzonek), powodując zamieranie roślin i uniemożliwiając odnowienie lasu (Ryc. 1). Pędraki przyczyniają się do zamierania drzew również w odnowieniu naturalnym powstałym z samosiewu. Natomiast imagines (stadium dojrzałe) chrabąszczy odbywają podczas rójki żer uzupełniający w koronach drzew liściastych, często skutkujący całkowitą defoliacją.

Innym gatunkiem zagrażającym trwałości upraw leśnych jest szeliniak sosnowiec [*Hylobius abietis* (L.)] z rodziny ryjkowcowatych Curculionidae, którego chrząszcze uszkadzają wszystkie gatunki drzew iglastych (Ryc. 2), wygryzając płatowo korę na strzałkach i bocznych pędach sadzonek, co w konsekwencji prowadzi do ich deformacji i usychania (SKRZECZ 2017b). Masowe występowanie chrząszczy *H. abietis* w uprawach zakładanych na obsza-



Ryc. 1. Zamieranie sadzonek w bukowej (na górze) i sosnowej (na dole) uprawie z powodu uszkodzenia korzeni (na górze po prawej) przez pędraki chrabąszczy (na dole po prawej).

rach zrębów, powstałych w wyniku usunięcia drzewostanu dojrzałego, spowodowane jest migracją owadów przywabianych zapachem olejków eterycznych znajdujących się w żywicy świeżych pniaków drzew iglastych, które stanowią materiał lęgowy dla szeliniaka.

Zasady integrowanej metody ochrony roślin podkreślają znaczący udział metod biologicznych, w większości polegających na stosowaniu biopreparatów zawierających organizmy chorobotwórcze dla owadów, głównie bakterie, wirusy, grzyby i nicienie. Ponadto, wiele badań koncentruje się wokół parazytoidów, drapieżnych owadów i kręgowców redukujących liczebność szkodliwej entomofauny. Wykonane w wielu krajach próby doglebowego użycia grzyba *Beauveria brongniartii* (Sacc.) Petch oraz owadobójczych nicieni z rodzajów *Steinernema* i *Heterorhabditis* do ograniczania liczebności pędraków *Melolontha* spp. dały zadowalające



Ryc. 2. Szeliniak sosnowiec żerujący na sadzonce sosny (zdjęcie chrząszcza z archiwum Zakładu Ochrony Lasu IBL).

efekty jedynie w uprawach pod osłonami, natomiast organizmy te nie miały znaczącego wpływu na liczebność pędraków na powierzchniach otwartych, np. w szkółkach i uprawach leśnych (Malinowski 2007, Woreta 2015, Niemczyk i współaut. 2019). W przypadku szeliniaka sosnowca, badania mające na celu opracowanie biologicznej metody jego zwalczania dotyczyły przede wszystkim wykorzystania wspomnianych nicieni do ograniczania populacji tego owada rozwijającego się w pniakach. W Irlandii, Wielkiej Brytanii i Szwecji wykonano wiele doświadczeń terenowych, w których stwierdzono zwiększoną śmiertelność szeliniaka sosnowca wskutek opryskiwania zasiedlonych przez niego pniaków drzew iglastych zawiesinami nicieni z rodzajów *Steinernema* i *Heterorhabditis* (Dillon i współaut. 2006, Williams i współaut. 2013). Podobne badania wykonano również w Polsce w latach 2011–2017, jednak w doświadczeniach terenowych nie stwierdzono zwiększonego spasożytowania szeliniaka przez nicienie (Tumialis i współaut. 2013, Skrzecz 2017b). Najprawdopodobniej na taki wynik wpływ miały niekorzystne dla nicieni warunki pogodowe (wysokie temperatury powietrza, brak opadów), które przyczyniły się do zwiększonej śmiertelności tych organizmów aplikowanych w okresie letnim.

Brak alternatywnych metod ograniczania liczebności pędraków chrabąszczy i szeliniaka sosnowca skutkował przez ostatnie dziesięciolecia stosowaniem chemicznych środków ochrony roślin (Matyjaszczyk i współaut. 2019). Najczęściej stosowaną formą ochrony lasu przed pędrakami chrabąszczy były zabiegi chemiczne, polegające na doglebowym użyciu insektycydów chemicznych. Również w przypadku szeliniaka sosnowca, w największym stopniu wykorzystywane były tego typu preparaty, w których maczano nadziemne części sadzonek sosny *P. sylvestris* przed sadzeniem lub opryskiwano nimi drzewka po sadzeniu. Jednak systematyczne zmniejszenie liczby dopuszczonych do stosowania chemicznych środków ochrony roślin, wynikające z prawa obowiązującego w krajach Unii Europejskiej, doprowadziło do eliminacji w 2020 r. ze stosowania wszystkich chemicznych insektycydów do ochrony roślin przed pędrakami chrabąszczy. Natomiast do redukcji stosowania chemicznych insektycydów w ochronie upraw przed szeliniakiem sosnowcem, w znacznym stopniu przyczynił się spadek zainteresowania producentów pestycydów rejestracją środków ochrony roślin w leśnictwie, ze względu na jej wysokie koszty i niewielki, w porównaniu z uprawami rolniczymi, areał stosowania.

Wobec braku metod biologicznych skutecznie ograniczających liczebność omawianych owadów oraz wobec znacznego spadku asorty-

mentu chemicznych środków ochrony roślin, podjęto badania nad możliwością wykorzystania różnych roślin, np. gryki zwyczajnej [*Fagopyrum esculentum* Moench (Polygonaceae)], wrotyczu pospolitego [*Tanacetum vulgare* L. (Asteraceae)], roślin z rodzin kapustowatych (Brassicaceae) i bobowatych (Fabaceae), przeciwko pędrakom chrabąszczy (SUKOVATA i współaut. 2015a). Najbardziej obiecujące wyniki uzyskano w przypadku roślin z rodziny kapustowatych, których właściwości są wykorzystywane w rolnictwie i ogrodnictwie do tzw. biofumigacji gleby jako alternatywnej metody w stosunku do chemicznych pestycydów i fumigantów, np. bromku metylu (KIRKEGAARD i MATTHIESSEN 2004, PIEKARSKA i współaut. 2010). Jest to związane z obecnością glukozynolanów w tkankach i nasionach tych roślin. Przy ich uszkodzeniu (w wilgotnych warunkach) glukozynolany ulegają enzymatycznej degradacji, w wyniku której powstają różne związki, m.in. lotne izotiocyjaniany charakteryzujące się działaniem biobójczym. Efekt biofumigacji, a jednocześnie nawożenia i poprawy struktury gleby, można uzyskać poprzez przyoranie zielonej masy roślin kapustowatych (zazwyczaj w okresie kwitnienia). Można też zastosować mączkę lub granulat wyprodukowany z nasion po wyciśnięciu z nich oleju. Efekty te uzyskano przy stosowaniu gorczycy sarepskiej [*Brassica juncea* (L.) Czern.] (Ryc. 3) przeciwko pędrakom chrabąszczy, zarówno po przyoraniu zielonej masy roślin (Sukovata, dane niepublikowane), jak i po aplikacji mączki oraz granulatu z nasion tej rośliny (SUKOVATA i współaut. 2014a, 2015b). Obecnie metodę tę można rekomendować w leśnictwie do stosowania przede wszystkim w szkółkach i na gruntach porolnych, co wynika z mniej kwaśnych gleb, możliwości ich nawadniania i uprawiania (przyorywania roślin/mączki). Oprócz



Ryc. 3. Gorczyca sarepska na powierzchni porolnej (przeznaczonej do zalesienia) zagrożonej przez pędraki chrabąszczy.

wspomnianych wyżej roślin, badano również wpływ różnych gatunków drzew i krzewów leśnych na rozwój pędraków i dorosłych postaci chrabąszczy (WORETA i SUKOVATA 2014, WORETA i współaut. 2016), jak również warunki środowiskowe sprzyjające występowaniu chrabąszczy (NIEMCZYK i współaut. 2017). Uzyskane wyniki posłużyły do opracowania strategii postępowania w hodowli i ochronie lasu na obszarach zagrożonych przez chrabąszcze (SUKOVATA i współaut. 2014b), włączając działania profilaktyczne, będące podstawą integrowanej ochrony lasu przed owadami. Przykładem takich działań jest m.in. wyłączenie w szkółkach z produkcji sadzonek powierzchni zagrożonych przez pędraki i zastosowanie roślin kapustowatych lub utrzymanie powierzchni w czarnym ugorze, przed rójką chrabąszczy w miarę możliwości przykrycie siatką lub agrowłókniną wybranych powierzchni w celu niedopuszczenia do składania jaj przez samice, gęste sadzenie sadzonek i wykorzystanie odnowienia naturalnego w uprawie w celu uzyskania szybkiego zwarcia koron oraz utrzymanie ich silnego zwarcia w kolejnych fazach rozwoju drzewostanu, dostosowanie terminu sadzenia sadzonek do okresu najmniejszego zagrożenia ze strony pędraków chrabąszczy oraz wykorzystanie gatunków drzew i krzewów mniej preferowanych przez pędraki i/lub wrażliwych na ich żery.

Natomiast w uprawach leśnych zagrożonych przez szeliniaka sosnowca zaleca się przelegiwanie zrębów, czyli zakładanie upraw na zrębach 2–3-letnich, co znacznie ogranicza rozmiar szkód powodowanych przez ten gatunek (SKRZECZ 2017b). Ponadto, preferowane są odnowienia naturalne, gdyż drzewka pochodzące z odnowień naturalnych są znacznie odporniejsze od sadzonek produkowanych w szkółkach. Intensyfikacja tych działań w ostatnim dwudziestoleciu skutkowała około 40-krotną redukcją powierzchni upraw leśnych objętych zabiegami chemicznymi (MATYJASZCZYK i współaut. 2019). Tak więc, stosowanie zasad integrowanej ochrony upraw leśnych, obejmujących działania profilaktyczne z zakresu hodowli lasu oraz powszechne stosowanie różnego rodzaju pułapek (Ryc. 4) do odłowu szeliniaka sosnowca, przyczyniło się do utrzymywania się od wielu lat liczebności jego populacji na niskim poziomie, co z kolei w znacznym stopniu ograniczyło szkody powodowane przez ten gatunek.

OWADY LIŚCIOŻERNE (FOLIOFAGI)

Owady liściożerne odżywiają się liśćmi różnych gatunków drzew, zarówno liściastych, jak i iglastych. W przypadku nadmiernego wzrostu liczebności, tj. gradacji, owady te mogą spowo-



Ryc. 4. Pułapka IBL 4 do odłowu chrząszczy szeliniaka sosnowca (po prawej – chrząszcze odłowione do pułapki).

dować znaczne uszkodzenie liści (defoliację), a nawet doprowadzić do tzw. gołożeru, tj. pozbawienia koron drzew liści. Owady te nazywane są też szkodnikami pierwotnymi, ponieważ są zdolne do masowego rozwoju na zdrowych drzewach. W zależności od głównego gatunku drzewa, na którym się rozwijają, dzielą się one na szkodniki sosny, świerka, jodły, dębu, buka, itd. Większość tych owadów należy do rzędów motyle (Lepidoptera) i błonkoskrzydłe (Hymenoptera), przy czym szkody są wyrządzane wyłącznie przez ich postacie larwalne. Ze względu na powierzchnię zajmowaną w Polsce przez lasy różnych gatunków drzew największą uwagę poświęca się foliofagom sosny i dębu. W świerczynach, mimo dość dużej zajmowanej przez nie powierzchni, nasilenie występowania owadów liściożernych ma zazwyczaj względnie nieduży zasięg (Jachym 2007, Wolski 2022).

Do głównych szkodników pierwotnych sosny zalicza się takie gatunki motyli, jak brudnica mniszka [*Lymantria monacha* (L.)] z rodziny mrocznicowatych Erebidae, barczatka sosnówka [*Dendrolimus pini* (L.)] z rodziny barczatkowatych Lasiocampidae, strzygonia choinówka [*Panolis flammea* (Den. i Schiff.)] z rodziny sówkowatych Noctuidae oraz poproch cetyniak [*Bupalus piniaria* (L.)] z rodziny miernikowcowatych Geometridae (Kolk i Starzyk 1996, Jabłoński i współaut. 2019). Wśród błonkoskrzydłych, największe znaczenie mają borecznik sosnowiec [*Diprion pini* (L.)] oraz inne gatunki boreczników z rodziny borecznikowatych (Diprionidae), a także osnuja gwiaździsta [*Acantholyda posticalis* (Mats.)] z rodziny osnujowatych (Pamphiliidae). Najczęściej występują one w drzewostanach w wieku powyżej 20 lat, co może wynikać z różnic w jakości pokarmowej igieł sosny (Lin i współaut. 2001).

Brudnica mniszka (Ryc. 5) stanowi największe zagrożenie dla drzewostanów sosnowych, ponieważ jest gatunkiem pandemicznym, a jej gradacje zazwyczaj obejmują drzewostany niemal w całym kraju (Śliwa 1987, Sukovata 2022a). Gradacje barczatki sosnówki mają charakter raczej regionalny, ponieważ jest to gatunek ciepłolubny i najbardziej sprzyjające dla swojego rozwoju warunki znajduje on w drzewostanach na terenach sandrowych, w cieplejszych regionach Polski, np. na terenie województwa lubuskiego, w Puszczy Noteckiej, na Lubelszczyźnie (Leśniak 1976, Śliwa 1992, Sukovata 2022b). Od początku lat 90. ubiegłego wieku, w Polsce zwiększa się stopniowo skala gradacji barczatki, co może być skutkiem zmian klimatu. Mogą one być również przyczyną jej ekspansji i wzmożonej aktywności w krajach, w których wcześniej nie była obserwowana (Ray i współaut. 2016, Skrzecz i współaut. 2020). Strzygonia choinówka często występuje z brudnicą mniszką, chociaż potrafi stworzyć swoje odrębne obszary gradacyjne. Jej gradacje są krótkotrwałe, ale mają przebieg gwałtowny (Watt i Leather 1988). Najbardziej nieprzewidywalne są gradacje borecznika sosnowca, który ma dwa pokolenia w ciągu roku, a przy sprzyjających warunkach pogodowych właśnie w tym drugim pokoleniu dochodzi do znacznego wzrostu liczebności populacji (Geri 1988, Górnaś 1990). Z kolei występowanie osnui gwiaździstej ma charakter bardziej lokalny, ale chroniczny (Kolk i Starzyk 1996).

Jak już wspomniano wyżej, w trakcie gradacji foliofagów sosny dochodzi do znacznej redukcji aparatu asymilacyjnego drzew (Ryc. 5). Jak wiadomo, liście (igły) odgrywają w życiu drzew ważne funkcje, przede wszystkim są w nich wytwarzane związki organiczne (substancje odżywcze) w procesie fotosyntezy oraz zachodzą procesy oddychania i transpira-



Ryc. 5. Silna defoliacja koron w drzewostanie sosnowym spowodowana przez gąsienice brudnicy mniszki (na dole po lewej).

cji, tj. parowanie wody dostarczanej drzewom z gleby przez system korzeniowy. Przy znacznej redukcji powierzchni liści, pełnienie przez nie swoich funkcji jest bardzo ograniczone, co w konsekwencji zaburza procesy życiowe drzew, powoduje osłabienie ich witalności i obniżenie odporności na działanie innych niesprzyjających czynników. Skutki defoliacji drzewostanów sosnowych spowodowanej przez foliofagi sosny zależą m.in. od stopnia uszkodzenia koron, wieku drzewostanu, jego stanu zdrowotnego, struktury biosocjalnej i stanu populacji szkodników wtórnych (patrz następny rozdział), a także od wilgotności siedliska (KOLK i współaut. 2013). Poziom negatywnych skutków jest dodatnio skorelowany ze stopniem defoliacji, a do zamierania drzewostanów najczęściej dochodzi przy defoliacji powyżej 90%. Na silną defoliację bardziej wrażliwe są młodsze drzewostany sosnowe, tj. w wieku 20–50 lat, oraz drzewostany, w których korony ucierpiały już w poprzednim roku. Intensywniejszego zamierania drzew można się spodziewać w drzewostanach niepielęgnowanych, o zróżnicowanej strukturze biosocjalnej, z powodu dużego udziału drzew przygłuszonych i opanowanych, o małych koronach i obniżonej odporności. Bardzo niebezpieczna jest znacząca redukcja lub utrata igieł w drzewostanach rosnących na wilgotnych siedliskach, ponieważ drzewa nie są zdolne do transportu i transpiracji wody pobieranej przez korzenie. Zahamowanie procesu „ssania" wody przez drzewostan przyczynia się do podniesienia poziomu wód gruntowych, a w końcowym efekcie „uduszenia" systemów korzeniowych i zamierania drzewostanu. Zaburzone mechanizmy produkcji węglowodanów i ich transportu do korzeni przyczyniają się do zmian w morfotypach mykoryz korzeni (SARAVESI i współaut. 2008). Po wystąpieniu silnej defoliacji, na dalsze losy drzewostanu duży wpływ ma liczebność szkodników wtórnych, które błyskawicznie reagują na silne osłabienie drzew, zasiedlają je i powodują ich zamieranie (KOLK 1992).

W drzewostanach dębowych gradacyjne występowanie obserwuje się najczęściej u takich foliofagów jak zwójki dębowe, przede wszystkim zwójka zieloneczka (*Tortrix viridana* L.) (Ryc. 6) z rodziny zwójkowatych (Tortricidae), oraz miernikowce, szczególnie piędzik przedzimek [*Operophtera brumata* (L.)] i zimowek białoplam [*Agriopis leucophaearia* (Den. i Schiff.)] z rodziny miernikowcowatych (Geometridae) (KOLK i STARZYK 1996). Uważa się, że drzewostany dębowe radzą sobie lepiej z redukcją aparatu asymilacyjnego niż drzewostany iglaste, ponieważ jeszcze w roku wystąpienia defoliacji mogą rozwijać nowe liście, tzw. pędy świętojańskie. W ten sposób proces fotosyntezy może być kontynuowany, ale często



Ryc. 6. Silna defoliacja koron w drzewostanie dębowym spowodowana przez zwójkę zieloneczkę.

jest on jednak zaburzony, a następnie przerwany w wyniku porażenia młodych liści mączniakiem [*Erysiphe alphitoides* (Griffon & Maubl.) U. Braun & S. Takam.] powodującym wczesne ich opadanie (MARÇAIS i DESPREZ-LOUSTAU 2014, GAYTÁN i współaut. 2022). „Głód" węglowodanowy zmusza drzewa do wykorzystania magazynowanych węglowodanów niestrukturalnych, jednak znaczne zmniejszenie ich ilości może prowadzić do zamierania drzew (PLOTKIN i współaut. 2021). Pogarszający się od lat stan zdrowotny drzewostanów dębowych wskutek suszy i porażenia systemów korzeniowych przez patogeny z rodzaju *Phytophtora*, szczególnie na siedliskach o znacznych wahaniach wód gruntowych, jeszcze bardziej naraża je na atak ze strony owadów nie tylko zaliczanych do szkodników pierwotnych, ale i wtórnych (HAAVIK i współaut. 2015).

Z drugiej strony, co warto podkreślić, żerowanie owadów ma również pozytywny wpływ na środowisko leśne, szczególnie na ilość i jakość materii organicznej (ekskrementy owadów i resztki igliwia o większej ilości azotu) opadającej na dno lasu, co z kolei zwiększa aktywność mikroorganizmów i fauny glebowej przyspieszających jej rozkład (CHAPMAN i współaut. 2003, KOLK i współaut. 2013). Poza tym, indukowana jest odporność drzew poprzez zmiany w chemizmie igieł i liści, mające negatywny wpływ na rozwój foliofagów (SCHULTZ i BALDWIN 1982, HAUKIOJA i NEUVONEN 1987, KOLK i współaut. 2013).

Dlatego w przypadku każdej nowej gradacji któregokolwiek z foliofagów, decyzja o sposobie postępowania ochronnego jest podejmowana przez leśników z uwzględnieniem wspomnianych wyżej uwarunkowań, liczebności wrogów naturalnych, zwłaszcza parazytoidów, oraz wyników corocznej oceny zagęszczenia i zdrowotności danego gatunku owada. Dane te sta-

nowią podstawę do oceny stopnia zagrożenia drzewostanów, zgodnie z INSTRUKCJĄ OCHRONY LASU (2012, z późniejszymi zmianami). Najlepiej dopracowane i powszechnie stosowane są metody monitoringu foliofagów sosny i świerka. Podstawową i obowiązkową metodą dla wszystkich głównych gatunków foliofagów, oprócz brudnicy mniszki, są poszukiwania jesienne larw i poczwarek w ściółce i górnych warstwach gleby mineralnej, ponieważ są to miejsca ich zimowania (hibernacji). Brudnica mniszka zimuje w stadium jaja w spękaniach i pod łuskami kory, co utrudnia wykrywanie złóż jajowych, zatem wstępna ocena zagęszczenia populacji odbywa się poprzez liczenie samic motyli obserwowanych na pniach drzew w okresie kulminacji rójki (zazwyczaj w lipcu). Ocena zagrożenia drzewostanów dębowych przez zwójkę zieloneczkę jest utrudniona, ponieważ cały cykl rozwojowy owada ma miejsce w koronie drzewa, zatem do oceny konieczne jest ścięcie drzewa. W przypadku miernikowców ocena opierała się dotychczas na stosowaniu opasek lepowych do odłowu wylęgających się ze ściółki bezskrzydłych samic wędrujących w korony drzew w celu złożenia jaj. Była to metoda obarczona dużymi błędami i obecnie zostały zaproponowane nowe narzędzia oraz opracowano nową metodę oceny zagęszczenia owadów z tej grupy (JAWORSKI i SUKOVATA 2020, SUKOVATA współaut. 2022).

Jak już wspomniano wcześniej, postępowanie ochronne jest planowane zgodnie z obowiązującym prawem oraz z uwzględnieniem zasad integrowanej ochrony roślin (GŁOWACKA 2013a, b). Duże znaczenie w strategii postępowania przeciwko szkodliwym owadom ma określenie warunków sprzyjających ich gradacyjnemu występowaniu. Miejsca, w których dochodzi do wzmożonego narastania ich liczebności, nazywane są ogniskami gradacyjnymi. Dzieli się je na pierwotne, wtórne i wyższego rzędu oraz stałe i migracyjne (SUKOVATA 2010, 2022b). Do najważniejszych zalicza się ogniska pierwotne i stałe. W tych pierwszych dochodzi do najszybszego namnażania się szkodnika, a populacja osiąga maksymalną liczebność. W tych drugich, nasilenie występowania określonego gatunku odbywa się podczas kilku gradacji. Dotychczas najwięcej uwagi poświęcono poznawaniu warunków sprzyjających powstawaniu gradacji w ogniskach gradacyjnych foliofagów sosny, co pozwoliło na zaproponowanie działań z zakresu zarówno hodowli, jak i ochrony lasu mających na celu zwiększenie odporności drzewostanów (SUKOVATA 2022b). Działania te mają jednak charakter długofalowy. Najczęściej stosowaną metodą ochrony lasu przed foliofagami, dającą możliwość uzyskania szybkiego efektu, jest aplikacja insektycydów chemicznych i biologicznych (w oparciu o bakterię *Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki*). Jako alternatywę dla stosowania chemicznych insektycydów przeciwko brudnicy mniszce, została opracowana nowa technologia oparta na wykorzystaniu feromonu płciowego do zakłócenia rójki motyli (SUKOVATA 2010). Wskutek stosowania preparatu feromonowego, następuje nasycenie powietrza feromonem, co utrudnia samcom odnalezienie samic w celu ich zapłodnienia, a tym samym powoduje zmniejszenie liczebności następnego pokolenia owada. Metoda ta z powodzeniem jest stosowana w Stanach Zjednoczonych do ograniczania liczebności brudnicy nieparki (TOBIN i BLACKBURN 2007, ONUFRIEVA i współaut. 2019). Ze względu na wykorzystanie feromonu płciowego, specyficznego dla danego gatunku owada, jest to technologia przyjazna dla środowiska. Z drugiej strony, specyficzność jej działania (na jeden gatunek) powoduje ograniczenie skali zastosowania (miejsce i czas gradacji danego owada), co wraz z dużymi kosztami rejestracyjnymi w Unii Europejskiej nie zachęca potencjalnych producentów do wprowadzenia takiego preparatu na rynek.

OWADY ODŻYWIAJĄCE SIĘ KAMBIUM I ŁYKIEM DRZEW (KAMBIOFAGI)

Większość kambiofagów zaliczana jest do szkodników wtórnych, ponieważ z reguły zasiedlają drzewa osłabione przez różne czynniki, np. suszę, wiatrowały, wiatrołomy (Ryc. 7), szkodniki pierwotne, pożary, wiek drzew i in. Jednak w okresie gradacji, niektóre z nich są w stanie zasiedlać również zdrowe drzewa, przełamując ich odporność zmasowanym atakiem (LIEUTIER i współaut. 2004). Owady te cały okres swojego rozwoju lub część odbywają między korą a drewnem. Niektóre z nich zaczynają rozwój pod korą i dopiero w star-



Ryc. 7. Wiatrołom w drzewostanie sosnowym z domieszką brzozy.

szych stadiach rozwojowych wgryzają się do drewna, co daje podstawę do zaliczenia ich zarówno do kambio-, jak i ksylofagów. Koniecznym warunkiem zasiedlenia drzewa jest odpowiednia wilgotność tkanek podkorowych. W trakcie rozwoju kambiofagi niszczą łyko, które pełni bardzo ważną funkcję w życiu drzewa, a mianowicie dostarcza asymilaty do korzeni i innych części drzewa. Prowadzi to do jeszcze większego osłabienia, a następnie zamierania drzew w dość szybkim tempie.

Do kambiofagów mogących stanowić zagrożenie trwałości drzewostanów w Polsce należą przede wszystkim korniki (podrodzina Scolytinae z rodziny Curculionidae). Duże znaczenie mają również smoliki (podrodzina Molytinae z rodziny Curculionidae) i chrząszcze z rodziny bogatkowatych Buprestidae. Podobnie jak w przypadku foliofagów, poszczególne gatunki mają określone preferencje co do drzewa żywicielskiego. Wśród owadów występujących głównie w drzewostanach sosnowych, największe znaczenie mają korniki: cetyniec większy [*Tomicus piniperda* (L.)], cetyniec mniejszy [*T. minor* (Hart.)], a w ostatnich latach również kornik ostrozębny [*Ips acuminatus* (Gyll.)], oraz smoliki: drągowinowiec [*Pissodes piniphilus* (Herbst)] i sosnowiec [*P. pini* (L.)], a także przypłaszczek granatek [*Phaenops cyanea* (F.)] (Ryc. 8) (KOLK i STARZYK 1996, PLEWA i MOKRZYCKI 2017, JABŁOŃSKI i współaut. 2019, PLEWA i TARWACKI 2022). Cetyniec większy, smolik sosnowiec i przypłaszczek granatek zasiedlają zasadniczo dolne partie pni drzew, gdzie występuje grubsza kora. Pozostałe gatunki opanowują odcinki pnia i/lub gałęzie z cienką korą. W drzewostanach świerkowych największe zagrożenie powodują korniki: kornik drukarz [*Ips typographus* (L.)] (Ryc. 9), czterooczak świerkowiec [*Polygraphus poligraphus* (L.)], kornik zrosłozębny [*Ips duplicatus* (Sahlb.)], rytownik pospolity [*Pityogenes chalcographus* (L.)] i kornik drukarczyk [*Ips amitinus* (Eichh.)] (KOLK i STARZYK 1996, GRODZKI 2022, PLEWA i TARWACKI 2022). Pierwsze dwa gatunki rozwijają się głównie pod grubą korą świerków, a pozostałe – pod cienką korą górnej partii pni i gałęzi. Wśród kambiofagów rozwijających się na dębach, największe szkody wyrządza opiętek dwuplamkowy [*Agrilus biguttatus* (F.)] (Buprestidae) (Ryc. 10). W mniejszym stopniu uszkodzeń strefy kambialnej dokonują: opiętek bruzdkowany [*A. sulcicollis* Lac.] (Buprestidae), ogłodek dębowiec [*Scolytus intricatus* (Ratz.)] (Scolytinae) oraz różne gatunki z rodziny kózkowatych Cerambycidae, np. caponie (*Leiopus* spp.), rzemlik plamisty [*Saperda scalaris* (L.)] czy rębacz szary [*Rhagium mordax* (Deg.)] (KOLK i STARZYK 1996, HILSZCZAŃSKI i współaut. 2019, PLEWA i TARWACKI 2022).

Korniki, w odróżnieniu od innych grup kambiofagów, wykazują największą zdolność



Ryc. 8. Sosna zamarła z powodu zasiedlenia przez przypłaszczka granatka (na dole po prawej – larwa).



Ryc. 9. Drzewostan świerkowy uszkodzony przez wiatr i zamieranie drzew z powodu zasiedlenia przez kornika drukarza (po prawej – chodniki macierzyste i larwalne).



Ryc. 10. Chodniki larwalne pod korą dębu (po lewej) i larwa (po prawej) opiętka dwuplamkowego.

do gradacyjnego występowania, a szczególnie te gatunki, u których w ciągu jednego roku może rozwijać się kilka pokoleń chrząszczy. W okresach międzygradacyjnych, wyszukując, opanowując i zabijając osłabione (szczególnie stare) drzewa, korniki pełnią pożyteczną rolę w tworzeniu w drzewostanie luk sprzyjających powstawaniu młodego pokolenia, a tym samym w urozmaicaniu struktury gatunkowej, wiekowej i piętrowej lasu. Stare drzewa, mimo ich uroku, jak każdy starzejący się organizm, są bardziej podatne na porażenie przez patogeny i zasiedlenie przez owady. W warunkach sprzyjających rozwojowi korników dochodzi do ich gradacji i wtedy stanowią one duże zagrożenie dla trwałości drzewostanów, co ma ogromne skutki środowiskowe, ekonomiczne i socjalne (Mikkelson i współaut. 2013, Grégoire i współaut. 2015, Šamonil i współaut. 2020, Hlásny i współaut. 2021). Gwałtowne narastanie ich liczebności następuje głównie w wyniku zwiększenia bazy lęgowej (grupowe lub wielkoobszarowe wywroty i złomy, patrz Ryc. 9, jak również osłabienie drzew w wyniku suszy, żerów szkodników liściożernych, porażenia patogenami itd.) i/lub działania wysokich temperatur przyspieszających rozwój poszczególnych stadiów rozwojowych, co prowadzi do zwiększenia liczby pokoleń rozwijających się w ciągu roku (Lieutier i współaut. 2004). Samice niektórych gatunków, jak np. kornika drukarza, po złożeniu wiosną pierwszych jaj odbywają żer regeneracyjny w łyku na tym samym lub innym drzewie i jeszcze w tym samym roku przystępują do zakładania 1–3 dodatkowych, tzw. pokoleń (generacji) siostrzanych. Młode chrząszcze każdego z tych pokoleń (pierwszego i siostrzanych), po odbyciu żeru dojrzewającego, zakładają następne pokolenia (drugie, a przy sprzyjających warunkach kolejne siostrzane) i w ten sposób dorosłe osobniki, wylęgające się wiosną w miejscach zimowania, dają początek 3–5 pokoleniom korników w ciągu jednego roku (Grodzki 2013, Davídková i Doležal 2017). Znając udział samic w populacji i liczbę jaj składanych w jednym chodniku macierzystym, można łatwo obliczyć liczbę korników, które mogą rozwinąć się w ciągu roku w wyniku założenia wiosną pierwszej generacji przez jedną samicę (Grodzki 2013). W przypadku kornika drukarza w okresie gradacyjnym może to być od 1600 do 2700 osobników, co świadczy o zdolności do bardzo dużego przyrostu populacji w krótkim czasie, szczególnie w starych drzewostanach o obniżonej odporności.

Obecnie nie ma skutecznych metod prognozowania zagrożenia drzewostanów przez kambiofagi. W przypadku niektórych gatunków prowadzony jest monitoring liczebności populacji przy użyciu pułapek feromonowych, lecz prognostyczna interpretacja wyników odłowów jest utrudniona (Faccoli i współaut. 2012; Grodzki 2013, 2021).

Dotychczas powstało wiele prac opisujących strategie i metody postępowania w drzewostanach zagrożonych przez kambiofagi, szczególnie przez korniki (Kolk i Starzyk 1996, Colombari i współaut. 2013, Kolk i Grodzki 2013, Hilszczański i współaut. 2019, Fettig i współaut. 2022). Są one opisane również w Instrukcji Ochrony Lasu (2012). Podstawową i najbardziej skuteczną metodą ochrony drzewostanów przed szkodnikami wtórnymi jest niedopuszczenie do wylotu chrząszczy następnej generacji z zasiedlonych drzew, ponieważ to one stanowią podstawę do dalszego namnażania się populacji. Można to osiągnąć poprzez wyszukiwanie, ścinanie, a następnie wywożenie z lasu lub korowanie (w przypadku braku możliwości wywozu) świeżo zasiedlonych drzew. W przypadku korników, szczególnie gatunków zakładających generację siostrzaną, czynności te powinny być wykonane w ciągu 2–3 tygodni od momentu wgryzienia się do kory pierwszych osobników zakładających pierwszą generację danego gatunku, aby nie dopuścić do wylotu młodego pokolenia i/lub rodzicielskiego pokolenia mogącego założyć generację siostrzaną. W wykrywaniu świeżo zasiedlonych drzew pomocne są różne symptomy, np. ślady wgryzienia chrząszczy pod korę, wycieki żywicy, trociny widoczne na korze i/lub na nabiegach korzeniowych, przebarwienie lub przerzedzenie koron, ślady aktywności ptaków, np. dzięciołów. Nie we wszystkich przypadkach objawy zasiedlenia są dobrze widoczne, szczególnie w przypadku gatunków rozwijających się w górnych partiach koron, np. kornika ostrozębnego, co utrudnia skuteczną ochronę lasu przed tymi owadami. Nowoczesne narzędzia prowadzenia obserwacji z powietrza z wykorzystaniem satelitów, samolotów czy dronów są przydatne zazwyczaj do wykrywania martwych drzew i określenia skali szkód, ale na obecnym etapie są mniej przydatne do wykrywania świeżo zasiedlonych drzew, kiedy objawy w koronach są mało widoczne, a ogniskami porażenia są drzewa pojedyncze i rozproszone (Fettig i Hilszczański 2015, Kycko i współaut. 2016, Abdullah i współaut. 2019).

Inne metody ograniczenia liczebności populacji szkodliwych kambiofagów polegają na: (1) wykładaniu drzew i stosów pułapkowych, które po zasiedleniu przez korniki należy bezwzględnie wywieźć poza las lub okorować, niszcząc stadia młodociane i uniemożliwiając zakończenie rozwoju oraz wylot następnego pokolenia, (2) wykorzystaniu atraktantów do zwiększenia efektywności działania drzew i stosów pułapkowych, (3) usuwaniu z lasu i/lub zrębkowaniu zasiedlonych przez kambio-

fagi wierzchołków koron i gałęzi, (4) wykorzystaniu dopuszczonych do stosowania w leśnictwie insektycydów. Ponadto, podejmowane są próby wykorzystania repelentów i patogenów do ochrony lasu przed kornikami (JAKUŠ i współaut. 2003, GRODZKI i KOSIBOWICZ 2015). Stosowanie insektycydów w zabiegach lotniczych do ochrony drzewostanów przed kambiofagami nie ma uzasadnienia ze względu na ukryty tryb życia tych owadów.

PODSUMOWANIE

Ekosystemy leśne są miejscem bytowania wielu żywych organizmów, w tym owadów rozwijających się na drzewach. Zgrupowania tych ostatnich są specyficzne dla składu gatunkowego drzewostanu, zależnego od siedliska, oraz fazy jego rozwoju, zaczynając od uprawy i kończąc na starodrzewiu. Wśród owadów są gatunki mające tendencje do gradacyjnego (nasilonego) występowania, stwarzając podczas gradacji zagrożenie dla drzewostanów, a tym samym dla ich trwałości. Jest to związane z położeniem geograficznym Polski, gdzie ścierają się wpływy klimatu oceanicznego i kontynentalnego, układem gleb i siedlisk, a co za tym idzie i składem gatunkowym drzewostanów. Niewiele gatunków drzew poradzi sobie na ubogich kwaśnych glebach, przy nieznacznych ilościach opadów i niskim poziomie wód gruntowych, w wyniku czego powstają duże powierzchnie monokultur sosnowych. Na obszarach zapewniających lepsze warunki rozwoju drzew, lasy są bardziej różnorodne, ale i one są narażone na szkodliwe owady, gdy są osłabione przez susze, huragany i inne czynniki. Największe szkody są zazwyczaj wyrządzane przez owady w szkółkach i uprawach leśnych oraz w drzewostanach ponad 20-letnich. Aby do tego nie dopuścić, stosowany jest system monitoringu najważniejszych szkodliwych owadów i określenia zagrożenia drzewostanów metodami uwzględniającymi biologię i ekologię poszczególnych gatunków. Są one zawarte w INSTRUKCJI OCHRONY LASU z 2012 r. (z późniejszymi zmianami). W przypadku wykrycia zagrożenia, stosowane są odpowiednie metody ochrony lasu, których wybór zależy nie tylko od gatunku szkodliwego owada, ale również od tempa namnażania się jego populacji, oporu środowiska, stanu zdrowotnego i wieku zagrożonych drzewostanów, siedliska oraz skali zagrożenia. Lasy Państwowe stosują zasady integrowanej ochrony roślin, w której ważnym elementem są działania profilaktyczne zwiększające odporność lasów na zagrożenia. Natomiast przy podejmowaniu decyzji o wykonaniu zabiegu ratowniczego chroniącego las przed stwarzającymi zagrożenie owadami pierwszeństwo mają metody niechemiczne, np. stosowanie biopreparatów i substancji wpływających na zachowanie się tych owadów (atraktantów), usuwanie świeżo zasiedlonych drzew (w przypadku kambiofagów) i inne. Zabiegi chemiczne są ostatecznością, stosowaną po wyczerpaniu innych metod i w przypadkach zagrażających trwałości lasu.

Streszczenie

Lasy w Polsce są narażone na oddziaływanie różnych czynników szkodotwórczych: abiotycznych, biotycznych i antropogenicznych. Wśród biotycznych, owady zajmują jedno z czołowych miejsc. Przy dużej liczebności, owady zagrażają trwałości lasów, ponieważ mogą doprowadzić do zamierania drzewostanów, zarówno bardzo młodych (upraw), jak i bardzo starych, co może skutkować zaprzestaniem pełnienia przez nie funkcji ekologicznych, ekonomicznych i społecznych. W lasach państwowych najważniejsze gatunki owadów są objęte stałym monitoringiem mającym na celu ocenę liczebności i trendów ich zmian, co służy do określenia zagrożenia drzewostanów. W ochronie lasów stosuje się zintegrowaną metodę, która na pierwszym miejscu stawia działania profilaktyczne, zwiększające odporność drzewostanów, oraz metody niechemiczne (biologiczne, biotechniczne, mechaniczne), natomiast chemiczne środki ochrony roślin są stosowane w ostateczności. W niniejszej pracy przedstawione są główne grupy szkodliwych owadów leśnych: szkodniki siewek i sadzonek w szkółkach i uprawach oraz szkodniki liściożerne i kambiofagi w drzewostanach ponad 20-letnich, a także metody ograniczania powodowanych przez nie szkód.

LITERATURA

ABDULLAH H., SKIDMORE A. K., DARVISHZADEH R., HEURICH M., 2019. *Timing of red-edge and shortwave infrared reflectance critical for early stress detection induced by bark beetle (Ips typographus, L.) attack*. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 82, doi.org/10.1016/j.jag.2019.101900.

CHAPMAN S. K., HART S. C., COBB N. S., WHITHAM T. G., KOCH G. W., 2003. *Insect herbivory increases litter quality and decomposition: an extension of the acceleration hypothesis*. Ecology 84, 2867-2876.

COLOMBARI F., SCHROEDER M. L., BATTISTI A., FACCOLI M., 2013. *Spatio-temporal dynamics of an Ips acuminatus outbreak and implications for management*. Agric. For. Entomol. 15, 34-42.

DAVÍDKOVÁ M., DOLEŽAL P., 2017. *Sister broods in the spruce bark beetle, Ips typographus (L.)*. For. Ecol. Manag. 405, 13-21.

DILLON A. B., WARD D., DOWNES M. J., GRIFFIN CH. T., 2006. *Suppression of the large pine weevil Hylobius abietis (L.) (Coleoptera: Curculionidae) in pine stumps by entomopathogenic nematodes with different foraging strategies*. Biol. Control 38, 217-226.

FACCOLI M., FINOZZI V., COLOMBARI F., 2012. *Effectiveness of different trapping protocols for outbreak management of the engraver pine beetle Ips acuminatus (Curculionidae, Scolytinae)*. Int. J. Pest Manag. 58, 267-273.

FETTIG C. J., HILSZCZAŃSKI J., 2015. *Management strategies for bark beetles in conifer forests*. [W:] *Bark beetles: biology and ecology of native and invasive species*. VEGA F., HOFSTETTER R. W. (red.). Elsevier Inc., San Diego, 555-584.

FETTIG C. J., EGAN J. M., DELB H., HILSZCZAŃSKI J., KAUTZ M., MUNSON S., NOWAK J. T., NEGRÓN J. F., 2022. *Management tactics to reduce bark beetle impacts in North America and Europe under altered forest and climatic conditions*. [W:] *Bark beetle management, ecology, and climate change*. GANDHI K., HOFSTETTER R. W. (red.). Academic Press, San Diego, 345-394.

GAYTÁN A., MOREIRA X., CASTAGNEYROL B., VAN HALDER I., DE FRENNE P., MEEUSSEN C., TIMMERMANS B. G. H., TEN HOOPEN J. P. J. G., RASMUSSEN P. U., BOS N., JAATINEN R., PULKKINEN P., SÖDERLUND S., COVELO F., GOTTHARD K., TACK A. J. M., 2022. *The co-existence of multiple oak leaf flushes contributes to the large within-tree variation in chemistry, insect attack and pathogen infection*. New Phytol., doi:10.1111/nph.18209

GERI C., 1988. *The pine sawfly in Central France*. [W:] *Dynamics of forest insect populations: patterns, causes, implications*. BERRYMAN A. A. (red.). Plenum Press, New York and London, 377-405.

GŁOWACKA B., 2013a. *Metodyka integrowanej ochrony drzewostanów iglastych*. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary. https://www.ibles.pl/documents/10180/66366 /ipm-iglaste.pdf

GŁOWACKA B., 2013b. *Metodyka integrowanej ochrony drzewostanów liściastych*. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary. https://www.ibles.pl/documents/10180/66366/ipm-lisciaste.pdf

GŁÓWNY URZĄD STATYSTYCZNY, 2021. *Rocznik statystyczny leśnictwa*, Warszawa.

GÓRNAŚ E., 1990. *Boreczniki*. PWRiL, Warszawa.

GRÉGOIRE J.-C., RAFFA K. F., LINDGREN B. S., 2015. *Economics and Politics of Bark Beetles*. [W:] *Bark beetles: biology and ecology of native and invasive species*. VEGA F., HOFSTETTER R. W. (red.). Elsevier Inc., San Diego, 585-613.

GRODZKI W., 2013. *Kornik drukarz i jego rola w ekosystemach leśnych*. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.

GRODZKI W., 2021. *Do pheromone trapping always reflect Ips typographus (L.) population level? A study from the Tatra National Park in Poland*. Folia Forestalia Polonica, Series A, 63, 36-47.

GRODZKI W., 2022. *Zagrożenie lasów górskich i podgórskich*. [W:] *Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce w 2022 roku*. Analizy i Raporty 34. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, 56-66.

GRODZKI W., KOSIBOWICZ M., 2015. *Próba zastosowania grzyba Beauveria bassiana (Bals.) Vuill. w ochronie lasu przed kornikiem drukarzem Ips typographus (L.) w warunkach terenowych*. Leśne Prace Badawcze 76, 5-17.

HAAVIK L. J., BILLINGS S. A., GULDIN J. M., STEPHEN F. M., 2015. *Emergent insects, pathogens and drought shape changing patterns in oak decline in North America and Europe*. For. Ecol. Manag. 354, 190-205.

HAUKIOJA E., NEUVONEN S., 1987. *Insect population dynamics and induction of plant resistance: the testing of hypotheses*. [W:] *Insect outbreaks*. BARBOSA P., SCHULTZ J. C. (red.). Academic Press, Inc., San Diego, CA, 411-432.

HILSZCZAŃSKI J., SIEROTA Z., 2011. *Kierunki rozwoju ochrony lasu*. [W:] *Strategia rozwoju lasów i leśnictwa w Polsce do roku 2030*. Materiały III Sesji Zimowej Szkoły Leśnej przy Instytucie Badawczym Leśnictwa. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, 184-193.

HILSZCZAŃSKI J., KOLK A., STARZYK J., 2019. *Udział i rola owadów kambio- i ksylofagicznych w zamieraniu drzewostanów dębowych*. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.

HLÁSNY T., ZIMOVÁ S., MERGANIČOVÁ K., ŠTĚPÁNEK P., MODLINGER R., TURČÁNI M., 2021. *Devastating outbreak of bark beetles in the Czech Republic: drivers, impacts, and management implications*. For. Ecol. Manag. 490, doi:10.1016/j.foreco.2021.119075.

INSTRUKCJA OCHRONY LASU, 2012. Lasy Państwowe, Warszawa. www.lasy.gov.pl/pl/publikacje/copy_of_gospodarka-lesna/ochrona_lasu/instrukcja-ochrony-lasu.

JABŁOŃSKI T., 2017. *Wspomaganie decyzji w ochronie lasu*. Postępy Techniki w Leśnictwie 138, 17-22.

JABŁOŃSKI T., TARWACKI G., SUKOVATA L., 2019. *Pine forest conditions in Poland in 2015-2018*. [W:] *Pine forests: current status, existing challenges and ways forward*. Proceedings of International Scientific and Practical Conference, 12-13 June 2019, Kyiv, Ukraine. Planeta-print, Kharkiv, 83-88.

JACHYM M., 2007. *Web-spinning sawflies of the genus Cephalcia Panzer (Hymenoptera, Pamphiliidae) in the Picea abies forests of the Beskidy Mountains (Poland)*. J. For. Sci. 53, 63-68.

JAKUŠ R., SCHLYTER F., ZHANG Q.-H., BLAŽENEC M., VAVERČÁK R., GRODZKI W., BRUTOVSKÝ D., LAJZOVÁ E., TURČANI M., BENGTSSON M., BLUM Z., GREGOIRÉ J.-C., 2003. *Overview of development of anti-attractant based technology for spruce protection against Ips typographus: from past failure to future success*. Anz. Schädlingskunde/J. Pest Sci. 76, 89-99.

JAWORSKI T., HILSZCZAŃSKI J., 2013. *The effect of temperature and humidity changes on insects development and their impact on forest ecosystems in the context of expected climate change*. *Leśne Prace Badawcze,* 74, 345-355.

JAWORSKI T., SUKOVATA L., 2020. *Tools for monitoring oak defoliating geometrids – traps for catching males and females*. Scan. J. For. Res. 35, 506-512.

KARMIŁOWICZ 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, 52-56.

KIRKEGAARD J., MATTHIESSEN J., 2004. *Developing and refining the biofumigation concept*. Agroindustria 3, 233-239.

KOLK A., 1992. *Rola szkodników wtórnych w zamieraniu lasu*. Postępy Technik w Leśnictwie 52, 40-44.

KOLK A., STARZYK J., 1996. *Atlas szkodliwych owadów leśnych*. Multico O. W., Warszawa.

KOLK A., GRODZKI W., 2013. *Metody i strategie ograniczania liczebności populacji kornika drukarza w drzewostanach zagrożonych*. [W:] *Kornik drukarz i jego rola w ekosystemach leśnych*. GRODZKI W. (red.). Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 149-158.

KOLK A., SUKOVATA L., JABŁOŃSKI T., 2013. *Rola foliofagów w ekosystemach leśnych*. [W:] *Rola i udział owadów w funkcjonowaniu ekosystemów leśnych*. ZĄBECKI W. (red.). Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków, 27-40.

KYCKO M., STEREŃCZAK K., BAŁAZY R., 2016. *Detekcja posuszu kornikowego z wykorzystaniem zobrazowań BlackBridge na przykładzie drzewostanów Sudetów i Beskidów*. Sylwan 160, 707-719.

LEŚNIAK A., 1976. *Forest stand and site conditions of a pine moth (Dendrolimus pini L.) outbreaks*. Ekol. Pol. 24, 549-563.

LIEUTIER F., DAY K. R., BATTISTI A., GREGOIRE J.-C., EVANS H. F., 2004. *Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a synthesis*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

LIN J., SAMPSON D. A., CEULEMANS R., 2001. *The effect of crown position and tree age on resin-canal density in Scots pine (Pinus sylvestris L.) needles*. Can. J. Bot. 79, 1257-1261.

MALINOWSKI H., 2007. *Aktualne problem ochrony lasu związane ze zwalczaniem chrabąszczy (Melolontha spp.)*. Postępy w Ochronie Roślin 47, 314-322.

MARÇAIS B., DESPREZ-LOUSTAU M. L., 2014. *European oak powdery mildew: impact on trees, effects of environmental factors, and potential effects of climate change*. Ann. For. Sci. 71, 633-642.

MATYJASZCZYK E., KARMIŁOWICZ E., SKRZECZ I., 2019. *How European Union accession and implementation of obligatory integrated pest management influenced forest protection against harmful insects: A case study from Poland*. For. Ecol. Manag. 433, 146-152.

MIKKELSON K. M., BEARUP L. A., MAXWELL R. M., STEDNICK J. D., MCCRAY J. E., SHARP J. O., 2013. *Bark beetle infestation impacts on nutrient cycling, water quality and interdependent hydrological effects*. Biogeochemistry 115, 1-21.

NETHERER S., SCHOPF A., 2010. *Potential effects of climate change on insect herbivores in European forests – general aspects and the pine processionary moth as specific example*. For. Ecol. Manag. 259, 831-838.

NIEMCZYK M., KARWAŃSKI M., GRZYBOWSKA U., 2017. *Effect of environmental factors on occurrence of cockchafers (Melolontha spp.) in forest stands*. Baltic Forestry 23, 334-341.

NIEMCZYK M., SIERPIŃSKA A., TEREBA A., SOKOŁOWSKI K., PRZYBYLSKI P., 2019. *Natural occurrence of Beauveria spp. in outbreak areas of cockchafers (Melolontha spp.) in forest soils from Poland*. BioControl 64, 159-172.

ONUFRIEVA K. S., HICKMAN A. D., LEONARD D. S., TOBIN P. C., 2019. *Relationships between efficacy of mating disruption and gypsy moth density*. Int. J. Pest Manag. 65, 44-52.

PIEKARSKA A, BARTOSZEK A, NAMIEŚNIK J., 2010. *Biofumigation as an alternative method of crop protection*. Ecol. Chem. Eng. S 17, 527-547.

PLEWA R., MOKRZYCKI T., 2017. *Występowanie, biologia i znaczenie gospodarcze kornika ostrozębnego Ips acuminatus (Gyllenhal, 1827) (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae) w Polsce*. Sylwan 161, 619-629.

PLEWA R., TARWACKI G., 2022. *Szkodniki wtórne*. [W:] *Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce w 2022 roku*. Analizy i Raporty 34. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, 39-55.

PLOTKIN A. B., BLUMSTEIN M., LAFLOWER D., PASQUARELLA V. J., CHANDLER J. L., ELKINTON J. S., THOMPSON J. T., 2021. *Defoliated trees die below a critical threshold of stored carbon*. Funct. Ecol. 35, 2156-2167.

RAY D., PEACE A., MOORE R., PETR M., GRIEVE Y., CONVERY C., ZIESCHE T., 2016. *Improved prediction of the climate-driven outbreaks of Dendrolimus pini in Pinus sylvestris forests*. Forestry 89, 230-244.

SARAVESI K., MARKKOLA A., RAUTIO P., ROITTO M., TUOMI J., 2008. *Defoliation causes parallel temporal responses in a host tree and its fungal symbionts*. Oecologia 156, 117-123.

SCHULTZ J. C., BALDWIN I. T., 1982. *Oak leaf quality declines in response to defoliation by gypsy moth larvae*. Science 217, 149-151.

SIEROTA Z., MAŁECKA M., 2016. *Zagrożenia lasów od patogenów grzybowych a ekstrema pogody*. Postępy Techniki w Leśnictwie, 132, 20-24.

SKRZECZ I., 2017a. *Kierunki rozwoju metod ochrony lasu*. Postępy Techniki w Leśnictwie. 138, 7-16.

SKRZECZ I., 2017b. *Insects associated with reforestation and their management in Poland*. [W:] *Biological control of pest and vector insects*. InTech Open, doi:10.5772/66945.

SKRZECZ I., PERLIŃSKA A., 2018. *Current problems and tasks of forest protection in Poland*. Forestalia Polonica, Series A – Forestry, 60, 161-172. doi:10.2478/ffp-2018-0016

SKRZECZ I., ŚLUSARSKI S., TKACZYK M., 2020. *Integration of science and practice for Dendrolimus pini (L.) management – a review with special reference to Central Europe*. For. Ecol. Manag. 455, doi:10.1016/j.foreco.2019.117697.

SUKOVATA L., 2010. *Prognozowanie i ograniczanie występowania brudnicy mniszki Lymantria monacha L. (Lepidoptera, Lymantriidae)*. Prace IBL, Rozprawy i Monografie, 14. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.

SUKOVATA L., 2022a. *Średnioterminowe prognozy początku gradacji brudnicy mniszki*. [W:] *Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce w 2022 roku*. Analizy i Raporty 34. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, 24–27.

SUKOVATA L., 2022b. *Gradacje foliofagów sosny w Puszczy Noteckiej – historia, prognoza i możliwości przeciwdziałania*. Acta Sci. Pol. Sil. Colendar. Ratio Ind. Lignar [Polish J. For.], 21, 93-101.

SUKOVATA L., JAWORSKI T., LAZZERI L., KOLK A., 2014a. *Mustard seed meal against Melolontha grubs – the first trials*. Aspects Appl Biol. 126, 67-76.

SUKOVATA L., JAWORSKI T., MAŁECKA M., NIEMCZYK M., SIERPIŃSKA A., SOWIŃSKA A., TARWACKI G., WORETA D., 2014b. *Strategia postępowania hodowlano-ochronnego w ekosystemach leśnych zagrożonych przez chrabąszcza kasztanowca i majowego*. www.ibles.pl/web/guest/uslugi/strategia-postepowania-przeciwko-chrabaszczom

SUKOVATA L., JAWORSKI T., KAROLEWSKI P., KOLK A., 2015a. *The performance of Melolontha grubs on the roots of various plant species*. Turk. J. Agric. For. 39, 107-116.

SUKOVATA L., JAWORSKI T., KOLK A., 2015b. *Efficacy of Brassica juncea granulated seed meal against Melolontha grubs*. Ind. Crops Prod. 70, 260-265.

SUKOVATA L., JAKONIUK H., JAWORSKI T., 2022. *A novel method for assessing the threat to oak stands from geometrid defoliators*. For. Ecol. Manag. 520, doi:10.1016/j.foreco.2022.120380.

SZABŁA K., SZUJECKI A., 2016. W *poszukiwaniu perspektywicznej koncepcji ochrony lasu*. Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie 18, 22-31.

Śliwa E., 1987. *Brudnica mniszka*. PWRiL, Warszawa.
Śliwa E., 1992. *Barczatka sosnówka*. Lasy Państwowe, Warszawa.
Šamonil P., Phillips J. D., Pawlik Ł., 2020. *Indirect biogeomorphic and soil evolutionary effects of spruce bark beetle*. Glob. Planet. Change 195, doi:10.1016/j.gloplacha.2020.103317
Tobin P. C., Blackburn L. M., 2007. *Slow the Spread: a national program to manage the gypsy moth*. Gen. Tech. Rep. NRS-6. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. doi:10.2737/NRS-GTR-6.
Tumialis D., Skrzecz I., Mazurkiewicz A., Pezowicz E., Góral K., 2013. *Wrażliwość larw Hylobius abietis (L.) na rodzime gatunki i szczepy nicieni entomopatogenicznych*. Sylwan 10, 769-774.
Watt A. D., Leather S. R., 1988. *The pine beauty moth in Scottish lodgepole pine plantations*. [W:] *Dynamics of forest insect populations: patterns, causes, implications*. Berryman A. A. (red.). Plenum Press, New York and London, 243-266.
Williams C. D., Dillon A. B., Harvey C. D., Hennessy R., Namara L. Mc., Griffin C. T., 2013. *Control of a major pest of forestry, Hylobius abietis, with entomopathogenic nematodes and fungi using eradicate and prophylactic strategies*. For. Ecol. Manag. 305, 2012-2022.
Wolski R., 2022. *Szkodniki świerka, modrzewia, jodły i daglezji*. [W:] *Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce w 2022 roku*. Analizy i Raporty 34. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, 31-33.
Woreta D., 2015. *Control of cockchafer Melolontha spp. grubs – a review of methods*. Folia Forestalia Polonica, Series A, Forestry 57, 33-41.
Woreta D., Sukovata L., 2014. *Survival and growth of the Melolontha spp. grubs on the roots of the main forest tree species*. For. Res. Papers 75, 375-383.
Woreta D., Lipiński S., Wolski R., 2016. *Effects of food source quality on the adults of Melolontha melolontha and M. hippocastani*. For. Res. Papers 77, 14-23.
Zasady Hodowli Lasu, 2012. Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa. www.lasy.gov.pl/pl/pro/publikacje/copy_of_gospodarka-lesna/hodowla/zasady-hodowli-lasu-dokument-w-opracowaniu.

KOSMOS Vol. 71, 3, 371-383, 2022

Lidia Sukovata, Iwona Skrzecz

Department of Forest Protection, Forest Research Institute, 3, Braci Leśnej Str., Sękocin Stary, 05-090 Raszyn, E-mail: l.soukovata@ibles.waw.pl, i.skrzecz@ibles.waw.pl

FOREST INSECTS, THREATHS AND METHODS OF FOREST PROTECTION

Summary

Forests in Poland are exposed to various harmful factors: abiotic, biotic and anthropogenic. Among the biotic factors, insects occupy one of the leading positions. At high population densities, insects threaten the forest sustainability, as they can lead to dieback of forests, both very young (recent reforestation) and very old, resulting in inability to fulfil their environmental, economic and social functions. In state forests, the most important insect species are subject to permanent monitoring in order to assess their abundance and trends, which are used for assessing the threat to stands. In forest protection, an integrated method is used, prioritizing preventive measures to strengthen forest resilience and non-chemical methods (biological, biotechnical, mechanical), while chemical plant protection products are used only as a last resort. This paper presents the main groups of forest insect pests – pests of seedlings and saplings in nurseries and young reforestations as well as foliophages and cambiophages in stands over 20 years old – and methods for limiting the damage they cause.

Keywords: forest health and sustainability, insect pests, integrated pest management, monitoring, threat forecasting