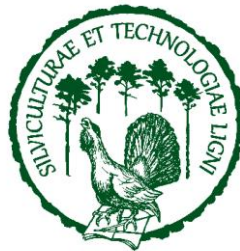


UNIwersytet PRZYRODniczy w POZNANIU



Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

WYDZIAŁ LEŚNY I TECHNOLOGII DREWNA
KATEDRA ENTOMOLOGII I FITOPATOLOGII LEŚNEJ



mgr inż. Zbigniew Filipek

**Rola czynników drzewostanowych w rozwoju gradacji
strzygoni choinówki (*Panolis flammea* Den. & Schiff.)**

The role of tree stand factors in the development of the
gradation of pine beauty moth (*Panolis flammea* Den. & Schiff.)

Autoreferat rozprawy doktorskiej

Praca doktorska wykonana pod kierunkiem
prof. UPP dra hab. Roberta Kuźmińskiego
w Katedrze Entomologii i Fitopatologii Leśnej

Poznań 2023

Spis treści:

1. WSTĘP	3
2. CEL I ZAKRES BADAŃ	4
3. METODYKA	5
3.1. Teren badań	5
3.2. Metody badań	5
3.2.1. Cechy drzewostanów gradacyjnych strzygoni choinówki	5
3.2.2. Ocena składu chemicznego igieł drzewostanów gradacyjnych strzygoni choinówki	7
3.2.3. Ocena wpływu wybranych czynników oporu naturalnego na ograniczenie populacji strzygoni choinówki w okresie zimowym	7
3.2.4. Analizy statystyczne	8
4. WYNIKI	9
4.1. Cechy drzewostanu i siedliska powierzchni gradacyjnych strzygoni choinówki na terenie badań	9
4.1.1. Typ siedliskowy lasu	9
4.1.3. Gleba leśna	10
4.1.4. Wiek drzewostanu	11
4.1.5. Wskaźnik zadrzewienia	11
4.1.6. Zwarcie	12
4.1.7. Bonitacja	12
4.1.8. Typ pokrywy runa leśnego	13
4.1.9. Wariant uwilgotnienia	13
4.2. Interakcje najważniejszych cech charakteryzujących drzewostany gradacyjne	14
4.2.1. Typ siedliskowy a wiek	14
4.2.2. Typ siedliskowy a zadrzewienie	15
4.3. Cechy drzewostanów gradacyjnych na podstawie metody <i>random forest</i>	16
4.4. „Model” drzewostanu gradacyjnego strzygoni choinówki	17
4.5. Skład chemiczny igieł drzewostanów gradacyjnych strzygoni choinówki	19
4.6. Czynniki oporu naturalnego ograniczające populację strzygoni choinówki w okresie zimowym	20
4.6.1. Redukcja liczebności szkodników pierwotnych zimujących w ściocie i glebie mineralnej przez czynniki biotyczne	20
4.6.2. Wpływ ujemnych temperatur na śmiertelność poczwerek strzygoni choinówki	21
4.6.3. Temperatury w miejscu zimowania poczwerek strzygoni choinówki	21
4.7. Optymalizacja rozmieszczenia partii kontrolnych	22
5. SPOSTRZEŻENIA I WNIOSKI	26

1. WSTĘP

Co jakiś czas na terenach leśnych dochodzi do masowego pojawów owadów, zwanych gradacjami. Są one zjawiskiem cyklicznym, które może dotyczyć zarówno gatunków określanych jako szkodniki pierwotne, jak również i wtórne.

W polskich realiach za najgroźniejsze uważa się związane z sosną zwyczajną (*Pinus sylvestris* L.) owady foliofagiczne, które mają tendencje do gradacyjnego występowania. Jednym z nich jest strzygonia choinówka (*Panolis flammea* Denis & Schiffermüller, 1775). Udowodniła to m.in. sto lat temu, gdy w trakcie gradacji w latach 1922 – 1924 zniszczyła olbrzymie obszary lasów na terenie Polski i Niemiec. Od tego wydarzenia jeszcze wielokrotnie dochodziło do masowych pojawów tego gatunku. W drugiej połowie XX wieku strzygonia choinówka występowała w różnym nasileniu na powierzchni niemal całego kraju [Śliwa, 1991], jednak gradacyjne występowanie tego foliofaga miało miejsce przede wszystkim na terenie północnej i zachodniej Polski [Śliwa, 1991; Śliwa i Olszewski, 1994; Filipek, 2020; Filipek i Kuźmiński, 2021]. Obszar ten jest zaliczany do strefy stałego i silnego zagrożenia ze strony strzygoni [Schnaider i Śliwa, 1966].

Powtarzające się szczególnie w tej części kraju gradacje *Panolis flammea* skłaniają do poszukiwania ich przyczyn i znalezienia odpowiedzi na pytanie, dlaczego pewne lokalizacje bardziej sprzyjają masowemu namnażaniu się tego szkodnika? Uzyskanie odpowiedzi na postawione pytanie może umożliwić bardziej skuteczne prognozowanie masowych pojawów strzygoni dzięki skoncentrowaniu prac prognostycznych przede wszystkim w drzewostanach najbardziej narażonych na jej gradacyjne występowanie. Tym samym byłaby możliwość wczesnego wykrycia narastającej gradacji i podjęcia z wyprzedzeniem odpowiednich czynności ograniczających nadmierny wzrost populacji gatunku.

Niniejsza praca jest próbą zdefiniowania czynników, które w warunkach Europy Środkowej mogą odgrywać istotną rolę dla masowego rozwoju strzygoni choinówki w drzewostanach sosnowych. Skupiono w niej uwagę na czynnikach charakteryzujących drzewostan i siedlisko. Wybrano drzewostany sosnowe, które znajdują się pod ciągłą presją strzygoni choinówki i w których co pewien czas dochodzi do masowego jej występowania. Dlatego też badania skoncentrowano na terenie Polski zachodniej i północnej, której lasy sosnowe znajdują się w tzw. łuku gradacyjnym występowania *Panolis flammea* w Polsce i w których wielokrotnie występowała ona masowo, powodując zamieranie tysięcy hektarów drzewostanów oraz konieczność prowadzenia chemicznych zabiegów ratowniczych. Na tej podstawie uzyskano opis drzewostanu, który w warunkach Polski, a być może także

i w warunkach Europy Środkowej, jest preferowany przez strzygonię jako miejsce rozrodu i mogą w nim powstawać pierwotne ogniska gradacyjne.

Identyfikacja tych obszarów dzięki określeniu najbardziej preferowanych przez strzygonię choinówkę drzewostanów może być pierwszym krokiem do opracowania strategii zarządzania tym gatunkiem. W obecnych czasach, gdy pojawia się coraz więcej problemów ze stosowaniem środków ochrony roślin i wiele insektycydów jest wycofywanych z użycia, jest to jedno z najważniejszych wyzwań, z jakim muszą zmierzyć się leśnicy.

2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Aby określić czynniki, które mogą mieć istotny wpływ na strzygonię choinówkę i sprzyjają jej masowemu namnażaniu się, podjęto próbę określenia cech charakteryzujących najbardziej zagrożone przez strzygonię drzewostany. W tym celu przyjęto następujące hipotezy badawcze:

- wśród drzewostanów sosnowych północno-zachodniej i zachodniej Polski, czyli znajdujących się w tzw. łuku gradacyjnym szkodnika, znajdują się takie, które są wyjątkowo korzystne dla rozwoju strzygoni choinówki,
- drzewostany te stanowią pierwotne ogniska gradacyjne i dochodzi tam do intensywnego namnażania się gatunku,
- drzewostany te charakteryzują się pewnymi cechami wspólnymi,
- na tym obszarze w drzewostanach sosnowych czynniki oporu naturalnego nie odgrywają istotnej roli i nie są w stanie ograniczyć rozwoju populacji strzygoni choinówki.

3. METODYKA

3.1. Teren badań

Badania skoncentrowano na obszarze ośmiu regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych (RDLP), które znajdują się w zasięgu tzw. łuku gradacyjnego szkodników pierwotnych sosny. Są to RDLP w: Gdańsku, Pile, Poznaniu, Szczecinku, Szczecinie, Toruniu, Wrocławiu i Zielonej Górze.

3.2. Metody badań

3.2.1. Cechy drzewostanów gradacyjnych strzygoni choinówki

Do analiz wykorzystano dane znajdujące się w Systemie Informatycznym Lasów Państwowych (SILP). W celu określenia jakie drzewostany są preferowane przez strzygonię choinówkę i mogą sprzyjać jej masowemu rozwojowi, oparto się na cechach drzewostanowo-siedliskowych. Wybrano adresy leśne w których dochodziło do masowych pojawów strzygoni choinówki na terenie Lasów Państwowych w latach 1998–2019. Pierwszym krokiem było wygenerowanie danych z Modułu ewidencji danych adresów leśnych (oddziałów) zaewidencjonowanych w bazie SILP w raporcie „*Obszary gradacyjne – zestawienie gatunków*” dla strzygoni choinówki.

Wyjściową bazę danych stanowiło 30 145 oddziałów, które znalazły się w ww. raporcie. W jego skład weszły drzewostany o różnym stopniu zagrożenia. Od obszarów z zagrożeniem słabym (+) i bez przeprowadzonych zabiegów ratowniczych poprzez zagrożenie średnie (++) i silne (+++) bez zabiegów, aż do drzewostanów o zagrożeniu silnym i z przeprowadzonymi zabiegami.

Podejmując próbę określenia roli czynników drzewostanowych, które miały wpływ na rozwój gradacji strzygoni choinówki, podjęto decyzję o zawężeniu bazy danych i ograniczeniu liczby obiektów poddanych analizie. W związku z tym wprowadzono dodatkowe kryteria, a mianowicie:

- I. w oddziale (według raportu SILP) znajduje się drzewostan (pododdział) i na jego obszarze aktualnie zlokalizowana jest partia kontrolna jesiennych poszukiwań szkodników pierwotnych sosny (JSPSPS). Dzięki temu uzyskano dokładną lokalizację drzewostanu wraz z opisem taksacyjnym,
- II. w wyniku JSPSPS stwierdzono zagrożenie silne (+++), potwierdzone nadzwyczajnymi kontrolami wiosennymi (na podstawie liczby jaj oraz gąsienic w stadiach L₁ i L₂),

III. na powierzchniach przeprowadzono zabiegi agrolotnicze ograniczające występowanie populacji owada.

Dzięki zastosowaniu powyższych kryteriów liczba obiektów (drzewostanów) do dalszych analiz zmniejszyła się do 854 wydzielen, co stanowiło 2,8% z ogółu wszystkich adresów leśnych (tab. 1).

Tabela 1. Zestawienie liczby adresów leśnych w analizowanych rdLP

RDLP	Ogółem adresów leśnych (oddziałów)	Adresy leśne spełniające kryteria	Procentowy udział adresów spełniających kryteria z ogółu	Udział procentowy adresów w analizowanej próbie
Gdańsk	1862	8	0,4	1
Piła	4179	84	2,0	10
Poznań	1908	110	5,8	13
Szczecin	1655	9	0,5	1
Szczecinek	1337	24	1,8	3
Toruń	10586	228	2,2	27
Wrocław	1232	17	1,4	2
Zielona Góra	7386	374	5,1	43
RAZEM	30145	854	2,8	100

W analizie uwzględniono następujące elementy opisu taksacyjnego drzewostanu:

- a) typ siedliskowy lasu,
- b) stan siedliska leśnego,
- c) cechy gleby leśnej takie, jak: gatunek gleby, podtyp gleby, wariant uwilgotnienia,
- d) wiek drzewostanu w roku zabiegu ograniczania liczebności owadów, w rozbiciu na podklasy wieku,
- e) wskaźnik zadrzewienia,
- f) zwarcie,
- g) bonitacja,
- h) typ pokrywy runa leśnego.

Założono, że elementy opisu taksacyjnego są w miarę stabilnymi elementami drzewostanu i w analizowanym okresie 22 lat nie uległy istotnym zmianom. Przyjęto ich stan na dzień 01.01.2020 r. Pozwoliło to na sprawne zestawienie i przeanalizowanie 854 opisów taksacyjnych wydzielen leśnych zlokalizowanych na obszarze 47 nadleśnictw.

3.2.2. Ocena składu chemicznego igieł drzewostanów gradacyjnych strzygoni choinówki

Celem sprawdzenia, czy warunki glebowe których odzwierciedleniem jest skład chemiczny igieł mogą mieć wpływ na masowe występowanie strzygoni choinówki, pobrano próby w postaci uiglonych świeżych pędów z koron sosen z drzewostanów w których strzygonia choinówka wykazuje tendencje do masowego występowania (Nadleśnictwo Torzym, RDLP w Zielonej Górze) i drzewostanów kontrolnych (Nadleśnictwo Sulęcín, RDLP w Szczecinie), charakteryzujących się takimi samymi warunkami siedliskowo-drzewostanowymi, ale położonymi poza obszarem występowania strzygoni choinówki, jednak w możliwie najbliższej odległości od drzewostanów gradacyjnych.

Analizy składu chemicznego igieł zostały przeprowadzone w Katedrze Chemii Wydziału Leśnego i Technologii Drewna Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

3.2.3. Ocena wpływu wybranych czynników oporu naturalnego na ograniczenie populacji strzygoni choinówki w okresie zimowym

3.2.3.1. Ocena redukcji populacji szkodników pierwotnych sosny zimujących w ściole i glebie mineralnej

Badania dotyczące określenia wielkości redukcji populacji w trakcie zimowego spoczynku owadów rozszerzono o najważniejsze szkodniki pierwotne sosny, których stadia zimę spędzają pod ściolą. Oprócz strzygoni w doświadczeniu uwzględniono poprocha cetyniaka *Bupalus piniaria*, zawisaka borowca *Hyloicus pinastri*, boreczniki *Diprion* spp., oraz osnuję gwiazdzistą *Acantholyda posticalis*. Badania przeprowadzono na terenie Puszczy Noteckiej, w Nadleśnictwie Sarbia i Nadleśnictwie Oborniki.

Poletka doświadczalna zlokalizowano w miejscach silnie zagrożonych przez strzygonię choinówkę i brudnicę mniszkę. Wybrano dwie powierzchnie na siedlisku Bśw z sosną w wieku 60 lat i 83 lata oraz powierzchnię na LMśw z dominującą sosną w wieku 60 lat. Powierzchnię kontrolną ulokowano poza strefą zagrożenia od szkodników pierwotnych. Wybrano drzewostan sosnowy na siedlisku Bśw z sosną w wieku 60 lat.

Założone doświadczenie pozostawiono na okres dwóch miesięcy (od III dekady grudnia do III dekady lutego). Po tym okresie przeprowadzono kontrolę doświadczenia. Sprawdzone obecność owadów, ich stan oraz w razie możliwości określano sprawców uszkodzeń.

3.2.3.2. Ocena wpływu temperatury na śmiertelność poczwarek strzygoni choinówki

Doświadczenia dotyczące oceny możliwości zamierania poczwarek strzygoni choinówki pod wpływem temperatur ujemnych wykonano w laboratorium Katedry Entomologii Leśnej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Przed przystąpieniem do badań sprawdzono żywotność poczwarek i podzielono je na dwie grupy, z których jedną stanowiły poczwarki samic, a drugą samców. Z każdej z tych grup wybrano losowo po 10 okazów, które po określeniu ich cech biometrycznych były poddawane badaniom. Do pomiaru punktu przechłodzenia (SCP – supercooling point), wykorzystano termopary typu T (miedź i konstantan), podłączone do urządzenia pomiarowo-rejestrującego Omega OMB-DAQ-56. Poczwarki podłączone do termopar urządzenia i umieszczano w zamrażarce o temperaturze pokojowej, a następnie następowało stopniowe ochładzanie urządzenia.

Długość poczwarek określono przy pomocy suwmiarki elektronicznej, natomiast ich masę za pomocą wagi laboratoryjnej Adventurer Pro firmy OHAUS.

3.2.4. Analizy statystyczne

Analizy statystyczne wykonano za pomocą oprogramowania TIBCO Software Inc. (2017), Statistica (data analysis software system), version 13. <http://statistica.io>.

Wybrane do analizy wskaźniki i cechy drzewostanowo-siedliskowe miały różny charakter. Wiek i wskaźnik zadrzewienia to zmienne ilościowe, natomiast pozostałe (typ siedliskowy lasu, stan siedliska leśnego, cechy gleby, zwarcie, bonitacja i typ pokrywy runa leśnego) to zmienne jakościowe. W związku z powyższym, w przypadku cech ilościowych ich analiza statystyczna objęła badanie normalności rozkładu (Test Shapiro-Wilka, Kołmogorowa-Smirnowa) oraz w zależności od wyników testowania rozkładu danej cechy, obliczenie podstawowych statystyk opisowych. W przypadku rozkładu normalnego cechy – średnia, odchylenie standardowe, błąd standardowy. W przypadku innego rozkładu danej cechy – mediana, 25% mediany i 75% mediany. Z uwagi na brak rozkładu normalnego analizowanej cechy wnioskowanie statystyczne oparto na nieparametrycznej ANOVA, czyli teście kolejności rang Kruskala-Wallisa.

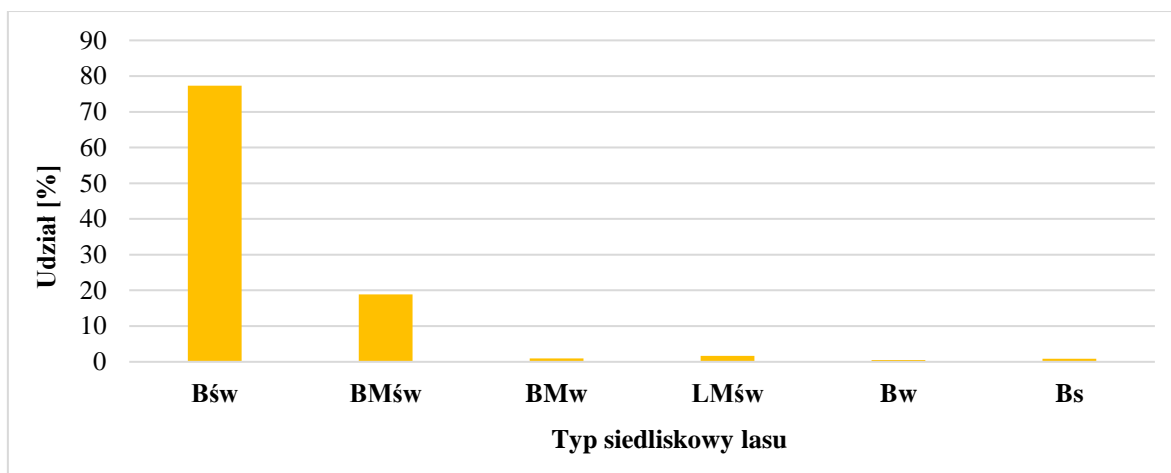
Cechy jakościowe scharakteryzowano za pomocą frekwencji poszczególnych stanów danej cechy (tabele liczości).

4. WYNIKI

4.1. Cechy drzewostanu i siedliska powierzchni gradacyjnych strzygoni choinówki na terenie badań

4.1.1. Typ siedliskowy lasu

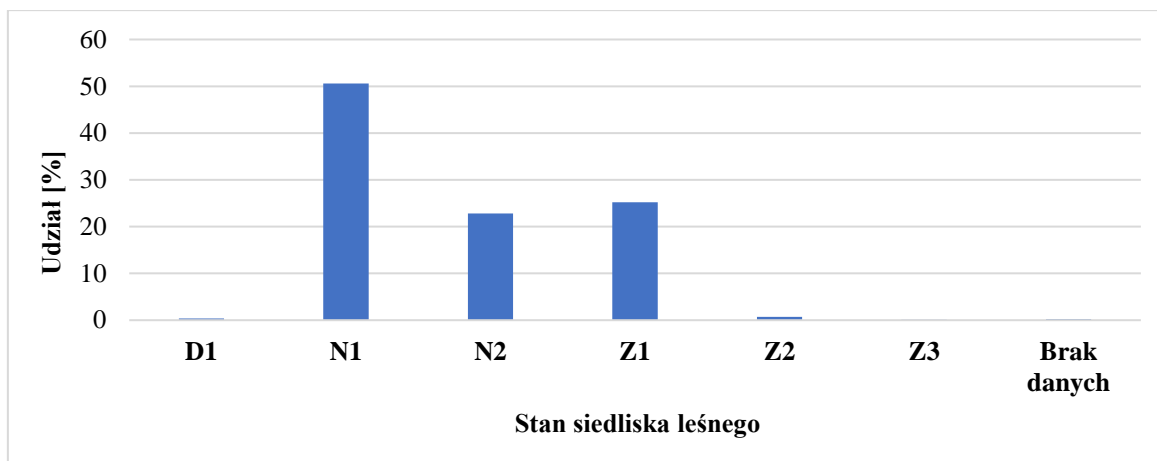
Na podstawie przeprowadzonej analizy 854 opisów taksacyjnych drzewostanów, które spełniały założone w metodyce kryteria stwierdzono, że najczęściej występującym typem siedliskowym lasu (TSL), na którym dochodziło do gradacyjnego występowania strzygoni był Bśw (660 wydzieleń leśnych - 77% obserwacji). Drugim pod względem częstości występowania był bór mieszany świeży BMśw - 161 wydzieleń (19%). Pozostałe siedliska: Bs, Bw, BMw i LMśw stanowiły tylko niespełna 4% (33 wydzielania) analizowanych adresów leśnych (ryc. 1).



Ryc. 1. Typy siedliskowe lasu na powierzchniach gradacyjnych strzygoni choinówki

4.1.2. Stan siedliska leśnego

Oceniając stan siedlisk drzewostanów najbardziej zagrożonych przez strzygonię choinówkę stwierdzono, że siedliska naturalne (N1) i zbliżone do naturalnych (N2) wystąpiły łącznie w 627 adresach leśnych, co stanowi 73% obserwacji. Frekwencja siedlisk naturalnych (N1) wyniosła 51% (432 adresy), a zbliżonych do naturalnych (N2) 23% (195 adresów). Siedliska zniekształcone (Z1, Z2 i Z3) stanowiły 26% (222 wydzielania), w tym: siedliska zniekształcone Z1 – 215 adresów leśnych (25%), silnie zniekształcone Z2 – 6 adresów leśnych (0,7%) i siedliska przekształcone (Z3) – 1 adres leśny. Siedlisko zdegradowane (D1) stwierdzono w trzech wydzielaniach. Dla dwóch adresów leśnych nie podano stanu siedliska (ryc. 2).

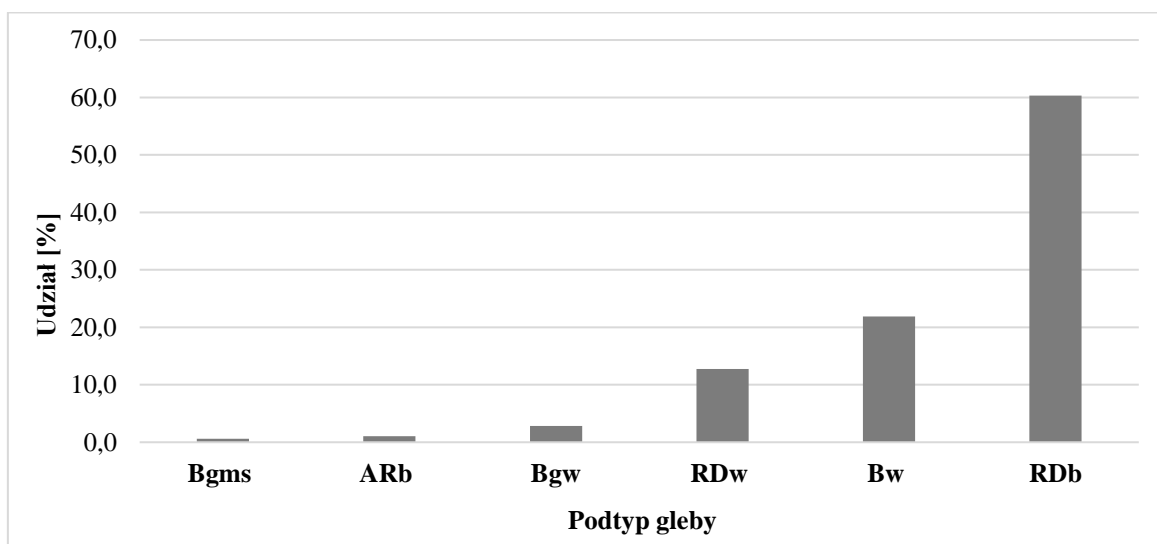


Ryc. 2. Klasy stanu siedliska powierzchni gradacyjnych strzygoni choinówki

4.1.3. Gleba leśna

Łącznie w analizowanej bazie danych odnotowano 11 podtypów gleb. Pięć z nich: kulturoziemy leśne (Akl), brunatne kwaśne (BRk), gruntowoglejowe właściwe (Gw), gleby industrioziemne i urbanoziemne (AU_i), arenosole inicjalne (AR_i) wystąpiło tylko pojedynczo, kolejne dwa: glejowo-bielicowe właściwe (Bg_{ms}) i arenosole bielicowane (AR_b) stwierdzono w nie więcej niż w 10 wydzieleniach.

Najliczniej reprezentowane były gleby rdzawe (73% obserwacji) i bielicowe (22% obserwacji). Wśród gleb rdzawych najliczniejsze były rdzawe bielicowe RD_b (515 wydzieleń; 60% udział w bazie). Udział gleb bielicowych właściwych (Bw) to 22%, natomiast rdzawych właściwych (RD_w) 13% (ryc. 3).

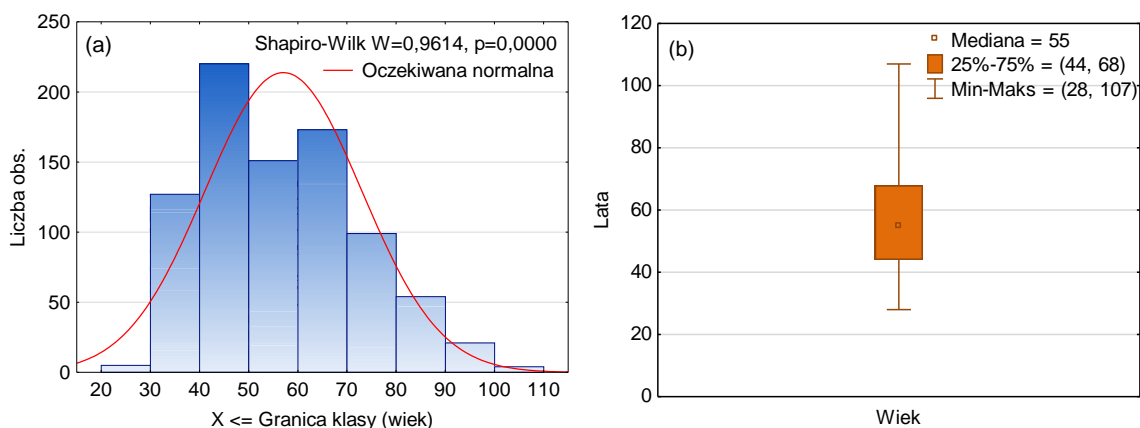


Ryc. 3. Podtypy gleby powierzchni gradacyjnych strzygoni choinówki

4.1.4. Wiek drzewostanu

Analizę przeprowadzono w oparciu o opisy taksacyjne przyjmując wiek drzewostanu z roku wykonania agrolotniczych zabiegów ratunkowych z wykorzystaniem środków ochrony roślin dopuszczonych do stosowania w leśnictwie w danym roku.

Wiek tych drzewostanów zawierał się w przedziale 28-107 lat. Najliczniej reprezentowane były drzewostany III klasy wieku - 379 wydzielen leśnych, co stanowi 44% obserwacji w analizowanej bazie danych, w tym IIIa klasa wieku – 226 adresów leśnych (26% obserwacji). Zmienna wiek nie posiadała rozkładu normalnego ($W=0,96139$; $p=0,000001$). Mediana badanego zbioru danych wyniosła 55 lat, co wskazuje na preferowanie przez strzygonię choinówkę drzewostanów IIIa klasy wieku (ryc. 4 a, b).

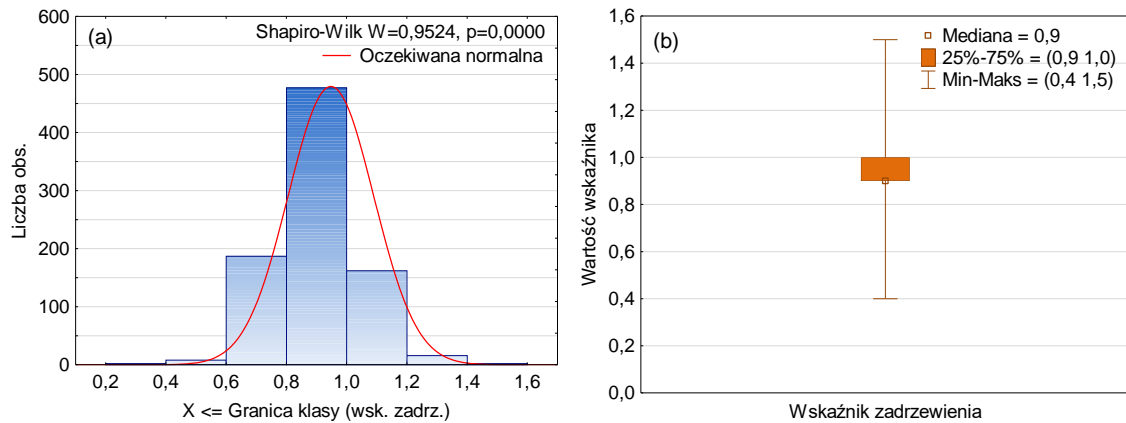


Ryc. 4. Podstawowe statystyki cechy „wiek” – rozkład (a) i mediana (b)

4.1.5. Wskaźnik zadrzewienia

W analizowanej bazie danych rozpiętość tego wskaźnika była bardzo szeroka i osiągała wartości od 0,4 do 1,5 (ryc. 5). Dla większości drzewostanów wartość wskaźnika zadrzewienia znajdowała się w przedziale 0,9 - 1,0 (56% wszystkich obserwacji). Pozostałe, liczniej reprezentowane wartości tego wskaźnika to 0,8 i 1,1, które stanowiły odpowiednio 16% i 14% obserwacji. Łącznie w analizowanej bazie danych drzewostany, których wskaźnik zadrzewienia zawierał się w przedziale 0,8 - 1,1 stanowiły łącznie 86%.

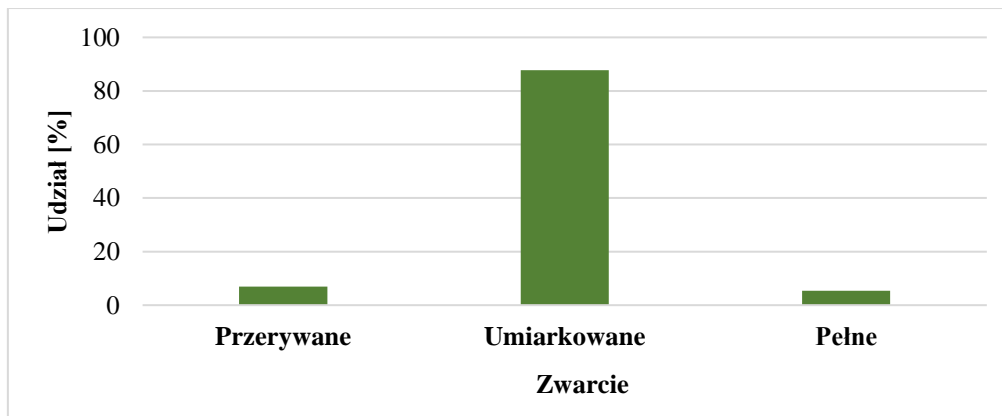
Zmienna wskaźnik zadrzewienia nie posiada rozkładu normalnego ($W=0,95242$; $p=0,000001$). Mediana badanego zbioru danych wyniosła 0,9. Wskazuje to, że strzygonia choinówka preferuje drzewostany bardziej zwarte i o wyższej zasobności, zbliżonej do optymalnej.



Ryc. 5. Podstawowe statystyki cechy „wskaźnik zdrzewienia” – rozkład (a) i mediana (b)

4.1.6. Zwarcie

Zdecydowana większość (88%) objętych analizą drzewostanów, tj. 749 adresów leśnych charakteryzowała się zwarcie umiarkowanym UM (ryc. 6), co wskazuje że między koronami drzew w drzewostanie istnieją wąskie wolne przestrzenie, a runo leśne pokrywa dno lasu większymi lub mniejszymi płatami roślinności.

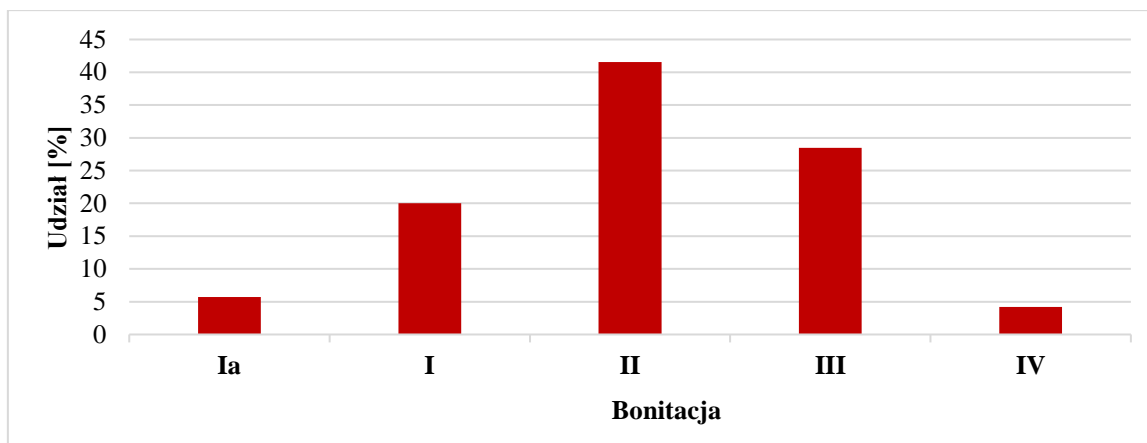


Ryc. 6. Zwarcie drzewostanów gradacyjnych strzygoni choinówki

4.1.7. Bonitacja

W analizowanej bazie danych wystąpiły prawie wszystkie klasy bonitacji za wyjątkiem klasy V. Najliczniej reprezentowana była II klasa bonitacji – 42% (355 adresów leśnych). Licznie były również drzewostany III klasy bonitacji – 28% przypadków (243 adresy leśne) oraz II klasy (20% udział w bazie).

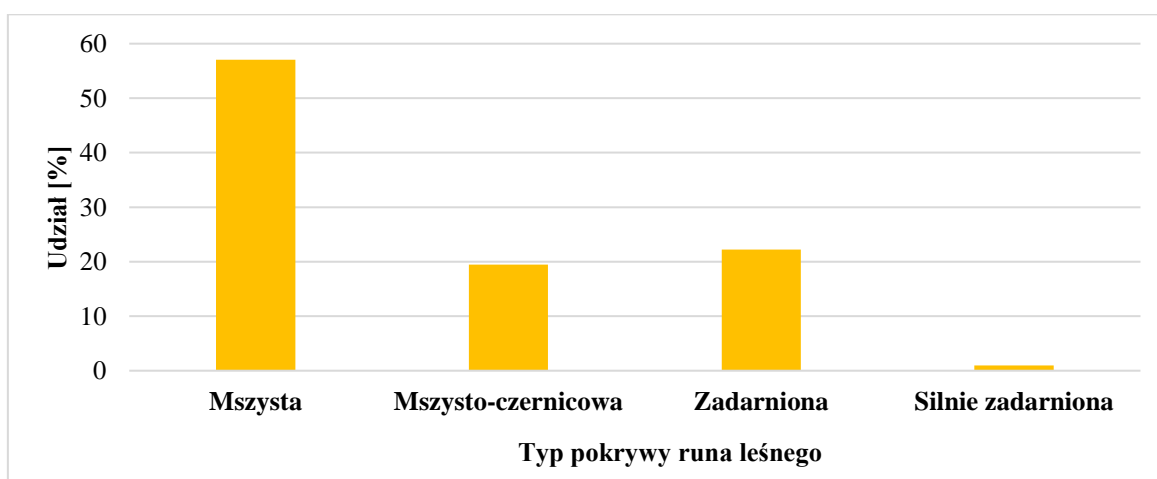
Dwie najliczniej reprezentowane klasy bonitacji (II i III) łącznie stanowiły 70% udział w analizowanej bazie drzewostanów gradacyjnych strzygoni (ryc. 7).



Ryc. 7. Frekwencja występowania klas bonitacji wśród drzewostanów gradacyjnych strzygoni choinówki

4.1.8. Typ pokrywy runa leśnego

Najczęściej gradacja strzygoni choinówki dotyczyła drzewostanów o pokrywie mszystej (MSZ). Taka pokrywa występowała w 57% analizowanych drzewostanów (487 adresów leśnych, ryc. 8).



Ryc. 8. Frekwencja występowania typu pokrywy runa leśnego w drzewostanach gradacyjnych strzygoni choinówki

Pozostałe dwa typy pokrywy, które licznie występowały w analizowanej bazie to: zadarniony (ZAD) i mszysto-czernicowy (MSZC). Stanowiły one łącznie blisko 42% przypadków. Ścioła i silne zachwaszczona pokrywa występowały bardzo rzadko. Ich łączny udział nie przekroczył 1%.

4.1.9. Wariant uwilgotnienia

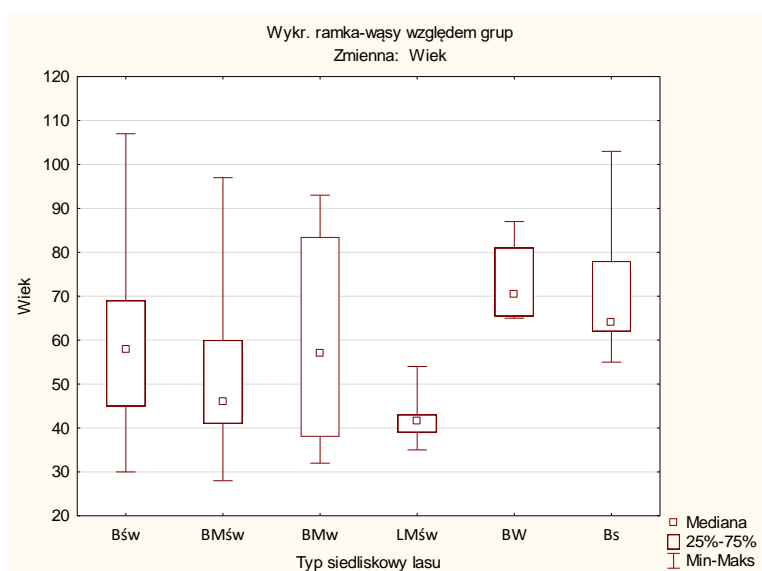
W analizowanej bazie najliczniej reprezentowany był wariant świeży, który występował na 92% analizowanych wydzieleń.

4.2. Interakcje najważniejszych cech charakteryzujących drzewostany gradacyjne

Przeprowadzona analiza wykazała, że do gradacji strzygoni dochodzi najczęściej w drzewostanach sosnowych na siedlisku Bśw i BMśw (96% przypadków). Dlatego uznano typ siedliskowy lasu za cechę wiodącą i sprawdzono jak pozostałe cechy opisujące drzewostan i siedlisko powierzchni gradacyjnych strzygoni choinówki kształtują się w zależności od typu siedliskowego lasu.

4.2.1. Typ siedliskowy a wiek

Stwierdzono, że wiek drzewostanów, w których dochodzi do masowego występowania strzygoni jest zróżnicowany i uzależniony od siedliska (ryc. 9). Najmłodsze drzewostany które dotknęła gradacja strzygoni były w wieku 28 lat na siedlisku BMśw, z kolei najstarsze to 107-letnie drzewostany na siedlisku Bśw.



Ryc. 9. Wiek drzewostanów gradacyjnych strzygoni choinówki w zależności od siedliska

Przeprowadzone analizy wykazały, że występują statystycznie istotne różnice w rozkładzie wieku pomiędzy analizowanymi siedliskami ($p \leq 0,05$). Statystycznie istotne różnice wykazano między Bśw, a BMśw ($p=0,0000$) oraz między Bśw, a LMśw ($p=0,0004$). Szczególnie interesujące są różnice między dwoma najliczniej reprezentowanymi siedliskami (Bśw i BMśw), będącymi równocześnie typowymi siedliskami borów sosnowych. Drzewostany na siedlisku Bśw stanowiły ponad 77% udział w analizowanej bazie, a łącznie z BMśw udział obu siedlisk przekraczał ponad 96%.

Na Bśw najczęściej do gradacji strzygoni dochodziło w drzewostanach w wieku 58 lat, z kolei na BMśw w wieku 46 lat. W stosunku do pozostałych typów siedliskowych lasu mediana kształtowała się następująco: LMśw 42 lata, BMw 57 lat, Bs 64 lata i Bw 71 lat.

Jednak z uwagi na niewielką reprezentację tych siedlisk w analizowanej bazie danych, uzyskane wyniki nie pozwalają powiązać wieku z żyznością i uwilgotnieniem tych siedlisk.

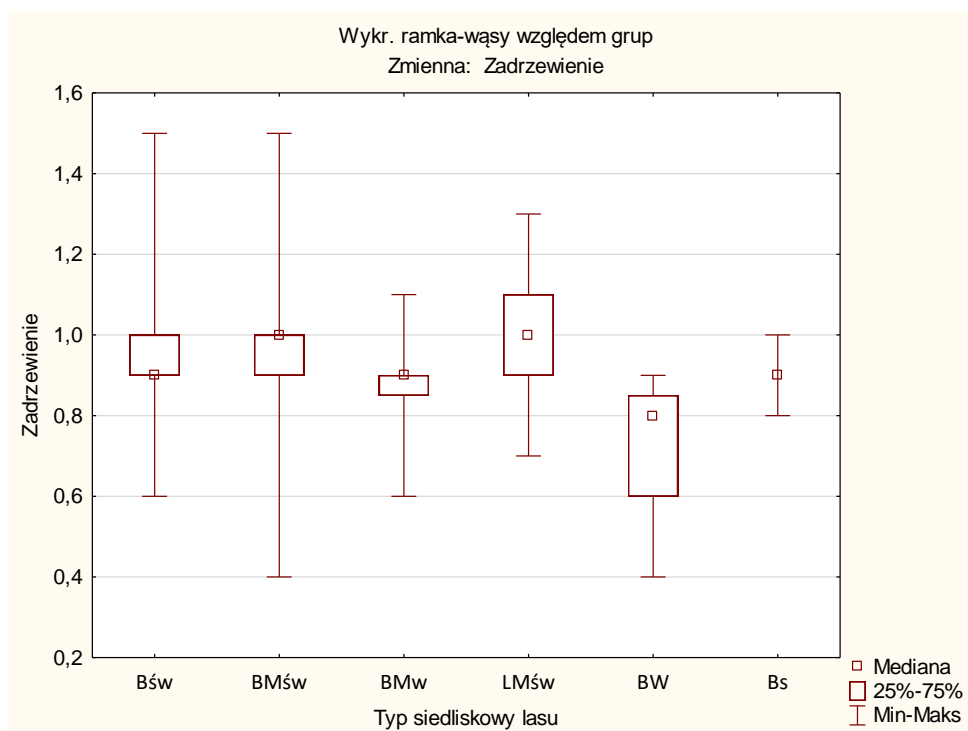
Uzyskane wyniki mogą zostać wykorzystane w aktualizacji partii kontrolnych w drzewostanach sosnowych rosnących na siedliskach Bśw i BMśw.

4.2.2. Typ siedliskowy a zadrzewienie

Ocena zależności między wskaźnikiem zadrzewienia, a typem siedliskowym lasu drzewostanów, w których występowała gradacja strzygoni choinówki wykazała, że występuje istotna statystycznie różnica w rozkładach wartości zadrzewienia pomiędzy analizowanymi siedliskami.

Dla praktyki ochrony lasu ważna jest zależność między typem siedliskowym lasu, a zadrzewieniem na siedliskach najliczniej reprezentowanych, czyli na Bśw i BMśw. Z uwagi na marginalną reprezentację pozostałych siedlisk wynoszącą niespełna 4%, zależność między czynnikiem zadrzewienia, a tymi typami siedliskowymi nie odgrywa znaczącej roli w gospodarce leśnej.

Stwierdzono, że na siedlisku Bśw najczęściej dochodziło do masowego występowania strzygoni w drzewostanach których wskaźnik zadrzewienia wynosił 0,9, a w przypadku BMśw w drzewostanach o zadrzewieniu 1,0 (ryc. 10).



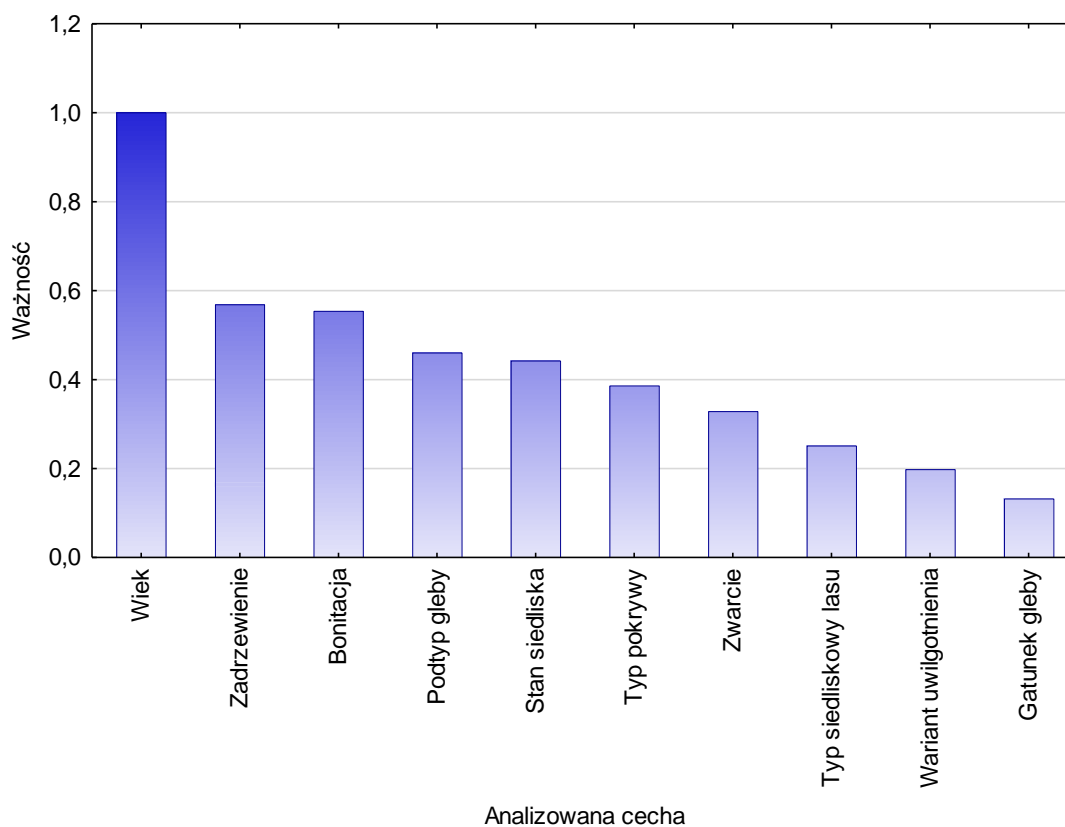
Ryc. 10. Zadrzewienie drzewostanów gradacyjnych strzygoni choinówki w zależności od siedliska

W przypadku pozostałych siedlisk wartość wskaźnika zadrzewienia kształtowała się w granicach od 0,8-1,0.

4.3. Cechy drzewostanów gradacyjnych na podstawie metody *random forest*

Wyniki analizy wytypowanych drzewostanów z zagrożeniem silnym (+++) i wykonywanymi zabiegami (854 adresów leśnych) porównano z 367 adresami leśnymi zlokalizowanymi na terenie regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych w: Pile (88 adresów), Gdańsku (29), Poznaniu (19), Toruniu (103) i Zielonej Górze (128), w których w latach 2016 – 2021 stwierdzano zagrożenie słabe (+) i średnie (++) oraz nie były prowadzone zabiegi ratownicze. Stanowiły one bazę porównawczą pozwalającą określić istotność wpływu analizowanych cech drzewostanowo-siedliskowych w zależności od poziomu zagrożenia.

Analiza statystyczna uzupełnionej bazy danych (o dodatkowe 367 adresów) za pomocą metody *random forest* (zadanie klasyfikacyjne) wykazała, że na zagrożenie drzewostanów sosnowych przez strzygonię choinówkę najsilniej wpływa ich wiek (ranga 100), zadrzewienie (ranga 59), bonitacja (ranga 57) i podtyp gleby (ranga 54, - ryc. 11).



Ryc. 11. Wpływ analizowanych cech drzewostanowych i siedliskowych na zagrożenie ze strony strzygoni choinówki

Istotną zależność pomiędzy wiekiem i stopniem zagrożenia stwierdzono przede wszystkim dla zagrożenia silnego oraz wieku drzewostanów w zakresie 30-80 lat. W tym przedziale wiekowym stwierdzono systematyczny wzrost zagrożenia do ok. 50-60 lat, a następnie jego stopniowy spadek. Kulminacyjne silne zagrożenie (+++) przypada na wiek 41-55 lat.

Drugą ważną z punktu widzenia zagrożenia ze strony strzygoni choinówki cechą jest zadrzewienie. Nie stwierdzono co prawda związku istotnego statystycznie, niemniej jednak wraz ze wzrostem zadrzewienia (w przedziale 0,6-1,0) odnotowano stopniowy wzrost zagrożenia (zwłaszcza silnego). Dla zadrzewienia przekraczającego 1,0 następował natomiast jego systematyczny spadek.

Trzecią cechą istotnie wpływającą na zagrożenie ze strony strzygoni choinówki była bonitacja. Stwierdzono, że wraz z obniżaniem się bonitacji (od Ia do II) zagrożenie drzewostanów najpierw wzrasta, osiągając kulminację dla II bonitacji, a następnie (od II do IV) stopniowo spada.

Ostatnią cechą charakteryzującą się wysoką rangą wpływu (przekraczającą 50) był podtyp gleby. Również w tym przypadku nie stwierdzono istotnego wpływu tej cechy na poziom zagrożenia ze strony strzygoni choinówki. Najliczniej reprezentowane w poszczególnych stopniach zagrożenia (zwłaszcza silnego) były gleby rdzawe bielcowe (RDb). Następnie gleby brunatne wyługowane i kwaśne (Bw) i rdzawe właściwe (RDw).

W wyniku tabelarycznego zestawienia powyższych cech drzewostanowych otrzymano opis taksacyjny drzewostanu potencjalnie najbardziej zagrożonego gradacyjnym wystąpieniem strzygoni choinówki (tab. 2).

Tabela 2. Cechy drzewostanu potencjalnie zagrożonego gradacją strzygoni choinówki według metody *random forest*

Wiek	TSL	Bonitacja	Zadrzewienie	Zwarcie	Stan siedliska leśnego	Podtyp gleby	Pokrywa gleby
41-55	Bśw	II	0,9 - 1,0	Umiarkowane	N1	gleby rdzawe bielcowe	mszysta

4.4. „Model” drzewostanu gradacyjnego strzygoni choinówki

Na podstawie analizy parametrów charakteryzujących powierzchnie gradacyjne strzygoni choinówki, które były objęte zabiegami chemicznymi, stworzono opis drzewostanu sosnowego potencjalnie najczęściej narażonego na gradacyjne wystąpienie

tego szkodnika pierwotnego i wymagającego przeprowadzenia zabiegów ochronnych. Taki drzewostan może stanowić miejsce powstania pierwotnego ogniska gradacyjnego.

W ujęciu ogólnym jest to drzewostan sosnowy na borze świeżym, w IIIa klasie wieku, II bonitacji, o zwarcie umiarkowanym, zadrzewieniu 0,9-1,0 i mszystej pokrywie gleby, rosnący na glebach rdzawych bielcowych i o naturalnym stanie siedliska (tab. 3).

Tabela 3. Parametry drzewostanu potencjalnie najbardziej narażonego na występowanie strzygoni choinówki

Gatunek panujący	Wiek	TSL	Bonitacja	Zadrzewienie	Zwarcie	Stan siedliska leśnego	Podtyp gleby	Pokrywa gleby
So	55	Bśw	II	0,9 - 1,0	Umiarkowane	N1	gleby rdzawe bielcowe	mszysta

Przedstawiony powyżej opis „drzewostanu gradacyjnego” – potencjalnie najbardziej zagrożonego gradacyjnym występowaniem strzygoni choinówki zestawiono z opisami wydziełów, które najczęściej były dotknięte masowym pojawem strzygoni w ramach rdLP. Analizując z osobna poszczególne regionalne dyrekcje Lasów Państwowych stwierdzono pewne różnice (tab. 4). Wiek tych drzewostanów mieści się w przedziale 41-80 lat, bonitacja od I do III, a zadrzewienie od 0,8 do 1,0. Rosną one zawsze na siedlisku Bśw, przeważnie w zwarcie umiarkowanym, na glebach rdzawo-bielcowych z pokrywą mszystą.

Tabela 4. Parametry drzewostanu najczęściej narażonego na występowanie strzygoni choinówki w zależności od rdLP

Lp.	RDLP	Gatunek	Wiek	TSL	Bonitacja	Zadrzewienie	Zwarcie	Stan siedliska leśnego	Podtyp gleby	Pokrywa gleby
1	Zielona Góra	So	41-50	Bśw	II	1	Umiarkowane	N2	gleby rdzawe bielcowe	mszysta
2	Wrocław	So	41-50	Bśw	II	0,8	Umiarkowane	N1	gleby rdzawe bielcowe	mszysto-czernicowa
3	Szczecin	So	41-50	Bśw	I	1	Umiarkowane	Z1	gleby rdzawe bielcowe	zadarniona
4	Poznań	So	61-70	Bśw	III	0,8 - 0,9	Umiarkowane	N1	bielcowe właściwe	mszysta
5	Piła	So	51-60; 71-80	Bśw	III	1	Umiarkowane	N1	bielcowe właściwe	mszysta
6	Gdańsk	So	61-70	Bśw	II	0,8 - 0,9	Umiarkowane	N1;Z1	gleby rdzawe bielcowe	mszysta
7	Toruń	So	61-70	Bśw	II	0,9	Umiarkowane	N1	gleby rdzawe bielcowe	zadarniona
8	Szczecinek	So	41-50	Bśw	III	0,8 - 0,9	Umiarkowane	Z1	gleby rdzawe bielcowe	mszysta

Ogólny opis drzewostanu zagrożonego masowym występowaniem strzygoni choinówki (tab. 3) został potwierdzony wynikami analizy rozszerzonej bazy danych (o drzewostany zagrożone w stopniu średnim i słabym) za pomocą metody *random forest*. Uzyskany w jej wyniku opis najbardziej zagrożonego drzewostanu różni się jedynie zakresem wieku drzewostanów sosnowych od opisu uzyskanego na podstawie analizy bazy lasów najbardziej zagrożonych (+++). Metodą *random forest* wykazano, że najbardziej zagrożone są drzewostany w wieku 41-55 lat.

Opierając się na wynikach uzyskanych z analizy drzewostanów najbardziej zagrożonych (+++), wynikach otrzymanych z analizy bazy rozszerzonej za pomocą metody *random forest* i zależności wieku zagrożonych drzewostanów od siedliska, stworzono dla praktyki ochrony lasu opis drzewostanów, które mogą być szczególnie zagrożone przez strzygonię choinówkę (tab. 5).

Tabela 5. Parametry drzewostanów potencjalnie najbardziej narażonych na występowanie strzygoni choinówki – ujęcie praktyczne

Gatunek panujący	Wiek	TSL	Bonitacja	Zadrzewienie	Zwarcie	Stan siedliska leśnego	Podtyp gleby	Pokrywa gleby
So	40-60	Bśw, BMśw	II (I-III)	0,9 - 1,0	Umiarkowane	N1	gleby rdzawe bielicowe	mszysta

Przedstawiony powyżej opis drzewostanu może być wykorzystany w praktyce ochrony lasu do wyznaczania partii kontrolnych jesiennych poszukiwań szkodników pierwotnych sosny. Wskazuje on, że na siedliskach Bśw i BMśw należy skoncentrować się podczas poszukiwań strzygoni choinówki przede wszystkim na drzewostanach sosnowych w wieku 40-60 lat, II bonitacji. Jednak w poszukiwaniach należy uwzględnić również drzewostany I i III klasy bonitacji.

4.5. Skład chemiczny igieł drzewostanów gradacyjnych strzygoni choinówki

Poszukując związku między cechami drzewostanów, a gradacjami strzygoni choinówki zwrócono uwagę na rolę pokarmu (igieł) w rozwoju gąsienic. Starając się znaleźć różnice pomiędzy cechami drzewostanów podatnych na masowe występowanie strzygoni choinówki, a drzewostanami odpornymi na jej pojawy przeprowadzono chemiczną analizę igieł.

Analizy chemiczne igieł przeprowadzono w trzech kierunkach. Sprawdzone zawartość polifenoli, aktywność przeciwutleniającą ekstraktów pozyskanych z igieł (ABTS i DPPH) oraz zawartość chlorofilu a i b.

Polifenole będące fitoaleksynami stanowią część mechanizmu obronnego roślin hamując rozwój atakujących ich owadów. W igłach sosny najważniejszym polifenolem jest kwas 4-hydroksybenzoesowy. Stwierdzono wysoką jego zawartość w próbkach igieł z drzewostanów w których nie obserwowano występowania strzygoni, która była wielokrotnie wyższa niż w przypadku igieł z drzewostanów w których występowała strzygonia. Podobna sytuacja dotyczyła kwasu chlorogenowego.

4.6. Czynniki oporu naturalnego ograniczające populację strzygoni choinówki w okresie zimowym

4.6.1. Redukcja liczebności szkodników pierwotnych zimujących w ściocie i glebie mineralnej przez czynniki biotyczne

W ujęciu sumarycznym prawie 1/3 (31%) wyłożonych owadów została uszkodzona bądź zniszczona. Na poszczególnych powierzchniach procent redukcji kształtował się między 23, a 39%.

Większe różnice w redukcji owadów wystąpiły między gatunkami. Sumarycznie najmniej zostało uszkodzonych/zniszczonych poczwerek zawisaka borowca (9%), z kolei najbardziej zredukowane zostały poczwarki strzygoni choinówki, u której dotyczyło to 55% wyłożonych osobników. Zbliżony do strzygoni wynik uzyskano w przypadku osni gwiazdzistej, u której dotyczyło to 50% larw. Stadia zimujące poprocha cetyniaka i boreczników zostały zredukowane odpowiednio o 33 i 37%.

Najważniejszym czynnikiem ograniczającym szkodniki pierwotne sosny zimujące w ściocie okazały się gryzonie. Były one odpowiedzialne za niszczenie bądź uszkodzenie ponad 80% owadów doświadczalnych. Uznano, że były one również odpowiedzialne za nieznaledzenie 30% wyłożonych stadiów zimujących szkodników pierwotnych sosny. Z uwagi na brak śladów działalności dzików z dużym prawdopodobieństwem można uznać, że za ten stan były odpowiedzialne gryzonie, które mogły wynieść wyłożone owady poza obszar „koperty testowej”. W odniesieniu do pozostałych owadów ustalono, że sprawcami redukcji ich liczby w okresie zimowym były odpowiednio: drutowce – 9% i dziki – 7%.

4.6.2. Wpływ ujemnych temperatur na śmiertelność poczwarek strzygoni choinówki

Poza czynnikami biotycznymi na stadium diapauzujące strzygoni wpływ również mogą wywierać panujące w okresie zimowym temperatury. Badania nad ich wpływem na poczwarki przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych. Pierwszym ich etapem było określenie cech biometrycznych poczwarek.

Przeciętna masa wykorzystanych w doświadczeniach poczwarek strzygoni choinówki wynosiła 0,1586 g, a ich długość 16,59 mm. Poczwarki samic były na ogół dłuższe i cięższe niż poczwarki samców. Jednak różnice nie były istotne statystycznie ($F=1,4412$, $p=0,3074$).

4.6.2.1. Temperatury zamarzania poczwarek strzygoni choinówki

Przeprowadzone doświadczenia nad określeniem temperatury zamarzania poczwarek strzygoni wykazały, że temperatura ta była zróżnicowana i kształtowała się w zakresie od $-11,68^{\circ}\text{C}$ do $-19,76^{\circ}\text{C}$. Najczęściej (ponad 37% przypadków) były to temperatury około $-17,5^{\circ}\text{C}$.

Nie wykazano zależności między płcią poczwarek, a temperaturą zamarzania, a także związku między temperaturą przechłodzenia, a masą poczwarki, jak i między długością poczwarki a temperaturą. Temperatury przy których te procesy zostały uruchamiane, jak i wartość podwyższenia temperatury, były zróżnicowane w zależności od osobnika.

Dla poczwarek samic strzygoni stwierdzono szerszy zakres temperatur krytycznych (max.= $-11,68^{\circ}\text{C}$; min.= $-19,76^{\circ}\text{C}$) niż dla poczwarek samców (max.= $-15,29^{\circ}\text{C}$; min.= $-19,31^{\circ}\text{C}$). Wartości średnie różniły się o ponad $0,6^{\circ}\text{C}$ (♀ $-16,6^{\circ}\text{C}$; ♂ $-17,23^{\circ}\text{C}$), a wartości mediany dla obu płci osiągały wartość poniżej -17°C (♀ $-17,22^{\circ}\text{C}$; ♂ $-17,75^{\circ}\text{C}$).

4.6.3. Temperatury w miejscu zimowania poczwarek strzygoni choinówki

W celu określenia temperatur panujących w miejscu zimowania poczwarek, posłużono się danymi uzyskanymi ze stacji meteorologicznych nadleśnictw: Cybinka, Krzystkowice (RDLP w Zielonej Górze) i Rzepin (RDLP w Szczecinie)

Zestawiono temperatury odnotowane w miesiącach sierpień-kwiecień w glebie na głębokości 5 cm z okresu lat 2016/2017 – 2019/2020. Temperatury przeciętne dla poszczególnych miesięcy okresu zimowego były na ogół temperaturami dodatnimi, sporadycznie osiągając wartości nieznacznie poniżej 0°C . Wskazuje to na fakt, że temperatury ujemne na tej głębokości nie utrzymywały się przez długi okres czasu.

Zestawienie temperatur minimalnych dla tych nadleśnictw i analizowanego okresu wskazuje, że nie przekraczały one progu -8°C , przy czym ciągły okres panowania tych najniższych temperatur nie przekroczył 7 dni.

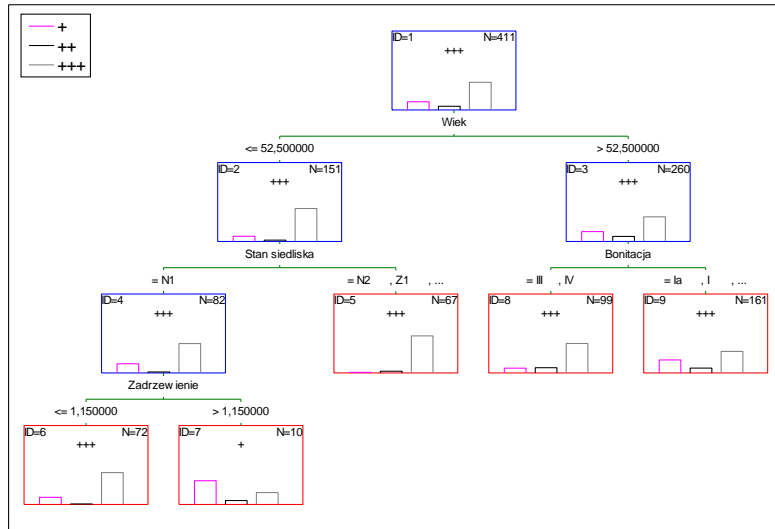
4.7. Optymalizacja rozmieszczenia partii kontrolnych

Dla prawidłowego określania poziomu zagrożenia ze strony strzygoni choinówki konieczne jest odpowiednie rozmieszczenie partii kontrolnych jesiennych poszukiwań szkodników pierwotnych sosny.

Uzupełniona baza danych zawierająca zbiór drzewostanów zagrożonych w stopniu silnym, średnim i słabym pozwoliła na przeprowadzenie analizy polegającej na budowie drzew decyzyjnych z wykorzystaniem metody *random forest* (zadanie klasyfikacyjne), które mogą być pomocne w optymalizacji rozmieszczenia partii kontrolnych. Opisano poniżej 4 drzewa klasyfikacyjne, 2 zawierające ograniczoną liczbę predyktorów i 2 zawierające wszystkie lub prawie wszystkie analizowane cechy drzewostanowo-siedliskowe wpływające w różnym stopniu na poziom zagrożenia drzewostanów sosnowych przez strzygonię choinówkę.

Drzewo nr 65 uwzględnia 4 cechy (wiek, stan siedliska, bonitacja i zadrzewienie), z których 3 uznano za kluczowe pod kątem zagrożenia ze strony strzygoni choinówki (ryc. 12). Kluczowym czynnikiem był wiek = 52,5 lat. Dla drzewostanów w wieku poniżej tej wartości drugim istotnym czynnikiem był stan siedliska = N1 (naturalne) zwiększający prawdopodobieństwo potencjalnego wystąpienia zagrożenia silnego. W przypadku wystąpienia tej cechy należało dodatkowo uwzględnić zadrzewienie. Z kolei w przypadku drzewostanów starszych niż 52,5 lat drugim kluczowym czynnikiem była klasa bonitacji warunkująca potencjalny poziom zagrożenia.

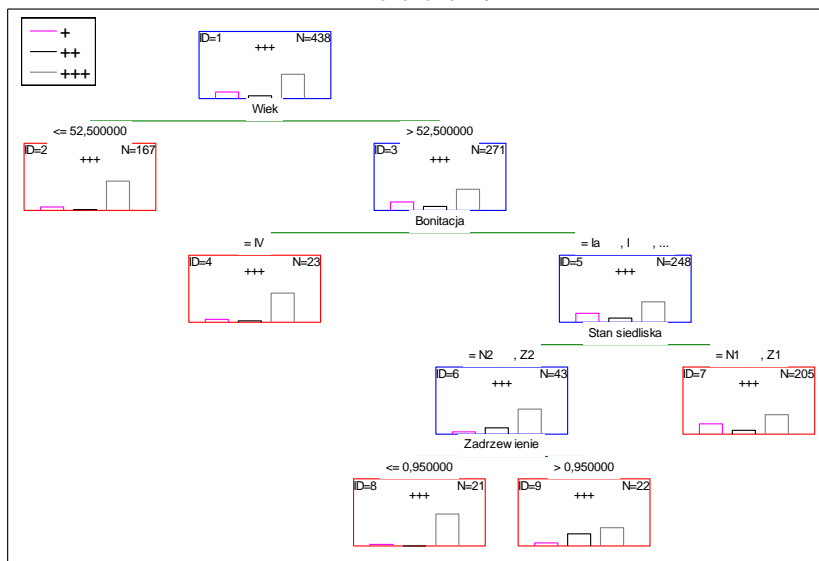
Liczba węzłów dzielonych: 4, liczba węzłów końcowych: 5
 Drzewo numer: 65



Ryc. 12. Drzewo decyzyjne uwzględniające wiek, bonitację, stan siedliska i zadrzewienie w kontekście stopnia zagrożenia drzewostanu

Identyczne cechy (predyktory) zawiera drzewo klasyfikacyjne nr 79 (ryc. 13). Różni się ono jednak ich pozycją, a co za tym idzie znaczeniem w modelu. Podobnie jak w drzewie 65 (ryc. 12) kluczowy jest wiek $\approx 52,5$ lat. Dla drzewostanów poniżej tej wartości jest to jedyny predyktor wskazujący na potencjalnie silne zagrożenie ze strony strzygoni choinówki. W przypadku drzewostanów starszych niż 52,5 lat konieczne było uwzględnienie bonitacji.

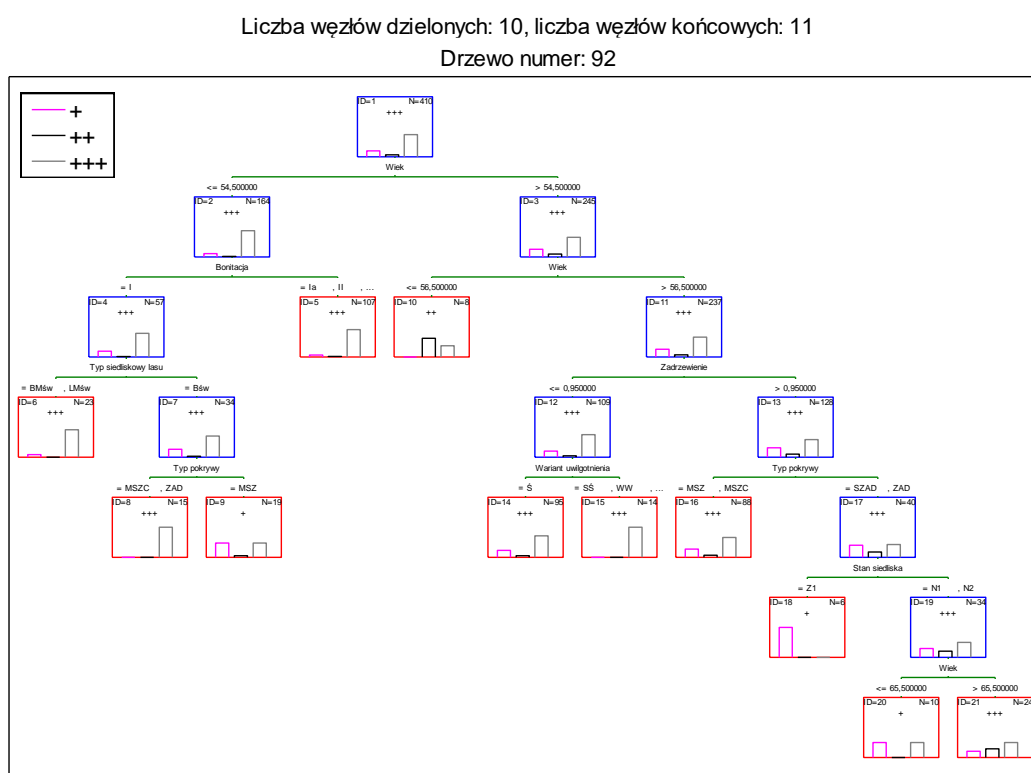
Liczba węzłów dzielonych: 4, liczba węzłów końcowych: 5
 Drzewo numer: 79



Ryc. 13. Drzewo decyzyjne uwzględniające wiek, bonitację, stan siedliska i zadrzewienie w kontekście stopnia zagrożenia drzewostanu

W przypadku IV klasy bonitacji był to tzw. węzeł końcowy pozwalający na wskazanie danego drzewostanu jako potencjalnie silnie zagrożonego przez strzygonię. Pozostałe klasy bonitacji wymagały dodatkowo określenia stanu siedliska oraz w przypadku określenia tej cechy jako zbliżony do naturalnego lub silnie zniekształcony – uwzględnia jeszcze wskaźnik zadrzewienia (ryc. 13).

Większą liczbę cech (predyktorów) uwzględnia drzewo nr 92 (ryc. 14). Są to: wiek, bonitacja, typ siedliskowy lasu, zadrzewienie, typ pokrywy, wariant uwilgotnienia i stan siedliska. Za kluczowe cechy (najwyższego rzędu) decydujące o potencjalnym zagrożeniu przez strzygonię należy przyjąć wiek = 54,5 lat i bonitację = I. Zastosowanie tego drzewa klasyfikacyjnego umożliwia wyodrębnienie 11 różnych wariantów decyzyjnych.

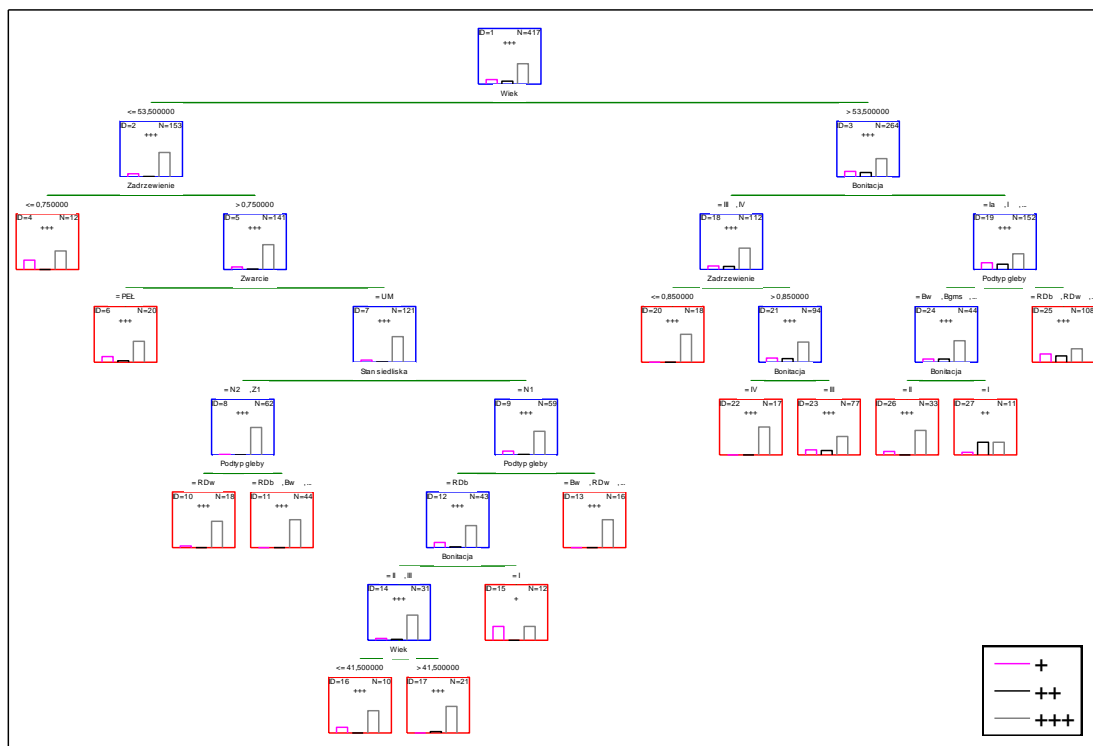


Ryc. 14. Drzewo decyzyjne uwzględniające wiek, bonitację, TSL, zadrzewienie, typ pokrywy, wariant uwilgotnienia i stan siedliska w kontekście stopnia zagrożenia drzewostanu

Podobną liczbą ujętych w modelu predyktorów charakteryzuje się drzewo klasyfikacyjne nr 91 (ryc. 15). Uwzględnia ono wiek, zadrzewienie, bonitację, zwarcie, podtyp gleby i stan siedliska. Analogicznie jak w wyżej opisanych przykładach kluczowy jest wiek = 53,5 lat oraz zadrzewienie = 0,75 i bonitacja = III, IV. Są to trzy kluczowe cechy charakteryzujące się najwyższymi współczynnikami ważności (ryc. 44). Prezentowany

przykład charakteryzuje się również największym stopniem złożoności (wśród omawianych) i umożliwia wyodrębnienie aż 14 różnych wariantów decyzyjnych (ryc. 15).

Liczba węzłów dzielonych: 13, liczba węzłów końcowych: 14
Drzewo numer: 91



Ryc. 15. Drzewo decyzyjne uwzględniające wiek, zadrzewienie, bonitację, zwarcie, podtyp gleby i stan siedliska w kontekście stopnia zagrożenia drzewostanu

Opracowane na podstawie zbioru uczącego (baza danych zawierająca drzewostany zagrożone w stopniu silnym, średnim i słabym) modele nr 65 i 79 charakteryzują się niskim stopniem skomplikowania i uwzględniają cechy (predyktory) najmocniej wpływające na potencjalną możliwość silnego zagrożenia ze strony strzygony choinówki. Może to wskazywać na ich wysoką przydatność do optymalizacji rozmieszczenia partii kontrolnych służących do prawidłowego określania poziomu zagrożenia ze strony strzygony choinówki.

Występujący w drzewach nr 92 i 91 wysoki stopień skomplikowania i nadmiarowa (wielokrotna) reprezentacja części cech na wielu poziomach decyzyjnych (np. wiek i bonitacja) może wskazywać na występujące często w tego typu analizie problemy z jakością klasyfikacji, dlatego też należy uznać je za mniej przydatne do optymalizacji rozmieszczenia partii kontrolnych służących do prawidłowego określania poziomu zagrożenia ze strony strzygony choinówki.

5. SPOSTRZEŻENIA I WNIOSKI

1. Wykazano, że do gradacji strzygoni choinówki dochodzi w drzewostanach charakteryzujących się pewnymi cechami wspólnymi. W ujęciu ogólnym najistotniejszą z nich jest typ siedliskowy lasu, który determinuje wiek drzewostanu zagrożonego. Na siedlisku Bśw gradacja strzygoni ma miejsce najczęściej w drzewostanach sosnowych w wieku 58 lat, z kolei na BMśw w wieku 46 lat.
2. Najbardziej zagrożone przez strzygonię są drzewostany na siedlisku Bśw, bonitacji II i III klasy wieku.
3. Wiek najbardziej zagrożonych drzewostanów jest zróżnicowany w zależności od rdLP, jednak można wyróżnić dwie główne grupy wiekowe tych lasów: 41-50 lat (rdLP: Wrocław, Szczecin, Zielona Góra, Szczecinek) oraz 61-70 lat (rdLP: Gdańsk, Poznań, Toruń).
4. Stworzony ogólny opis drzewostanu zagrożonego przez strzygonię choinówkę został potwierdzony poprzez analizę rozszerzonej bazy danych (metodą random forest) i może zostać wykorzystany w praktyce leśnej do lokalizowania i aktualizacji partii kontrolnych.
5. Dla potrzeb praktyki ochrony lasu można przyjąć, że najbardziej zagrożone przez strzygonię choinówkę są drzewostany sosnowe na siedlisku Bśw i BMśw w wieku 40-60 lat, bonitacji I-III, zwarcium umiarkowanym i zadrzewieniu 0,9-1.0, o naturalnym stanie siedlisk.
6. Instrukcja Ochrony Lasu [2012] nakłada obowiązek wykonywania jesiennych poszukiwań szkodników pierwotnych sosny w wyznaczonych drzewostanach sosnowych lub z przewagą sosny w wieku powyżej 20 lat, nie precyzując bardziej szczegółowo parametrów drzewostanu w zakresie umiejscowienia partii kontrolnych oraz wskazując, że aktualizacja ich lokalizacji dokonywana jest w miarę potrzeb. Prowadzi to do tego, że często partia kontrolna zlokalizowana jest w jednym drzewostanie przez kilkadziesiąt lat, a w związku z tym jesienne poszukiwania szkodników pierwotnych sosny prowadzone są w drzewostanach które albo jeszcze nie są, albo już nie są preferowane przez strzygonię. Może to skutkować nieprecyzyjną oceną stanu zagrożenia.
7. W nadleśnictwach, na terenie których znajdują się w bazie SILP zaewidencjonowane obszary gradacyjne strzygoni choinówki, partie kontrolne do jesiennych poszukiwań szkodników pierwotnych sosny powinny być lokalizowane w drzewostanach

posiadających jak najwięcej cech zgodnych z opisem drzewostanu gradacyjnego opracowanym w niniejszej pracy. Należy przede wszystkim uwzględnić wiek, zadrzewienie, bonitację i siedlisko. Zalecane byłoby opracowanie narzędzia geoinformatycznego, które przy wykorzystaniu Leśnej Mapy Numerycznej wskazywałoby optymalne lokalizacje partii kontrolnych.

8. Panujące w okresie zimowym w Polsce ujemne temperatury nie są czynnikiem oporu naturalnego mogącym wpływać na redukcję liczebności strzygoni choinówki.
9. Drzewostany w których najczęściej dochodzi do masowego pojawu strzygoni charakteryzują się niską zawartością kwasu 4-hydroksybenzoesowego i kwasu chlorogenowego w igłach, w porównaniu z drzewostanami kontrolnymi. Związki te mogą stać się markerami różnicującymi drzewostany gradacyjne od zdrowych.
10. Systematycznie zmniejszająca się liczba środków ochrony roślin dostępnych dla leśnictwa oraz nadchodzące ograniczenia w możliwości stosowania zabiegów agrolotniczych w ochronie lasu wymagają precyzyjnego rozpoznania zagrożenia środowiska leśnego od czynników biotycznych, a w szczególności od szkodników pierwotnych sosny. Aby to było możliwe, kontrole należy prowadzić w najbardziej zagrożonych drzewostanach. W ich identyfikacji pomocny może być opracowany opis drzewostanu gradacyjnego.