

GRADACJE FOLIOFAGÓW SOSNY W PUSZCZY NOTECKIEJ – HISTORIA, PROGNOZA I MOŻLIWOŚCI PRZECIWDZIAŁANIA

Lidia Sukovata✉

Zakład Ochrony Lasu, Instytut Badawczy Leśnictwa
ul. Braci Leśnej 3, Sękocin Stary, 05-090 Raszyn

ABSTRAKT

Gradacja strzygoni choinówki w latach 1922–1924 przyczyniła się do powstania na terenie Puszczy Noteckiej dużego kompleksu jednogatunkowych jednowiekowych drzewostanów sosnowych, które są ciągle narażone na gradacje różnych foliofagów sosny. Gradacje powstają w ogniskach gradacyjnych, które najczęściej dzielą się na stałe, pierwotne, wtórne i migracyjne. Zrozumienie różnic między nimi jest ważne dla ich lokalizacji oraz poznawania warunków sprzyjających powstawaniu gradacji, możliwości ich prognozowania oraz przeciwdziałania. Zgromadzone bazy danych za okres 1946–2004 pozwoliły zlokalizować na terenie Puszczy Noteckiej 45, 108, 204 i 554 stałych ognisk gradacyjnych odpowiednio strzygoni choinówki, poprocha cetyniaka, barczatki sosnowki i brudnicy mniszki. Przyjęte wówczas założenia metodyczne znalazły zastosowanie przy wyznaczaniu ognisk gradacyjnych głównych foliofagów sosny w lasach całego kraju. W wyniku analiz statystycznych określono cechy środowiskowe charakteryzujące ogniska gradacyjne różnych gatunków foliofagów oraz warunki sprzyjające powstawaniu ich gradacji. W celu zapobiegania gradacjom i zwiększenia odporności drzewostanów sosnowych zaproponowano postępowanie hodowlano-ochronne.

Słowa kluczowe: *Panolis flammea*, *Lymantria monacha*, *Dendrolimus pini*, *Bupalus piniaria*, odporność lasu, fenologia

WSTĘP

Puszcza Notecka to wyjątkowy kompleks leśny położony w międzyrzeczu Warty i Noteci, w Kotlinie Gorzowskiej. Teren ukształtowało ostatnie zlodowacenie – wody z topniejącego lądolodu naniósł ogromne ilości piasku, tworząc m.in. jedno z największych w Polsce i Europie wydym śródlądowych o wysokości sięgającej nawet 30 m (Anders i Kusiak, 2005; Kusiak i Dymek-Kusiak, 2002). Zróznicowane ukształtowanie puszczy powoduje, że poziom wód gruntowych występuje poniżej zasięgu systemu korzeniowego (np. na wydmach poziom wód gruntowych waha się od 10 m do 20 m).

Ze względu na ubogie w składniki pokarmowe gleby i deficyt wilgoci na obszarze Puszczy Noteckiej

dominuje sosna zwyczajna (ponad 95%). Do powstania monokultur sosnowych przyczyniła się również gradacja strzygoni choinówki *Panolis flammea* (Den. i Schiff.) (Lepidoptera: Noctuidae) w latach 1922–1924. Wskutek silnego uszkodzenia drzewostanów dużą ich część usunięto zrębami zupełnymi, a następnie rozpoczęto zalesianie powstałych zrębów, ponownie tworząc monokultury sosnowe (Kusiak, 2007). Struktura gatunkowa i wiekowa drzewostanów, przewaga siedlisk borowych, szczególnie boru świeżego, oraz ubogich gleb bielcowych w Puszczy Noteckiej sprzyjają występowaniu szkodliwych owadów, zwłaszcza takich foliofagów sosny, jak brudnica

✉L.Soukovata@ibles.waw.pl, <https://orcid.org/0000-0002-7542-8496>

mniszka *Lymantria monacha* (L.) (Lepidoptera: Erebidae), barczatka sosnówka *Dendrolimus pini* (L.) (Lepidoptera: Lasiocampidae), strzygonia choinówka i poproch cetyniak *Bupalus piniaria* (L.) (Lepidoptera: Geometridae). Ich gradacje, miejsca i przyczyny powstawania, możliwości przewidywania oraz przeciwdziałania były przedmiotem wielu prac badawczych przeprowadzonych w latach 2001–2019 przez Instytut Badawczy Leśnictwa we współpracy z różnymi jednostkami akademickimi. Celem opracowania było przedstawienie podejścia metodycznego oraz wybranych wyników tych badań.

OGNISKA GRADACYJNE FOLIOFAGÓW SOSNY

Jednym z ważniejszych elementów w poznawaniu mechanizmów powstawania i rozwoju gradacji szkodliwych owadów jest określenie miejsc (drzewostanów), nazywanych ogniskami gradacyjnymi, w których dochodzi do narastania ich liczebności. Najczęściej ogniska gradacyjne dzieli się na pierwotne, wtórne, migracyjne i stałe (Il'inskij, 1959; Il'inskij i Tropin, 1965; Sukovata, 2010; Szujecki, 1980; Voroncov i in., 1991). **Pierwotne ogniska** gradacyjne są drzewostanami, w których warunki najbardziej sprzyjają rozwojowi owada i pod wpływem czynników inicjujących gradację liczebność populacji osiąga wartości maksymalne w najkrótszym czasie (Il'inskij i Tropin, 1965; Szujecki, 1980; Voroncov i in., 1991; Wallner, 1987). W **ogniskach wtórnych**, ze względu na warunki mniej sprzyjające rozwojowi owada, tempo narastania liczebności populacji jest wolniejsze, a w konsekwencji kulminacja następuje z opóźnieniem o rok lub dwa lata w porównaniu z ogniskami pierwotnymi. **Migracyjne ogniska** gradacyjne powstają wskutek biernego lub aktywnego przenoszenia się owadów z pierwotnych i wtórnych ognisk do przyległych drzewostanów. Analiza wieloletnich danych dotyczących występowania foliofagów sosny pozwala wykryć miejsca, w których do dużego zagęszczenia populacji dochodzi w kolejnych gradacjach – nazwano je **stałymi ogniskami** gradacyjnymi (Kolk i in., 2005; Sukovata, 2010).

W wyniku analizy zgromadzonej w Instytucie Badawczym Leśnictwa bazy danych o zagęszczeniu populacji głównych foliofagów sosny oraz ich zwalczaniu w poszczególnych wydzieleniach w latach 1946–2004, stosując kryteria do wyznaczania stałych

ognisk gradacyjnych (Kolk i in., 2005; Sukovata, 2010), na terenie Puszczy Noteckiej zlokalizowano:

- 45 stałych ognisk strzygoni choinówki (najwięcej na terenie nadleśnictw Oborniki i Międzychód), przy czym w badanym okresie tylko w dwóch oddziałach doszło do gradacji trzykrotnie, a w pozostałych oddziałach – dwukrotnie
- 108 stałych ognisk poprocha cetyniaka (najwięcej na terenie nadleśnictw Potrzebowice i Wronki), a gradacje obserwowano maksymalnie trzykrotnie w 13 z nich
- 204 stałe ogniska barczatki sosnówki (najwięcej na terenie nadleśnictw Międzychód i Wronki), przy czym gradacja wystąpiła trzykrotnie w 39 oddziałach
- 554 stałe ogniska brudnicy mniszki (najwięcej na terenie nadleśnictw: Potrzebowice, Wronki i Międzychód), przy czym w 29 oddziałach do gradacji dochodziło nawet pięciokrotnie.

Przyjęte wówczas założenia metodyczne, w syntetyczny sposób przedstawione na przykładzie brudnicy mniszki przez Sukovata (2010), zostały uwzględnione w „Ramowych zasadach postępowania hodowlano-ochronnego w ogniskach gradacyjnych szkodników liściożernych sosny” (Stocki i in., 2010), zatwierdzonych do stosowania w Lasach Państwowych przez Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych w 2010 r. Następnie, po wprowadzonych modyfikacjach, znalazły one zastosowanie w procesie wyznaczania ognisk gradacyjnych głównych foliofagów sosny w lasach całego kraju przez pracowników Lasów Państwowych (Perlińska i Hamera-Dzierżanowska, 2016).

Określenie położenia ognisk gradacyjnych umożliwia poszukiwanie czynników sprzyjających ich występowaniu. Utrudniony dostęp do historycznych danych taksacyjnych sprawił, że analizy zależności nasilenia występowania głównych foliofagów sosny od charakterystyk glebowo-siedliskowo-drzewostanowych przeprowadzono dla gradacji z okresu 1996–2001. W tym celu wykorzystano dane taksacyjne z lat 1992–1995 udostępnione przez Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej. Największą uwagę zwrócono na cechy jakościowe, które najmniej ulegają zmianom wraz z upływem czasu. Przeprowadzone analizy umożliwiły wskazanie zestawów cech w największym stopniu różnicujących drzewostany będące i niebędące

ogniskami (Kolk i in., 2005; Sukovata i in., 2009). Ogólnie drzewostany gradacyjne charakteryzowały się:

- występowaniem na glebach bielcowych (a w niektórych obrębach – na glebach rdzawych)
- występowaniem na siedlisku boru świeżego z pokrywą mszystą, a w przypadku barczatki sosnowki i brudnicy mniszki – również z pokrywą zadarnioną, czasem nagą lub ściotłą
- dużym zadrzewieniem wynoszącym 0,8–1,1, a w przypadku barczatki – 0,7–0,9
- bonitacją w klasach II–III,5, a w niektórych obrębach – również w klasach wyższych.

Mimo podobieństwa charakterystyk środowiska leśnego w ogniskach gradacyjnych różnych gatunków foliofagów, obserwowano również dość duże ich zróżnicowanie w zależności od lokalizacji poszczególnych nadleśnictw, a nawet ówczesnych obrębów. Przyczyną takiej sytuacji mogły być różnice między poszczególnymi częściami Puszczy Noteckiej, na przykład pod względem rzeźby terenu i gleby (Kusiak, 2007), co ma wpływ na dostępność wody gruntowej i składników pokarmowych dla systemu korzeniowego drzew.

Uzyskane wyniki oraz numeryczne mapy nadleśnictw umożliwiły w latach 2008–2009 po raz pierwszy zaprezentowanie możliwości wykorzystania Systemu Informacji Lasów Państwowych (SILP) do celów ochrony lasu (Sukovata i in., 2009). W danym przypadku celem było wyznaczenie lokalizacji drzewostanów o wyższym prawdopodobieństwie wystąpienia średniego i/lub silnego zagrożenia przez dany gatunek szkodliwego owada, co mogło służyć do optymalizacji rozmieszczenia powierzchni monitoringowych występowania głównych szkodników liściożernych sosny.

W latach 2017–2019 zastosowano podejście podobne do opisanego, ale z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi analitycznych (drzew klasyfikacyjnych CART, metody losowego lasu i drzew wzmacnianych) do określenia cech środowiskowych charakteryzujących pierwotne ogniska gradacyjne barczatki sosnowki zarejestrowane w czasie gradacji w latach 2010–2014. Do analiz wybrano 20 nadleśnictw na terenie RDLP w: Pile, Szczecinie, Zielonej Górze i Poznaniu, łącznie z nadleśnictwami Wronki i Międzychód z obszaru Puszczy Noteckiej (Sukovata i in., 2019). Jak wykazały wyniki badań, do najważniejszych cech środowiskowych charakteryzujących pierwotne ogniska

gradacyjne barczatki sosnowki można zaliczyć m.in.: gleby bielcowe, bielcowe właściwe i rdzawe bielcowe, wiek drzewostanu (klasy wieku IV–VI), bonitację (klasy II i III), typ siedliskowy lasu (bór suchy i bór świeży), typ pokrywy gleby (mszysta i mszysto-czerownicowa), iloraz średnich wartości średnicy i wieku drzewostanu ($\leq 0,385$). Ze względu na dużą złożoność występujących powiązań różnych zmiennych, do wyznaczania lokalizacji pierwotnych ognisk gradacyjnych jest wskazane wykorzystanie opracowanych modeli charakteryzujących się dużą dokładnością predykcji (80,5–84,8%). Modele mogą być zastosowane również dla nadleśnictw nieobjętych analizami, ale położonych w tej samej, tj. zachodniej, części Polski. Dla nadleśnictw z innych regionów kraju wymagana jest weryfikacja poprawności działania modeli. W wyniku zastosowania modeli można uzyskać:

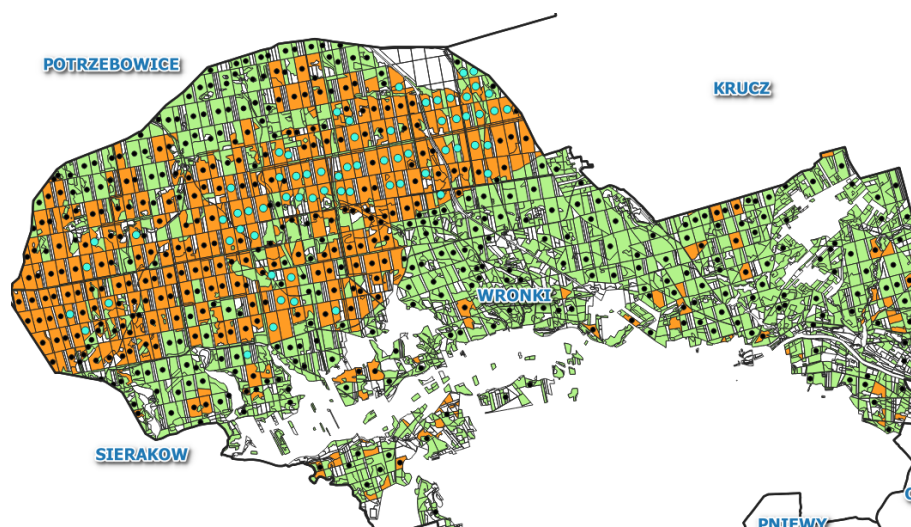
- klasyfikację poszczególnych drzewostanów (wydzielień) na dwie kategorie: ognisko lub jego brak (dalej zwane jako nieognisko) (rys. 1)
- prawdopodobieństwo, z którym dany drzewostan został zaklasyfikowany jako pierwotne ognisko gradacyjne (rys. 2).

Podobne modele mogą być opracowane dla innych gatunków foliofagów sosny.

Jak już wspomniano, wiedza o lokalizacji drzewostanów predysponujących do powstawania gradacji szkodliwych owadów może być wykorzystana zarówno do optymalizacji rozmieszczenia powierzchni monitoringowych, jak i planowania oraz realizacji w pierwszej kolejności zabiegów hodowlano-ochronnych prowadzących do zwiększenia odporności tych drzewostanów.

PROGNOZOWANIE GRADACJI FOLIOFAGÓW SOSNY

Istnieje wiele hipotez co do możliwych przyczyn powstawania gradacji (Berryman, 2002). Przyjmując, że warunki meteorologiczne oddziałują na wszystkie elementy ekosystemu leśnego, a zatem odgrywają ważną rolę w powstawaniu gradacji owadów szkodliwych (Barbosa i Schultz, 1987; Bejer, 1988; Haynes i in., 2018; Myers, 1998; Peltonen i in., 2002), w latach 2001–2005 podjęto próby opracowania modeli do prognozowania początku gradacji dla poszczególnych



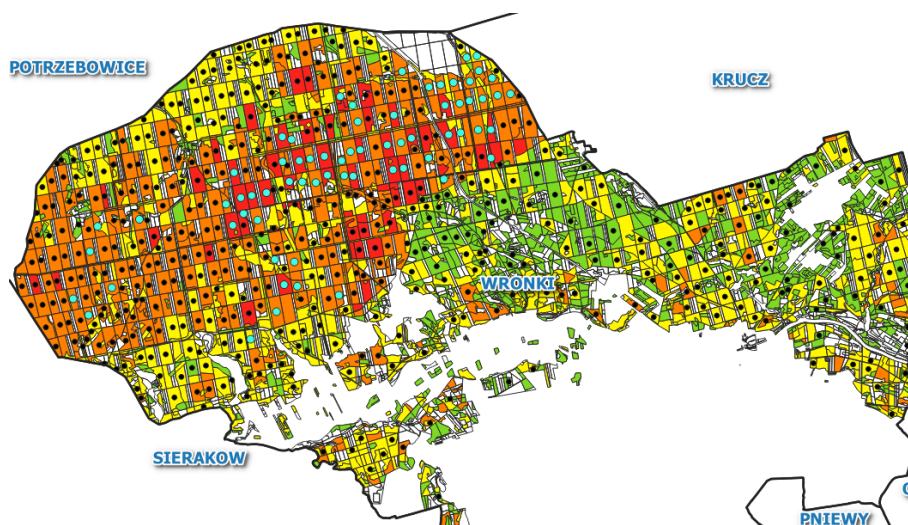
Rys. 1. Rozmieszczenie przestrzenne wydzieleń zaklasyfikowanych jako będące lub niebędące pierwotnymi ogniskami gradacyjnymi *Dendrolimus pini* na terenie Nadleśnictwa Wronki: punkty niebieskie i czarne – rzeczywista lokalizacja odpowiednio ognisk i nieognisk według danych zgromadzonych przez Zespół Ochrony Lasu w Szczecinku, obszary pomarańczowe i zielone – prognozowana lokalizacja ognisk i nieognisk z użyciem modeli lasu losowego

Fig. 1. Spatial distribution of forest subcompartments classified as either being or not being the primary outbreak foci of *Dendrolimus pini* in the Wronki Forest District: blue and black dots – actual locations of foci and non-foci respectively according to data collected by the Forest Protection Service Unit in Szczecinek, orange and green areas – predicted locations of foci and non-foci using random forest models

foliofagów sosny na terenie wybranych nadleśnictw lub obrębów znajdujących się na obszarze Puszczy Noteckiej (Kolk i in., 2005). Posłużyły do tego wspomniane dane z lat 1946–2004, zgromadzone w bazie danych w Instytucie Badawczym Leśnictwa oraz dane meteorologiczne ze stacji w Gorzowie i Szamotułach pochodzące z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej oraz NOAA NESDIS National Climatic Data Center, U.S. Department of Commerce. Za rok **początku gradacji** przyjmowano pierwszy rok wykazania zagrożenia drzewostanów w stopniu średnim (++) i/lub silnym (+++) po okresie międzygradacyjnym lub rok ponownego wzrostu tej powierzchni po wykonanych zabiegach ochronnych. Do analizy zależności początku powstawania gradacji od czynników meteorologicznych zastosowano uogólniony model liniowy z funkcją wiążącą logit, a najlepszy model wybierano, stosując kryterium Akaike. Ostatecznie utworzono pięć modeli logistycznych: dwa dla strzygoni

choinówki (ze względu na różny przebieg gradacji w różnych częściach Puszczy Noteckiej) oraz po jednym dla brudnicy mniszki, barczatki sosnowki i poprocha cetyniaka. Analiza danych pozwoliła stwierdzić, że początek gradacji powodują łącznie:

- większa suma opadów w kwietniu dwa lata przed gradacją, niższa temperatura w lutym trzy lata przed gradacją, mała pokrywa śnieżna i późniejsze przekroczenie temperatury 5°C wiosną trzy lata przed gradacją w przypadku **strzygoni choinówki** (na podstawie danych z terenu Nadleśnictwa Krucz)
- mniejsza suma opadów we wrześniu i listopadzie trzy lata przed gradacją (rys. 3) w przypadku **strzygoni choinówki** (na podstawie danych z terenu Nadleśnictwa Międzybóże)
- głębsza pokrywa śnieżna w marcu rok przed gradacją, płytsza pokrywa śnieżna w listopadzie i mniej dni z pokrywą śnieżną ponad 5 cm w grudniu dwa lata przed gradacją, większa temperatura w marcu

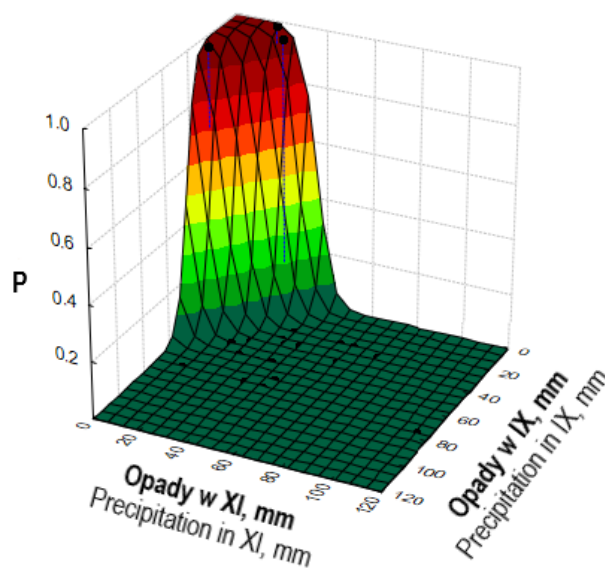


Rys. 2. Rozmieszczenie przestrzenne wydziałów o różnych prawdopodobieństwach zaklasyfikowania jako pierwotne ogniska gradacyjne barczatki sosnówki na terenie Nadleśnictwa Wronki: punkty niebieskie i czarne – rzeczywista lokalizacja odpowiednio ognisk i nieognisk według danych zgromadzonych przez Zespół Ochrony Lasu w Szczecinku, obszary zielone, żółte, pomarańczowe i czerwone – przewidywana lokalizacja ogniska z prawdopodobieństwem odpowiednio $<0,25$, $0,25-0,49$, $0,5-0,74$ i $>0,74$ obliczonym z użyciem modeli lasu losowego

Fig. 2. Spatial distribution of forest subcompartments with different probabilities of being classified as primary outbreak foci of *Dendrolimus pini* in the Wronki Forest District: blue and black dots – actual locations of foci and non-foci respectively according to data collected by the Forest Protection Service Unit in Szczecinek, green, yellow, orange and red areas – predicted locations of foci with probability of <0.25 , $0.25-0.49$, $0.5-0.74$ and >0.74 , respectively, calculated using random forest models)

Rys. 3. Zależność prawdopodobieństwa (P) powstania gradacji *Panolis flammea* na terenie Nadleśnictwa Międzychód od ilości opadów we wrześniu i listopadzie trzy lata przed gradacją

Fig. 3. Dependence of the probability (P) of the *Panolis flammea* outbreak onset in the Międzychód Forest District on precipitation in September and November three years prior an outbreak



i mniejsza suma opadów we wrześniu trzy lata przed gradacją w przypadku **brudnicy mniszki** (na podstawie danych z terenu Nadleśnictwa Międzychód)

- późniejsze przekroczenie temperatury 5°C i większa liczba dni między datami przekroczenia temperatur 5°C i 10°C wiosną dwa lata przed gradacją w przypadku **barczatki sosnowki** (na podstawie danych z terenu nadleśnictw Międzychód i Karwin)
- głębsza pokrywa śnieżna w styczniu, wyższa temperatura i liczba dni z temperaturą wyższą od średniej wieloletniej w maju rok przed gradacją, większa liczba dni między datami przekroczenia temperatur 5°C i 10°C wiosną dwa lata przed gradacją oraz mniejsze opady w lutym trzy lata przed gradacją w przypadku **poprocha cetyniaka** (na podstawie danych z terenu nadleśnictw Potrzebówice i Sieraków).

W późniejszym okresie podjęto próbę opracowania modeli do średnioterminowego (od 1 do 5 lat) prognozowania początku gradacji brudnicy mniszki na terenie Puszczy Noteckiej z zastosowaniem zarówno uogólnionego modelu liniowego z funkcją wiążącą logit, jak i analizy dyskryminacyjnej (Sukovata, 2010). Łącznie przeanalizowano 163 zmienne meteorologiczne utworzone na podstawie podstawowych pomiarów dobowych (temperatura średnia, maksymalna i minimalna, opady, głębokość pokrywy śnieżnej) pobranych ze stacji w Gorzowie. Do stosowania w praktyce zaproponowano pięć modeli: dwa logitowe i trzy dyskryminacyjne, przy czym trzy z nich umożliwiły prognozowanie początku gradacji na dwa lata do przodu. Ze zmiennych uwzględnionych w poszczególnych modelach wspólnymi dla wszystkich okazały się trzy zmienne:

1. hydrotermiczny współczynnik Selaninova (liczony dla dni ze średniodobową temperaturą powyżej 10°C) w kwietniu, dwa lata przed gradacją
2. suma opadów we wrześniu, cztery lata przed gradacją
3. liczba dni między datami wiosennego przekroczenia temperatury powietrza 5 i 10°C, cztery lata przed gradacją.

Warunki meteorologiczne w okresie wiosennym mają wpływ na synchronizację wylęgania gąsienic

brudnicy mniszki i dostępności kwiatostanów sosny (Bejer, 1988; Jensen, 1991; Wellenstein, 1942), natomiast jesienią (we wrześniu) mają znaczenie dla przebiegu rozwoju jaj owada (Il'inski i Tropin, 1965; Zwölfer, 1935).

Modelowanie z wykorzystaniem regresji logistycznej lub metody losowego lasu jest stosowane obecnie do corocznego opracowywania średnioterminowej prognozy początku gradacji brudnicy mniszki na terenie poszczególnych regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych lub grup nadleśnictw (Sukovata, 2022).

MOŻLIWOŚCI PRZECIWDZIAŁANIA

Przeciwdziałanie gradacjom foliofagów sosny można podzielić na działania hodowlane, tj. zabiegi zwiększające odporność drzewostanów sosnowych, oraz działania ochronne, polegające z jednej strony na monitorowaniu występowania szkodników, a z drugiej – na niedopuszczeniu do uszkodzenia drzewostanów w stopniu zagrażającym ich trwałości. Strategia postępowania hodowlano-ochronnego w ogniskach gradacyjnych foliofagów sosny w Puszczy Noteckiej została opracowana w 2009 r. i przedstawiona w sposób syntetyczny w Zaleceniach dla praktyki (Sukovata i in., 2009). Wynika z niej, że planowanie, a następnie przeprowadzanie zabiegów hodowlanych nie jest możliwe bez wcześniejszego zlokalizowania ognisk gradacyjnych oraz poznania warunków środowiskowych sprzyjających ich powstawaniu.

Jak wykazały badania przeprowadzone w latach 2001–2019 (Kolk i in., 2005; Sukovata i in., 2009; 2019), ogniska gradacyjne foliofagów sosny na terenie Puszczy Noteckiej powstają z reguły w drzewostanach rosnących na ubogich w składniki pokarmowe glebach z ograniczonym dostępem do wód gruntowych. W większości są to monokultury sosnowe o dość dużym zadrzewieniu ($\geq 0,8$), występujące na borze świeżym z ubogą w rośliny naczyniowe pokrywą roślinną (głównie mszystą) i charakteryzujące się zmniejszonym przyrostem. Prawdopodobnie ta reguła dotyczy nie tylko Puszczy Noteckiej, ale powinna się sprawdzać w innych regionach kraju. Mimo wymienionych ograniczeń środowiskowych, zaproponowano wiele działań hodowlanych w celu zwiększenia odporności drzewostanów w ogniskach gradacyjnych Puszczy Noteckiej (Sukovata i in., 2009). Jednym

z nich jest prowadzenie intensywnych cięć w ramach trzebieży w celu utrzymania zadrzewienia drzewostanów na poziomie nie większym niż 0,8, co zmniejszy konkurencję systemów korzeniowych o wodę i składniki pokarmowe. Kolejnym działaniem jest ujednolicenie struktury biosocjalnej drzewostanów podczas wykonywania zabiegów pielęgnacyjnych. Działania te zostały uwzględnione w opracowaniu Stockiego i in. (2010) oraz uzupełnione zaleceniem m.in. hodowli drzewostanów o zróżnicowanej strukturze wiekowej i przestrzennej, wykorzystania odnowienia naturalnego oraz wprowadzania w maksymalnym stopniu liściastych gatunków domieszkowych, biocenotycznych i fitomelioracyjnych.

Szczegółowe badania nad odpornością sosny zwyczajnej na brudnicę mniszkę, przeprowadzone na plantacji nasiennej sosny pochodzącej z Puszczy Noteckiej (Nadleśnictwo Pniewy, leśnictwo Dąbrowa), pozwoliły wykazać istotny wpływ jakości pokarmu na przeżywalność i rozwój gąsienic tego owada (Sukovata i Kolk, 2013). Istotnie lepsze parametry życiowe gąsienic odżywiających się na kwiatostanach sosny, w porównaniu z igliwem jednorocznym, wskazują na możliwość zwiększenia odporności drzewostanów w ogniskach gradacyjnych brudnicy mniszki poprzez zwiększenie udziału drzew (Sukovata i in., 2009):

- późnej formy fenologicznej
- typu „żeńskiego”, tj. produkujących głównie kwiatostany żeńskie
- tworzących kwiatostany męskie o małych rozmiarach.

Badania fenologiczne i genetyczne klonów reprezentujących 57 drzew doborowych, które przeżyły gradację strzygoni choinówki w latach 1922–1924 i zostały wybrane do założenia plantacji nasiennej, wykazały, że do różnicowania grup fenologicznych może służyć marker izoenzymatyczny – locus dehydrogenazy szikimianowej ShDH A (Prus-Głowacki i in., 2015). Na przeżywalność i rozwój gąsienic istotny wpływ miał nie tylko rodzaj pokarmu, ale również pochodzenie sosny (drzewo doborowe), co można wykorzystać w tworzeniu nowego pokolenia lasu w ogniskach gradacyjnych (Sukovata i in., 2009). Wskazane jest przeprowadzenie podobnych badań klonów sosny pochodzącej z Puszczy Noteckiej pod względem ich odporności na inne gatunki foliofagów.

Odporność drzewostanów sosnowych można zwiększyć nie tylko działaniami hodowlanymi, ale i ochronnymi, w szczególności poprzez rezygnację z wykonywania zabiegów agrolotniczych z użyciem insektycydów (Stocki i in., 2010). Podjęcie ryzyka związanego z odstąpieniem od zabiegu ochronnego jest uzasadnione w przypadku ubogich borów sosnowych, ponieważ po jednorazowych silnych uszkodzeniach koron sosen na ogół następuje dobra regeneracja aparatu asymilacyjnego i nie dochodzi do rozpadu drzewostanu. Jednocześnie żerowanie gąsienic powoduje: (1) dodatkowy dopływ materii organicznej (ekskrementów i ciał gąsienic oraz resztek igliwia) do ściółki, co przyspiesza jej rozkład i zwiększa dostęp korzeni drzew do składników pokarmowych, osiągając efekt nawożenia, (2) zwiększoną produkcję metabolitów wtórnych w igliwiu, pogarszając jego jakość pokarmową dla gąsienic, (3) wzrost spożycia gąsienic przez niektóre gatunki parazytoidów, np. muchówek z rodzaju *Blepharipa*, ze względu na ich reakcję na zapach igieł uszkodzonych przez gąsienice (Odell i Godwin, 1984; Sukovata i in., 2010 wraz z pracami cytowanymi; Sukovata i in., 2015).

Alternatywnym rozwiązaniem w stosunku do rezygnacji z zabiegów ochronnych mogłoby być podejście hybrydowe, np. wykonanie zabiegów insektycydem o zmniejszonej dawce i/lub modyfikacja sposobu wykonania zabiegów, np. pozostawiając pasy nieopryskane między pasami opryskanymi. W wyniku takiego działania powinny się uruchomić opisane wyżej mechanizmy oraz wzmocnić działanie wrogów naturalnych, szczególnie wyspecjalizowanych parazytoidów. Zaproponowane postępowanie wymaga jednak weryfikacji w praktyce.

PIŚMIENNICTWO

- Anders, P., Kusiak, W. (2005). Puszcza Notecka – przewodnik krajoznawczy. Poznań: G&P Ofic. Wyd.
- Barbosa, P., Schultz, J. C. (red., 1987). Insect outbreaks. San Diego: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02860-8>
- Bejer, B. (1988). The nun moth in European spruce forests. W: A. Berryman (red.), Dynamics of forest insect populations: patterns, causes, implications. New York–London: Plenum Press.
- Berryman, A. (2002). Population cycles: causes and analysis. W: A. Berryman (red.), Population cycles: the case

- for trophic interactions. New York: Oxford University Press.
- Haynes, K. J., Liebhold, A. M., Bjørnstad, O. N., Allstadt, A. J., Morin, R. S. (2018). Geographic variation in forest composition and precipitation predict the synchrony of forest insect outbreaks. *Oikos*, 127(4), 624–642. <https://doi.org/10.1111/oik.04388>
- Ильинский, А. И. (1959). Непарный шелкопряд и меры борьбы с ним [Gypsy moth and control measures]. Moskva–Leningrad: Goslesbumizdat [in Russian].
- Ильинский А. И., Тропин, И. В. (red., 1965). Надзор, учет и прогноз массовых размножений хвое- и листогрызущих насекомых в лесах СССР [Surveillance, assessment and prediction of outbreaks of the needle- and foliage-feeding insects in forests of USSR]. Moskva: Lesnaâ Promyshlennost' [in Russian].
- Jensen, T. S. (1991). Integrated pest management of the nun moth, *Lymantria monacha* (Lepidoptera: Lymantriidae) in Denmark. *For. Ecol. Manag.*, 39(1–4), 29–34. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(91\)90159-S](https://doi.org/10.1016/0378-1127(91)90159-S)
- Kolk, A., Sukovata, L., Dobrowolski, M. (2005). Warunki powstawania gradacji owadów w pierwotnych ogniskach gradacyjnych na przykładzie Puszczy Noteckiej i Borów Tucholskich [The conditions of insect outbreak onset in primary outbreak foci on the example of the forest complexes Puszcza Notecka and Bory Tucholskie]. Sprawozdanie końcowe z realizacji tematu BLP-226 zleconego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych. Warszawa: IBL [in Polish].
- Kusiak, W. (2007). Program gospodarczo-ochronny dla Leśnego Kompleksu Promocyjnego Puszcza Notecka [The program of management and protection for the Promotional forest complex Puszcza Notecka]. Międzychód: Lasy Państwowe [in Polish].
- Kusiak, W., Dymek-Kusiak, A. (2002). Puszcza Notecka – monografia przyrodniczo-gospodarcza [Puszcza Notecka – a monograph of nature and management]. Poznań: Wyd. Przegląd Leśniczy [in Polish].
- Myers, J. H. (1998). Synchrony in outbreaks of forest Lepidoptera: a possible example of the Moran effect. *Ecology*, 79(3), 1111–1117. <https://doi.org/10.2307/176606>
- Odell, T. M., Godwin, P. A. (1984). Host selection by *Blepharipa pratensis* (Meigen), a tachinid parasite of the gypsy moth, *Lymantria dispar* L. *J. Chem. Ecol.*, 10(2), 311–320. <https://doi.org/10.1007/BF00987859>
- Peltonen, M., Liebhold, A. M., Bjørnstad, O. N., William, D. W. (2002). Spatial synchrony in forest insect outbreaks: roles of regional stochasticity and dispersal. *Ecology*, 83(11), 3120–3129. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[3120:SSIFIO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[3120:SSIFIO]2.0.CO;2)
- Perlińska, A., Hamera-Dzierżanowska, A. (2016). Gradacje szkodników pierwotnych sosny w Lasach Państwowych [Outbreaks of primary pine pests in the State Forests]. *Stud. Mat. Centr. Eduk. Przyr.-Leśn. Rogow.*, 18(46), 32–42.
- Prus-Głowacki, W., Sukovata, L., Lewandowska-Wosik, A., Nowak-Bzoway, R. (2015). Shikimate dehydrogenase (E.C. 1.1.1. 25 ShDH) alleles as potential markers for flowering phenology in *Pinus sylvestris*. *Dendrobiology*, 73, 153–162. <https://doi.org/10.12657/denbio.073.016>
- Stocki, J., Perz, S., Szwajkiewicz, J., Kolk, A., Sukovata, L., Lutyk, P., ..., Adamczewski, H. (2010). Ramowe zasady postępowania hodowlano-ochronnego w ogniskach gradacyjnych szkodników liściożernych sosny [Framework rules for silvicultural and protective measures in outbreak foci of pine foliophagous pests]. Warszawa: Lasy Państwowe [in Polish].
- Sukovata, L. (2010). Prognozowanie i ograniczanie występowania brudnicy mniszki *Lymantria monacha* L. (Lepidoptera, Lymantriidae) [Prediction and control of the nun moth *Lymantria monacha* L. (Lepidoptera, Lymantriidae)]. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Rozprawy i Monografie, nr 14*. Sękocin Stary: IBL [in Polish].
- Sukovata, L. (2022). Średnioterminowe prognozy początku gradacji brudnicy mniszki [Mid-term predictions of the nun moth outbreak onset]. W: Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce w 2022 roku. Sękocin Stary: Instytut Badawczy Leśnictwa [in Polish].
- Sukovata, J., Kolk, A. (2013). Fenologia sosny zwyczajnej a rozwój brudnicy mniszki [Phenology of Scots pine and the nun moth development]. W: D. Tomaszewski, A. M. Jagodziński (red.), *Materiały konferencji naukowej „Biologia i ekologia roślin drzewiastych” zorganizowanej przez Instytut Dendrologii PAN w Kórniku z okazji 80-lecia*. Kórnik (Polska), 21–23 października 2013 r. Kórnik-Poznań, Polska: Instytut Dendrologii PAN [in Polish].
- Sukovata, L., Kolk, A., Jaworski, T. (2009). Opracowanie metod hodowlano-ochronnych zwiększających odporność drzewostanów sosnowych Puszczy Noteckiej na żery foliofagów [Development of the silvicultural and protective measures enhancing resistance of pine stands in Puszcza Notecka to herbivory by defoliators]. Sprawozdanie końcowe z realizacji tematu BLP-314 zleconego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych. Sękocin Stary: IBL [in Polish].
- Sukovata, L., Kolk, A., Karolewski, P., Smolewska, M., Isidorov, V. (2010). Wpływ żerowania owadów liściożernych sosny na skład chemiczny w igliwiu, ściółce

- i glebie [Effect of the Scots pine defoliation by herbivorous insects on chemical composition of needles, litter and soil]. Sylwan, 154(9), 639–648 [in Polish].
- Sukovata, L., Kolk, A., Korczyński, I. (2015). Kryteria oceny potencjału gradacyjnego głównych foliofagów sosny jako podstawa do opracowania strategii postępowania ochronnego w zagrożonych drzewostanach [Criteria for assessing the outbreak potential of the major Scots pine defoliators as a basis for developing a forest protection strategy in the threatened pine stands]. Sprawozdanie końcowe z realizacji tematu BLP-365 zleconego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych. Sękocin Stary: IBL [in Polish].
- Sukovata, L., Tracz, W., Bałazy, R., Ciesielski, M., Lissy, M. (2019). Warunki środowiskowe charakteryzujące pierwotne ogniska gradacyjne barczatki sosnowki [Environmental conditions characterising primary outbreak foci of the pine-tree lappet moth]. Sprawozdanie końcowe z projektu 240328 realizowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach działalności statutowej. Sękocin Stary: IBL [in Polish].
- Szujewski, A. (1980). Ekologia owadów leśnych [Ecology of forest insects]. Warszawa: PWN [in Polish].
- Voroncov, A. I., Mozolevskaa, E. G., Sokolova, È. S. (1991). Tehnologiiã zašity lesa [Technology of forest protection]. Moskwa: Èkologiã [in Russian].
- Wallner, W. E. (1987). Factors affecting insect population dynamics: differences between outbreak and non-outbreak species. Ann. Rev. Entomol., 32, 317–340. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.32.010187.001533>
- Wellenstein, G. (1942). Zum Massenwechsel der Nonne. W: G. Wellenstein (red.), Die Nonne in Ostpreussen (s. 207–278). Berlin: Paul Parey.
- Zwölfer, W. (1935). Die Temperaturabhängigkeit der Entwicklung der Nonne (*Lymantria monacha* L.) und ihre bevölkerungswissenschaftliche Auswertung. Zeit. Angew. Entomol., 21(3), 333–384. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1935.tb00396.x>

OUTBREAKS OF THE PINE DEFOLIATORS IN THE PUSZCZA NOTECKA FOREST COMPLEX – HISTORY, PREDICTION AND PREVENTIVE MEASURES

ABSTRACT

The pine beauty moth outbreak in 1922–1924 led to the formation of a large complex of even-aged pine monocultures in the Puszcza Notecka forest complex, which are constantly exposed to outbreaks of different pine defoliators. Outbreaks occur in outbreak foci, which are most often divided into permanent, primary, secondary and migratory. Understanding the differences between them is important for their localization and determining the conditions triggering outbreaks, the possibilities of forecasting and counteracting. The collected databases for the period 1946–2004 enabled locating 45, 108, 204 and 554 permanent outbreak foci of the pine beauty moth, pine looper, pine-tree lappet moth and nun moth, respectively, in the Puszcza Notecka forest complex. The methodological assumptions adopted at that time were used for determining outbreak foci of the main pine defoliators in forests throughout the country. As a result of statistical analyses, the environmental characteristics of the outbreak foci of different foliophagous species and the conditions triggering their outbreaks were determined. A number of silvicultural and forest protection measures were proposed for preventing outbreaks and enhancing the resistance of the pine stands.

Keywords: *Panolis flammea*, *Lymantria monacha*, *Dendrolimus pini*, *Bupalus piniaria*, forest resistance, phenology

