

**PAŃSTWOWE GOSPODARSTWO
LEŚNE LASY PAŃSTWOWE**

**Kompleksowy
program
przeciwdziałania
procesom
zamierania lasów
w Polsce
oraz działania
mitygacyjne
w perspektywie
do 2030 roku**



Załącznik nr 1
do Zarządzenia DGLP
nr.....
z dnia2022 r.
znak: ZP.011.3.2022

Autorzy

Ireneusz Jałozza (RDLP Toruń) – przewodniczący Zespołu
Aldona Perlińska (DGLP) – sekretarz Zespołu
Prof. dr hab. Bogdan Brzezicki (SGGW) – członek
Prof. dr hab. Piotr Łakomy (UP Poznań) – członek
Prof. dr hab. inż. Jarosław Socha (UR Kraków) – członek
Prof. dr hab. Wojciech Grodzki (IBL) – członek
Marek Matyjaszczyk (BULiGL) – członek
Dr inż. Marek Kamola (RDLP Lublin) – członek
Arkadiusz Wojciechowicz (RDLP Katowice) – członek
Tomasz Markiewicz (RDLP Poznań) – członek
Piotr Kacprzak (RDLP Radom) – członek
Krzysztof Rostek (DGLP) – członek
Dr inż. Robert Cierech (RDLP Białystok) – członek
Tomasz Dziergas (RDLP Wrocław) – członek
Grzegorz Guzik (ZOL Opole) – członek
Jarosław Góral (ZOL Wrocław) – członek
Dr hab. Krzysztof Stereńczak, prof. IBL (IBL) – ekspert
Dr inż. Tomasz Jabłoński (IBL) – ekspert
Emilia Wiśniewska (DGLP) – ekspert
Izabela Czyżyk (DGLP) – ekspert
Jan Tabor (DGLP) – ekspert
Mateusz Grzębkowski (DGLP) – ekspert
Marcin Deres (DGLP) – ekspert
Kamil Szpakowski (DGLP) – ekspert.

Spis treści

1. Tło i cel powstania dokumentu, uwarunkowania krajowe i UE	4
1.1. Wstęp	4
1.2. Polityki i strategie unijne oraz krajowe	4
2. Współczesne prognozy i scenariusze dotyczące przyszłych stanów środowiska przyrodniczego i ich wpływu na lasy i gospodarkę leśną	7
2.1. Wprowadzenie	7
2.2. Zmiany o charakterze globalnym a lasy	8
2.3. Podsumowanie	14
3. Przyczyny i skala zamierania lasów w Polsce w latach 2015–2021	16
3.1. Czynniki predysponujące	16
3.2. Czynniki inicjujące	19
3.3. Czynniki współuczestniczące i dobijające	25
4. Postępowanie krótko- i długoterminowe	36
4.1. Hodowla lasu	36
4.2. Gospodarka wodna	48
4.3. Ochrona lasu	54
4.4. Urządzanie lasu	65
4.5. Ochrona różnorodności przyrodniczej	69
5. Badania naukowe	71
6. Nowoczesne technologie	72
7. Literatura	81
8. Załączniki:	84

1. Tło i cel powstania dokumentu, uwarunkowania krajowe i UE

1.1. Wstęp

Podstawowym celem postępowania, które opisuje *Kompleksowy program przeciwdziałania procesom zamierania lasów w Polsce oraz działania mitygacyjne w perspektywie do 2030 roku* (dalej: Program) jest zapobieżenie lub minimalizacja negatywnych skutków gwałtownych zmian klimatycznych, w tym przede wszystkim niedopuszczenie do wielkopowierzchniowego zamierania lasów. Zachowanie ekosystemów leśnych Polski, w dobrej kondycji i dobrym stanie zdrowotnym, podobnie jak w przypadku Europy czy świata, jest konieczne dla zapewnienia odpowiedniej jakości środowiska, w tym zasobów czystej wody, powietrza, właściwych warunków klimatycznych, różnorodności biologicznej. Zdrowe, zróżnicowane wiekowo i gatunkowo ekosystemy leśne są niezbędne do świadczenia ww. usług ekosystemowych. Skutkiem realizacji Programu będzie zapewnienie wypełniania przez polskie lasy (teraz i w przyszłości) wszystkich istotnych funkcji ekosystemowych, w tym gospodarczych, społecznych i środowiskowych (ekologicznych).

Warunkiem koniecznym występowania wielu gatunków roślin i zwierząt oraz siedlisk przyrodniczych jest zachowanie trwałości środowiska leśnego wraz ze wszystkimi jego najważniejszymi komponentami, tj. glebą leśną, runem i drzewostanem. Komponenty te powinny cechować się strukturą zapewniającą istnienie pełnej gamy mikrosiedlisk niezbędnych do zachowania bogactwa gatunkowego biocenoz leśnych. Heterogeniczność lasów, nawiązująca do naturalnej zmienności siedlisk leśnych (tj. zróżnicowania warunków troficznych i wilgotnościowych), jest niezbędna do zachowania różnorodności biologicznej.

W Polsce, podobnie jak w całej Europie obserwowane są nasilające się zmiany klimatyczne i objawy zamierania lasu, co może doprowadzić do wielkopowierzchniowego zamierania lasów. Konsekwencją tego procesu będzie zanik kluczowych komponentów środowiska leśnego (utrata charakteru leśnego danego obszaru). Będzie to równoznaczne z zanikiem siedlisk przyrodniczych i mikrosiedlisk koniecznych do zachowania gatunków, w tym chronionych na mocy prawa krajowego oraz unijnego. Należy zintensyfikować dotychczasowe działania i podjąć nowe kroki w celu zapobieżenia oraz przeciwdziałania zamieraniu lasu.

Z powyższych powodów Program ten należy ocenić, jako niezbędny także dla zachowania na obszarach Natura 2000 siedlisk i gatunków będących przedmiotem zainteresowania Unii Europejskiej.

1.2. Polityki i strategie unijne oraz krajowe

Wśród 6. priorytetów Komisji Europejskiej na lata 2019-2024, realizujących ogólną strategię polityczną UE, stanowiącą odpowiedź na współczesne wyzwania cywilizacyjne, znalazł się Europejski Zielony Ład¹, zaprezentowany w grudniu 2019 r. Dokument ten jest nową strategią „na rzecz wzrostu, której celem jest przekształcenie UE w sprawiedliwe i prosperujące społeczeństwo żyjące w nowoczesnej, zasobooszczędnej i konkurencyjnej gospodarce, która w 2050 r. osiągnie zerowy poziom emisji gazów cieplarnianych netto i w ramach której wzrost gospodarczy będzie oddzielony od wykorzystania zasobów naturalnych.” Unia Europejska podeszła do sprawy bardzo ambitnie. Założono, że stanie się pierwszym kontynentem neutralnym dla klimatu do 2050 r. W Europejskim Zielonym

¹ Europejski Zielony Ład, /* COM (2019) 640 final */;
źródło: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>

Ładzie znalazły się zapowiedzi publikacji szeregu strategii i dokumentów legislacyjnych, w tym strategii na rzecz różnorodności biologicznej i nowej strategii leśnej. Wskazano obszary, w których będą realizowane różne działania mające na celu osiągnięcie założonych priorytetów: klimat, energia, rolnictwo, przemysł, środowisko i oceany, transport, finanse i rozwój regionalny, badania naukowe i innowacje.

W dokumencie sformułowano również ambitne założenia UE w zakresie przeciwdziałania skutkom zmian klimatycznych. Ekosystemy leśne stanowią istotny element przeciwdziałania skutkom takich zmian. Obszary zalesione muszą ulec poprawie, zarówno pod względem jakości, jak i ilości, tak aby UE mogła osiągnąć neutralność klimatyczną i zdrowe środowisko. Zrównoważone odnawianie lasów oraz zalesianie, a także przywracanie potencjału produkcyjnego w lasach zdegradowanych może zwiększyć absorpcję CO₂ przy jednoczesnej poprawie odporności lasów na szkodliwe czynniki.

Cele Programu są zgodne z priorytetami polityki Unii Europejskiej (dalej: UE) w zakresie lasów, ochrony przyrody, adaptacji do zmian klimatu. *Unijna strategia na rzecz bioróżnorodności 2030. Przywracanie przyrody do naszego życia*², wyznacza ambitne cele zarówno Komisji Europejskiej jak i państwom członkowskim. Zapewnienie odbudowy, odporności i odpowiedniej ochrony wszystkich ekosystemów, odwrócenie procesu utraty różnorodności biologicznej to główne cele przyjętej strategii. Realizacja działań ujętych w Programie, poprzez zapobieganie wielkopowierzchniowemu zamieraniu lasów oraz przebudowę drzewostanów w kierunku różnowiekowych i wielogatunkowych zbiorowisk leśnych, niewątpliwie będzie sprzyjać zachowaniu różnorodności biologicznej, a w wielu przypadkach, poprzez poprawę heterogeniczności lasów, przyczyni się do jej wzrostu.

Działania zawarte w Programie są również spójne z Nową strategią leśną Unii Europejskiej 2030³. W strategii stwierdza się m.in., że „... zdrowa przyszłość dla ludzi, planety i dobrobytu zależy (...) od zapewnienia zdrowych, bioróżnorodnych i odpornych lasów w całej Europie i na świecie⁴”. W strategii leśnej określono również ramy polityki mające na celu „zapewnienie rosnących, zdrowych, zróżnicowanych i odpornych lasów w UE, które w znacznym stopniu przyczyniają się do realizacji ambitnych celów w zakresie bioróżnorodności, gwarantują bezpieczne źródła utrzymania na obszarach wiejskich i poza nimi oraz wspierają zrównoważoną biogospodarkę leśną, która opiera się na najbardziej zrównoważonych praktykach gospodarki leśnej. Podstawę tych praktyk stanowi uznana i uzgodniona na szczeblu międzynarodowym koncepcja dynamicznej zrównoważonej gospodarki leśnej, która uwzględnia wielofunkcyjność i różnorodność lasów oraz trzy współzależne filary⁵ zrównoważonego rozwoju.⁶” Ponadto w strategii zawarto stwierdzenie, że „... aby ta transformacja się powiodła, potrzebne będą większe, zdrowsze i bardziej zróżnicowane lasy niż obecnie, zwłaszcza na potrzeby składowania i sekwestracji dwutlenku węgla, zmniejszenia wpływu zanieczyszczenia powietrza na zdrowie ludzi oraz powstrzymania utraty siedlisk i gatunków⁷”. Chcąc osiągnąć ww. cele niezbędnym jest m.in. „...zwiększenie starań na rzecz ochrony i przywrócenia bioróżnorodności leśnej, a tym samym zapewnienia odporności lasów. Co równie ważne, należy zagwarantować dostępność drewna, jak również pobudzić działalność

² Unijna strategia na rzecz bioróżnorodności 2030. Przywracanie przyrody do naszego życia /* COM(2020) 380 final */; źródło: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0380&qid=1656660340012>

³ Nowa strategia leśna UE 2030 /* COM(2021)572 final */;

źródło: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0572&qid=1656660669858>

⁴ Nowa strategia leśna UE 2030 /* COM(2021)572 final */; s. 1.

⁵ Idea zrównoważonego rozwoju opiera się na ciągłym poszukiwaniu równowagi pomiędzy jego trzema, kluczowymi filarami: społecznym, środowiskowym i ekonomicznym.

⁶ Nowa strategia leśna UE 2030 /* COM(2021)572 final */; s. 2.

⁷ Nowa strategia leśna UE 2030 /* COM(2021)572 final */; s. 2.

gospodarczą opartą na niedrzewnych produktach leśnych, aby zróżnicować lokalne gospodarki i miejsca pracy na obszarach wiejskich⁸”.

Kolejna strategia UE - *Budując Europę odporną na zmianę klimatu* - nowa Strategia w zakresie przystosowania do zmiany klimatu⁹ wyznacza ramy polityki mającej na celu adaptację do zmiany klimatu. W dokumencie czytamy: „Narasta częstotliwość i dotkliwość ekstremalnych zdarzeń pogodowych i warunków klimatycznych. Skutkowało to wzrostem liczby klęsk żywiołowych i ilości spowodowanych nimi szkód na przestrzeni ostatnich dwóch dekad. Rozpiętość takich ekstremalnych zdarzeń jest ogromna – od niespotykanych wcześniej pożarów lasów (...) oraz od huraganów szalejących w najbardziej oddalonych unijnych regionach po niszczenie lasów na skutek niespotykanych wcześniej plag korników w Europie Środkowo-Wschodniej. W perspektywie długoterminowej równie niszczycielskie są zjawiska rozwijające się stopniowo, takie jak pustoszczenie, utrata różnorodności biologicznej, degradacja gleby i ekosystemów (...)”¹⁰. Działania ujęte w Programie wpisują się również w założenia dotyczące tworzenia tzw. zielonej infrastruktury, którą definiuje się, jako strategicznie zaplanowaną sieć obszarów naturalnych i półnaturalnych z innymi cechami środowiskowymi, zaprojektowaną i zarządzaną w sposób mający zapewnić szeroką gamę usług ekosystemowych¹¹. Strategia w zakresie przystosowania do zmiany klimatu proponuje m.in. „...wprowadzenie na większą skalę rozwiązań opartych na zasobach przyrody”, co „zwiększyłoby odporność na zmianę klimatu i pomogłoby w realizacji wielu celów Zielonego Ładu. W przeciwieństwie do szarej infrastruktury błękitna i zielona mają charakter wielofunkcyjnych rozwiązań typu „no regret” i jednocześnie przynoszą szereg środowiskowych, społecznych i gospodarczych korzyści oraz pomagają budować odporność na zmianę klimatu. Na przykład ochrona i odtwarzanie terenów podmokłych, torfowisk, (...); propagowanie i prowadzenie zrównoważonego gospodarowania lasami i gruntami rolnymi pomogą w przystosowaniu się do zmiany klimatu w sposób efektywny kosztowo”¹². Ponadto, jako wsparcie w przystosowaniu się do zmiany klimatu w leśnictwie, proponuje się skuteczniejsze wykorzystanie różnorodności genetycznej i zasobów genetycznych roślin na potrzeby przystosowania się do zmiany klimatu.

Działania ujęte w Programie są także zgodne z nadrzędnym celem, dla którego powołano sieć obszarów Natura 2000, tj. z potrzebą zahamowania spadku różnorodności biologicznej oraz odbudowy zdegradowanych ekosystemów. Dyrektywa siedliskowa¹³ cel natury ogólnej definiuje następująco: „Uznając za główny cel niniejszej dyrektywy wspieranie zachowania różnorodności biologicznej przy uwzględnieniu wymagań gospodarczych, społecznych, kulturowych i regionalnych (...); zakłada się, że zachowanie takiej różnorodności biologicznej może w niektórych przypadkach wymagać utrzymania lub wręcz pobudzania działalności człowieka”.

Jeśli chodzi o krajowe dokumenty o charakterze strategii rozwojowych Program wpisuje się w ogólny cel *Polityki Ekologicznej Państwa 2030*¹⁴, którym jest rozwój

⁸ Nowa strategia leśna UE 2030 /* COM(2021)572 final */; s. 3.

⁹ Budując Europę odporną na zmianę klimatu - nowa Strategia w zakresie przystosowania do zmiany klimatu /* COM(2021)82 final */; źródło: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0082&qid=1656661968872>

¹⁰ Budując Europę odporną na zmianę klimatu - nowa Strategia w zakresie przystosowania do zmiany klimatu /* COM(2021)82 final */ s. 1.

¹¹ Zielona infrastruktura (KE 2013) – zwiększanie kapitału naturalnego Europy /* COM (2013) 249 final */; s. 3–5. źródło: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d41348f2-01d5-4abe-b817-4c73e6f1b2df.0007.03/DOC_1&format=PDF

¹² Budując Europę odporną na zmianę klimatu - nowa Strategia w zakresie przystosowania do zmiany klimatu /* COM(2021)82 final */ s. 14.

¹³ Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie Ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory, Dz. Urz. L 206 z 22.07.1992 z późn. zm.

¹⁴ Polityka Ekologiczna Państwa 2030, Warszawa 2019, s. 57–72. źródło: https://bip.mos.gov.pl/fileadmin/user_upload/bip/strategie_plany_programy/Polityka_Ekologiczna_Panstwa/Polityka_Ekologiczna_Panstwa_2030.pdf

potencjału środowiska na rzecz obywateli i przedsiębiorców, oraz w wynikające z tego celu następujące cele szczegółowe:

Cel szczegółowy II – Środowisko i gospodarka. Zrównoważone gospodarowanie zasobami środowiska. Kierunki interwencji: 1) zarządzanie zasobami dziedzictwa przyrodniczego i kulturowego, w tym ochrona, poprawa stanu ochrony różnorodności biologicznej i krajobrazu; 2) wspieranie wielofunkcyjnej i trwale zrównoważonej gospodarki leśnej.

Cel szczegółowy III – Środowisko i klimat. Łagodzenie zmian klimatu i adaptacja do nich oraz zarządzanie ryzykiem klęsk żywiołowych. Kierunki interwencji: 1) przeciwdziałanie zmianom klimatu, 2) adaptacja do zmian klimatu i zarządzanie ryzykiem klęsk żywiołowych.

Program realizuje również cele i wynikające z nich kierunki działań zawarte w *Strategicznym planie adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030*¹⁵ (dalej: SPA 2020). Celem głównym SPA 2020 jest zapewnienie zrównoważonego rozwoju oraz efektywnego funkcjonowania gospodarki i społeczeństwa w warunkach zmian klimatu. Działania ujęte w Programie są spójne z celem szczegółowym nr 1, tj. zapewnieniem bezpieczeństwa energetycznego i dobrego stanu środowiska, w szczególności ze zdefiniowanym dla tego celu kierunkiem działania: 1.4. – ochrona różnorodności biologicznej i gospodarka leśna w kontekście zmian klimatu.

W ramach tego kierunku przewidziano szereg działań adaptacyjnych, w które wpisuje się niniejszy Program:

1.4.1. Opracowanie programów adaptacji leśnictwa do zmian klimatycznych, z uwzględnieniem uwarunkowań i potrzeb przemysłu, energetyki, rolnictwa, turystyki i rekreacji, rozwoju regionalnego, bioróżnorodności.

1.4.3. Wprowadzanie do gospodarki leśnej zasad leśnictwa ekosystemowego, dynamiczna ochrona istniejącego zróżnicowania biologicznego, wykorzystująca zarówno naturalne procesy genetyczne (adaptacja), jak i działania człowieka ukierunkowane na zachowanie istniejącego zróżnicowania biologicznego oraz wykorzystanie sztucznej selekcji ukierunkowanej na cechy przystosowawcze do zmieniających się warunków klimatycznych.

1.4.5. Zróżnicowanie drzewostanów, zwłaszcza w trakcie przebudowy, pod względem: zagęszczania drzew, składu gatunkowego (zwiększenie udziału gatunków liściastych), struktury wysokości, wieku, płatowości/mozaikowości.

Program wpisuje się także w założenia Planu przeciwdziałania skutkom suszy, w szczególności w zakresie działań polegających m.in. na retencjonowaniu wody na terenach leśnych (obiekty małej retencji)¹⁶.

2. Współczesne prognozy i scenariusze dotyczące przyszłych stanów środowiska przyrodniczego i ich wpływu na lasy i gospodarkę leśną

2.1. Wprowadzenie

Już od kilkadziesiąt lat głównym tematem międzynarodowej dyskusji dotyczącej szeroko rozumianego środowiska są różnego rodzaju **zmiany o charakterze globalnym**

¹⁵ Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030. Ministerstwo Środowiska, Warszawa, s. 34, 39.

źródło: <https://bip.mos.gov.pl/strategie-plany-programy/strategiczny-plan-adaptacji-2020>

¹⁶ Plan Przeciwdziałania Skutkom Suszy, Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 15 lipca 2021 r. w sprawie przyjęcia Planu przeciwdziałania skutkom suszy. źródło: <http://stopsuszy.pl/projekt-planu-przeciwdzialania-skutkom-suszy>

(*global change*) i ich konsekwencje dla funkcjonowania układów przyrodniczych i społeczeństwa. Przyjmuje się, że w skali całej Ziemi w przypadku ekosystemów lądowych największe znaczenie ma pięć głównych czynników (w tej kolejności): 1) zmiany form użytkowania ziemi, w tym m.in. wylesienia (*land-use change*); 2) antropogeniczne zmiany klimatu (*climate change*); 3) depozycja związków azotowych (*nitrogen deposition*); 4) inwazje biologiczne (*biotic exchange, biological invasions*); 5) zwiększona koncentracja CO₂ w atmosferze (*elevated carbon dioxide concentrations*), (Sala i in. 2000). Czynniki te nie są niezależne, lecz w wielu przypadkach warunkują się wzajemnie, np. wylesienia wpływają na wielkość stężenia CO₂ w atmosferze, a globalne zmiany klimatyczne oraz zmiany form użytkowania ziemi sprzyjają rozprzestrzenianiu się obcych gatunków o charakterze inwazyjnym.

Coraz większą liczbę zwolenników zdobywa koncepcja antropocenu, jako nowej epoki geologicznej, w której dominującą rolę odgrywa działalność człowieka. Przejawami tej działalności są takie zjawiska, jak procesy urbanizacyjne, szybkie wyczerpywanie paliw kopalnych gromadzonych w naturze przez setki milionów lat, powszechne zanieczyszczenie środowiska czy też emisja gazów cieplarnianych. Według niektórych badaczy antropocen zastąpił holocen już 200 lat temu, inni umiejscawiają jego początek bliżej, tj. ok. 70 lat temu (Zalasiewicz i in. 2015).

Świadomość problemów, jakie rodzą wspomniane wyżej procesy i zjawiska, doprowadziła do powstania szeregu inicjatyw i konwencji międzynarodowych (przykłady: Konwencja klimatyczna, Konwencja o bioróżnorodności i inne), stawiających sobie za cel, jeśli nie powstrzymanie, to przynajmniej osłabienie (mitygację) negatywnych skutków tych wszystkich zjawisk dla przyrody i człowieka. W wielu czołowych ośrodkach badań naukowych na świecie opracowano scenariusze dotyczące przyszłych zmian w zakresie np. stężenia gazów szklarniowych w atmosferze, przyszłych zmian klimatycznych, zmian w zakresie form użytkowania ziemi i zmian w funkcjonowaniu biocenoz oraz ich konsekwencji dla globalnej bioróżnorodności (Sala i in. 2010). Zjawiska i procesy, o których tu mowa, były i są też przedmiotem licznych kongresów, konferencji i sympozjów naukowych, motywem przewodnim wielu projektów badawczych o międzynarodowym i krajowym zasięgu oraz głównym tematem niezliczonych publikacji, zarówno ściśle naukowych, jak i o bardziej popularnym charakterze.

2.2. Zmiany o charakterze globalnym a lasy

Zagadnienie wpływu już zachodzących i przewidywanych w przyszłości zmian o charakterze globalnym, ze szczególnym uwzględnieniem zmian klimatycznych, na ekosystemy leśne było i jest przedmiotem wielu analiz i badań na poziomie krajowym i międzynarodowym. Również w naszym kraju temat ten jest często podejmowany i to już przynajmniej od początku lat 90 zeszłego stulecia. W charakterze przykładu można zacytować fragment opracowania autorstwa wybitnego autorytetu z zakresu hodowli lasu i gospodarki leśnej, prof. E. Bernadzkiego (1995): „...*Nastąpiło ocieplenie klimatu, a równocześnie obniżył się poziom wód gruntowych, przede wszystkim wskutek szerokiego stosowania melioracji odwadniających, jak też długotrwałych okresów suszy. Zmienił się skład chemiczny powietrza, dając z jednej strony efekt nawożenia (związki azotowe, wzrost udziału dwutlenku węgla), z drugiej zaś toksyczny (dwutlenek siarki, metale ciężkie, ozon atmosferyczny i in.). Zmiany te wpłynęły na stosunki konkurencyjne między gatunkami drzew, na fruktyfikację. Obserwujemy ekspansję gatunków liściastych późniejszych stadiów sukcesyjnych (dąb, klony, lipa, grab). Równocześnie poważnie rośnie udział pionierskich drzew liściastych, przede wszystkim brzozy, czemu sprzyjają*

otwarte powierzchnie zrębów zupełnych, wybiórczy żer nadmiernie rozmnożonej zwierzyny płowej, a również zaniedbania pielęgnacyjne.”

W tym samym opracowaniu znalazły się także następujące słowa: *„Żywotność naszych lasów od szeregu lat ulega wyraźnemu pogorszeniu. Wskazują na to klęski powodowane przez czynniki biotyczne, abiotyczne i antropogeniczne, które w ostatnim okresie permanentnie nawiedzają nasze lasy. Mamy obszary klęski ekologicznej na znacznym obszarze lasów górskich, a częściowo lub całkowicie wylesione powierzchnie stale się powiększają. Prognozy zagrożeń naszych lasów są bardzo niepewne, z reguły pesymistyczne, a mechanizmy procesów obumierania lasów są jak dotychczas słabo poznane”.*

Po upływie blisko ćwierćwiecza od momentu napisania powyższych słów pozostają one nie tylko aktualne, ale nabierają coraz większego znaczenia w świetle coraz to liczniejszych i coraz bardziej uciążliwych i wywołujących coraz większe szkody zdarzeń o charakterze klęskowym i katastroficznym, dotyczących nie tylko polskie lasy, ale również lasy w innych krajach europejskich i pozaeuropejskich. Jak podają np. Bellasen i Luyssaert (2014), tylko w okresie 2004–2014 szkody spowodowane przez huraganowe wiatry wyniosły w lasach europejskich 410 mln m³ drewna, ekstremalne susze w roku 2005 i 2010 spowodowały uwolnienie w lasach Amazonii takiej ilości dwutlenku węgla, która jest w nich akumulowana w okresie 10 lat, rekordowa fala upałów w 2010 r. spowodowała pożary lasów w Rosji na obszarze 23 tysięcy km², a gradacja korników trwająca od 2004 r. w Kolumbii Brytyjskiej (Kanada) doprowadziła do zamierania drzewostanów na powierzchni 130 tysięcy km² i do obumarcia drzew o łącznej miąższości wynoszącej 435 milionów m³.

Według wielu badaczy istnieje bardzo silny związek pomiędzy tego typu zdarzeniami i zmianami zachodzącymi w środowisku, w tym zwłaszcza zmianami klimatycznymi.

Już od początku lat 90 opracowywane są, z wykorzystaniem różnego rodzaju modeli, symulacje i analizy dotyczące wpływu prognozowanych zmian podstawowych parametrów klimatycznych (temperatura, opady) na wybrane aspekty funkcjonowania lasów w Europie, w tym na zasięgi geograficzne, zdolność konkurencyjną czy też szeroko rozumianą rolę lasotwórczą podstawowych gatunków drzew. Jako przykład można podać pracę, w której wykorzystano m.in. bioklimatyczny model STASH do oceny wpływu zmian klimatycznych spowodowanych wzrostem CO₂ w atmosferze na potencjalne zasięgi występowania głównych gatunków drzew w Europie Środkowej i Północnej (Sykes i Prentice 1996). We wspomnianym modelu uwzględniono trzy parametry bioklimatyczne: efektywną liczbę tzw. stopniodni (*degree days*) w sezonie wegetacyjnym (z uwzględnieniem okresu chłodu), temperaturę najzimniejszego miesiąca oraz indeks zaopatrzenia drzew w wodę. Na podstawie tych trzech parametrów autorzy byli w stanie z dużą dokładnością symulować granice zasięgów występowania kilku podstawowych gatunków drzew (sosna, świerk, buk, brzoza brodawkowata, dąb szypułkowy, dąb bezszypułkowy), odpowiadające dotychczasowym warunkom klimatycznym. W następnym kroku ten sam model został wykorzystany do symulacji przyszłych granic zasięgów tych gatunków przy założeniu, że warunki klimatyczne zmieniają się zgodnie z zakładanymi w tym czasie scenariuszami, opracowanymi przy pomocy tzw. globalnych modeli cyrkulacyjnych (*general circulation models*, GCM). Modele te przyjmowały, że nastąpi podwojenie stężenia CO₂ w atmosferze, co spowoduje odpowiednie zmiany parametrów klimatycznych (przede wszystkim wzrost temperatury). Uwzględniono dwa scenariusze klimatyczne, jeden bardziej umiarkowany i drugi – bardziej radykalny. Bez względu na to, który scenariusz był wzięty pod uwagę, wyniki przeprowadzonych symulacji wskazywały na istotne

przesunięcia obecnych granic zasięgów rozpatrywanych gatunków (w tym zwłaszcza świerka, sosny, buka i dębu bezszypułkowego) w generalnym kierunku z płd.–zach. na płn.–wsch. Według autorów głównym czynnikiem powodującym te przesunięcia miałyby być wzrost temperatury w okresie zimowym. W odniesieniu do powierzchni naszego kraju uzyskane w ramach wspomnianych badań wyniki sugerowały daleko idące ograniczenie roli lasotwórczej świerka i sosny (w teorii całkowite wycofanie się tych gatunków z terenu naszego kraju) oraz wyraźne zwiększenie roli buka i dębu bezszypułkowego.

Na początku lat 90 ukazały się także pierwsze prace w polskiej literaturze leśnej, których autorzy przedstawiali próby ilościowego określenia wpływu zmian wybranych parametrów bioklimatycznych na wzrost drzew. Przykładowo, Brzeziecki (1991) oszacował, że zwiększenie sumy ciepła w sezonie wegetacyjnym w warunkach Białowieży o 20% w stosunku do aktualnych warunków spowoduje w wypadku sosny spadek wartości wskaźnika wpływu temperatury na wzrost drzew o 4 jednostki (z poziomu 0,8 do poziomu 0,4), a świerka o 5 jednostek (z poziomu 0,9 do poziomu 0,4) (wskaźnik ten został tak wyskalowany, że wartość 0 oznacza brak możliwości wzrostu, a wartość 1 – warunki optymalne). W wypadku takich gatunków, jak dąb i grab, efekt był odwrotny, tj. wzrost wskaźnika odpowiednio z 0,7 do 0,9 dla dębu i z 0,5 do 0,8 dla grabu.

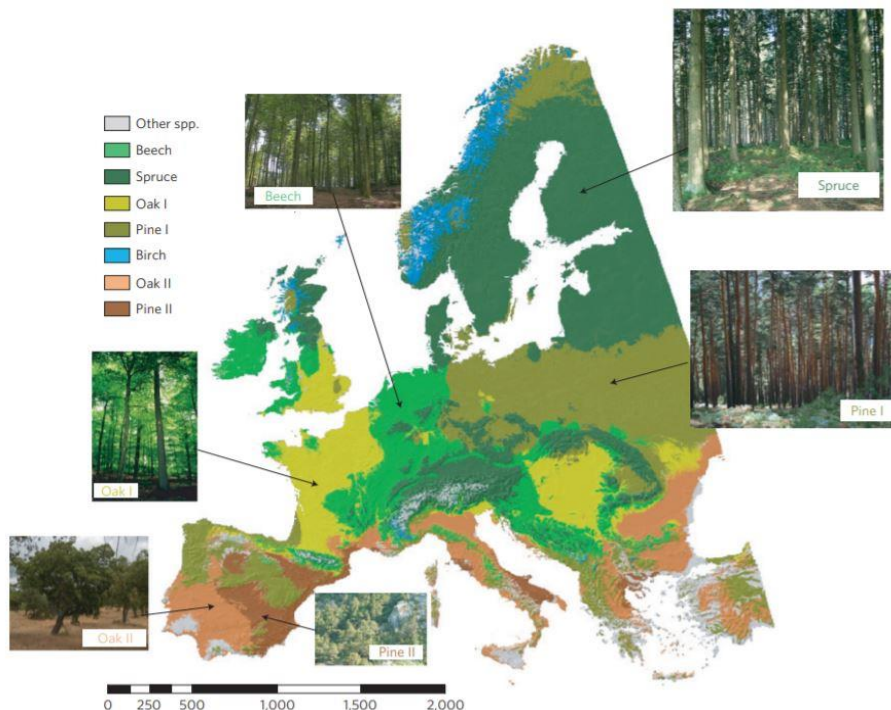
W kolejnej pracy z tego zakresu Brzeziecki (1994) zbadał wpływ wzrostu sumy temperatury efektywnej (stanowiącej miarę ilości ciepła w sezonie wegetacyjnym) na wartości względnego wskaźnika zdolności konkurencyjnej głównych gatunków drzew występujących w naszych lasach z uwzględnieniem dwóch kontrastowych regionów geograficznych: Wyżyn Dolnośląskich i Pojezierza Mazurskiego. Wyniki sugerowały, że w warunkach Wyżyn Dolnośląskich nawet umiarkowany (do 20%) wzrost temperatury efektywnej spowoduje silny spadek zdolności konkurencyjnej i żywotności takich gatunków, jak np. świerk. Podobny efekt, chociaż nie tak mocny, wystąpił także dla sosny. W warunkach Pojezierza Mazurskiego zmiany nie były tak silne, ale przebiegały w podobnym kierunku. Rosło natomiast, w miarę wzrostu sumy ciepła, znaczenie takich gatunków, jak oba gatunki dębów, lipa drobnolistna, grab i buk.

Bardziej aktualny przykład z polskiego piśmiennictwa leśnego dotyczący tej tematyki stanowi praca Zajączkowskiego i in. (2013). Autorzy uwzględnili sześć lokalizacji w Polsce, reprezentujących sześć nizinnych krain przyrodniczo-leśnych. Dla ich lokalizacji określono podstawowe parametry klimatyczne, takie jak średnia temperatura roku, amplituda roczna temperatury (na podstawie średnich dobowych), opady, suma temperatury efektywnej, wskaźnik suszy (obliczany na podstawie ewapotranspiracji potencjalnej i rzeczywistej). Uwzględniono dwa zbiory wartości tych parametrów: jeden odpowiadający okresowi 1951–1970 oraz drugi, zgodny z umiarkowaną prognozą zmian klimatycznych, opracowaną przez IPCC, zakładającą wzrost temperatury maksymalnej w miesiącach wiosennych (IV–VI) o 3°C i o 4°C w pozostałych miesiącach, podobny wzrost temperatury minimalnej oraz wzrost opadów o 10% jesienią i zimą, przy zbliżonym spadku w pozostałych miesiącach. Dla tak przyjętych dwóch scenariuszy klimatycznych obliczono różnice pomiędzy wartościami wskaźników wpływu temperatury efektywnej i dostępności wody na wzrost i żywotność drzew. Główny wniosek z tej pracy był taki, że wzrost temperatury sam w sobie ma raczej pozytywny wpływ na wszystkie rozpatrywane gatunki we wszystkich nizinnych krainach przyrodniczo-leśnych. Odwrotny efekt uzyskano natomiast w wypadku wskaźnika dostępności wody. Tutaj wyniki jednoznacznie wskazywały, że przyszłe warunki klimatyczne, prognozowane przez IPCC, spowodują znaczące pogorszenie stopnia zaopatrzenia gatunków drzew leśnych w wodę na praktycznie całym obszarze naszego kraju. Problem ten dotyczył wszystkich

uwzględnionych w cytowanej pracy gatunków, jakkolwiek w różnym stopniu. Do najbardziej zagrożonych należały świerk, jodła, buk i jesion. Stosunkowo mniej dotknięte tym problemem były brzoza brodawkowata, sosna i dąb szypułkowy.

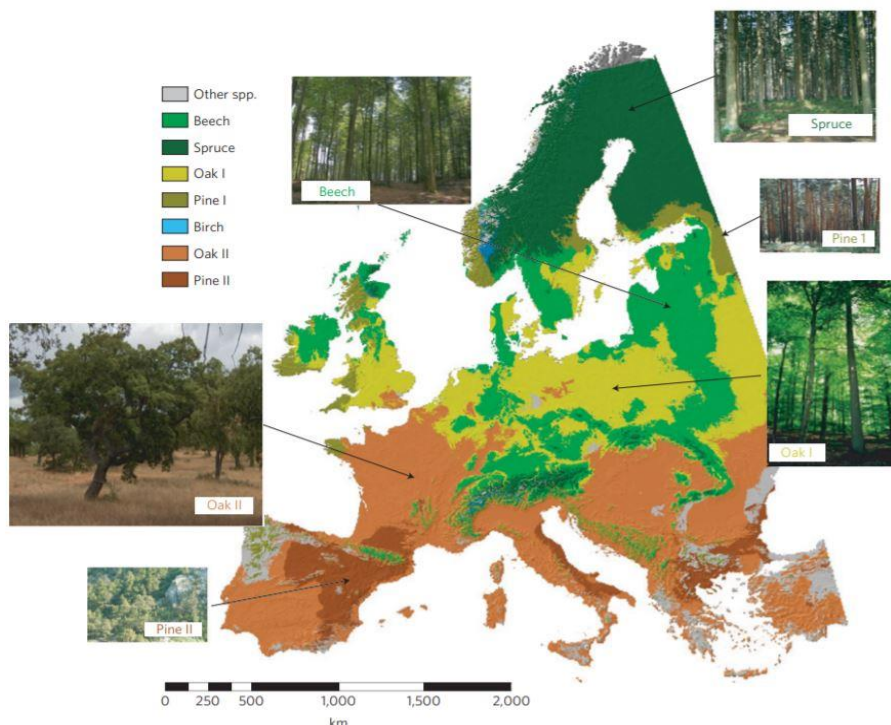
Reprezentatywnym przykładem współczesnych prognoz dotyczących wpływu przewidywanych zmian klimatycznych na przyszły stan i potencjał produkcyjny lasów w Europie jest praca, której autorami są Hanewinkel i in. (2013). Autorzy skonstruowali modele geograficznych zasięgów głównych typów lasów występujących w Europie i wykorzystali je do prognozowania wpływu zmian klimatu na ich przyszłe rozmieszczenie (ryc. 1a i 1b). Liczbowe wartości parametrów modeli zostały określone na podstawie danych z ponad 6000 powierzchni obserwacyjnych (monitoringowych) założonych w ramach programu ICP Forest na obszarze całej Europy, w sieci 16 x 16 km, obejmującej powierzchnię ponad 2 mln km². Do skonstruowania profili (obwiedni) klimatycznych (*climate envelopes*) głównych gatunków drzew wykorzystano zmienne uzyskane z bazy danych klimatycznych WorldClim. W celu określenia przyszłych zmian zasięgów głównych typów lasów europejskich wykorzystano mapy klimatyczne reprezentujące trzy scenariusze opracowane przez IPCC: A1F1 (zmiany silne), A1B (zmiany umiarkowane) i B2 (zmiany słabe). Uwzględniono trzy okresy: 2011–2040, 2041–2070 i 2071–2100. Mapy zasięgów odpowiadające tym trzem okresom zostały porównane ze sobą w celu określenia wielkości wskaźników redukcji/ekspansji symulowanych zasięgów oraz stopnia pokrywania się ich z aktualnymi zasięgami. Zbadano także konsekwencje ekonomiczne prognozowanych zmian, wykorzystując do tego celu model EFISCAN. W badaniach uwzględniono siedem głównych typów lasu: lasy świerkowe (gatunek iglasty o bardzo dużych walorach produkcyjnych), lasy bukowe (gatunek o umiarkowanej wartości produkcyjnej), lasy sosnowe 1 (gatunki sosen o umiarkowanej wartości produkcyjnej, takie jak sosna zwyczajna), lasy dębowe 1 (gatunki dębów o umiarkowanej wartości produkcyjnej, takie jak dąb bezszypułkowy), lasy sosnowe 2 (śródziemnomorskie gatunki sosen o niskiej produktywności, takie jak *Pinus halepensis*), lasy dębowe 2 (śródziemnomorskie gatunki dębów o niskiej i bardzo niskiej produktywności, np. *Quercus cerris*) i lasy brzozowe (niska produktywność, *Betula spp.*).

Przestrzenne rozmieszczenie tych głównych typów roślinności leśnej w Europie, odpowiadające „normalnym” warunkom klimatycznym, określonym dla okresu 1950–2000, przedstawiono na ryc. 1a.



Ryc. 1a. Symulowane rozmieszczenie głównych typów lasów w Europie dla normalnych warunków klimatycznych (lata 1950–2000). Wielkość zdjęć przedstawiających reprezentatywną strukturę poszczególnych typów lasów (bez brzozy <3%) jest proporcjonalna do ich powierzchni (Hanewinkel i in. 2013).

Legenda: Spruce – świerk pospolity; Beech – buk zwyczajny; Pine I – sosna zwyczajna; Oak I – dąb szypułkowy i bezszypułkowy; Birch – brzoza brodawkowata i omszona; Pine II – gatunki sosen związane z klimatem śródziemnomorskim; Oak II – gatunki dębów związane z klimatem śródziemnomorskim; Other spp. – inne gatunki drzew.



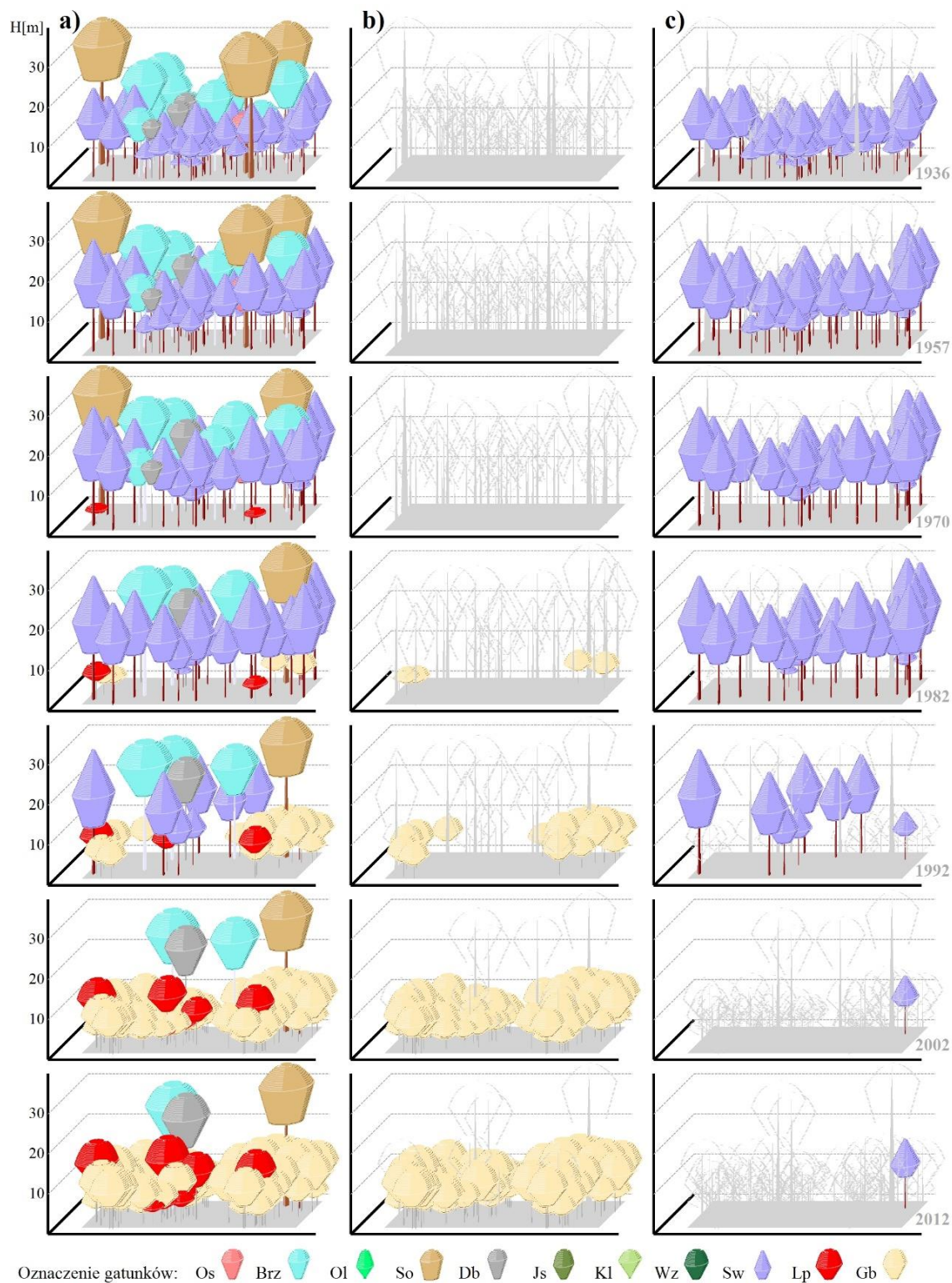
Ryc. 1b. Symulowane (potencjalne) rozmieszczenie głównych typów lasów w Europie dla przyszłych warunków klimatycznych (lata 2070–2100). Wyniki uzyskane dla umiarkowanego scenariusza ICCP (A1B, CLM/ECHAM5). Wielkość zdjęć przedstawiających reprezentatywną strukturę poszczególnych typów lasów (bez brzozy <3%) jest proporcjonalna do ich powierzchni (Hanewinkel i in. 2013). Legenda jak do ryc. 1a.

Na podstawie uzyskanych wyników, zróżnicowanych w zależności od przyjętego scenariusza, autorzy wysnuwają generalny wniosek, że w przyszłych warunkach

klimatycznych zmieni się przestrzenne rozmieszczenie głównych typów lasów europejskich. Stwierdzają także, że już obecnie wpływ zmian klimatu na lasy w Europie jest wyraźnie widoczny. W wypadku wszystkich trzech scenariuszy klimatycznych uwzględnionych w badaniach, świerk, będący gatunkiem o największym znaczeniu produkcyjnym w Europie, ustępuje z zachodnich, południowych i centralnych obszarów swojego obecnego zasięgu i przesuwa się na północ (północna Szwecja, Finlandia i Norwegia). Podobnie w wypadku gatunków liściastych, takich jak dąb i buk, wyniki symulacji wskazują na istotne przesunięcia zasięgów i ustępowanie tych gatunków z terenów, gdzie dominują one dzisiaj (Francja, Holandia, Niemcy, niziny centralnej i wschodniej Europy) oraz sugerują ich ekspansję w środkowej, północnej i północno-wschodniej Europie. Ogólnie rzecz biorąc, autorzy spodziewają się, że głównym „przegranym” prognozowanych zmian klimatu będzie grupa gatunków iglastych (świerk pospolity, sosna zwyczajna) o dużym znaczeniu produkcyjnym, która straci od 40 do 60% swego obecnego areалу, natomiast głównym „wygranym” będą drzewostany złożone ze śródziemnomorskich, niskoprodukcyjnych gatunków dębów (ryc. 1b). W zależności od przyjętego scenariusza klimatycznego, w perspektywie roku 2100, od 21 do 60% (średnio 34%) powierzchni lasów w Europie będzie nadawało się tylko do hodowli takich mało produkcyjnych drzewostanów. Hanewinkel i inni (2013) szacują, że efektem spodziewanych zmian w składzie gatunkowym lasów (a tym samym zmian ich produktywności) będzie spadek oczekiwanej wartości gruntu leśnego (Land Expected Value) w lasach europejskich o wielkość ok. 930 euro/ha. Uwzględniając, że powierzchnia lasów w Europie to ok. 206 mln ha (bez Rosji), oznaczałoby to obniżenie sumarycznej wartości lasów Starego Kontynentu o ponad 190 mld euro.

Podobnych przykładów badań z Europy i ze świata (ze szczególnym uwzględnieniem Ameryki Północnej), przewidujących daleko idące zmiany składu gatunkowego, struktury i produktywności lasów w wyniku już zachodzących i prognozowanych zmian środowiskowych, można by podać bardzo dużo.

O tym, że już obecnie mamy do czynienia z istotnymi zmianami roli lasotwórczej wielu gatunków drzew, świadczą także wyniki badań w obiektach wyłączonych z normalnych działań gospodarczych, w których wpływ zmian zachodzących w środowisku na ekosystemy leśne nie jest maskowany bezpośrednią działalnością człowieka. Dobrym przykładem w tym zakresie mogą być procesy zachodzące w drzewostanach Rezerwatu Ścisłego Białowieskiego Parku Narodowego, których rozwój monitorowany jest już od ponad 80 lat. W okresie tym miało miejsce m.in. silne ograniczenie roli świerka (gatunku związanego z klimatem chłodnym i wilgotnym) na rzecz lipy oraz grabu (gatunków związanych z klimatem cieplejszym i bardziej odpornych na susze), (ryc. 2).



Ryc. 2. Komputerowa wizualizacja wieloletniego rozwoju drzewostanu (a), ekspansja grabu (b) i ustępowanie świerka (c) w drzewostanach Rezerwatu Ścisłego Białowieskiego PN na przykładzie stałej powierzchni badawczej Katedry Hodowli Lasu SGGW (dz. 284/37, 40 x 20 m). Opr. graf. dr J. Zajączkowski.

2.3. Podsumowanie

Człowiek od dawna przekształca na różne sposoby środowisko, w którym żyje. Wiele obserwowanych współcześnie zjawisk i procesów wskazuje, że suma tych wpływów przekroczyła już dawno masę krytyczną oraz że problemy związane z oddziaływaniem społeczeństw ludzkich na środowisko kuli ziemskiej osiągnęły wymiar globalny. Taki globalny charakter ma również obserwowany już od dłuższego czasu wzrost zawartości CO₂ (oraz innych gazów szklarniowych) w atmosferze, będący przede

wszystkim wynikiem spalania paliw kopalnych oraz wylesienia znacznych obszarów kuli ziemskiej.

Wzrost zawartości CO₂ w atmosferze wywiera doniosłe skutki zarówno bezpośrednie (wpływ na tempo fotosyntezy), jak i pośrednie (wzrost temperatury powietrza) na funkcjonowanie ekosystemów leśnych. Zwłaszcza ten drugi aspekt jest bardzo istotny. Temperatura, jako jeden z najważniejszych czynników ekologicznych, wpływa – bezpośrednio i pośrednio – na wiele istotnych procesów życiowych i zjawisk przebiegających w ekosystemach leśnych. Należą do nich m.in.: fotosynteza, oddychanie (respiracja), gospodarka wodna i dystrybucja asymilatów, przyrost drzew i drzewostanów, odnowienie naturalne (kiełkowanie nasion, wzrost nalotów i podrostów), zjawiska fenologiczne (kwitnienie i owocowanie drzew, przerwanie spoczynku pąków, rozpoczęcie i zakończenie wzrostu pędów, rozwój i starzenie ulistnienia), procesy glebowe (tempo rozkładu ściółki, mineralizacja materii organicznej, nitrifikacja, rozwój pasożytów i fitofagów, ekstrema klimatyczne – huraganowe wiatry, okresy suszy, przymrozki wczesne i późne).

Jedną z najważniejszych cech określających specyfikę produkcji leśnej jest długość cykli produkcyjnych, trwających często 100 lat i dłużej. **Ustalając perspektywiczne cele gospodarki leśnej (np. w postaci typów drzewostanów), jeszcze do niedawna można było zakładać, że warunki środowiskowe, w tym warunki klimatyczne, są mniej lub bardziej stałe i podlegają, co najwyżej niewielkim oscylacjom czy też fluktuacjom. Obecnie bardzo wiele przesłanek wskazuje na to, że założenie to przestało być aktualne.** Zarówno liczne obserwacje i badania empiryczne, jak i wyniki badań modelowych oraz symulacyjnych, bardzo mocno sugerują, że mamy do czynienia z postępującą zmianą klimatu, której konkretnym wyrazem są takie zjawiska, jak kierunkowe zmiany temperatury powietrza, zmiany dostępności wody, wzrost intensywności takich ekstremalnych zdarzeń jak: huraganowe wiatry, pożary, powodzie, upały, susze. Wyższe temperatury skracają też okresy rozwoju organizmów pasożytniczych i szkodliwych, a także ułatwiają ich ekspansję równoleżnikową i wysokościową (Brang i in. 2014). Coraz więcej dowodów wskazuje na to, że istnieje bezpośredni związek między wzrostem występowania szkodliwych organizmów, spowodowanym zmianami klimatycznymi, a zwiększoną śmiertelnością drzew (Sturrock i in. 2011, za Brang i in. 2014).

Nic dziś nie wskazuje na to, aby tego rodzaju zjawiska miały w najbliższym czasie osłabnąć lub też zaniknąć. Odwrotnie, należy się spodziewać, że w kolejnych latach nastąpi dalsze pogorszenie sytuacji. Jak dotąd, zrealizowała się bowiem tylko stosunkowo niewielka część opracowanych scenariuszy i prognoz. Prawdopodobieństwo, że stan zdrowotny lasów będzie się nadal pogarszał, jest wysokie. Nie należy też zapominać, że na zmiany klimatyczne nakłada się oddziaływanie innych czynników, jak np. utrzymująca się wysoka depozycja związków azotowych, co ma ogromne znaczenie dla procesów zachodzących w glebach leśnych, a pośrednio – dla całej biocenozy lasu. Biorąc to wszystko pod uwagę, niezbędne są działania idące w dwóch zasadniczych kierunkach: po pierwsze, działania mające na celu osłabienie (mitygację) skutków tych wszystkich niekorzystnych zjawisk, z którymi już obecnie mamy do czynienia i które z dużym prawdopodobieństwem będą się nasilały w najbliższej przyszłości (strategia pasywna), oraz – po drugie – działania mające na celu lepsze przystosowanie (adaptację) ekosystemów leśnych do różnego rodzaju zagrożeń, które przed nimi stoją nie tylko obecnie, ale również w bardziej odległej przyszłości (strategia aktywna).

3. Przyczyny i skala zamierania lasów w Polsce w latach 2015–2021

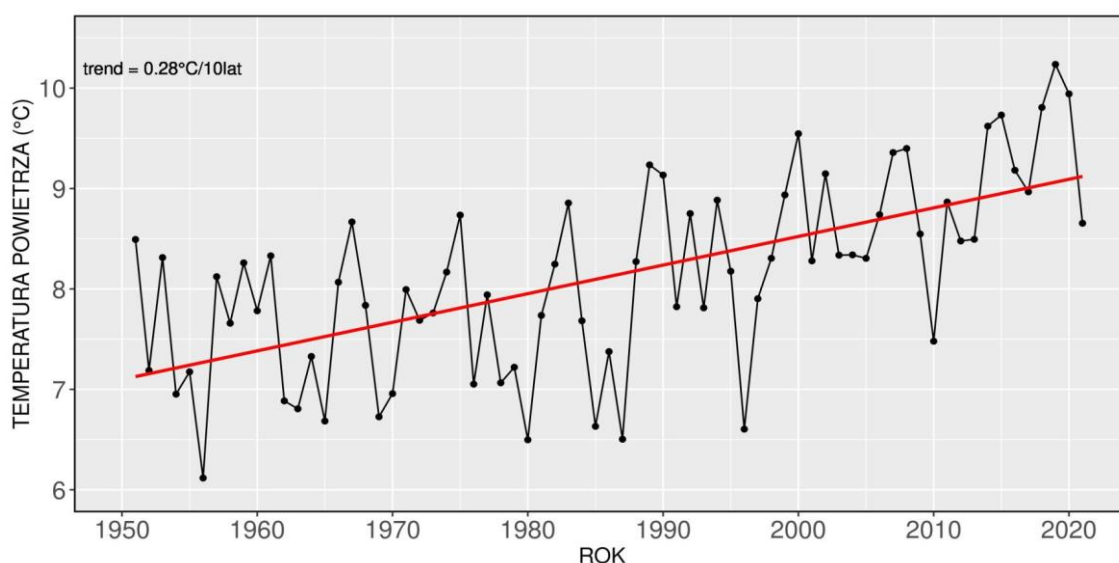
W ostatnich latach coraz wyraźniej widoczne jest zjawisko synergicznego oddziaływania wielu szkodliwych czynników abiotycznych i biotycznych. Obserwowane od szeregu lat globalne zmiany klimatyczne i związane z nimi anomalie pogodowe wskazują na możliwość dalszego pogłębiania się procesów chorobowych w lasach Polski, zwłaszcza w drzewostanach sosnowych, świerkowych i dębowych. Szczególnie istotne znaczenie w tym kontekście mają lata 2015–2021, w których nasiliły się szkody w wyniku oddziaływania czynników abiotycznych (susza, wysokie temperatury powietrza, silne wiatry) i biotycznych (szkodniki owadzie, choroby infekcyjne, inne organizmy).

Zgodnie z teorią Maniona (1992) ww. czynniki pełnią różną rolę w zachodzących procesach chorobowych. Zmiany klimatyczne to czynnik predysponujący. Czynniki abiotyczne i antropogeniczne pełnią rolę inicjującą, a foliofagi, patogeny i inne organizmy (np. jemiola) to czynniki współuczestniczące. Owady kambio- i ksylofagiczne to również czynniki współuczestniczące, dobijające osłabione drzewa.

3.1. Czynniki predysponujące

■ Zmiany klimatyczne

Niewątpliwie jedną z głównych przyczyn wzmożonego zamierania drzewostanów są zmiany klimatyczne. Według WMO średnia globalna temperatura w 2021 r. była o około $1,1^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,13^{\circ}\text{C}$) wyższa od średniej z okresu przedindustrialnego z lat 1850 – 1900 oraz o $0,3^{\circ}\text{C}$ od średniej z lat 1991 – 2020. Ubiegły rok był siódmy z rzędu (2015 – 2021), w którym globalna temperatura przekraczała o ponad 1°C poziom sprzed epoki przemysłowej. Copernicus Climate Change Service (C3S), służba ds. zmiany klimatu realizowana przez Europejskie Centrum Prognoz Średnioterminowych (ECMWF), poinformowała, że rok 2021 był kolejnym anomalnie ciepłym okresem w historii, a szczególnie ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi została dotknięta Europa (Szmidla 2022).



Ryc. 3. Wzrost średniej temperatury powietrza w Polsce 1951–2021
(źródło: <http://www.imgw.pl/badania-nauka/klimat>¹⁷)

¹⁷ Klimat Polski 2021 - opracowanie własne IMGW-PIB 2022.

Również na terenie Polski notuje się systematyczny wzrost temperatur. Najcieplejsze lata od 1950 r. to rok 2019 i nieznacznie mu ustępujące pod tym względem lata 2020 i 2018. Do grupy najcieplejszych lat należą również lata 2015 i 2014. Lata 2016, 2017 i 2021 zajęły odpowiednio 8, 10 i 13 miejsce w tym zestawieniu (ryc. 3).

■ Depozycja azotu

Istotny wpływ na zmiany warunków wzrostu lasów ma również rosnąca dynamicznie od ok. 1940 r. depozycja atmosferyczna azotu, która w warunkach Polski wynosi obecnie średnio ok. 9,1 kg/ha, podczas gdy w latach 40 XX wieku wynosiła zaledwie niecałe 3 kg/ha¹⁸ (Churkina i in. 2010, Pretzsch i in. 2014). Depozycja ta jest źródłem substancji pokarmowych, w szczególności azotu przyswajalnego dla roślin, substancji, których ilość niekiedy przekracza możliwości zużycia lub rozkładu przez lasy, co skutkuje tzw. eutrofizacją siedlisk.

Negatywnym aspektem rosnącej depozycji azotu jest m.in. zmiana w aktywności mikrobiologicznej gleb, polegająca na zwiększaniu udziału arbuskularnych grzybów mikoryzowych, bardziej powszechnych w ekosystemach o wyższym poziomie azotu w glebie, przy jednoczesnej redukcji rozprzestrzenienia grzybów ektomikoryzowych (tzw. ECM), które są bardziej powszechne w ekosystemach o niższym poziomie azotu w glebie. Grzyby z grupy ECM są ewolucyjnie znacznie nowszą formą symbiozy mikoryzowej, najczęściej występującą z sosną, świerkiem, jodłą, brzozą i dębem, która ma szczególne znaczenie w zaopatrywaniu roślin w wodę, ponieważ poprawia zdolność transportu wody i przewodności hydraulicznej oraz zdolność pozyskiwania składników pokarmowych i generalnie zmniejsza stres roślin w warunkach suszy (Averill i in. 2018, Lilleskov i in. 2018).

Wzrost średniej temperatury rocznej, który powoduje wydłużenie sezonu wegetacyjnego, oraz znaczna depozycja azotu i zwiększone stężenie CO₂ w atmosferze skutkują m.in. zwiększeniem dynamiki przyrostu mądrości drzewostanów. Na podstawie analiz przeprowadzonych dla obszaru Polski stwierdzono, że w ciągu ostatniego stulecia produktywność siedlisk leśnych Polski dla sosny, wyrażona wskaźnikiem bonitacji określającym wysokość drzewostanów w wieku 100 lat, wzrosła średnio o ok. 9 m, z 23,5 m w roku 1900 do blisko 32,5 m w roku 2000 (Socha 2019). Zaobserwowanej zmianie średniej bonitacji siedliska dla sosny odpowiada zmiana średniej sumarycznej produkcji drzewostanów sosnowych w wieku 100 lat o zadrzewieniu 0,8, z 571 m³/ha w roku 1900 do 871 m³/ha w roku 2010. Jeszcze większy wzrost stwierdzono w wypadku produktywności siedlisk dla buka, dla którego bonitacja wzrosła o ok. 12 m. Na znaczny wzrost produktywności buka zwyczajnego i świerka pospolitego wskazują badania, w których stwierdzono zwiększenie dynamiki przyrostu na terenie Niemiec, sięgające od 32 do 77% (Pretzsch i in. 2014). Zwiększoną produktywność siedlisk obserwuje się również w wypadku wszystkich pozostałych głównych gatunków lasotwórczych Polski.

Zwiększona produktywność siedlisk ma niebagatelne znaczenie dla stabilności drzewostanów. Prawdopodobieństwo uszkodzeń od wiatru jest silnie związane z zależną od dynamiki przyrostu wysokością drzew, a lasy, które są bardziej produktywne, mogą osiągnąć krytyczne wysokości wcześniej, co zwiększa ich podatność na uszkodzenia od wiatru. Należy mieć również na uwadze to, że drzewostany o zwiększonym przyroście są bardziej narażone na negatywne skutki niedoboru wody i innych ekstremalnych zjawisk pogodowych i w takich warunkach tracą zdolność efektywnej obrony przed atakami szkodników pierwotnych i patogenów grzybowych. Takie zjawiska sprzyjają gradacji

¹⁸ IUNG Puławy. <http://www.iung.pulawy.pl>

owadów i występowaniu chorób infekcyjnych (Lieutier 2002). Zmiany prognozowane dla obszaru Polski oraz Europy, wynikające ze zwiększonej temperatury i deficytu wilgotności, mogą zatem skutkować rozpadem drzewostanów.

Gatunki drzewiaste wykazują naturalną plastyczność do zmieniających się warunków wzrostu. Zdolność adaptacji zmniejsza się jednak z wiekiem drzewostanów. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy jest brak możliwości modyfikacji przez drzewa systemów korzeniowych. Na przykład system korzeniowy sosny zwyczajnej wykształca się do wieku ok. 40 lat (maksymalnie 50 lat), po tym okresie plastyczność systemu korzeniowego sosny, która w młodym wieku może się dostosować niemal do każdych warunków wzrostu, drastycznie maleje. Z tego względu w zmieniających się warunkach wzrostu, w związku ze zmniejszającymi się zdolnościami adaptacyjnymi, jednym z najważniejszych czynników ryzyka jest wiek drzewostanów (Bettinger 2011).

■ Grunty porolne

Porolność gruntu, na którym wzrasta nowe pokolenie lasu, jest istotnym czynnikiem antropogenicznym uruchamiającym wieloczynnikowe procesy chorobowe. Cecha ta (porolność) nabiera szczególnie istotnego znaczenia w kontekście obserwowanych zmian klimatycznych.

Szacuje się, że ok. 23% (tj. ok. 2,1 mln ha) drzewostanów rośnie na gruntach porolnych. Wielkości te można uznać za zaniżone, gdyż odnoszą się w zasadzie do gruntów zalesionych po II wojnie światowej (Łukaszewicz i in. 2019). Zakładając, że wieloczynnikowe zamieranie dotknie w pierwszej kolejności drzewostany rosnące na tzw. terenach trudnych, do których niewątpliwie należą grunty porolne, można przewidzieć możliwy rozmiar tego zjawiska w przyszłości.

Pierwsze pokolenie lasu na gruntach porolnych wzrasta w warunkach permanentnego stresu. Dzieje się tak dlatego, gdyż oprócz całej gamy biotycznych i abiotycznych czynników szkodliwych charakterystycznych dla terenów leśnych istotny wpływ na kondycję drzewostanów ma również stan gleb wcześniej użytkowanych rolniczo. Są to zazwyczaj gleby wielokrotnie nawożone i orane na tej samej głębokości, a ich skład fizykochemiczny i mikrobiologiczny znacznie odbiega od składu i struktury gleb leśnych.

Biorąc pod uwagę specyficzny charakter gleb porolnych, szczególnego znaczenia w ich przypadku nabierają również czynniki współuczestniczące. Niewątpliwie największym problemem w drzewostanach rosnących na gruntach porolnych jest, omówiona szerzej w następnych rozdziałach niniejszego opracowania, huba korzeni. Obecnie, z uwagi na niemal całkowite wstrzymanie zalesień, problem szkód powodowanych przez tego patogena dotyczy głównie dojrzewających drzewostanów sosnowych (Sierota 2019, Rostek i in. 2018).

Nie jest to niestety jedyny czynnik współuczestniczący, istotnie osłabiający stabilność lasów na gruntach porolnych. Znaczące szkody mogą powodować również szkodniki systemów korzeniowych (pędraki), upraw i młodników (ryjkowce) oraz zwierzyna.

Zagrożenie ze strony pędraków chrabąszczy systematycznie rośnie. Duża wrażliwość młodych siewek i sadzonek na ogryzanie części korzeniowej przez pędraki sprawia, że nawet małe uszkodzenie w tej części rośliny może spowodować jej zamieranie. Dodatkowo wzrasta wrażliwość uszkodzonych sadzonek na infekcję przez korzeniowce powodujące hubę korzeni (Sierota 2019).

Od kilkunastu lat największe szkody w uprawach (oprócz pędraków chrabąszczy) i młodnikach wyrządzają szeliniak sosnowiec oraz smolik znaczony. Szkodliwość szeliniaka w skali kraju systematycznie maleje. Główną przyczyną jest przestrzegana

od szeregu lat zasada odłogowania zrębów (1–2 lata) przed ich ponownym odnowieniem. Niestety stały trend spadkowy zagrożenia ze strony tego szkodnika może zostać przerwany pod wpływem zmian klimatycznych skutkujących długotrwałą suszą i anomaliami pogodowymi (silne wiatry powodujące powstawanie dużych powierzchni do odnowienia, co uniemożliwia stosowanie zasady odłogowania).

Systematycznie rośnie za to szkodliwość smolika znaczonego. Jest on klasycznym przykładem szkodnika słabości. Najczęściej zasiedla drzewka uszkodzone przez zwierzynę, pędraki i grzyby patogeniczne (korzeniowce, opieńki i osutki), ekstremalne zjawiska pogodowe (suszę, gradobicie, okiść). Jedną z ważniejszych przyczyn zasiedlenia upraw przez smolika są błędy sadzenia. Szczególnie narażone na zasiedlenie przez smolika są uprawy zakładane na pożarzyskach i gruntach porolnych. W wypadku utrzymania się kierunku zmian klimatycznych należy spodziewać się dalszego wzrostu znaczenia tego owada, zwłaszcza na gruntach porolnych.

Coraz większym problemem gospodarczym jest obserwowany od szeregu lat wzrost pogłowia zwierzyny płowej oraz gatunków objętych różnymi formami ochrony (żubr, bóbr i łos [gatunek łowny objęty moratorium]). Najsilniej uszkodzane są uprawy i młodniki, w których rejestruje się 80–90% wszystkich szkód spowodowanych przez zwierzynę. Dominującym typem uszkodzeń lasu przez zwierzynę jest zgryzanie, ogławianie i łamanie oraz spalowanie. Wszelkiego typu otarcia, odarcia kory, złamanie czy też naderwanie systemów korzeniowych są wrotami infekcji dla patogenów grzybowych (m.in. korzeniowce) oraz sprzyjają zasiedleniu uszkodzonych drzewek przez szkodniki owadzie (m.in. smolika znaczonego). Uszkodzenia mechaniczne powodowane przez zwierzynę mogą również osłabiać odporność lasu na działanie czynników abiotycznych (susza) i obniżać znacząco jakość techniczną drzewostanów. Problem ten jest szczególnie istotny w wypadku mało stabilnych drzewostanów na gruntach porolnych.

Wskazane powyżej interakcje pomiędzy patogenami grzybowymi, światem owadów i zwierzyną wskazują na duży stopień skomplikowania procesów chorobowych zachodzących w nowo tworzących się ekosystemach leśnych na gruntach porolnych. Procesy te zyskują istotne znaczenie dla trwałości ekosystemów leśnych na gruntach porolnych w obliczu obserwowanych zmian klimatycznych, skutkujących m.in. skrajną suszą.

3.2. Czynniki inicjujące

■ Warunki pogodowe w latach 2015 – 2021 (susza)

Rok 2015 r., według klasyfikacji termicznej H. Lorenc, został oceniony jako ekstremalnie ciepły na południu Polski, przede wszystkim na Dolnym Śląsku i Rzeszowszczyźnie, na pozostałym zaś obszarze kraju jako bardzo lub anomalnie ciepły¹⁹. Pod względem warunków wilgotnościowych 2015 r. został oceniony jako suchy (według klasyfikacji Z. Kaczorowskiej); w żadnej części kraju nie odnotowano opadów przekraczających normę (ryc. 4–5). Najsilniejszy niedobór opadów zaznaczył się na południu kraju (Racibórz – 45% normy) i w Wielkopolsce (Kalisz – 51% normy), jedynie w północno-wschodniej Polsce wielkość opadów zbliżona była do przeciętnych. Średnia roczna suma opadów w 2015 r. (475,8 mm) była najniższym wskazaniem z ostatnich kilkunastu lat. Również średnia suma opadów w sezonie wegetacyjnym (288,4 mm) była jednym z najniższych wskazań w ostatnim 20-leciu.

¹⁹ IMGW <http://www.imgw.pl>

W rezultacie Klimatyczny Bilans Wodny (KBW) w sezonie wegetacyjnym (kwiecień–wrzesień), obliczony dla terenów leśnych, przyjmował na ogół wartości ujemne. Najwyższy deficyt/ubytok wody odnotowano na Suwalszczyźnie i w Wielkopolsce (przeciętnie do –300 mm). W pozostałej części kraju wynosił on przeciętnie od –100 mm do –200 mm. Jedynie na Pomorzu i Podkarpaciu stwierdzono dodatnie wartości KBW – przeciętnie od 0 do 100 mm (Dudzińska i in. 2016).

Średni roczny współczynnik hydrotermiczny K Sielianinowa, uwzględniający opady i temperaturę powietrza, w 2015 r. wyniósł 1,05 (ryc. 6), co zgodnie z klasyfikacją Puły i Skowery (2004) oznacza rok dość suchy (wartości K z przedziału 1,0–1,3).

Sytuacja pogodowa nie uległa znaczącej poprawie również w 2016 r., który został sklasyfikowany jako bardzo ciepły (ryc. 4). Najcieplejszy był ponownie w południowej oraz centralnej części kraju, zwłaszcza na Dolnym Śląsku i Mazowszu. Pod względem warunków wilgotnościowych rok 2016 został oceniony jako normalny, a roczne opady w skali kraju stanowiły 110% średniej wieloletniej (ryc. 5). Niemniej niedobór opadów (90% normy) zaznaczył się na północnym i południowym zachodzie kraju. Pozostały obszar był pod tym względem zbliżony do przeciętnej.

Średni roczny współczynnik hydrotermiczny K osiągnął wartość 1,66 (ryc. 6). Zgodnie z przytoczoną powyżej klasyfikacją $K > 1,3$ oznacza normalne warunki hydrotermiczne.

Pomimo nieco korzystniejszych warunków wilgotnościowych, również w 2016 r. odnotowano niekorzystne wartości KBW dla terenów leśnych. Najniższe wartości dla sezonu wegetacyjnego odnotowano na Mazowszu (od –200 mm do –300 mm) i ponownie w Wielkopolsce (przeciętnie –200 mm). W pozostałej części kraju KBW przyjmował przeciętnie wartości –100 mm, z wyjątkiem Pomorza oraz wschodniej i południowej części kraju, gdzie odnotowano dodatnie wartości KBW – przeciętnie od 0 do 100 mm (Boczoń i in. 2017).

Kolejny rok (2017) również obfitował w ekstremalne zjawiska pogodowe. Analogicznie jak dwa poprzednie lata został sklasyfikowany jako ciepły (ryc. 4). Najcieplejszy był na wschodzie i południu kraju, zwłaszcza na Rzeszowszczyźnie i Mazowszu (bardzo ciepły) oraz na Dolnym Śląsku – anomalnie ciepły²⁰. Pod względem warunków wilgotnościowych 2017 r. został oceniony jako wilgotny – roczne opady w skali kraju stanowiły 121% wartości wieloletniej (ryc. 5). Normalny poziom opadów odnotowano w południowej części Polski (z wyjątkiem Beskidów i Podhala), natomiast pozostałą część kraju, na północ od linii Lublin–Wrocław, sklasyfikowano najpierw jako wilgotną, następnie bardzo wilgotną do skrajnie wilgotnej (Podlasie i Mazury, ziemia szczecińska). Zwiększone opady wpłynęły na poprawę warunków wodnych. Klimatyczny Bilans Wodny (KBW) w sezonie wegetacyjnym przyjmował wartości dodatnie w całym kraju w zakresie od 0 do 400 mm, a na Pomorzu Zachodnim do +500 mm. Niestety na terenach najsilniej dotkniętych suszą z 2015 r. (Mazowsze i Wielkopolska) KBW wynosił tylko 0–100 mm (Boczoń i in. 2018). W 2017 r. odnotowano najwyższą wartość średniego rocznego współczynnika hydrotermicznego K wynoszącą 2,1 (ryc. 6), potwierdzającą tym samym poprawę warunków hydrotermicznych w tym roku.

Po dwóch relatywnie „chłodniejszych” latach, 2018 r. został ponownie oceniony jako anomalnie ciepły (ryc. 4). We Wrocławiu, Poznaniu i Warszawie wręcz ekstremalnie ciepły, a na północy i północnym wschodzie kraju bardzo ciepły. Po nieco wilgotniejszych latach 2016–2017, rok 2018 został oceniony jako suchy – roczne opady w skali kraju stanowiły 80,7% wartości wieloletniej (ryc. 5). Podobnie został sklasyfikowany rok hydrologiczny

²⁰ IMGW <http://www.imgw.pl>

(listopad 2017 – październik 2018), w którym opady stanowiły 84,1% normy. Normalny poziom opadów cechował jedynie wschodnią część Polski oraz Pojezierze Mazurskie, natomiast pozostałą część kraju sklasyfikowano jako suchą (Pomorze, południe, centrum) i bardzo suchą (zachód i częściowo centrum). Średnia roczna suma opadów w 2018 r. (477,3 mm) była drugim (po 2015 r. – 475,8 mm) najniższym wskazaniem w XXI wieku – minus 113 mm. Drastycznie niski był również średni poziom opadów w sezonie wegetacyjnym (329,3 mm), kształtujący się znacząco poniżej (o 86 mm) średniej wieloletniej. W ostatnim trzydziestoleciu tak niekorzystne warunki wystąpiły tylko w 2015 r. (288,4 mm). Ponowny brak opadów (po 2015 r.) odbił się bardzo negatywnie na dostępności wody w drzewostanach praktycznie na terenie całego kraju. Najniższe wartości KBW w sezonie wegetacyjnym odnotowano po raz kolejny w Wielkopolsce (przeciętnie –300 mm) oraz na Mazowszu, Podkarpaciu i Lubelszczyźnie (przeciętnie od –100 mm do –200 mm). Jedynie na Pomorzu oraz w północno-wschodniej i częściowo centralnej Polsce odnotowano dodatni KBW – 0–200 mm (Boczoń i in. 2019). Złe warunki hydrotermiczne panujące w całym 2018 r. potwierdza najniższa w analizowanym pięcioleciu wartość średniego rocznego współczynnika hydrotermicznego $K = 0,97$ (ryc. 6), co klasyfikuje ten rok jako suchy (wartości K z przedziału 0,7–1,0), (Puła i in. 2004).

Rok 2019 r. został oceniony jako anomalnie ciepły. Ekstremum ciepła koncentrowało się w centralnej Polsce, obejmując m.in. Wielkopolskę i Mazowsze. Należy podkreślić, że średnia temperatura roku w Polsce po raz pierwszy przekroczyła 10°C. Pod względem warunków wilgotnościowych rok 2019 został oceniony jako normalny, opady osiągnęły poziom 91% normy wieloletniej (ryc. 4–5). Średnia roczna suma opadów w 2019 r. (533,3 mm) była jednym z niższych wskazań w ostatnich latach. Dotyczy to również średniej sumy opadów w sezonie wegetacyjnym (351,9 mm).

Klimatyczny Bilans Wodny (KBW) w sezonie wegetacyjnym (kwiecień–wrzesień), obliczony dla terenów leśnych, był zróżnicowany. Najwyższy deficyt/ubytek wody po raz kolejny odnotowano na Podlasiu i Suwalszczyźnie oraz w Wielkopolsce i Zielonogórskim (do –300 mm). W pozostałej części kraju KBW mieścił się w zakresie 0–100 mm. Jedynie na północy i południu stwierdzono dodatnie wartości KBW (przeciętnie 100–300 mm). Wartość średniego rocznego współczynnika hydrotermicznego K w 2019 r. wyniosła 1,14 (ryc. 6), co zgodnie z przyjętą klasyfikacją Puły i Skowery (2004) charakteryzuje go jako dość suchy (wartości K z przedziału 1,0–1,3).

Rok 2020, według klasyfikacji termicznej H. Lorenz, został oceniony jako anomalnie ciepły. Średnia temperatura powietrza wynosiła 9,9°C i była o 1,6°C wyższa od średniej rocznej wieloletniej wartości temperatury dla klimatologicznego okresu normalnego 1981-2010²¹ (ryc. 4). Był to jednocześnie drugi najcieplejszy rok od początku prowadzenia pomiarów meteorologicznych na terenie Polski – cieplejszy był jedynie 2019 r. Pod względem opadowym rok 2020 został oceniony jako normalny (według klasyfikacji Z. Kaczorowskiej), roczne opady w skali kraju stanowiły 104,4% wartości normy wieloletniej z lat 1981-2010. Średnia suma opadów w 2020 roku w Polsce wyniosła 645,4 mm. Ta wartość pozwala zakwalifikować ten rok pod względem wysokości opadów jako 4. W kończącej się dekadzie i 7. w XXI wieku (ryc. 5).

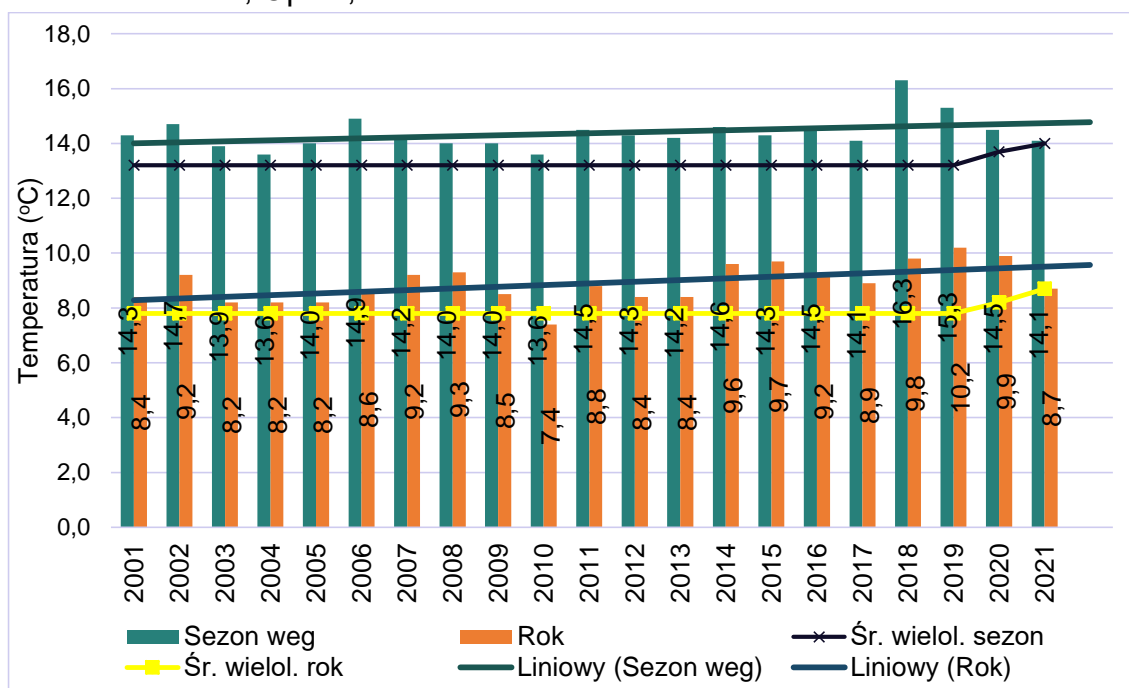
Średnia wartość KBW w okresie od marzec–wrzesień była ujemna i wyniosła -51,3 mm, co świadczy o tym, że pomimo stosunkowo wysokich opadów wystąpiła przewaga zjawiska parowania prowadząca do deficytu wody i wystąpienia suszy

²¹ W roku 2020 uległ zmianie zakres lat określanych jako klimatologiczny okres normalny (z 1971 – 2000 na 1981 – 2010) wykorzystywany do raportowania przez IMiGW-PIB.

w przeważającej części kraju. Na znacznym obszarze kraju notowano deficyt wody wynoszący od -50 do -119 mm. Na terenach podgórskich wartości KBW były wysokie, miejscami nawet przekraczające 100 mm. Średni współczynnik hydrotermiczny osiągnął wartość $K=1,54$ (ryc. 6), co odpowiada normalnym warunkom hydrotermicznym ($K>1,3$). Należy podkreślić, że w północno-zachodniej i północno-wschodniej części kraju oraz w Wielkopolsce wartości współczynnika K nie osiągnęły wartości normatywnych z lat 1981 – 2010 (SHM Koszalin, Poznań, Szczecin, Chojnice i Suwałki – odpowiednio 65,9%, 76,3%, 70,7%, 83,9% i 89,3%) co potwierdza występowanie zjawiska suszy na tych terenach w 2020 r.

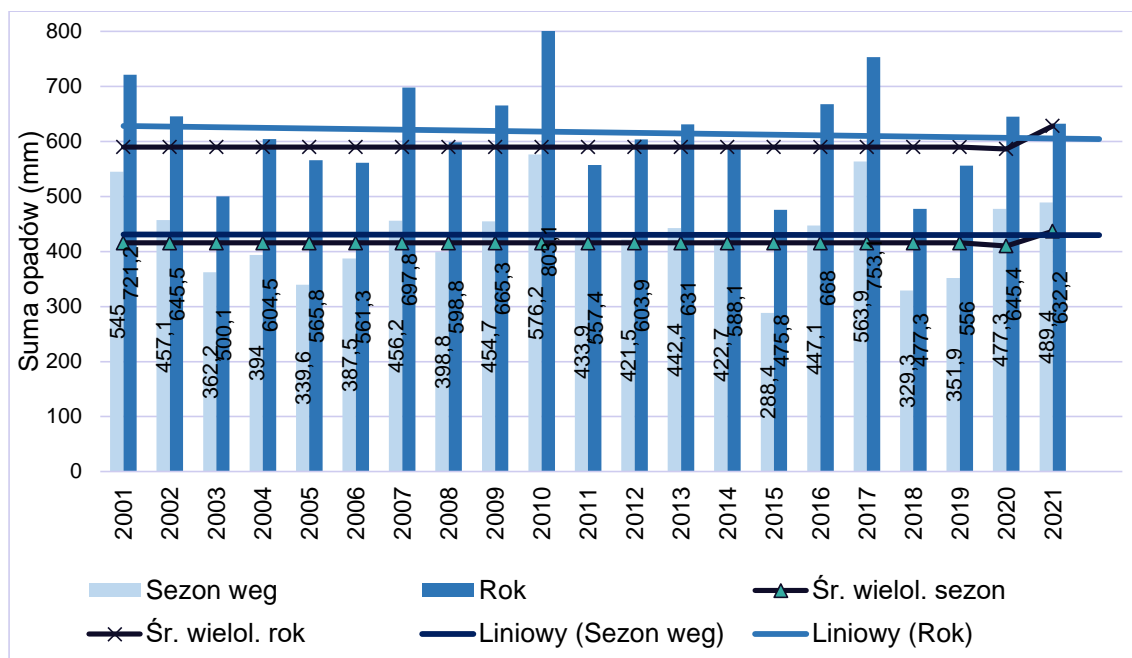
Rok 2021, wg klasyfikacji termicznej Miętusa i in. (2002), został oceniony jako normalny. Lokalnie na Wybrzeżu był ciepły, a w centralnej i południowej części kraju lekko chłodny. Średnia temperatura powietrza wynosiła $8,7^{\circ}\text{C}$ i była równa średniej rocznej wieloletniej wartości temperatury dla klimatologicznego okresu normalnego 1991 – 2020²² (ryc. 4). Pod względem opadowym 2021 r. został oceniony jako normalny. Roczne opady w skali kraju stanowiły 100,6% wartości normy wieloletniej z lat 1991 – 2020. Średnia suma opadów wyniosła 632,2 mm, co pozwala zakwalifikować ten rok pod względem wysokości opadów jako 8 w ostatnim 20-leciu (ryc. 5).

W roku 2021 w okresie od marca do września średnia wartość KBW dla kraju była ujemna i wyniosła -29,33 mm (2021 r. -51,3 mm), co świadczy o tym, że pomimo stosunkowo wysokich opadów ponownie wystąpiła niewielka przewaga zjawiska parowania prowadząca do okresowego deficytu wody i lokalnie występującego zjawiska suszy. Średni współczynnik hydrotermiczny K wyniósł 1,56 (ryc. 6), co wskazuje na utrzymujące się od 2020 r. normalne warunki hydrotermiczne ($K>1,3$). Wyjątek stanowiła, podobnie jak w 2020 r., północno-zachodnia część kraju, gdzie wartości współczynnika K nie osiągnęły wartości normatywnych (Koszalin, Szczecin i Chojnice – odpowiednio 74,1%, 76,3% i 82,7%) wskazujących na trwającą suszę. Na pozostałym obszarze kraju wartości wskaźnika były znacznie wyższe, stanowiąc 107,8 – 155,6% średnich wieloletnich. Warunki najbardziej zbliżone do normatywnych (90 – 100% normy) stwierdzono w Mławie, Opolu, Poznaniu i we Wrocławiu.

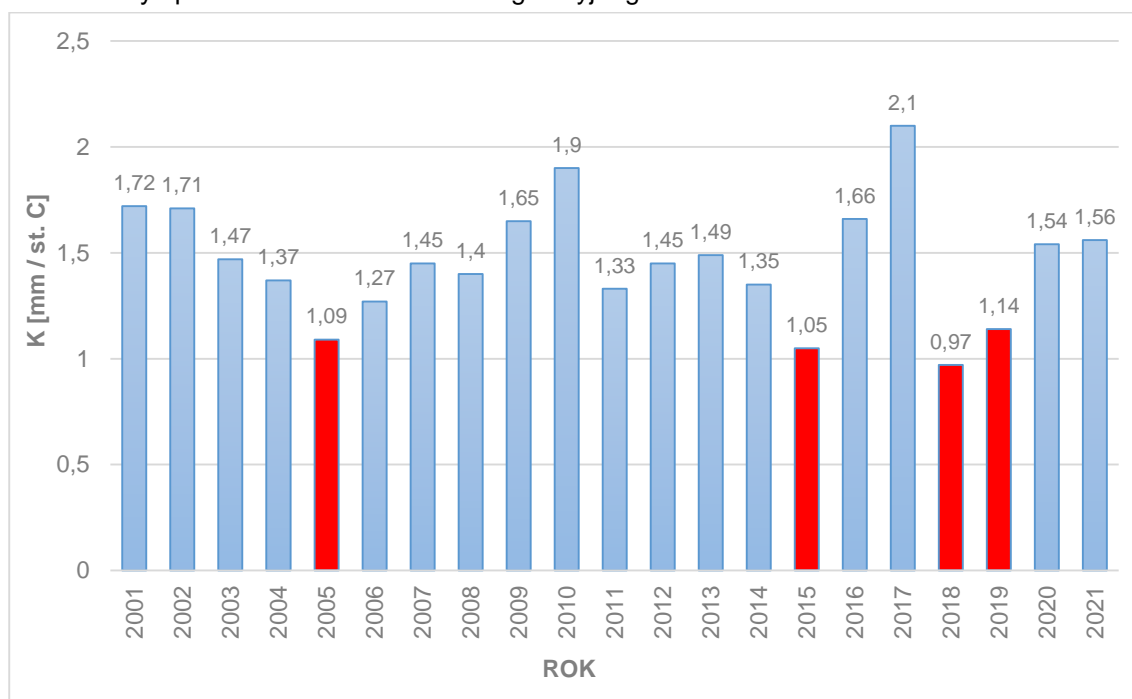


Ryc. 4. Średnie temperatury roczne i sezonu wegetacyjnego w Polsce w latach 2001–2021

²² W roku 2021 uległ zmianie zakres lat określanych jako klimatologiczny okres normalny (z 1981 – 2010 na 1991 – 2020) wykorzystywany do raportowania przez IMiGW-PIB.



Ryc. 5. Sumy opadów – roczne i sezonu wegetacyjnego w Polsce w latach 2001–2021.



Ryc. 6. Współczynnik hydrotermiczny w Polsce w latach 2001–2021.

■ Poziom uszkodzenia lasów przez czynniki abiotyczne (wg danych PGL LP)

W konsekwencji opisanych powyżej zdarzeń sumaryczna powierzchnia lasów zarządzanych przez Lasy Państwowe, osłabionych/uszkodzonych przez czynniki abiotyczne, przekroczyła w latach 2015–2021 poziom 600 tys. ha. Do czynników abiotycznych o charakterze klęskowym, mających największy wpływ na poziom uszkodzeń drzewostanów w omawianym 7-leciu, można zaliczyć przede wszystkim silną suszę (343 tys. ha) i wiatry (222 tys. ha). Najsilniej obciążona szkodami abiotycznymi była południowa i centralna część Polski. Największy areal uszkodzonych drzewostanów odnotowano na terenie RDLP Wrocław – 181 tys. ha, w tym szkody spowodowane przez suszę – 126 tys. ha i silny wiatr – 48 tys. ha. Również na terenie RDLP Katowice rejestrowano objawy osłabienia/uszkodzenia przez czynniki abiotyczne na powierzchni 149 tys. ha (w tym susza – 96 tys. ha, wiatr – 39 tys. ha). Na terenie RDLP Toruń odnotowano 64 tys. ha lasów uszkodzonych przede wszystkim przez wiatr (40 tys. ha)

i suszę (22 tys. ha). Z kolei na terenie RDLP Poznań powierzchnia drzewostanów uszkodzonych przez czynniki abiotyczne osiągnęła poziom 59 tys. ha. Dominowały szkody spowodowane przez suszę (40 tys. ha) i wiatr (17 tys. ha).

Istotny wpływ na poziom uszkodzenia i kondycję drzewostanów w Polsce miał, oprócz trwającej od 2015 r. suszy, huragan z sierpnia 2017 r., który spowodował szkody w drzewostanach na powierzchni ok. 80 tys. ha – zanotowano 9,8 mln m³ złomów i wywrotów. W lasach zarządzanych przez PGL LP całkowicie lub częściowo uszkodzone zostały drzewostany na terenie niemal 60 nadleśnictw, należące do RDLP Toruń, Gdańsk, Poznań, Szczecinek, Łódź i Wrocław. Najbardziej ucierpiały lasy RDLP Toruń i Gdańsk.

Z danych gromadzonych przez PGL LP wynika, że silna susza była głównym czynnikiem abiotycznym osłabiającym i uszkadzającym drzewostany w latach 2015–2021 praktycznie na terenie całego kraju. Sumaryczna powierzchnia lasów uszkodzonych przez ten czynnik abiotyczny wyniosła w latach 2015-2021 przeszło 343 tys. ha, co stanowi 57% całkowitej powierzchni występowania wszystkich czynników abiotycznych i antropogenicznych. Udział suszy jako głównego abiotycznego czynnika szkodotwórczego był również wysoki w poszczególnych latach. Na ogół przekraczał 50% (81% w 2016 r.). Tylko w 2017 r. spadł do 29% po sierpniowym huraganie, który uszkodził lub zniszczył ok. 80 tys. ha lasów (tab. 1).

Tab. 1. Powierzchnia drzewostanów uszkodzonych przez suszę w poszczególnych RDLP w latach 2015–2021.

RDLP	Powierzchnia drzewostanów uszkodzonych/osłabionych przez suszę [ha]								Udział suszy jako czynnika szkodotwórczego w ogólnej powierzchni drzewostanów uszkodzonych/osłabionych przez czynniki abiotyczne i antropogeniczne [%]							
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	R-m 2015-2021	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	R-m 2015-2021
Białystok	93	318	368	240	1 993	33	33	3 077	9	11	25	25	79	9	3	23
Gdańsk	134	23	4	12	229	503	177	1 083	14	22	0	4	46	22	70	26
Katowice	14 466	16 821	10 994	15 533	11 708	14 675	11 629	95 825	84	71	80	90	28	87	85	75
Kraków	26	43	0	5	46	1	2	123	34	11	0	3	13	0	2	9
Krosno	162	191	28	9	359	34	45	827	19	94	9	27	36	5	38	33
Lublin	598	2 776	119	61	386	74	127	4 141	52	88	6	28	39	8	23	35
Łódź	71	1 478	427	328	718	620	266	3 908	9	28	6	71	75	45	6	34
Olsztyn	60	49	723	236	99	289	216	1 671	14	40	91	84	28	30	19	44
Piła	9	26	81	110	416	1 654	1 392	3 687	27	6	78	79	16	94	98	57
Poznań	1 034	11 009	4 249	1 712	5 385	7 476	9695	40 560	28	96	39	20	87	97	90	65
Radom	355	617	2 825	2 006	741	6 118	121	12 782	73	68	82	57	41	98	34	65
Szczecin	616	747	1 016	1 497	2 173	3 838	2 813	12 699	9	66	23	25	38	88	93	49
Szczecinek	53	44	127	168	159	2 159	424	3 134	42	46	6	3	9	97	78	40
Toruń	1 295	3 742	4 382	1 153	5 142	4 105	2 236	22 055	34	83	11	67	75	90	38	57
Warszawa	637	873	435	583	599	2 452	206	5 785	86	69	22	89	52	82	53	65
Wrocław	6 092	35 951	12 484	18 871	30 999	15 122	6042	125 561	62	98	52	64	65	64	53	66
Zielona Góra	41	560	167	1 018	1 333	3 274	183	6 575	6	86	2	70	43	99	62	53
R-m RDLP	25 741	75 266	38 429	43 543	62 482	62 427	35 606	343 494	53	81	29	57	45	77	64	58

Największą powierzchnię drzewostanów uszkodzonych/osłabionych przez suszę w 7-leciu odnotowano na terenie RDLP Wrocław (126 tys. ha) i Katowice (96 tys. ha). Jednocześnie susza jako czynnik szkodotwórczy stanowiła na terenie ww. RDLP odpowiednio 66% i 75% areálu ewidencjonowanych czynników abiotycznych. Osłabienie w głównej mierze dotyczyło drzewostanów świerkowych oraz w mniejszym zakresie sosnowych i liściastych (głównie dębowych). Również na terenie RDLP Poznań odnotowano przeszło 41 tys. ha drzewostanów (głównie sosnowych oraz dębowych) osłabionych przez suszę. Istotne osłabienie drzewostanów sosnowych notowano również na terenach RDLP Toruń (22 tys. ha), Radom (13 tys. ha), Szczecin (13 tys. ha), Zielona Góra (po 6,6 tys. ha) i Warszawa (5,8 tys. ha), (tab. 1).

Należy w tym miejscu podkreślić, że prezentowane powyżej dane dotyczą wyłącznie drzewostanów z widocznymi objawami uszkodzenia przez suszę. Dane dotyczące m.in. Klimatycznego Bilansu Wodnego wskazują natomiast na wysokie prawdopodobieństwo występowania stresu wodnego w lasach, spowodowanego przez suszę na powierzchni co najmniej kilkukrotnie większej.

3.3. Czynniki współuczestniczące i dobijające

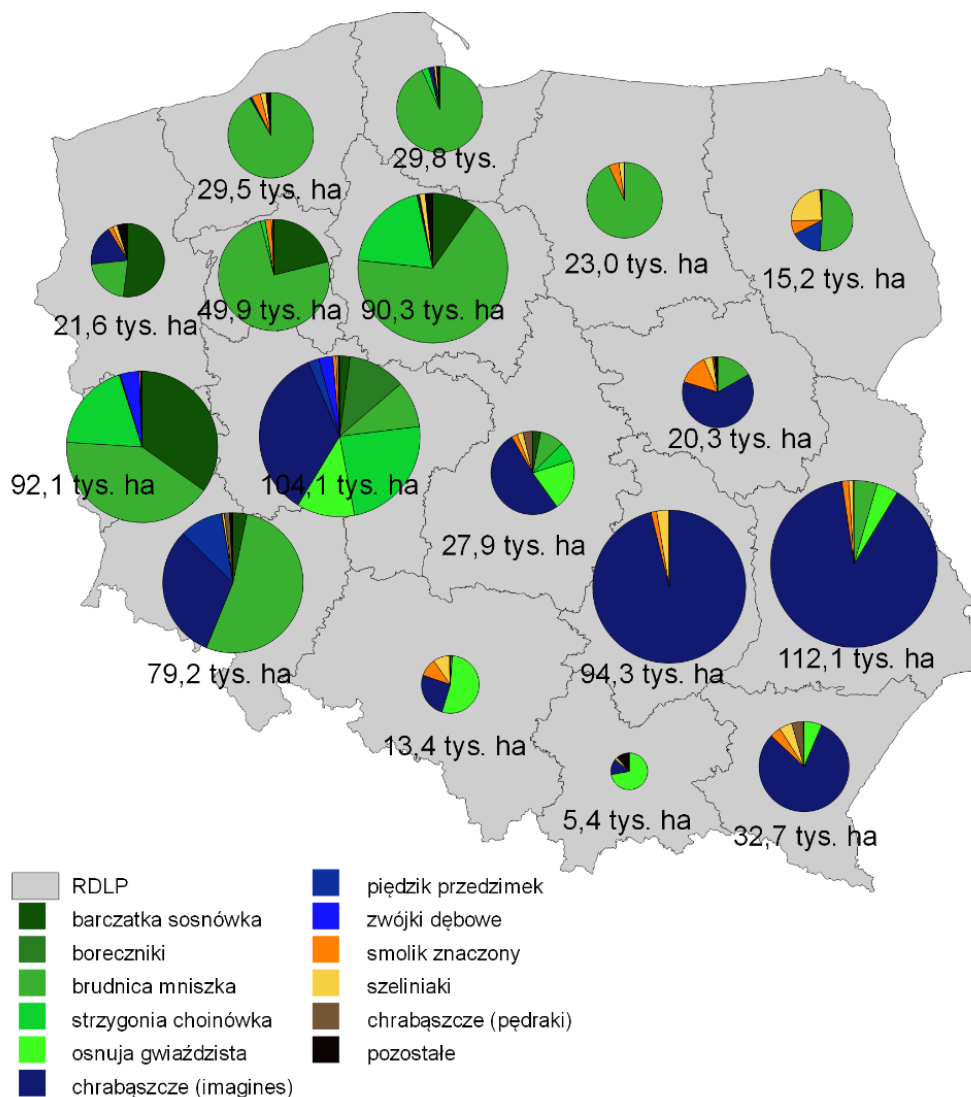
■ Owadzie szkodniki pierwotne (czynniki współuczestniczące)

Zmiany klimatu mogą powodować zwiększoną aktywność wielu gatunków owadów, w tym uznawanych za szkodliwe (Wigley 1993, Ayers i in. 2000, Battisti 2008, Moore i in. 2008, Hilszczański 2013, Jaworski i in. 2013, Pureswaran i in. 2018).

Sumaryczna powierzchnia występowania szkodników pierwotnych w latach 2015–2021 przekroczyła 1,8 mln ha. Ze względu na skalę zagrożenia w omawianych pięciu latach zaszła konieczność przeprowadzenia naziemnych i lotniczych zabiegów ochronnych na powierzchni przekraczającej 840 tys. ha. Lata 2015–2016 cechował względnie niski poziom zagrożenia ze strony tej grupy szkodników. Powierzchnia występowania i zwalczania wyniosła w 2015 r. odpowiednio 175 tys. ha i 86 tys. ha i w głównej mierze dotyczyła imagines chrabąszczy. W 2016 r. występowanie i zwalczanie szkodników pierwotnych odnotowano na rekordowo niskich powierzchniach, odpowiednio 91 tys. ha i 30 tys. ha w skali kraju. Z kolei lata 2017–2019 charakteryzowały się wysokim poziomem zagrożenia powodowanym przede wszystkim przez foliofagi drzewostanów sosnowych (brudnicę mniszkę, strzygonię choinówkę, barczatkę sosnowkę, osnuję gwiazdzistą i boreczniki) oraz imagines chrabąszczy. Powierzchnia występowania szkodników pierwotnych w 2017 r. wzrosła do 300 tys. ha, a następnie w 2018 r. do 454 tys. ha i w 2019 r. do 470 tys. ha. Wzrosły również znacząco powierzchnie zabiegów ochronnych, które wykonano w latach 2017–2019, odpowiednio na powierzchniach 100 tys. ha, 241 tys. ha i 232 tys. ha. Lata 2020–2021 to ponowny spadek poziomu zagrożenia ze strony szkodników pierwotnych których występowanie odnotowano na powierzchniach 94 tys. ha (2020) i 148 tys. ha (2021). Zabiegi ochronne wykonano na powierzchniach 50 tys. ha (2020) i 67 tys. ha (2021), w głównej mierze przeciwko imagines chrabąszczy (odpowiednio na powierzchniach 24 tys. ha i 40 tys. ha).

Widoczna jest również rejonizacja występowania głównych grup szkodników pierwotnych. Szkodniki starszych drzewostanów sosnowych (brudnica mniszka, strzygonia choinówka, barczatka sosnowka, osnuje i boreczniki) dominowały w zachodniej i północnej części kraju. Szkodniki drzewostanów liściastych (imagines chrabąszczy oraz zwójki i miernikowce dębowe) występowały najliczniej we wschodniej, centralnej i częściowo południowej Polsce. W północno-wschodniej, wschodniej i częściowo południowej części kraju istotne znaczenie miały również szkodniki szkółek, upraw i młodników sosnowych (szeliniaki i smolik znaczony), (ryc. 7).

Biorąc pod uwagę areał zabiegów ochronnych wykonanych w latach 2015–2021 przeciwko poszczególnym grupom/gatunkom szkodników pierwotnych, najsilniej zagrożone były drzewostany RDLP Lublin, Poznań, Radom, Zielona Góra, Toruń, Wrocław, i Piła (ryc. 7).



Ryc. 7. Zwalczanie głównych grup/gatunków szkodników owadzych w latach 2015–2021 w lasach zarządzanych przez LP.

■ Choroby infekcyjne (czynniki współuczestniczące)

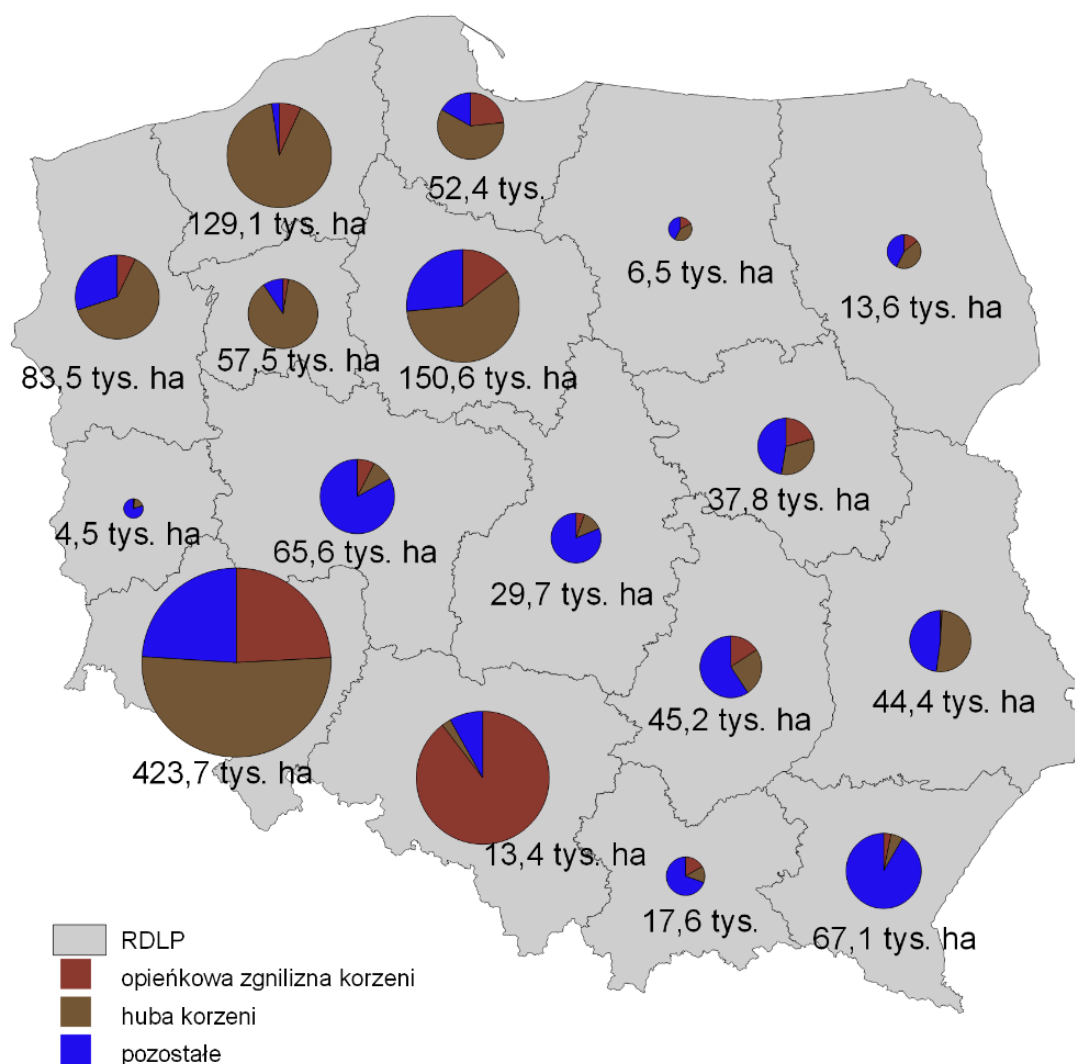
Choroby infekcyjne są istotnym czynnikiem szkodotwórczym, uaktywniającym się w efekcie stresu drzew i drzewostanów (Sierota 1998).

Zagrożenie ze strony chorób infekcyjnych powodowanych przez patogeny grzybowe w latach 2015–2021 można określić jako stabilne. Sumaryczna powierzchnia występowania chorób infekcyjnych w omawianym 7-leciu osiągnęła poziom 1,4 mln. ha. Dominującą rolę (jako główny czynnik szkodotwórczy) pełnią choroby korzeni – opieńkowa zgnilizna korzeni powodowana przez grzyby rodzaju *Armillaria* i huba korzeni powodowana przez korzeniowce *Heterobasidion spp.*. Ich udział w całkowitej powierzchni występowania chorób infekcyjnych wynosił 70%, w tym huba korzeni – 44% (przeciętnie w 7-leciu 91 tys. ha/rok) i opieńkowa zgnilizna korzeni – 26% (53 tys. ha/rok), (ryc. 8).

Występowanie patogenów korzeniowych jest w zasadzie rejestrowane na terenie wszystkich 17. RDLP. Huba korzeni była głównym czynnikiem uszkadzającym drzewostany (głównie sosnowe) w latach 2015–2021 na terenach RDLP Wrocław – 220 tys. ha, Szczecinek – 117 tys. ha, Toruń – 89 tys. ha, Szczecin – 52 tys. ha, Piła – 51 tys. ha, Gdańsk – 31 tys. ha i Lublin – 23 tys. ha (ryc. 8).

Drugą co do ważności jednostką chorobową systemów korzeniowych jest opieńkowa zgnilizna korzeni. Niewątpliwym liderem jest RDLP Katowice, na terenie której odnotowano 188 tys. ha drzewostanów (głównie świerkowych) porażonych przez ten

patogen. Wysoki poziom uszkodzeń jest widoczny również na terenach RDLP Wrocław – 102 tys. ha, Toruń – 22 tys. ha i Gdańsk – 12 tys. ha, gdzie oprócz drzewostanów świerkowych porażane były drzewostany sosnowe, dębowe i jesionowe (ryc. 8).



Ryc. 8. Powierzchnia występowania chorób infekcyjnych i wieloczynnikowych zjawisk zamierania drzew i drzewostanów w latach 2015–2021.

W omawianym 7-leciu pojawiały się również epifitozy innych sprawców chorób grzybowych. W 2016 r. na powierzchni 17 tys. ha odnotowano zamieranie pędów sosny, podczas gdy w 2015 r. powierzchnia występowania tej choroby wyniosła tylko 526 ha w skali kraju. Ponad 95% powierzchni drzewostanów z objawami zamierania pędów sosny znajdowała się na terenie RDLP Poznań i Wrocław, gdzie to zjawisko chorobowe zarejestrowano na powierzchni odpowiednio 7 tys. ha i 9 tys. ha. W 2017 r. areal występowania choroby spadł do niespełna 4 tys. ha, a w 2018 r. do 644 ha.

Ważną rolę w kształtowaniu kondycji lasów w latach 2015-2021 pełniły również osutki sosny, mączniak dębu, wieloczynnikowe zamieranie drzew iglastych i liściastych (jesionu) oraz choroby kłód i strzał (przede wszystkim na terenie RDLP Krosno).

■ Inne organizmy szkodliwe (czynniki współuczestniczące)

W ostatnich latach zaobserwowany został nowy czynnik osłabiający drzewostany sosnowe – jemiola *Viscum spp.* W latach 2015–2016 notowano niewielkie powierzchnie drzewostanów (głównie jodłowych) zasiedlonych przez jemiolę na terenach RDLP Kraków i Krosno. Natomiast w 2017 r. stwierdzono już 1,4 tys. ha drzewostanów iglastych (jodłowych i sosnowych) masowo zasiedlonych przez tego półpasożyta. W 2018 r.

odnotowano aż prawie 23 tys. ha, przede wszystkim zamierających drzewostanów sosnowych silnie opanowanych przez ten organizm. Jego masowe występowanie koncentrowało się w południowej i centralnej części kraju. Największe powierzchnie uszkodzonych przez jemiolę drzewostanów odnotowano na terenie RDLP Wrocław (7,8 tys. ha), Katowice (7,6 tys. ha), Łódź (4,5 tys. ha) i Radom (1,3 tys. ha). W 2019 r. przeprowadzono kompleksową inwentaryzację występowania jemioli ze szczególnym naciskiem na jemiolę występującą w drzewostanach sosnowych liczących powyżej 20 lat, z udziałem sosny powyżej 50%. Łącznie zinwentaryzowana powierzchnia wyniosła 166,7 tys. ha. Największe powierzchnie zaobserwowano na terenie RDLP Wrocław – 30,6 tys. ha, Lublin – 24,4 tys. ha i Poznań – 23,7 tys. ha (tab. 2).

Tab. 2. Powierzchnia drzewostanów iglastych opanowanych przez jemiolę – wyniki inwentaryzacji z 2019 r.

RDLP	Powierzchnia występowania jemioli (ha)				
	Powierzchnia całkowita	1 ST USZ	2 ST USZK	3 ST USZK	bez kodu ST USZK
RDLP Wrocław	30 624	11 764	7 957	1 998	9
RDLP Lublin	24 381	13 213	2 274	729	29
RDLP Poznań	23 735	12 295	3 844	1 039	16
RDLP Katowice	16 528	7 791	3 227	1 470	27
RDLP Łódź	14 764	6 134	1 880	389	18
RDLP Radom	14 516	6 594	2 069	1 815	11
RDLP Zielona Góra	12 821	4 081	1 461	644	42
RDLP Szczecin	10 147	5 027	2 168	622	6
RDLP Warszawa	5 735	1 888	612	217	266
RDLP Kraków	5 712	2 241	2 012	852	30
RDLP Krosno	4 046	1 995	795	120	7
RDLP Toruń	3 435	1 230	719	382	1
RDLP Piła	288	161	0	0	0
RDLP Białystok	0	0	0	0	0
RDLP Olsztyn	0	0	0	0	0
RDLP Szczecinek	0	0	0	0	0
RDLP Gdańsk	0	0	0	0	0
Razem	166 732	74 413	29 019	10 277	462

ST USZK – stopień uszkodzenia wynikający z występowania jemioli.

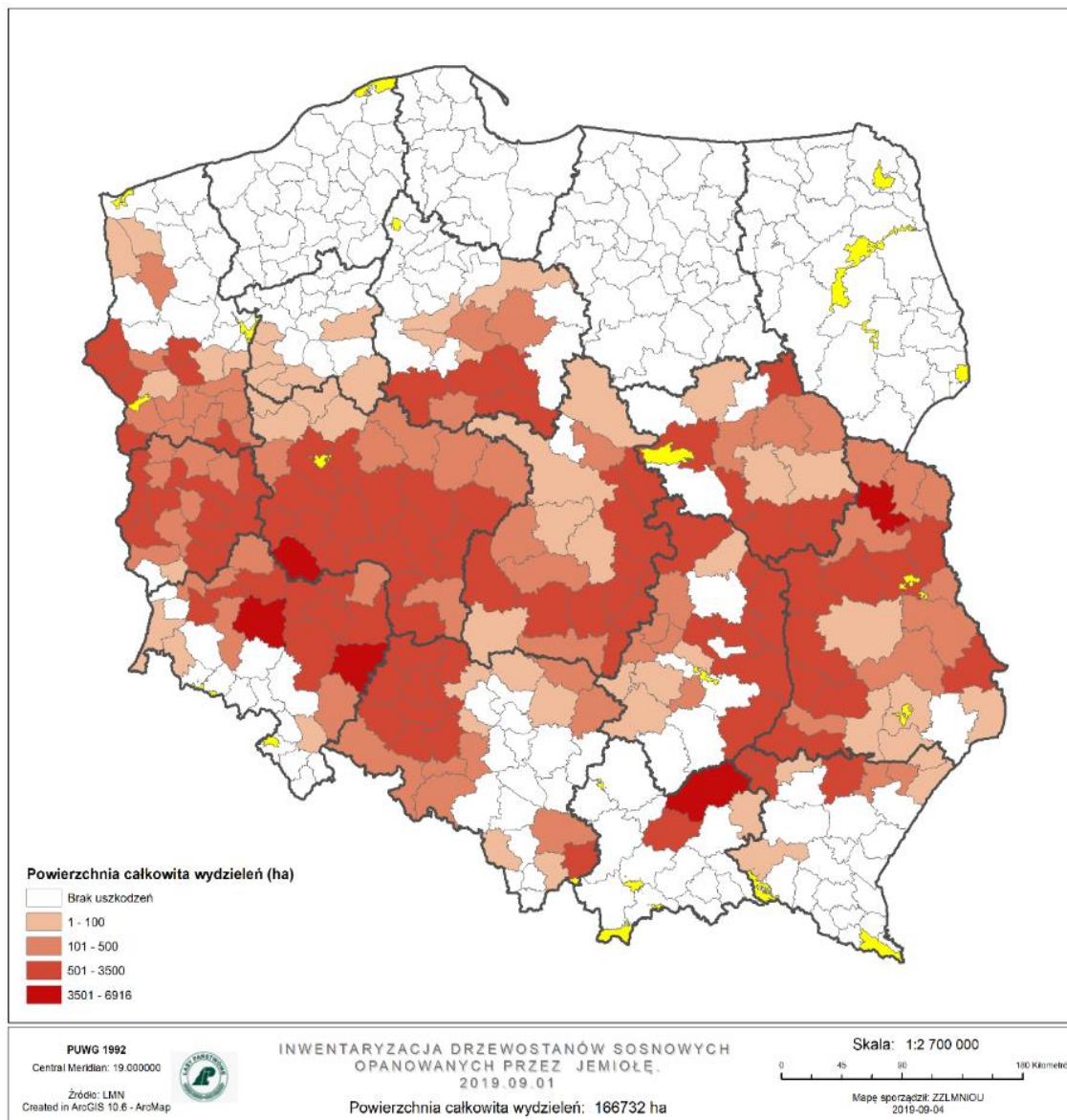
W 2020 roku całkowita powierzchnia drzewostanów uszkodzonych przez różne gatunki jemioli oszacowano na 127,5 tys. ha²³. Podobnie jak w latach ubiegłych szkody wykazywano głównie w drzewostanach iglastych, których powierzchnia wyniosła 126,7 tys. ha. Problem drzewostanów uszkadzanych przez jemiolę był szczególnie istotny w RDLP Wrocław (22,4 tys. ha), Poznań (20,4 tys. ha.), Lublin (16,3 tys. ha), Warszawa (11,2 tys. ha) i Katowice (10,3 tys. ha).

W 2021 roku całkowita powierzchnia drzewostanów uszkodzonych przez jemiolę wzrosła do 135,4 tys. ha. Podobnie jak w latach ubiegłych największe szkody obserwowano w drzewostanach iglastych, gdzie łączna powierzchnia uszkodzeń wyniosła 134,7 tys. ha. Problem drzewostanów iglastych uszkadzanych przez jemiolę był szczególnie istotny w RDLP w Poznaniu, gdzie odnotowano wzrost powierzchni uszkodzeń do 24,6 tys. ha i we Wrocławiu, gdzie stwierdzono 20,7 tys. ha drzewostanów uszkodzonych przez tego półpasożyta. Wzrost powierzchni uszkodzeń powodowanych przez jemiolę odnotowano również w RDLP Lublin, Łódź, Radom i Warszawa.

Obszar występowania jemioli dotyczy głównie Polski centralnej i w znacznym stopniu pokrywa się z obszarem, na którym występują problemy spowodowane suszą i obniżeniem wód gruntowych (ryc. 9).

²³ Podana powierzchnia dotyczy drzewostanów opanowanych przez jemiolę i wykazujących widoczne objawy osłabienia (na podstawie danych gromadzonych w formularzu 4 IOL). Inwentaryzacja wykonana w 2019 r. dotyczyła wszystkich drzewostanów sosnowych z występującą jemiolą niezależnie od ich kondycji (zarówno z objawami osłabienia, jak również pozornie zdrowe).

Problem z występowaniem jemioli pospolitej, a szczególnie podgatunku występującego na sośnie, staje się w gospodarce leśnej coraz poważniejszy. Intensywne porażenie drzewostanów może skutkować znacznymi stratami ekonomicznymi z powodu spadku tempa wzrostu porażonych drzew, obniżenia zdrowotności oraz osłabienia produkcji nasion. Szkody w drzewostanach opianowanych przez jemiolę nasiliły się w ostatnich latach w całej Europie. Niewątpliwie jest to związane z trwającą od kilku lat suszą oraz wzrostem temperatury i brakiem pokrywy śnieżnej w okresie zimowym.



Ryc. 9. Powierzchnia występowania drzewostanów sosnowych opianowanych przez jemiolę – wyniki inwentaryzacji z 2019 r.

■ Owadzie szkodniki wtórne (czynnik współuczestniczący, dobijający osłabione drzewa)

Niewątpliwie największy wzrost znaczenia, w kontekście zaburzeń klimatycznych w ostatnich latach, dotyczy grupy szkodników wtórnych. Przede wszystkim widoczny jest silny wzrost presji tej grupy owadów na drzewostany sosnowe, świerkowe i dębowe. Wśród głównych przyczyn zaistniałej sytuacji należy wymienić, oprócz trwającej od 2015 r. suszy, coraz częstsze huragany stwarzające dogodne warunki do rozmnażania się szkodników wtórnych w uszkodzonych drzewostanach. Wymiernym wskaźnikiem oddziaływania opisanego powyżej kompleksu czynników biotycznych i abiotycznych jest miąższość drewna pozyskanego w ramach cięć sanitarnych. Ogółem w latach 2015–2021

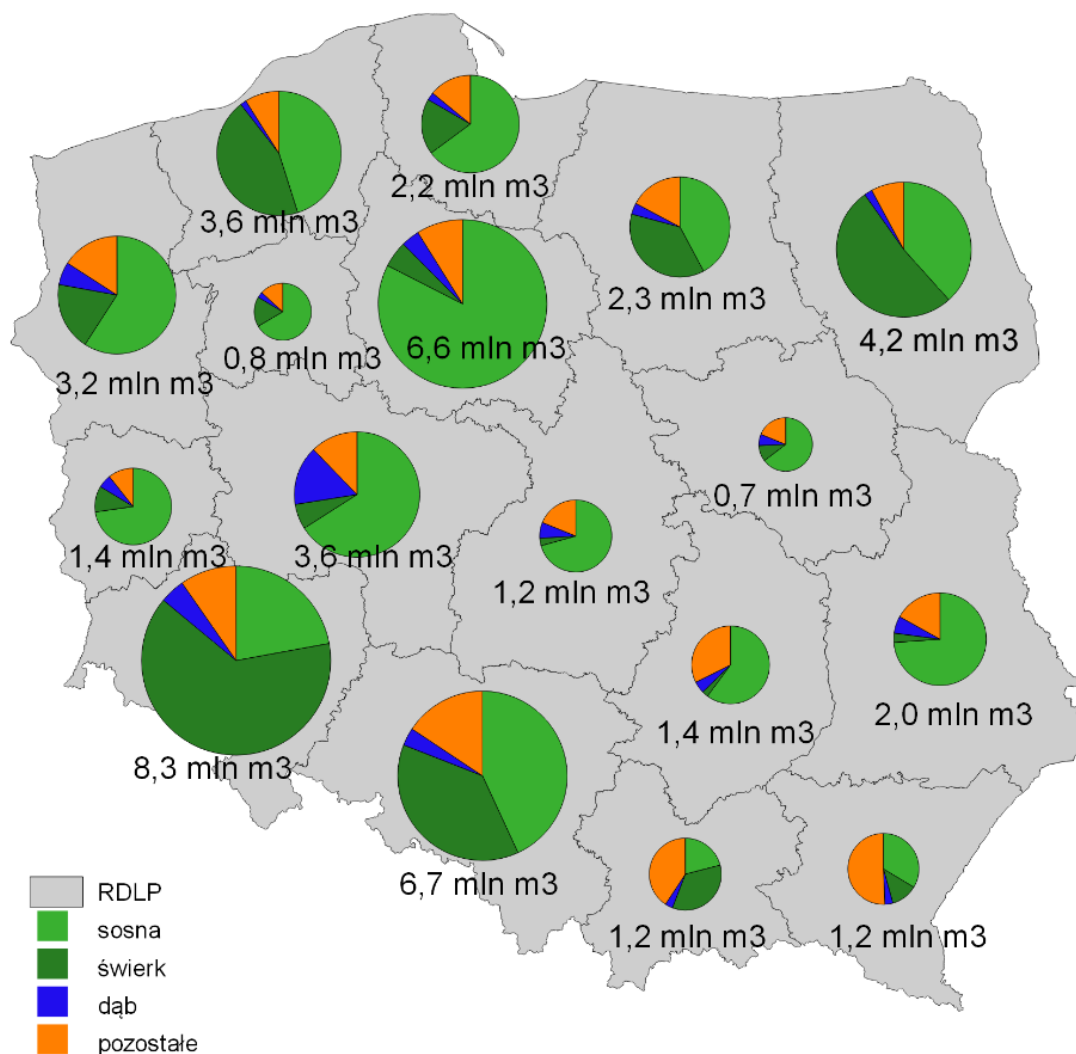
pozyskano 50,7 mln m³ posuszu oraz złomów i wywrotów wszystkich gatunków drzew (tab. 3).

Tab. 3. Pozyskanie drewna w ramach cięć sanitarnych w poszczególnych RDLP w latach 2015–2021 w tys. m³.

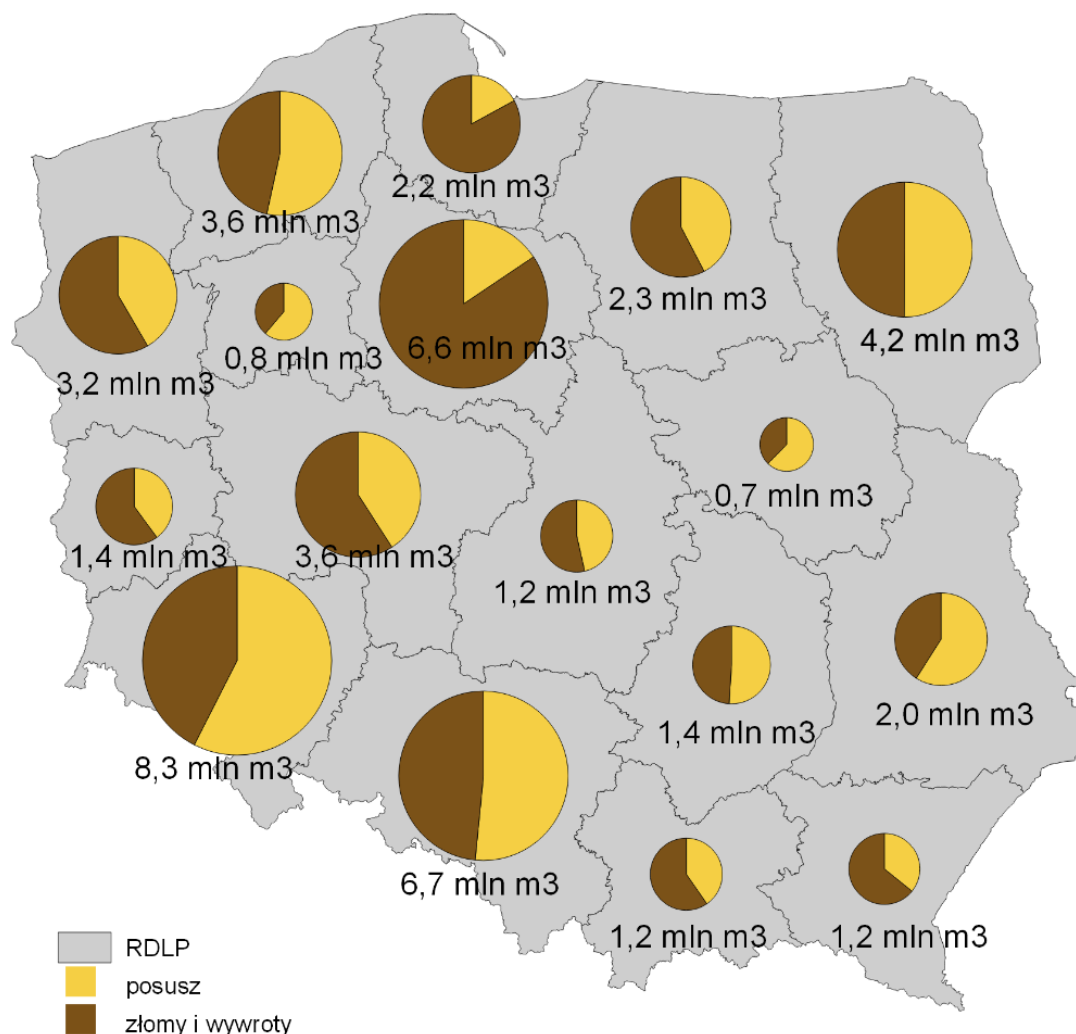
	2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
RDLP	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty
Białystok	200,6	199,2	284,1	719,7	472,0	413,0	358,5	248,1	391,1	179,0	225,5	175,9	178,7	192,8
Gdańsk	66,0	117,6	77,9	51,7	53,1	553,0	28,1	844,5	53,8	153,5	50,3	78,9	43,3	49,3
Katowice	429,3	395,7	712,3	419,5	514,2	505,1	471,4	624,7	530,7	612,2	572,5	234,3	444,3	214,2
Kraków	59,8	126,0	106,0	89,8	77,3	108,2	65,3	109,9	53,8	157,4	53,1	74,6	55,4	72,9
Krosno	40,4	117,2	47,8	80,6	50,3	147,9	77,5	161,9	78,7	119,8	39,7	97,9	28,8	86,4
Lublin	94,9	130,1	169,9	143,0	189,2	157,7	282,0	114,8	213,4	93,3	135,8	98,9	80,4	92,1
Łódź	32,7	58,1	52,8	181,7	65,8	115,8	75,1	143,5	107,1	40,7	110,2	38,7	69,7	119,2
Olsztyn	124,0	299,3	136,0	334,3	121,1	190,3	112,7	168,6	138,1	156,1	124,3	118,7	79,8	233,7
Piła	39,3	58,6	97,6	40,8	58,3	24,4	41,8	29,8	83,0	26,0	129,7	25,4	89,8	15,5
Poznań	67,4	143,2	214,0	92,4	141,2	449,9	144,5	949,2	434,3	190,6	441,1	39,7	296,3	53,9
Radom	28,5	112,4	41,1	164,2	70,8	103,4	192,1	102,7	184,7	52,6	159,8	41,1	115,3	43,9
Szczecin	117,3	296,7	114,8	170,3	93,9	270,6	118,1	505,0	323,7	127,8	523,8	76,7	439,8	53,2
Szczecinek	327,0	244,1	367,2	105,5	241,4	368,6	225,8	339,6	326,5	128,0	368,3	103,6	384,8	64,9
Toruń	64,3	116,1	127,3	74,9	101,8	1 581,7	73,8	3 041,4	198,4	593,2	260,4	69,7	111,2	205,8
Warszawa	48,8	23,3	62,3	65,1	69,9	37,8	64,3	40,8	76,5	19,8	61,7	34,9	31,2	33,9
Wrocław	269,7	474,8	937,4	251,4	604,9	490,5	693,1	1 016,7	1 037,6	548,4	893,6	380,9	377,3	351,2
Zielona Góra	12,5	172,2	27,5	51,0	31,9	134,6	41,4	275,4	228,2	36,8	183,0	26,9	126,2	22,4
Razem	2 022,7	3 084,6	3 576,0	3 035,9	2 956,9	5 652,5	3 065,4	8 716,5	4 459,6	3 235,3	4 332,6	1 716,8	2 952,1	1 905,1

Aż 86% cięć sanitarnych wykonano w drzewostanach sosnowych, świerkowych i dębowych. W latach 2015-2021 pozyskano sanitarnie 43,5 mln m³ drewna wymienionych powyżej trzech głównych gatunków lasotwórczych w Polsce. W latach 2015–2016 pozyskano odpowiednio 5,1 mln m³ i 6,6 mln m³ drewna sosnowego, świerkowego i dębowego, w tym złomy i wywroty stanowiły 60% (3,1 mln m³) i 40% (2,0 mln m³). Pozyskiwano głównie sosnę – 2,2 mln m³ (2015), 3,0 mln m³ (2016) i świerk – 1,8 mln m³ (2015), 2,4 mln m³ (2016). W następnych trzech latach (2017–2019) nastąpiło dalsze pogorszenie stanu sanitarnego. Pozyskanie w ramach cięć sanitarnych wzrosło z 8,6 mln m³ w 2017 r. do rekordowej wartości 11,8 mln m³ w 2018 r. Znacząco wzrósł również udział złomów i wywrotów: 65% w 2017 r. (5,7 mln m³) i 74% w 2018 r. (8,7 mln m³). Analogicznie jak w poprzednich dwóch latach pozyskiwano przede wszystkim sosnę – 4,9 mln m³ (2017), 7,2 mln m³ (2018) oraz świerk – 2,3 mln m³ (2017) i 2,5 mln m³ (2018), (ryc. 10a–b). W 2019 r., mimo zmniejszenia całkowitego rozmiaru cięć sanitarnych do poziomu 7,6 mln m³, zagrożenie ze strony szkodników wtórnych dalej rosło. Miąższość pozyskanego posuszu przekroczyła 4,4 mln m³; jest to najwyższa wartość w analizowanym 7-leciu. Pozostałą część miąższości (3,2 mln m³) pozyskanej w ramach cięć sanitarnych w 2019 r. stanowiły złomy i wywroty. Niezmiennie w największym rozmiarze pozyskiwano sosnę (3,5 mln m³) i świerk (2,7 mln m³). W latach 2020-2021 nastąpił stopniowy spadek rozmiaru cięć sanitarnych. W 2020 r. pozyskano sanitarnie 6 mln m³ drewna, w tym 4,3 mln m³ posuszu i 1,7 mln m³ złomów i wywrotów. Pozyskiwano (sanitarnie) przede wszystkim sosnę (2,8 mln m³) i świerka (1,9 mln m³). Z kolei w 2021 r. w ramach cięć sanitarnych pozyskano 4,8 mln m³ drewna, w tym 2,9 mln m³ posuszu i 1,9 mln m³ złomów i wywrotów. Niezmiennie cięcia sanitarne prowadzono przede wszystkim w drzewostanach sosnowych (2,2 mln m³) i świerkowych (1,5 mln m³).

Szkody powodowane przez zespół szkodników wtórnych i czynników abiotycznych koncentrowały się w północno-wschodniej i południowo-zachodniej Polsce. Najsilniej zagrożone były RDLP Wrocław (głównie drzewostany świerkowe i sosnowe), Katowice (głównie drzewostany sosnowe i świerkowe), Toruń (głównie drzewostany sosnowe), oraz Białystok (głównie drzewostany świerkowe i sosnowe), Poznań, Szczecinek i Szczecin (głównie drzewostany sosnowe), (ryc. 10a). W kontekście szkodników wtórnych należy zwrócić również uwagę na RDLP charakteryzujące się wysokim udziałem posuszu w pozyskanej w latach 2015–2021 miąższości sosny, świerku i dębu. Są to wymienione wcześniej RDLP Wrocław i Katowice (odpowiednio 4,8 mln m³ i 3,4 mln m³ – głównie w drzewostanach świerkowych) oraz RDLP Lublin (1,2 mln m³ – głównie w drzewostanach sosnowych), RDLP Szczecinek (1,9 mln m³ – głównie w drzewostanach sosnowych i świerkowych) i RDLP Białystok (2,1 mln m³ – głównie w drzewostanach świerkowych i sosnowych), (ryc. 10b).



Ryc. 10a. Miąższość drewna pozyskanego w ramach cięć sanitarnych w latach 2015–2021 wg gatunków.



Ryc. 10b. Miąższość drewna pozyskanego w ramach cięć sanitarnych w latach 2015–2021 z podziałem na posusz oraz złomy i wywroty.

W latach 2015–2021 obserwowano systematyczny wzrost znaczenia gospodarczego kornika ostrozębnego – szkodnika drzewostanów sosnowych. Jest to jednocześnie przykład owada szkodliwego, który pod wpływem zmieniających się warunków klimatycznych zmienił swój status gospodarczy – z typowego przedstawiciela grupy szkodników nękających na szkodnika o dużym znaczeniu gospodarczym, mogącego samodzielnie zabijać całe drzewostany.

Wzmoczone występowanie kornika ostrozębnego odnotowano w 2015 r. na terenie 17. nadleśnictw RDLP Lublin, gdzie zabiegami ochronnymi objęto 231 ha drzewostanów sosnowych. W 2016 r. szkodnik ten został stwierdzony już na terenie 57. nadleśnictw należących do 10. RDLP. Zwalczanie prowadzono na powierzchni 5,8 tys. ha, głównie na terenie RDLP Lublin – 5,2 tys. ha. W 2017 r. gradacja tego szkodnika objęła 80 nadleśnictw (14 RDLP). Spadła natomiast powierzchnia zabiegów ochronnych – 4,8 tys. ha, w tym RDLP Lublin – 3,5 tys. ha. W 2018 r. kornika ostrozębnego stwierdzono na terenie aż 148. nadleśnictw (14 RDLP). Zabiegi ograniczania liczebności tego owada prowadzono głównie na terenach RDLP Lublin (6,6 tys. ha), Radom (1,2 tys. ha), Warszawa (0,5 tys. ha), Krosno (0,4 tys. ha) oraz Poznań (0,3 tys. ha). W 2019 r. całkowita powierzchnia występowania tego owada przekroczyła 26 tys. ha i dotyczyła (w różnym stopniu) wszystkich 17. RDLP. Największą powierzchnię zagrożonych

drzewostanów sosnowych wykazano na terenie RDLP Radom – 11,4 tys. ha. Zabiegami ochronnymi objęto 13,2 tys. ha drzewostanów sosnowych, w tym na terenie RDLP Lublin – 5,2 tys. ha i RDLP Toruń – 3,6 tys. ha. W 2020 r. występowanie kornika ostrozębnego stwierdzono na terenie 225. nadleśnictw, na łącznej powierzchni ponad 18 tys. ha (16 rdLP, za wyjątkiem RDLP w Szczecinku). Zabiegami objęto 12 tys. ha drzewostanów sosnowych, przede wszystkim na terenie RDLP w Toruniu – 6,7 tys. ha. W 2021 r. występowanie tego kambiofaga stwierdzono na terenie 165. nadleśnictw na łącznej powierzchni około 5,5 tys. ha (14 rdLP, za wyjątkiem RDLP w Szczecinku i Krakowie). W porównaniu z rokiem ubiegłym był to trzykrotny spadek powierzchni jego występowania. Zabiegi zwalczania (usuwanie zasiedlonych drzew) przeprowadzono na powierzchni około 3,5 tys. ha, głównie na terenach RDLP w Toruniu (1,4 tys. ha) oraz w Zielonej Górze (670 ha).

W tym miejscu należy również wspomnieć o całej gamie innych szkodników wtórnych, które w ostatnich latach coraz liczniej zasiedlają drzewostany sosnowe. Przede wszystkim jest to przyplaszczek granatek powodujący istotne gospodarczo szkody w północnej i zachodniej Polsce. Coraz liczniejsze są również doniesienia z różnych rejonów kraju dotyczące liczego występowania w drzewostanach opanowanych przez kornika ostrozębnego również kornika sześciowębnego, smolika sosnowca czy też cetyńca mniejszego. Miąższościowy rozmiar pozyskania posuszu oraz złomów i wywrotów w drzewostanach sosnowych przedstawiono w tab. 4.

Tab. 4. Pozyskanie drewna sosnowego w ramach cięć sanitarnych w poszczególnych RDLP w latach 2015–2021 w tys. m³.

RDLP	2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty
Białystok	47,9	96,9	93,8	394,9	90,8	191,1	97,9	123,7	132,7	58,3	98,6	65,3	57,4	77,0
Gdańsk	21,3	46,0	29,1	16,1	20,8	431,9	9,5	632,9	23,7	96,5	26,1	40,1	19,7	27,8
Katowice	58,9	191,0	240,9	223,5	156,6	276,0	200,2	277,9	276,3	333,8	286,9	87,5	169,7	101,0
Kraków	10,1	26,2	8,1	22,9	6,8	26,4	11,8	20,3	11,7	50,7	12,1	13,1	15,5	17,8
Krosno	13,2	37,5	14,6	18,7	19,4	49,8	43,7	42,9	45,5	30,3	21,6	21,4	10,1	26,2
Lublin	67,2	93,3	138,8	98,0	153,7	104,7	245,8	70,9	174,3	50,7	104,7	56,0	59,4	56,6
Łódź	21,3	39,6	35,4	149,4	45,1	77,3	52,2	90,6	79,6	21,6	82,7	24,4	53,5	83,3
Olsztyn	45,9	150,1	62,1	136,5	56,5	75,3	47,3	71,4	60,5	46,3	59,6	39,3	35,5	99,9
Piła	29,4	41,0	78,7	24,4	43,1	13,0	24,0	18,4	48,3	14,5	85,0	15,5	62,6	7,8
Poznań	27,7	95,4	151,6	55,6	87,7	350,0	79,3	740,5	254,2	114,6	256,9	20,4	140,7	38,6
Radom	16,6	74,3	23,4	114,0	36,3	54,9	147,9	56,4	122,8	26,9	72,1	21,0	55,5	27,5
Szczecin	85,3	221,7	69,6	113,4	54,7	170,3	55,1	351,7	150,3	61,8	255,4	33,0	265,5	22,7
Szczecinek	91,0	141,8	150,9	48,2	112,8	279,8	81,1	268,7	92,3	59,4	102,2	49,3	117,6	27,2
Toruń	34,7	73,5	85,5	42,5	66,2	1 438,4	37,7	2 631,0	133,7	432,1	202,9	40,9	78,4	165,5
Warszawa	24,4	12,3	32,4	42,7	45,4	22,4	42,7	25,6	56,9	10,6	45,1	26,2	24,1	22,8
Wrocław	14,7	137,1	173,8	67,2	50,1	186,6	59,1	353,4	197,6	81,6	303,2	60,3	113,3	44,0
Zielona Góra	7,5	142,6	16,9	37,6	15,8	106,9	19,8	215,6	162,0	22,6	121,7	17,5	95,1	14,6
Razem	617,1	1 620,2	1 405,7	1 605,5	1 061,7	3 854,8	1 255,1	5 991,8	2 022,2	1 512,3	2136,9	631,2	1373,7	860,2

W wyniku silnego stresu wodnego spowodowanego długotrwałą suszą znacząco zwiększyło się zagrożenie świerczyn na południu i północy kraju ze strony kornika drukarza i gatunków towarzyszących (Grodzki 2013). Najwyższe zagrożenie ze strony kornika drukarza w latach 2015–2021 odnotowano na terenie RDLP Wrocław, Katowice, Białystok i Szczecinek (tab. 5). Szczególnie wysoki poziom zagrożenia drzewostanów świerkowych panował na obszarze Sudetów i Przedgórze Sudeckiego (RDLP Wrocław), gdzie rozmiar cięć sanitarnych uległ w 2018 r. gwałtownemu zwiększeniu do poziomu

nie notowanego w okresie co najmniej ostatnich 40 lat i przewyższającego poziom z okresu tzw. klęski ekologicznej z połowy lat 80. (0,9 mln m³ w kulminacyjnym roku 1985). W 2019 r. nastąpiło dalsze pogorszenie stanu sanitarnego świerczyn. Konieczne było pozyskanie sanitarne 2,7 mln m³ posuszu oraz złomów i wywrotów świerkowych. Najsilniej zagrożone były świerczyny na terenie RDLP Wrocław (cięcia sanitarne – 1,1 mln m³). W latach 2020-2021 odnotowano systematyczny spadek zagrożenia. W 2020 r. pozyskano sanitarne 1,9 mln m³ drewna, natomiast w 2021 r. 1,5 mln m³. Szkody powodowane przez szkodniki wtórne i czynniki abiotyczne koncentrowały się, analogicznie jak w poprzednich latach, na terenach RDLP Wrocław, Katowice, Szczecinek i Białystok (tab. 5).

Tab. 5. Pozyskanie drewna świerkowego w ramach cięć sanitarnych w poszczególnych RDLP w latach 2015–2021 w tys. m³.

RDLP	2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty
Białystok	142,4	59,1	180,2	233,3	370,5	144,2	250,7	74,6	249,7	83,4	119,4	83,4	117,7	87,3
Gdańsk	41,5	51,9	44,2	18,9	29,4	35,0	16,1	50,1	26,7	25,3	21,5	20,4	20,9	7,4
Katowice	337,5	88,5	419,0	72,5	298,6	102,1	207,2	162,7	173,7	145,3	199,6	71,1	205,4	43,8
Kraków	31,5	33,2	80,0	12,9	57,7	20,3	38,1	25,3	26,3	27,8	25,6	13,2	22,0	8,0
Krosno	6,7	8,5	12,9	5,6	12,0	10,8	14,4	17,8	12,5	12,6	5,0	8,0	7,3	7,9
Lublin	2,9	2,2	7,4	2,9	10,8	3,7	11,0	2,0	10,2	1,5	4,8	1,9	2,9	0,9
Łódź	2,5	1,0	6,1	1,2	6,0	1,5	5,9	1,3	7,1	0,7	4,4	0,5	1,5	1,1
Olsztyn	66,4	85,7	64,5	91,8	56,4	56,7	57,7	50,1	66,7	66,6	56,2	46,8	38,4	60,3
Piła	4,7	3,6	14,1	2,2	12,3	1,6	15,0	1,9	27,7	2,3	24,8	1,9	15,5	1,3
Poznań	8,9	3,7	20,7	2,0	18,5	7,7	32,4	20,6	71,3	6,1	29,2	1,0	15,1	0,8
Radom	1,5	1,7	2,1	2,0	2,9	1,8	6,5	1,9	7,2	1,6	3,5	0,6	2,3	0,7
Szczecin	15,4	15,8	26,9	7,2	27,3	13,8	50,0	17,4	129,1	15,3	168,3	9,5	105,4	4,7
Szczecinek	223,2	57,6	201,5	20,6	118,4	41,3	134,5	27,0	221,9	32,0	235,1	21,4	248,5	11,2
Toruń	21,1	8,5	30,7	4,6	25,3	28,0	28,0	63,6	42,5	27,2	30,3	4,2	13,6	7,0
Warszawa	6,8	1,3	12,6	2,2	11,8	1,1	10,2	2,0	7,8	1,2	4,3	1,1	2,0	0,6
Wrocław	230,5	242,8	705,1	127,3	509,8	199,8	585,0	483,3	737,1	373,8	461,4	246,6	177,7	241,7
Zielona Góra	1,0	3,5	5,3	0,8	12,4	2,8	18,1	5,3	55,8	1,0	29,4	0,8	13,5	0,5
Razem	1 144,5	668,6	1 833,2	608,1	1 580,3	672,1	1 481,0	1 007,1	1 873,4	823,9	1422,6	532,3	1009,8	485,4

W drzewostanach liściastych głównym problemem jest opiętek dwuplamkowy *Agilus biguttatus* – groźny szkodnik drzewostanów dębowych. Trwająca od 2015 r. susza i anomalie pogodowe (huragany) spowodowały istotny wzrost zagrożenia drzewostanów dębowych ze strony tego szkodnika oraz towarzyszących mu wyrzynnów istotnie wpływających na jakość pozyskiwanego drewna. Ogółem w latach 2015–2021 pozyskano sanitarne 2,4 mln m³ drewna dębowego, w tym ponad 52% wywrotów i złomów. Największą miąższość drewna dębowego pozyskanego w ramach cięć sanitarnych odnotowano na terenach RDLP Poznań, Wrocław, Toruń i Katowice (tab. 6).

Wieloczynnikowe zamieranie lasów spowodowane zmianami klimatu, oprócz omówionych powyżej sosny, świerka i dębu, dotyczy również pozostałych gatunków lasotwórczych. Na szczególną uwagę zasługują przede wszystkim cenne przyrodniczo i gospodarczo gatunki szczególnie wrażliwe na zaburzenia związane z dostępnością wody, mianowicie: jesion, jodła, buk i olsza. Dalsze pogłębianie i rozszerzanie terytorialne suszy może spowodować w przyszłości (jodła) lub już obecnie powoduje (jesion, buk) pogorszenie kondycji również drzewostanów tworzonych/współtworzonych przez te gatunki i w konsekwencji ich masowe zamieranie. Ogółem w latach 2015–2021 pozyskano 7,2 mln m³ posuszu oraz złomów i wywrotów jesionowych, jodłowych,

bukowych i olszowych oraz pozostałych gatunków lasotwórczych (obok omówionych powyżej sosny, świerka i dębu).

Tab. 6. Pozyskanie drewna dębowego w ramach cięć sanitarnych w poszczególnych RDLP w latach 2015–2021 w tys. m³

RDLP	2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty	posusz	złomy i wywroty
Białystok	3,7	5,6	4,6	13,9	3,3	14,4	3,4	7,7	3,3	6,4	2,8	4,5	1,3	7,5
Gdańsk	0,7	2,5	2,4	2,0	0,5	9,9	0,5	28,3	0,8	4,7	0,5	2,4	0,6	1,9
Katowice	9,4	18,9	13,0	18,3	12,4	22,2	14,4	33,6	18,1	18,8	16,2	10,2	13,1	8,8
Kraków	2,3	4,4	1,8	5,5	1,1	5,4	1,2	4,8	1,3	5,7	0,8	3,4	1,1	3,1
Krosno	2,0	5,4	1,9	3,4	1,5	4,6	1,7	4,7	1,5	4,3	1,7	5,3	1,1	3,7
Lublin	6,4	6,4	6,8	7,4	7,9	12,5	7,0	10,4	8,3	10,3	8,3	10,5	5,5	11,4
Łódź	2,4	4,3	2,1	9,2	2,9	11,3	3,3	13,4	5,4	4,6	7,1	3,7	4,3	11,9
Olsztyn	4,9	9,3	4,0	14,1	3,5	9,0	2,7	7,2	4,1	6,2	3,3	4,6	2,4	9,9
Piła	3,0	1,8	2,5	1,8	1,4	2,3	0,8	1,6	1,7	1,3	2,6	1,0	2,2	0,9
Poznań	15,6	13,3	22,4	10,0	18,6	35,3	19,0	64,4	78,8	29,4	119,6	5,5	122,3	4,3
Radom	1,9	9,0	1,9	13,4	2,3	10,8	2,7	7,8	3,3	5,3	2,7	4,0	1,3	3,4
Szczecin	5,2	10,5	6,8	8,5	4,6	19,3	4,0	30,7	21,2	10,1	43,9	6,5	26,3	5,0
Szczecinek	4,5	5,2	5,2	4,7	3,5	5,1	3,6	4,8	3,5	4,6	3,0	3,7	2,5	3,1
Toruń	3,3	6,1	3,8	4,7	4,0	24,8	2,7	100,3	5,9	42,4	8,9	8,1	10,0	8,9
Warszawa	4,3	2,1	5,2	3,8	2,8	3,6	3,5	3,4	4,4	1,8	5,2	1,3	2,2	2,1
Wrocław	7,7	28,4	16,9	13,2	10,0	29,3	12,2	45,7	27,1	20,2	68,2	13,6	52,5	12,4
Zielona Góra	2,2	5,0	1,9	3,1	1,5	5,9	0,9	9,9	3,5	2,5	24,8	1,7	12,7	1,6
Razem	79,5	138,2	103,1	137,0	81,9	225,7	83,6	378,9	192,4	178,7	319,5	89,9	261,3	100,0

4. Postępowanie krótko- i długoterminowe

4.1. Hodowla lasu

■ **Hodowlane aspekty wzmożonego zjawiska zamierania lasów w Polsce z uwzględnieniem perspektywy krótko- i długoterminowej**

Szkody powodowane w lasach przez różnego rodzaju czynniki abiotyczne, biotyczne i antropogeniczne od zawsze towarzyszyły gospodarce leśnej. Problem ten dotyczył też samej istoty hodowli lasu, w tym sensie, że wielu przedstawicieli tej dyscypliny nauk leśnych od dawna zastanawiało się, na ile stosowane w praktyce metody i rozwiązania hodowlane zwiększają podatność drzewostanów na występowanie różnego rodzaju szkód, a na ile, przynajmniej w pewnym stopniu, zapobiegają im, zgodnie z ideą tzw. profilaktyki hodowlanej. W tym kontekście można wspomnieć np., mającą wieloletnią tradycję, dyskusję między zwolennikami hodowli drzewostanów jednogatunkowych i entuzjastami drzewostanów wielogatunkowych (mieszanych), obrońcami zrębowego i protagonistami przerębowo-zrębowego (oraz przerębowego) sposobu zagospodarowania lasu, poplecznikami i przeciwnikami ładu przestrzennego i czasowego w lesie, stronnikami sztucznego i propagatorami naturalnego odnowienia lasu, apologetami „plantacyjnego” modelu leśnictwa i głosicielami kierunku określanego mianem półnaturalnej hodowli lasu (Bernadzki 1995, Brzeziecki 2008). Wspomniane dyskusje trudno uznać za jednoznacznie rozstrzygnięte i zapewne będą się one toczyć tak długo, jak długo będzie prowadzona gospodarka leśna.

Biorąc pod uwagę, jako główne kryteria, stopień odporności drzewostanów na różne czynniki zakłócające oraz ich zdolność do adaptowania się do zmian zachodzących w środowisku, wydaje się, że można przyjąć, iż najlepiej w tym wypadku sprawdzają się takie **metody hodowlane, które prowadzą do kształtowania lasów o możliwie zróżnicowanej strukturze (genetycznej, gatunkowej, wiekowej, przestrzennej), w możliwie jak najmniejszej skali przestrzennej (w praktyce – w skali pojedynczego drzewostanu)**. Postulat kształtowania takich drzewostanów pojawiał się w gospodarce leśnej od dawna, nawet w czasach dominacji funkcji produkcyjnej opartej na zasadzie kształtowania drzewostanów o uproszczonej strukturze gatunkowej i pionowej, składających się z ograniczonej liczby gatunków o największych walorach produkcyjnych. Obecnie, w świetle wyraźnej intensyfikacji różnego rodzaju zagrożeń ze strony czynników abiotycznych i biotycznych stojących przed lasami, ten, tak ogólnie ujęty postulat, jest szczególnie aktualny. Dlatego jak najszybsza realizacja tego postulatu w praktyce leśnej jest bardzo pożądana i potrzebna. Trzeba się też jednak liczyć z tym, że działania mieszczące się w ramach dotychczas obowiązujących zasad i instrukcji mogą niebawem okazać się niewystarczające i pojawi się potrzeba podjęcia działań jeszcze bardziej radykalnych i odbiegających od obecnie stosowanych metod i rozwiązań.

■ **Postępowanie hodowlane zmierzające do zwiększenia potencjału adaptacyjnego lasów względem antycypowanych zmian środowiskowych (ze szczególnym uwzględnieniem zmian klimatycznych) – ogólne zasady oraz konkretne działania i praktyki (przykłady)**

Kwestia działań z zakresu gospodarki leśnej mających generalnie na celu podniesienie **potencjału adaptacyjnego lasów zagospodarowanych** względem przewidywanych zmian klimatycznych, w kontekście ogólnego wzrostu niepewności i ryzyka w tym zakresie, była i jest w ostatnim czasie przedmiotem zainteresowania i rozważań licznych badaczy (por. Brang i in. 2014 oraz cytowana tam literatura).

Pod pojęciem potencjału adaptacyjnego lasów należy rozumieć zdolność ekosystemów leśnych albo do 1) absorpcji skutków zmian klimatycznych bez istotnej zmiany składu gatunkowego i struktury (ten aspekt określa się mianem rezystencji ekosystemów leśnych), albo jako ich 2) zdolność do spontanicznej przebudowy i regeneracji, połączonej z ewentualną zmianą składu gatunkowego i struktury, po różnego rodzaju zaburzeniach mających źródło w zachodzących zmianach klimatycznych (ten aspekt określa się mianem rezyliencji), albo też jako 3) zdolność do stopniowej (ale nie nagłej) ewolucji składu gatunkowego i struktury (Brang i in. 2014). Jak się często podkreśla, utrzymanie wysokiego potencjału adaptacyjnego oraz zdrowia i vitalności ekosystemów leśnych jest podstawowym warunkiem ciągłego dostarczania przez lasy bardzo szerokiej palety tzw. usług ekosystemowych (*ecosystem services*), (O'Hara i Ramage 2013, za Brang i in. 2014), inaczej mówiąc – warunkiem utrzymania, teraz i w przyszłości, wielofunkcyjnego charakteru lasów i gospodarki leśnej.

Jak zauważają Brang i in. (2014), rozpatrując rolę hodowli lasu z punktu widzenia wzmocnienia potencjału adaptacyjnego lasów względem zachodzących i przewidywanych zmian środowiskowych, trzeba dokonać rozróżnienia między poziomem strategicznym i poziomem operacyjnym. Na strategię składają się określone „zasady” postępowania, natomiast konkretne działania, rozwiązania i działania hodowlane, mające na celu praktyczną implementację tych zasad, tworzą to, co można określić jako poziom operacyjny. Przykładowo, celowe tworzenie powierzchni otwartych o różnej wielkości, mające na celu kreowanie odpowiednich warunków umożliwiających odnowienie różnych gatunków drzew o zróżnicowanych wymaganiach świetlnych, jest przykładem „praktyki” hodowlanej, której celem jest implementacja „zasady” mówiącej o konieczności zwiększania różnorodności gatunkowej drzewostanów.

W chwili obecnej można zidentyfikować sześć głównych zasad postępowania hodowlanego zmierzającego do podniesienia stopnia odporności oraz zwiększenia potencjału adaptacyjnego lasów – sześć głównych elementów składających się na strategię adaptacji lasów do zmian klimatycznych (por. Brang i in. 2014):

- 1) zwiększanie różnorodności gatunkowej drzewostanów,
- 2) zwiększanie różnorodności strukturalnej drzewostanów,
- 3) zachowanie i zwiększanie wewnątrzgatunkowej zmienności genetycznej,
- 4) zwiększanie odporności poszczególnych osobników na stresy o charakterze abiotycznym i biotycznym,
- 5) przebudowa drzewostanów odznaczających się wysokim poziomem ryzyka powstania różnego rodzaju szkód,
- 6) niedopuszczanie do nadmiernego wzrostu zasobności drzewostanów.

Poszczególne metody i rozwiązania hodowlane („praktyki” hodowlane) cechują się różną przydatnością z punktu widzenia praktycznej realizacji ww. sześciu „zasad” (tab. 7).

Tab. 7. Związki pomiędzy ogólnymi zasadami postępowania mającego na celu zwiększenie potencjału adaptacyjnego lasów względem zmian klimatycznych oraz praktycznymi działaniami i rozwiązaniami hodowlanymi (Brang i in. 2014). Znak „x” oznacza, że dane rozwiązanie lub praktyka jest przydatne/a z punktu widzenia praktycznej realizacji danej zasady.

Praktyki i rozwiązania hodowlane	Zasady					
	zwiększanie różnorodności gatunkowej drzewostanów	zwiększanie różnorodności strukturalnej drzewostanów	zachowanie i zwiększenie wewnętrznej zmienności genetycznej	zwiększanie odporności poszczególnych osobników na stresy o charakterze biotycznym i abiotycznym	przebudowa drzewostanów odznaczających się wysokim poziomem ryzyka powstania szkód różnego rodzaju	niedopuszczanie do nadmiernego wzrostu zasobności drzewostanów
Cięcia przerębowe (jednostkowe)		X		X		
Cięcia zupełne, częściowe, gniazdowe i brzegowe	X	X	X			X
Długie okresy odnowienia		X	X			
Pozostawianie nasienników	X	X	X			
Odnowienie naturalne	X	X	X			
Odnowienie sztuczne	X			(X)		
Wprowadzanie lepiej zaadaptowanych proveniencji tego samego gatunku			X	(X)		
Czyszczenia	X					
Trzebieże	(X)	X		X		
Minimalizacja negatywnych skutków prac związanych z pozyskaniem drewna				(X)		
Zmniejszenie wieku rębności				X	X	X
Redukcja liczebności zwierzyny	X	X		(X)		

■ Zwiększanie różnorodności gatunkowej (bogactwa gatunkowego) drzewostanów

Kształtowanie drzewostanów o bogatym składzie gatunkowym od dawna uznawane jest za jedną z najważniejszych dróg prowadzących do podwyższania ich odporności na działanie różnego rodzaju szkodliwych czynników. Przyjmuje się także, że **drzewostany mieszane** mają większy potencjał adaptacyjny do zmian klimatycznych niż drzewostany lite. Drzewostany mieszane są, przynajmniej w pewnym stopniu, bardziej odporne na działanie takich czynników, jak huraganowe wiatry oraz susze. Z reguły też łatwiej się regenerują po ustaniu działania czynników zakłócających. Odpowiednio dobrane gatunki drzew mogą się wzajemnie uzupełniać, np. pod względem potrzeb świetlnych lub pokarmowych. Z punktu widzenia adaptacji do zmian klimatycznych bardzo ważne są **różnice** pomiędzy poszczególnymi gatunkami drzew pod względem ich wymagań odnośnie do różnych czynników klimatycznych i pod względem ich wrażliwości na różnego rodzaju zdarzenia o charakterze ekstremalnym (np. susze). Dzięki temu kształtowanie drzewostanów mieszanych może stanowić, jak się często uważa, skuteczną strategię w obliczu niepewnych warunków w przyszłości. Koncepcja ta, określana obrazowo mianem „polisy ekologicznej” („ubezpieczenia ekologicznego”), bazuje na założeniu, że bardziej zróżnicowane biocenozy mają większą szansę przetrwać

w warunkach powtarzających się stresów i zaburzeń. W miarę wzrostu liczby funkcjonalnie różnych gatunków zwiększa się prawdopodobieństwo, że niektóre z nich będą bardziej odporne na zewnętrzne zaburzenia i zmiany warunków środowiskowych. Przykładowo, większość zagrożeń powodowanych przez szkodliwe czynniki o charakterze biotycznym (owady, grzyby) dotyczy konkretnych, wybranych gatunków drzew.

Lasy w Polsce składają się obecnie prawie wyłącznie z rodzimych gatunków drzew. Tych gatunków jest ok. 40 (Tomanek i Witkowska-Żuk 2008). Status i udział poszczególnych gatunków, reprezentujących rodzimą dendroflorę w składzie drzewostanów, jest bardzo zróżnicowany, co wynika z wielu przyczyn, zarówno o charakterze przyrodniczym (warunki siedliskowe, naturalne strategie życiowe gatunków), jak i związanych z potrzebami i działalnością człowieka, która prowadziła w przeszłości i prowadzi nadal do faworyzowania niektórych gatunków i ograniczania roli innych. W chwili obecnej największą rolę w polskich lasach odgrywa sosna, której udział wynosi ok. 60%. Udziały innych gatunków są już znacznie mniejsze (dąb – 8%, buk – 7%, świerk, brzoza – po 6%, olsza – 5%, jodła – 4%). Pozostałe gatunki mają jeszcze mniejsze znaczenie.

Z punktu widzenia hodowli lasu najważniejszą kwestią jest zróżnicowanie gatunkowe w skali **pojedynczego drzewostanu**, który stanowi podstawową jednostkę działań hodowlanych. Poszczególne drzewostany mogą się składać od jednego do nawet kilkunastu różnych gatunków drzew. W warunkach lasów zagospodarowanych największy wpływ na skład gatunkowy drzewostanu ma obowiązująca już od dawna koncepcja typu drzewostanu (dawniej: typu gospodarczego drzewostanu). Koncepcja ta dzieli obecnie gatunki drzew na trzy grupy: 1) gatunki główne, 2) gatunki domieszkowe uszlachetniające i 3) gatunki domieszkowe pomocnicze (Zasady hodowli lasu 2012). Pierwszą grupę (funkcja produkcyjna) reprezentują przede wszystkim takie gatunki, jak sosna, świerk, jodła, dąb szypułkowy, dąb bezszypułkowy, buk, olsza czarna i jesion. Od pewnego czasu w tej grupie uwzględnia się także brzozę brodawkowatą i brzozę omszoną (siedliska Bw, BMW i BMb). W roli gatunków głównych występują także (raczej rzadko) grab, lipa oraz wierzba i topola (dwa ostatnie rodzaje drzew na siedlisku lasu łęgowego). Typowymi reprezentantami grupy gatunków domieszkowych uszlachetniających (funkcja współprodukcyjna) są modrzew, jawor, wiąz, klon i daglezja. Wreszcie w grupie gatunków domieszkowych pomocniczych znajdują się takie gatunki, jak osika, olsza szara, jarzębina, jabłoń, grusza, czereśnia zwyczajna, klon polny (funkcje pielęgnacyjne i biocenotyczne). Trzeba podkreślić, że ten sam gatunek może w zależności od warunków siedliskowych występować w różnej roli: jako gatunek główny, domieszkowy uszlachetniający lub domieszkowy pomocniczy (przykłady: świerk, olsza czarna, brzoza, grab, lipa). Warto też zauważyć, że typy drzewostanów przyjęte w polskich lasach uwzględniają zdecydowaną większość rodzimych gatunków drzew (jeżeli pominąć gatunki występujące bardzo rzadko lub mające bardzo specyficzne wymagania siedliskowe, takie jak np. sosna limba).

Z przeglądu obowiązujących w polskich lasach typów drzewostanów wynika, że w zdecydowanej większości siedlisk **celem hodowlanym są drzewostany mieszane**, składające się z reguły z kilku, a nawet z kilkunastu różnych gatunków drzew. Wyjątkiem są tylko siedliska o naprawdę skrajnym charakterze, gdzie liczba gatunków drzew jest z natury ograniczona (Bs, Bśw, Bb, Ol, BWG, BG itp.). **Można więc przyjąć, że – przynajmniej w teorii – zasada kształtowania drzewostanów o bogatym składzie gatunkowym jest zapisana w obowiązujących obecnie Zasadach hodowli lasu i wystarczy ją tylko konsekwentnie stosować.**

Jednym z problemów uniemożliwiających pełną realizację powyższej zasady w praktyce jest zbyt **statyczne** pojmowanie pojęcia typu drzewostanu. Chociaż z definicji określa on **docelowy** skład gatunkowy drzewostanu, do którego w danych warunkach siedliskowych należy dążyć w ciągu **całego** cyklu produkcyjnego, to w praktyce największe znaczenie mają **orientacyjne składy gatunkowe upraw**, które definiowane są w taki sposób, jakby udział powierzchniowy gatunków w uprawie był tożsamy z (pożądanym) udziałem miąższościowym gatunków w dojrzałym drzewostanie. Takie podejście **wymusza** w wielu wypadkach wprowadzanie na powierzchnie upraw od razu wszystkich tych gatunków drzew, które mają tworzyć drzewostan w wieku dojrzałości. Tymczasem poszczególne gatunki mogą i powinny pełnić różną rolę w budowie przyszłego drzewostanu, również w zależności od warunków siedliskowych. Nie wszystkie przecież muszą od razu wejść do pierwszego piętra, ale mogą z powodzeniem tworzyć (również przejściowo) drugie piętro drzewostanu. Problem ten w największym stopniu dotyczy typowych gatunków cieniażnych (buk, jodła, świerk), ale występuje także w wypadku gatunków o umiarkowanych wymaganiach świetlnych, takich jak np. dąb. Definiowanie składu gatunkowego upraw z wykorzystaniem wyłącznie gatunków docelowych powoduje, że z rozwoju drzewostanu eliminowane są gatunki wczesnych stadiów sukcesyjnych, takie jak osika czy brzoza, ale również modrzew i sosna, które także doskonale sprawdzają się w roli gatunków przedplonowych i osłonowych.

Na wspomniany problem od dawna zwraca się uwagę (por. np. Rozwałka 2001). Stąd często powtarzany postulat, żeby typowi drzewostanu przyjętemu w planie urządzenia lasu nadawać charakter dynamiczny, tj. zmieniający się w czasie wraz z przechodzeniem drzewostanu w coraz starsze stadia rozwojowe. Dynamika ta, szczególnie na bogatszych siedliskach, powinna się objawiać stopniowym ubywaniem gatunków szybko rosnących – osłonowych i pionierskich (brzozy, osiki, modrzewia) na rzecz zwiększania udziału gatunków cieniażnych – późniejszych stadiów rozwojowych (dębu, buka, jodły, grabu i in.).

Innym ważnym problemem bezpośrednio związanym z pojęciem typu drzewostanu jest forma zmieszania, która mówi o tym, jak drzewa poszczególnych gatunków powinny być rozmieszczone względem siebie w ramach jednego drzewostanu, aby funkcjonował on jako pewna organiczna całość (Brzeziecki 2017). Zgodnie z obowiązującymi w tym zakresie zasadami i rozwiązaniami stosowanymi w praktyce przeważa obecnie tendencja polegająca na tym, że większość gatunków (w tym zwłaszcza gatunki główne) wprowadza się w wielkopowierzchniowych formach zmieszania, co powoduje, że często mamy do czynienia z mozaiką jednogatunkowych „mikrodrzewostanów” (i powrotem do modelu monokultury ze wszystkimi jego wadami)²⁴. W praktyce zbyt rzadko wykorzystuje się rozwiązania polegające np. na wykorzystywaniu dwóch czy nawet więcej gatunków wprowadzanych jednocześnie w ramach tej samej powierzchni. O tego rodzaju rozwiązaniach wspomina już m.in. Ilmurzyński (1969), pisząc np., że *gatunki domieszkowe dajemy w formie uzależnionej od tempa ich wzrostu z uwzględnieniem różnicowań siedliska. Gatunki szybko rosnące wprowadzamy w niewielkich grupach, po kilka sztuk, a nawet pojedynczo, zwłaszcza gdy jednocześnie mają stanowić osłonę dla gatunków głównych (np. buka), wrażliwych na mróz i nadmierne nasłonecznienie. Gatunki odgrywające rolę pielęgnacyjną lub biocenotyczną wprowadzamy w niewielkich grupach lub pojedynczo, zależnie od tempa ich wzrostu i stopnia cieniowytrzymałości.*

²⁴ Ubocznym, negatywnym efektem takiego rozwiązania jest wyraźny efekt styku, jaki występuje na granicy płatów utworzonych przez różne gatunki. Z reguły jakość drzew rosnących na krawędzi jednogatunkowych płatów utworzonych przez różne gatunki drzew (różne tempo wzrostu, sposoby rozgałęzienia, tempo oczyszczania) jest bardzo problematyczna, a pielęgnowanie takich linii styku jest bardzo utrudnione.

Gatunki bardziej wymagające lokujemy w miejscach żyzniejszych lub wilgotniejszych, zależnie od ich właściwości. Grupom i kępom zasadniczo nadajemy formę zaokrągloną. W ten sposób skracamy linię styku między skupieniami poszczególnych gatunków. W tych wypadkach natomiast, kiedy zależy nam na zwiększeniu wpływu jednego gatunku na drugi (np. przy domieszkach pielęgnacyjnych), stosujemy domieszkę grupową lub pojedynczą. W szczególnych wypadkach stosuje się również domieszkę rzędowną lub smugową, składającą się z większej liczby rzędów. Forma rzędowa lub smugowa może mieć zastosowanie przy zmieszaniu gatunku głównego z pielęgnacyjnym, np. przy rzędownym lub smugowym wprowadzaniu dębu wśród istniejącego podrostu grabowego – systemem korytarzowym lub przy sztucznym odnowieniu dębu i grabu – na przemian rzędami.

Nie ulega wątpliwości, że ustalenie formy zmieszania dla poszczególnych gatunków należy do zagadnień o pierwszorzędym znaczeniu, do którego w praktyce nie zawsze przywiązuje się odpowiednią wagę. Dążąc do zwiększenia potencjału adaptacyjnego lasów względem zachodzących i spodziewanych zmian środowiskowych, należałoby w jak najszerszym zakresie odchodzić od modelu „monokultury”, nawet jeżeli miałby on być realizowany na stosunkowo niewielkiej powierzchni (30–50 arów). Od momentu założenia czy powstania nowego drzewostanu trzeba wykorzystywać wszelkie możliwości wzbogacenia składu gatunkowego już w niewielkiej skali przestrzennej, czy to poprzez celowe, jednoczesne wprowadzanie gatunków o uzgodnionych wzajemnie właściwościach (korzystnie oddziałujących jeden na drugi), czy też poprzez świadome wykorzystywanie naturalnych procesów sukcesyjnych.

Niestety, ani przyjęte typy drzewostanów, ani przykładowe składy gatunkowe odnowień nie zawierają konkretnych wskazówek co do form zmieszania czy też zasad łączenia poszczególnych gatunków ze sobą. Osoba planująca formy zmieszania, kolejność wprowadzania oraz zasady łączenia poszczególnych gatunków ze sobą musi się w takiej sytuacji najczęściej oprzeć na własnej wiedzy i znajomości prawidłowości wzrostu poszczególnych gatunków drzew w konkretnych, lokalnych warunkach.

Biorąc pod uwagę skalę i zakres prognozowanych zmian w ogólnych warunkach wzrostu lasów, trzeba też jednak brać pod uwagę **potrzebę daleko idącej rewizji obowiązujących w naszych lasach typów drzewostanów**, może się bowiem okazać, że dotychczasowy podział na gatunki główne i domieszkowe w pewnym momencie przestanie być aktualny. Po pierwsze, może wzrosnąć rola tych gatunków, które już obecnie odgrywają rolę gatunków głównych, ale ich występowanie ogranicza się do określonych regionów geograficznych i/lub siedlisk (np. buk zwyczajny, dąb bezszypułkowy). Po drugie, trzeba brać pod uwagę, że w przyszłości może się zwiększyć znaczenie produkcyjne tych gatunków, które obecnie pełnią w polskich lasach co najwyżej rolę domieszek. W pierwszej kolejności chodzi tu o gatunki, które występują w naszych lasach, ale których optima klimatyczne znajdują się na ogół na terenach cieplejszych i/lub suchszych od naszego kraju (grab, lipa drobnolistna i szerokolistna, jawor, klon, czereśnia ptasia, topola biała, topola czarna, wierzba biała, jarząb brekinia).

Może się także okazać, że trzeba będzie w większym niż dotychczas zakresie sięgnąć po gatunki oraz pochodzenia, dla których obecne warunki klimatyczne naszego kraju są, ogólnie rzecz biorąc, zbyt chłodne i których występowanie ogranicza się do południowych regionów Europy (np. sosna czarna, sosna nadmorska), czy też nawet po gatunki z innych kontynentów i regionów geograficznych (np. dąb czerwony, daglezja, robinia akacjowa, orzech włoski).

Działania krótkoterminowe

1. Dostosowanie liczebności zwierzyny do stanu umożliwiającego hodowlę odpornych, zróżnicowanych gatunkowo drzewostanów.
2. Konsekwentna realizacja obecnie obowiązujących ramowych typów drzewostanów, modyfikowanych i dostosowywanych do lokalnych warunków na etapie prac Komisji Założeń Planu, ze szczególnym zwróceniem uwagi na zapewnienie odpowiednio dużego udziału gatunków domieszkowych, zwłaszcza tych, które obok innych funkcji mogą też pełnić rolę produkcyjną.
3. Przy ustalaniu typów drzewostanów na poziomie konkretnych nadleśnictw czy nawet leśnictw, jak najszerokie wykorzystywanie gatunków i pochodzeń, które lokalnie charakteryzują się dużą żywotnością i ekspansywnością (np. jawor, klon, lipa, grab),
4. Dynamiczne podejście do problemu kształtowania składu gatunkowego i budowy pionowej drzewostanu, wyrażające się częstszym wykorzystywaniem gatunków szybkorosnących i światłożądnych (osika, brzoza, olsza, modrzew, sosna) w początkowych etapach rozwoju drzewostanu i stopniowym wprowadzaniem oraz zwiększaniem roli gatunków docelowych (o umiarkowanej i dużej zdolności znoszenia ocienienia).
5. Preferowanie rodzajów, form i modyfikacji rębni, umożliwiających kształtowanie zróżnicowanych warunków świetlnych jako podstawy uzyskiwania drzewostanów o bogatym składzie gatunkowym, składających się z gatunków o różnych wymaganiach względem światła.
6. Na etapie zakładania nowych upraw preferowanie rozwiązań umożliwiających kształtowanie drzewostanów odznaczających się drobnokępowymi formami zmieszania oraz łączenie odnowienia naturalnego i sztucznego w ramach jednej i tej samej powierzchni manipulacyjnej (np. metoda Sobańskiego, grupowa metoda odnowienia dębu, buka oraz innych gatunków [nie wyłączając sosny] oraz inne tego typu rozwiązania, sprawdzone lokalnie).
7. Popieranie wszelkich form dobrej jakości odnowienia naturalnego, w tym np. poprzez możliwość przeznaczania do sukcesji naturalnej części każdej odnawianej powierzchni do uzyskania obsiewu (lub ew. odrosli) gatunków lekkonasiennej, stosownie do przewidywanego ich udziału w składzie gatunkowym (przy jednoczesnym ułatwieniu ewidencjonowania tych odnowień).
8. Tworzenie tzw. gniazd biocenotycznych o wielkości dochodzącej do 5% odnawianej powierzchni, z zastosowaniem drzew i krzewów nektaro- i owocodajnych.
9. Prowadzenie cięć pielęgnacyjnych (w tym zwłaszcza czyszczeń oraz trzebieży wczesnych) w sposób umożliwiający zachowanie mieszanego charakteru drzewostanu w możliwie jak najmniejszej skali przestrzennej, ze szczególnym uwzględnieniem początkowych faz rozwojowych (uprawa, młodnik, tyczkowina).
10. Niedopuszczanie do powstawania nawet niewielkich powierzchni opanowanych przez jeden gatunek drzewa (nie dotyczy drzewostanów przedplonowych i siedlisk skrajnych). Jest to szczególnie ważne zwłaszcza w wypadku gatunków, które z natury odznaczają się dużą wrażliwością na działanie szkodliwych czynników (jodła, świerk, ale także sosna, dąb czy buk).

Działania długoterminowe

1. Wytypowanie pochodzeń oraz selekcja genotypów odpornych na wysokie temperatury oraz susze spośród gatunków drzew o dużej wartości produkcyjnej, sprawdzonych w warunkach polskich lasów (chodziłoby tu zwłaszcza o sosnę zwyczajną i oba gatunki dębów, tj. dąb szypułkowy i dąb bezszypułkowy, ale także o buka, jodłę czy świerk).
2. Opracowanie i wdrożenie programu restytucji gatunków zagrożonych i zanikających w polskich lasach, ważnych z przyrodniczego punktu widzenia, ale mogących też potencjalnie odgrywać istotną rolę produkcyjną (wiąz, w tym zwłaszcza wiąz górski i wiąz polny, jesion wyniosły, topola czarna).
3. Opracowanie i ewentualne wdrożenie na szerszą skalę do praktyki leśnej modeli hodowli drzewostanów z dominującym lub tylko zwiększonym udziałem gatunków odgrywających dotychczas mniejszą (choć lokalnie czasami znaczącą) rolę w polskich lasach (lipa, jawor, daglezwia, czereśnia ptasia, jarząb brekinia).
4. Analiza przydatności i celowości działań z zakresu tzw. migracji wspomaganiej w odniesieniu do gatunków o dużych wymaganiach cieplnych i odpornych na suszę, ze szczególnym uwzględnieniem gatunków i proveniencji występujących obecnie w południowych rejonach Europy, a także pochodzących z innych regionów geograficznych. Opracowanie modeli i zasad hodowli drzewostanów złożonych z tych gatunków, z uwzględnieniem aspektów przyrodniczych i ekonomicznych.

■ **Zwiększanie różnorodności strukturalnej i wiekowej drzewostanów**

Warunkiem dużej różnorodności strukturalnej drzewostanów jest obecność drzew o zróżnicowanych wymiarach (wysokość, grubość, wielkość korony) oraz różnym wieku. W zależności od wymagań świetlnych gatunków, zróżnicowanie, o którym tu mowa, można uzyskać w mniejszej (gatunki cienioznośne) lub większej (gatunki światłożądne) skali przestrzennej. Podobnie, jak ma to miejsce w wypadku zróżnicowania gatunkowego, tak i w tym wypadku można przyjąć, że poszczególne szkodliwe czynniki biotyczne i abiotyczne z różną intensywnością oddziałują na drzewa reprezentujące różne stadia rozwojowe. To z kolei pozwala przypuszczać, że drzewostany o zróżnicowanej strukturze wymiarowej cechują się większą odpornością i tym samym wykazują większy potencjał adaptacyjny (Brang i in. 2014). Jest np. rzeczą ogólnie znaną, że podatność na szkody od wiatru rośnie wraz z wiekiem (i wysokością) drzew. Podobnie jest w wypadku np. zagrożenia przez korniki. Pod tym względem również mniejsze i młodsze drzewa są z reguły mniej atrakcyjne dla tych owadów niż drzewa starsze i większe. Z drugiej strony, starsze drzewa są na ogół mniej wrażliwe na suszę, przymrozki oraz pożary. Ponadto zdolność drzewostanów o zróżnicowanej strukturze wymiarowej do regeneracji po zaburzeniach i szkodach spowodowanych przez np. silne wiatry lub pojawy szkodliwych owadów (czyli tzw. rezyliencja) jest z reguły większa, a to dzięki temu, że drzewa zajmujące dolne warstwy drzewostanu, przeżywające te zaburzenia, mogą w stosunkowo krótkim czasie zastąpić drzewa, które zostały zabite lub wypadły. To wszystko sprawia, że postulat kształtowania zróżnicowanej struktury drzewostanów pojawiał się w hodowli lasu już od dawna, nawet w czasach, gdy stopień zagrożenia lasów przez różne czynniki nie był jeszcze tak duży jak obecnie. Tym, co mogłoby ewentualnie przemawiać przeciwko dążeniu do utrzymania zróżnicowanej struktury pionowej drzewostanów, to ich z reguły większe zagrożenie przez pożary.

Działania krótkoterminowe

1. W sprzyjających warunkach siedliskowych, w zagospodarowaniu rębnym drzewostanów preferowanie tzw. rębni złożonych, operujących możliwie jak najdłuższymi (nie krótszymi niż 30 lat) okresami odnowienia.
2. Przy prowadzeniu cięć odnowieniowych pozostawianie do dalszej hodowli młodszych fragmentów drzewostanów (drugie piętro, grupy i kępy wartościowych podrostów i nalotów), wykazujących się odpowiednimi cechami odpornościowymi i jakościowymi.
3. W sprzyjających warunkach preferowanie metod trzebieży, pozwalających na zachowanie oraz zwiększenie różnorodności strukturalnej drzewostanu, takich jak trzebież przerębowa, trzebież strukturalna, trzebież przekształceniowa.
4. W wypadku drzewostanów uszkodzonych przez różnego rodzaju czynniki abiotyczne i biotyczne pozostawianie do dalszej hodowli wszelkich pozostałości i fragmentów (w postaci pojedynczych drzew, grup i płatów) tych drzewostanów, które przetrwały zaburzenia, pod warunkiem, że są dostatecznie stabilne i mają szansę przetrwać wystarczająco długi okres, mimo gwałtownej na ogół zmiany warunków wzrostu.
5. W drzewostanach jednogatunkowych oraz częściowo uszkodzonych, rozpadających się, opanowanych przez czynniki chorobotwórcze, wyprzedzające wprowadzanie podsadzeń lub podsiewów produkcyjnych z wykorzystaniem głównie gatunków cienioznośnych, takich jak np. buk, klon, jawor, lipa.

Działania długoterminowe

1. Opracowanie i wdrożenie na szeroką skalę do praktyki leśnej efektywnych metod ewidencji i regulacji użytkowania drzewostanów o zróżnicowanej strukturze wymiarowej i gatunkowej, ze szczególnym uwzględnieniem warunków nizinnych naszego kraju.

■ **Zachowanie i zwiększenie wewnątrzgatunkowej zmienności genetycznej**

Potencjał adaptacyjny populacji drzew leśnych względem zmian klimatycznych w dużym stopniu zależy od ich zmienności genetycznej. Przejawem tej zmienności jest powszechnie obserwowane zjawisko polegające na adaptacji poszczególnych gatunków do lokalnych warunków środowiskowych (występowanie lokalnych ekotypów), potwierdzone w wielu badaniach. Biorąc to pod uwagę, z punktu widzenia zachowania wysokiego potencjału adaptacyjnego należałoby w pierwszej kolejności dążyć do zachowania pełnej zmienności genetycznej cechującej populacje drzew leśnych. Cel ten można osiągnąć, wykorzystując w jak najszerszym zakresie odnowienie naturalne oraz stosując rębnie z długimi okresami odnowienia, co zwiększa szansę na to, że w procesach odnowieniowych weźmie udział wiele osobników rodzicielskich. Z drugiej strony, trzeba brać pod uwagę, że odnowienie naturalne zachowuje także materiał genetyczny, który może pochodzić z drzew o małej zdolności adaptacyjnej lub z populacji o małej zmienności genetycznej. Ponadto w ramach cięć pielęgnacyjnych promowane są z reguły drzewa o korzystnych cechach jakościowych (np. odznaczające się prostością pnia), co może w sposób niezamierzony prowadzić do redukcji zmienności istotnej z punktu widzenia zachowania potencjału adaptacyjnego całej populacji. Alternatywna metoda zwiększenia różnorodności genetycznej polega na wzbogacaniu istniejących populacji poprzez celowe wprowadzanie innych pochodzeń, co jest szczególnie ważne

w wypadku gatunków odznaczających się małą zmiennością wewnątrzpopulacyjną oraz dużą – pomiędzy poszczególnymi pochodzeniami (źródłami nasion). Jeszcze inna możliwość zachowania lub zwiększenia zmienności genetycznej polega na zastosowaniu zróżnicowanej presji selekcyjnej na drzewa w wyniku stosowania różnych sposobów prowadzenia cięć, stwarzających zróżnicowane warunki siedliskowe pod względem np. ilości dostępnego światła oraz wilgotności gleby. Podobne efekty można również uzyskać, stosując długie okresy odnowienia.

Działania krótkoterminowe

1. Szerokie wykorzystywanie odnowień naturalnych oraz stosowanie długich okresów odnowienia.
2. Sztuczne wprowadzanie pochodzeń i proveniencji, sprawdzonych pod kątem dużej wytrzymałości na susze i wysokie temperatury, w celu wzbogacenia lokalnej puli genowej.
3. Na obszarach zagrożonych propagowanie selekcji populacyjnej oraz indywidualnej, ukierunkowanej przede wszystkim na odporność drzewostanów na szkodliwe czynniki.

Działania długoterminowe

1. Wyselekcjonowanie pochodzeń i genotypów cennych gatunków drzew odznaczających się podwyższoną odpornością na działanie szkodliwych czynników abiotycznych i biotycznych, ze szczególnym uwzględnieniem odporności na suszę i wysokie temperatury.

■ **Zwiększanie odporności poszczególnych osobników na stresy o charakterze abiotycznym i biotycznym**

Poszczególne drzewa mogą się znacznie różnić między sobą pod względem odporności na działanie różnego rodzaju szkodliwych czynników i reakcji na stres. Przykładowo, z wielu badań wynika, że silne drzewa, charakteryzujące się niskimi współczynnikami smukłości (h/d) i długimi koronami, są bardziej odporne na szkody powodowane przez okiść. Wykazano także np., że świerki z długimi koronami są mniej wrażliwe na zanieczyszczenia powietrza związkami siarki (SO_2). Ponadto drzewa dominujące oraz współdominujące są z reguły bardziej odporne na szkody ze strony czynników biotycznych, szczególnie w początkowym okresie rozwoju gradacji czy epifitozy (przykładowo, zjawisko masowego zamierania jesionu dotknęło w pierwszej kolejności stosunkowo młode drzewa). Przyjmuje się także, że zwiększenie dostępnej przestrzeni wzrostu i tym samym osłabienie konkurencji korzeniowej z reguły pozytywnie wpływa na odporność drzew na suszę.

Działania krótkoterminowe

1. Prowadzenie cięć pielęgnacyjnych (czyszczeń, trzebieży), ukierunkowanych przede wszystkim na popieranie drzew o największej żywotności i całkowicie zdrowych, bez oznak chorobowych i uszkodzeń mechanicznych, charakteryzujących się prawidłowym przebiegiem procesu oczyszczania (zdrowe sęki). W razie potrzeby sztuczne podkrzesywanie wybranych, popieranych drzew celem poprawy ich jakości, wykonywane zgodnie z ogólnie przyjętymi w tym zakresie zasadami.

2. Prowadzenie trzebieży, a w uzasadnionych przypadkach także czyszczeń późnych, zgodnie z zasadą selekcji pozytywnej, wyrażającej się konsekwentnym usuwaniem drzew przeszkadzających w rozwoju wybranych drzew, stanowiących główny szkielet drzewostanu. Pod względem pozycji biososocjalnej drzewa przeszkadzające powinny albo dorównywać, albo tylko niewiele ustępować drzewom popieranym.

Działania długoterminowe

1. Opracowanie i wdrożenie programów pielęgnacyjnych, uwzględniających specyfikę polskich lasów (w nawiązaniu do np. koncepcji tzw. trzebieży przyszłościowej), ukierunkowanych przede wszystkim na pielęgnowanie koron drzew, jako podstawowego elementu decydującego o dużej odporności na stresy środowiskowe.
2. Propagowanie osobników najbardziej odpornych w procesie rozmnażania, poprzez zbiór ich nasion i ich wykorzystywanie przede wszystkim do celów gospodarczych, przy jednoczesnym zbadaniu możliwości popierania takich osobników poprzez inne sposoby ich rozmnażania (szczepy, ukorzenianie itp.).
3. Zakładanie plantacji nasiennych z egzemplarzy i osobników o potwierdzonej w praktyce odporności i dużej zdolności adaptacyjnej oraz wykorzystywanie nasion z powyższych plantacji nasiennych przy tworzeniu nowych drzewostanów.

■ **Przebudowa drzewostanów odznaczających się wysokim poziomem ryzyka powstania różnego rodzaju szkód**

Każdy istniejący drzewostan narażony jest na zniszczenie przez takie czynniki, jak silny wiatr (huragan), pożar czy gradacja owadów. Problem ten dotyczy w szczególności drzewostanów składających się z gatunków i/lub pochodzeń słabo zaadaptowanych do lokalnych warunków środowiska już w obecnym układzie czynników klimatycznych, drzewostanów składających się z drzew o mocno skróconych koronach i dużej smukłości, odznaczających się małą indywidualną i kolektywną odpornością na szkody od wiatru i śniegu, drzewostanów zdestabilizowanych wcześniej wykonywanymi cięciami lub zaburzeniami, w wyniku których nastąpiło gwałtowne wystawienie pni na bezpośrednią insolację słoneczną, a także drzewostanów, w których nastąpiła znaczna akumulacja łatwopalnej biomasy. Drzewostany tego rodzaju są bardzo podatne na wystąpienie kolejnych szkód, które nie tylko prowadzą do strat gospodarczych, ale obniżają także zdolność lasu do pełnienia innych ważnych funkcji ochronnych, środowiskowych czy społecznych. Likwidacja drzewostanów zniszczonych w wyniku różnego rodzaju klęsk wiąże się z reguły ze znaczącym obniżeniem przychodów (deprecjacja surowca drzewnego, zwiększone koszty pozyskania, spadek cen rynkowych). Zmiany klimatyczne dodatkowo zwiększają ryzyko powstania zjawisk, o których mowa wyżej, m.in. ze względu na zwiększoną częstotliwość takich zjawisk, jak susze (prowadzące do osłabienia fizjologicznego drzew i zwiększające ich podatność na różnego rodzaju szkodliwe czynniki) i/lub występowanie szkodliwych organizmów. Aby uniknąć tego rodzaju niekorzystnych zjawisk i sytuacji, należałoby możliwie wcześniej przystępować do prewencyjnej, przyspieszonej przebudowy, wykorzystując do tego celu odpowiednie rębnie, poczynając od rębni zupełnej, odpowiednio zmodyfikowanej i dostosowanej do lokalnych warunków siedliskowo-drzewostanowych.

Działania krótkoterminowe

1. Wytypowanie najbardziej zagrożonych drzewostanów (wykorzystując do tego celu już istniejące narzędzia opracowane specjalnie do tego celu, jak np. metodę oceny stopnia zagrożenia drzewostanów przez wiatr, opracowaną przez prof. Bruchwalda, czy też metodykę oceny stopnia pilności przeznaczania drzewostanów do przebudowy, opracowaną przez zespół z Katedry Urządzania Lasu SGGW), przygotowanie planów działań i niezwłoczne przystąpienie do ich realizacji.
2. Opracowywanie w ramach Zasad hodowli lasu specjalnych sposobów postępowania hodowlanego w drzewostanach na gruntach porolnych, stanowiących jedną z najbardziej zagrożonych i najbardziej podatnych na wystąpienie szkodliwych zjawisk kategorii lasów.
3. Elastyczne podejście do kwestii wieku rębności drzewostanu, który powinien w znacznie większym stopniu, niż to się dzisiaj dzieje, uwzględniać takie cechy, jak stan zdrowotny drzewostanu, jego zasobność i przyrost oraz obecne i potencjalne zagrożenia.

Działania długoterminowe

1. Kompleksowa (tj. uwzględniająca nie tylko stan obecny, ale również przewidywane kierunki zmian) analiza stabilności i identyfikacja najbardziej zagrożonych drzewostanów oraz opracowanie długofalowych programów profilaktycznej przebudowy tych drzewostanów, mającej na celu niedopuszczenie do powstania szkód oraz zastąpienie drzewostanów najbardziej zagrożonych drzewostanami lepiej zaadaptowanymi do obecnych i przewidywanych warunków środowiskowych.

■ **Niedopuszczanie do nadmiernego wzrostu zasobności drzewostanów**

Utrzymując zasobność lasów na stosunkowo niskim poziomie, zmniejsza się ryzyko powstania strat gospodarczych, ponieważ wielkość tych strat zależy od wielkości masy drzewnej na pniu pełniącej rolę kapitału produkcyjnego. To twierdzenie byłoby prawdziwe, nawet gdyby zagrożenie drzewostanów przez szkodliwe czynniki (takie jak silny wiatr) nie zależało od wielkości zapasów drzewnych. W rzeczywistości zwiększona zasobność drzewostanów przekłada się z reguły na ich większą podatność na zaburzenia. Tak jest m.in. w wypadku wiatru: prawdopodobieństwo powstania szkód rośnie wraz z wiekiem i wysokością drzew. Za utrzymywaniem zasobności drzewostanów na niskim poziomie przemawia także rosnący deficyt wody – należy się spodziewać, że ilość dostępnej wody w przyszłości może okazać się niewystarczająca, aby utrzymywać zasobności drzewostanów na dotychczasowych poziomach.

Działania krótkoterminowe

1. Wykonywanie trzebieży o większym nasileniu w celu niedopuszczenia do nadmiernej akumulacji zapasów drzewnych, zwłaszcza w sytuacjach występowania dolnych warstw drzewostanu celem zróżnicowania jego struktury (trzebież przekształceniowa).

Działania długoterminowe

1. Obniżenie wieku rębności drzewostanów, zwłaszcza źle produkujących oraz zagrożonych rozpadem.

2. Optymalizacja wieku rębności dla różnych kategorii drzewostanów z uwzględnieniem ich składu gatunkowego, szeroko rozumianej stabilności i produktywności, głównej funkcji itd., itp.

Duża część proponowanych w ramach niniejszego opracowania kierunków działań i sugerowanych rozwiązań hodowlanych, ukierunkowanych na zwiększenie potencjału adaptacyjnego i odporności ekosystemów leśnych na szkodliwe czynniki, stanowi powtórzenie postulatów i dezyderatów, które od dawna kierowane są pod adresem praktyki leśnej w wielu krajach w Europie i na świecie. Wynika to stąd, że **problem szkód powodowanych w lasach przez różnego rodzaju czynniki abiotyczne i biotyczne towarzyszy gospodarce leśnej praktycznie od początków jej powstania**. Stąd też od dawna zastanawiano się, co można w wypadku lasów zagospodarowanych zrobić, aby te szkody były możliwie jak najmniejsze. Dzięki temu dzisiaj w zasadzie wystarczy tylko przypomnieć, co już wiadomo na ten temat. Z reguły większym problemem, przynajmniej do tej pory, była praktyczna implementacja wspomnianych wyżej zaleceń czy też postulatów. Wydaje się jednak, że stale rosnący obecnie poziom szkód w lasach zwiększa gotowość ze strony praktyki leśnej na podjęcie działań, o których jest mowa wyżej, na większą niż dotychczas skalę. Można zakładać, że jeżeli trend ten się utrzyma (co jest bardzo prawdopodobne), to będzie też rosła praktyczna akceptacja różnego rodzaju działań o charakterze adaptacyjnym oraz profilaktyczno-hodowlanym.

Trzeba brać pod uwagę to, że przy wszystkich rozważaniach dotyczących przyszłości kluczowym słowem jest **niepewność**. Stąd też często powtarzana przez wielu specjalistów z zakresu hodowli lasu zasada mówiąca o konieczności rozpraszania ryzyka, którego w lesie nigdy nie da się wyeliminować do końca (Bernadzki 1995). Wydaje się, że zarysowane wyżej kierunki działań pozwalają tę nadrzędną zasadę stosować w praktyce. W chwili obecnej należałoby przede wszystkim w jak najszerszym zakresie promować w praktyce te działania i rozwiązania hodowlane (zgodne, ogólnie rzecz biorąc, z ideą tzw. półnaturalnej hodowli lasu), które są już zapisane i skodyfikowane w istniejących dokumentach i regulacjach (m.in. w Zasadach hodowli lasu). Bardzo ważną rolę miałyby tu także do odegrania praktyczne, często niemieszczące się w obowiązujących schematach i szablonach, pozytywne doświadczenia i rezultaty, jakie uzyskano w różnych miejscach w naszym kraju, a które mogą stanowić dobre sposoby na rozwiązanie problemów, jakie dzisiaj stoją przed gospodarką leśną. Chodziłoby o to, żeby uzyskaną w tym zakresie wiedzę rozpropagować jak najszerzej.

Jednocześnie istnieje też potrzeba podjęcia, tu i teraz, działań bardziej radykalnych i wychodzących poza dotychczasowe schematy, szablony czy standardy. Przykłady takich działań zarysowano wyżej. Nawet jeżeli na początek ich skala (działań opierających się bardziej na zasadzie eksperymentów) będzie ograniczona, to uzyskana przy tej okazji wiedza może być bezcenna, gdyby się okazało, że sytuacja, w jakiej znajdują się polskie lasy w wyniku zmian zachodzących w środowisku, wymusi bardziej zdecydowane kroki w tym kierunku.

4.2. Gospodarka wodna

W ostatnim 15-leciu zauważalna jest zdecydowana zmienność pogody objawiająca się znaczącym zróżnicowaniem wielkości opadów atmosferycznych oraz temperatur w ciągu roku. Na podstawie sumy rocznych opadów daje się zauważyć, że w ostatnich 15. latach występują istotne fluktuacje ilości opadów w ciągu roku, natężenia oraz częstotliwości ich występowania.

W ciągu ostatnich 15. lat 5-krotnie wystąpiły przypadki, w których średnia roczna wysokość opadu przekraczała o ponad 50 mm średnią sumę opadów z wielolecia. Sytuacje te występowały w latach 2007, 2009, 2010, 2016 oraz 2017. Dodatkowo w latach 2010 i 2016 w okresie wegetacyjnym zanotowano znaczące nadmiary wody, przekraczające o ponad 100 mm średnie opady w okresie wegetacyjnym.

W okresie ostatniego 15-lecia występowały również znaczące niedobory opadów objawiające się suszami glebowymi, a w niektórych regionach Polski – nawet suszami hydrologicznymi i hydrogeologicznymi. Pod tym względem znacząco wyróżniają się lata 2011, 2015, 2018 i 2019, z deficytem wody pogłębianym utrzymującymi się wysokimi temperaturami powietrza. Ekstremalnie zaskakujący i znaczący z punktu widzenia zachowania stabilności stanów wody był rok 2019, kiedy to w niektórych rejonach Polski w okresie wiosennym występowały powodzie i podtopienia, natomiast w okresie letnim i wczesno-jesiennym panowała długotrwała susza.

Szybkie i znaczące amplitudy sumy opadów, zarówno w ciągu roku, jak i sezonu wegetacyjnego, stają się czynnikami stresogennymi dla drzewostanów, powodując osłabienie stanu zdrowego lasu, oraz prowadzą do zahamowania wzrostu, a nawet w skrajnych przypadkach do zamierania drzewostanów. Proces osłabienia drzewostanów nie koreluje bezpośrednio z występującym zjawiskiem nadmiaru lub niedoboru opadów w danym roku. Zazwyczaj objawia się on po upływie 2–3 lat poprzez występowanie chorób infekcyjnych i wieloczynnikowych zjawisk zamierania drzew i drzewostanów. Występujące fluktuacje zjawisk pogodowych (susze oraz powodzie) zmuszają do podejmowania wyprzedzających działań technicznych przeciwdziałających tym zjawiskom w leśnictwie, m.in. poprzez ograniczenie i zniwelowanie gwałtownych zmian warunków wodno-wilgotnościowych.

Wśród czynników lokalnych powodujących dodatkowe deficyty zasobów wodnych w glebie można wyróżnić:

- 1) warunki morfologiczne i pokrycie terenu,
- 2) działalność kopalni,
- 3) odwadnianie dróg leśnych,
- 4) działalność rolniczą,
- 5) melioracje wodne ukierunkowane wyłącznie na odwadnianie.

■ Warunki morfologiczne i pokrycie terenu

Obieg wody w lesie kształtuje się w zależności od warunków fizjograficznych, a w szczególności od ukształtowania terenu, stopnia lesistości, wysokości i rozkładu opadów, wielkości temperatur, rodzaju szaty roślinnej, właściwości wodnych gleb oraz urządzeń wodno-melioracyjnych. Obszary o dużych spadkach i deniwelacjach terenu są narażone na szybsze odpływy wód pochodzących z opadów atmosferycznych. Tym samym woda z całej powierzchni zlewni spływa do odbiornika, którym odpływa do zlewni wyższego rzędu. Z takich obszarów duża część wody jest bezpowrotnie tracona.

W celu utrzymania równowagi pomiędzy niedoborem, a nadmiarem wody optymalna ilość opadów powinna wynosić w okresie wegetacyjnym od 350 mm do 380 mm, pod warunkiem wypełnienia się retencji glebowej. Retencja glebowa to zdolność do zatrzymywania wody w ośrodku glebowym – mezoporach. Podstawowym czynnikiem pozwalającym osiągnąć odpowiedni poziom retencji glebowej jest pokrywa śnieżna.

■ Działalność kopalni

Funkcjonowanie kopalni wymusza z reguły konieczność stosowania technologii umożliwiających odwodnienie dużych obszarów w celu pozyskania surowców oraz kopalin. Prowadzone odwodnienie na potrzeby kopalni powoduje, że obniżeniu ulega poziom zwierciadła wód podziemnych – I warstwy wodonośnej. Szczególnie zauważalne jest to w wypadku kopalni odkrywkowych. Zasięg oddziaływania takich kopalni jest bardzo różny i zależy m.in. od głębokości pozyskania surowców, wielkości i rozmiarów kopalni oraz od wielu innych czynników. Może on mieścić się w zakresie zarówno kilkuset metrów, jak również kilku kilometrów. Kopalnie odkrywkowe bardzo często lokalizowane są w bliskości kompleksów leśnych, bezpośrednio na nie oddziałując, uszczuplając zasoby wód podziemnych, które odprowadzane są do wód powierzchniowych (cieków).

■ Odwadnianie dróg leśnych

Jednym z zasadniczych elementów funkcjonalnych dróg leśnych jest rów odwadniający lub inne urządzenie służące do odprowadzania wody opadowej z nawierzchni i korpusu drogowego. Zastosowanie tego typu urządzeń ma na celu minimalizację ryzyka destrukcyjnego działania wody na nawierzchnie, powodującego jej uszkodzenie lub obryw korpusu drogowego. Istotnym czynnikiem negatywnie wpływającym na stan zasobów wody glebowej jest jednokierunkowe podejście do jak najszybszego odprowadzenia wody z dróg do cieków. W tej sytuacji zasadnym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie działań polegających na wykonaniu urządzeń odwadniających, powiązanych z istniejącą infrastrukturą wodno-melioracyjną w lasach, w celu ograniczenia odpływu wody i zatrzymania jej na terenach leśnych.

■ Działalność rolnicza

Okresowo istotnym elementem wpływającym na stan ilościowy zasobów wód gruntowych może być również działalność rolnicza. Niekontrolowane pobory z ujęć wód podziemnych w celu nawadniania gruntów i upraw rolnych w czasie występowania suszy glebowej powodują pogłębianie deficytu zasobów wodnych. Szczególnie szkodliwy jest jednoczesny pobór z kilku lub kilkunastu ujęć wód podziemnych, który skutkuje powstawaniem leja depresji o znacznym zasięgu, niekiedy wpływającym na tereny leśne. To z kolei często powoduje nadmierne przesuszanie się gleby i pogorszenie warunków wodno-wilgotnościowych siedlisk leśnych.

■ Melioracje wodne

W latach 1951–1991 na terenach leśnych zostały podjęte działania związane z melioracjami wodnymi, ukierunkowanymi w głównej mierze na odwadnianie obszarów nadmiernie uwilgotnionych.

Melioracjami objęto powierzchnię ok. 850 tys. ha, co stanowiło wówczas 12,5% całej powierzchni lasów w Polsce. Istotnym uchybieniem wykonanych melioracji był brak dostosowania sieci do odpływu regulowanego. Powodem, dla którego ograniczono wykonanie melioracji wyłącznie do odprowadzania stagnujących wód powierzchniowych za pomocą systemu rowów odwadniających, były m.in. małe przepływy w okresie letnim.

Od 1998 r. w Lasach Państwowych zainicjowany został trend budowy obiektów małej retencji, mających na celu zwiększenie zasobów wodnych, przeciwdziałanie powodziom i suszom oraz przywrócenie pierwotnej funkcji obszarom podmokłym.

Tab. 8. Informacja na temat realizacji obiektów małej retencji w Lasach Państwowych.

	Lata						
	1998-2005 (zrealizowane)	2007-2013 (zrealizowane)		2014-2022 (prawie zrealizowane)		2023-2029 (planowane)	
	cały kraj	retencja górska	retencja nizinna	retencja górska	retencja nizinna	retencja górska	retencja nizinna
liczba Nadleśnictw uczestniczących w projekcie	-	223 Nadleśnictw		160 Nadleśnictw		190 Nadleśnictw	
Liczba obiektów	3340	3553	3644	1086	1181	ok. 1600	ok. 1100
objętość retencjonowanej wody	8,4 mln m ³	1,5 mln m ³	42,8 mln m ³	0,4 mln m ³	2,1 mln m ³	ok. 0,4 mln m ³	ok. 5,0 mln m ³
koszty poniesione/ koszty planowane*	38,6 mln zł	185,9 mln zł	189,1 mln zł	266 mln zł	235 mln zł	ok. 386 mln zł*	ok. 560 mln zł*

Powyższe dane nie uwzględniają obiektów retencyjnych, w tym rezerwarów wody do celów ochrony przeciwpożarowej, budowanych przez nadleśnictwa w ramach środków własnych. Szacuje się, że łączna pojemność obiektów małej retencji w lasach wynosi ok. 100 mln m³.

Reasumując, nie mamy bezpośredniego wpływu na zwiększenie ilości lub wzrost częstotliwości pojawiania się opadów atmosferycznych. Czynniki atmosferyczne są niesterowalne, nie mamy wpływu na zmianę, zasięg i zakres występowania parametrów pogodowych (opad-temperatura). Ponadto, lasy i grunty leśne uniemożliwiają zastosowanie powszechnych rozwiązań technicznych dających możliwość zoptymalizowania warunków wodno-wilgotnościowych, jak w wypadku gruntów rolnych, np. systemów nawadniających – deszczowni. Nawet gdyby była możliwość zastosowania tego typu rozwiązań, to aspekt ekonomiczny, czyli stosunek kosztów do potencjalnych efektów, bezwzględnie eliminuje ich praktyczne użycie. Tym samym, najlepszym i najprostszym rozwiązaniem poprawy bilansu wodnego w lasach oraz stymulatorem obiegu wody w lesie jest budowa małych obiektów wodnych o niewielkim zasięgu oddziaływania, lecz w dużej ich liczbie. Dodatkowo należy się również skupić na utrzymaniu i modernizacji istniejącej infrastruktury wodno-melioracyjnej, nie dopuszczając do pogorszenia jej stanu technicznego oraz użytkowego, ukierunkowując ją na odpływ sterowany. Zastosowanie odpływu sterowanego w lasach pozwoli leśnikom reagować na zmieniające się warunki wodne, a tym samym umożliwi bilansowanie zasobów wodnych w sposób niepowodujący osłabienia drzewostanu, poprzez odpowiednie i racjonalne użytkowanie istniejących systemów melioracji wodnych. Dodatkowo wydaje się, że priorytetowym rozwiązaniem korzystnie wpływającym na stosunki wodno-wilgotnościowe w lasach byłoby utworzenie sieci urządzeń wodnych umożliwiających doprowadzenie wód wolnych od zanieczyszczeń do ekosystemów leśnych z innych terenów oraz powierzchni. Ponadto wszędzie tam, gdzie jest to możliwe, należy dążyć do zatrzymania lub spowolnienia odpływu wody z terenów leśnych pod warunkiem, że nie spowoduje to zawodnienia siedliska skutkującego zamarciem drzewostanu. W ramach projektu: „Przywracanie funkcji i poprawa stanu siedlisk hydrogenicznych na terenach pozostających w zarządzie PGL LP na obszarach Natura 2000 i Zielonej Infrastruktury” ponowne uwodnienie siedlisk bagiennych, zwłaszcza na glebach organicznych. Zasadne wydaje się także opracowanie wytycznych (planów)

umożliwiających właściwe gospodarowanie wodą w zależności od występujących i prognozowanych warunków pogodowych.

Działania krótkoterminowe

1. Zatrzymanie i zahamowanie odpływu wody w rowach – w tej grupie przedsięwzięć znajdują się wszelkiego rodzaju zadania umożliwiające zatrzymanie wody w lasach:
 - a) przetamowania ziemne,
 - b) narzuty kamienne,
 - c) płotki faszynowe,
 - d) worki z piaskiem.

W ostatnim okresie znacznie częściej obszarom leśnym zagraża susza aniżeli powódź. Tym samym w celu natychmiastowego podjęcia działań, które mogą mieć wpływ na warunki wodne, istnieje możliwość wykonania przetamowań na rowach melioracyjnych. Wysokość stosowanych przetamowań nie powinna przekraczać 50% głębokości rowu. Za zasadnością podejmowania tego typu działań przemawiają ich powszechność, prostota i łatwość stosowania. Zatrzymanie po zimie w rowach choćby 1 m³ wody wydłuża okres zasilania i wypełniania retencji glebowej (gruntowej). Tego typu obiekty nie są trwale związane z gruntem – są one budowlami tymczasowymi, użytkowanymi do czasu wykonania stałych obiektów piętrzących. Okres istnienia tego typu budowli nie powinien przekraczać 2. lat.

Działania długoterminowe

1. Budowa, przebudowa i remonty infrastruktury wodno-melioracyjnej oraz przeciwerozyjnej – wszelkiego rodzaju obiektów niezbędnych do właściwego funkcjonowania wszystkich urządzeń melioracji wodnych oraz urządzeń wodnych niebędących urządzeniami melioracji wodnej znajdujących się na gruntach PGL LP – m. in. W ramach Kompleksowych projektów adaptacji lasów i leśnictwa do zmian klimatu – mała retencja oraz przeciwdziałanie erozji wodnej na terenach nizinnych i górskich (MRN3 i MRG3). W zależności od występujących warunków wodnych mogą one obejmować:
 - a) remonty, modernizacje istniejących urządzeń piętrzących,
 - b) wykonanie nowych urządzeń piętrzących na rowach,
 - c) modernizacje istniejących odcinków rowów,
 - d) wykonanie nowych odcinków rowów,
 - e) remonty, modernizacje, wykonanie przepustów,
 - f) modernizacje, wykonywanie urządzeń typu zastawka (bez stałego piętrzenia), umożliwiających regulację przepływów na rowach.
 - g) budowy, modernizacje obiektów i urządzeń w tym przeciwerozyjnych, mających wpływ na kształtowanie zasobów wodnych.

Budowa i remonty infrastruktury wodnej – liniowej – mają na celu wykonanie nowych lub odtworzenie zdeprecjonowanych obiektów umożliwiających gospodarowanie wodami. Coraz częściej mamy do czynienia z flood flash – powodzią błyskawicznymi – opadami nawalnymi. Jeżeli nie uda się zatrzymać wody opadowej w obiektach w miejscu ich powstania, wówczas woda bezpowrotnie odpływa do cieków naturalnych. Dodatkowo w zależności od występujących sytuacji wymagane jest również stosowanie urządzeń odwadniających; dotyczy to głównie dróg leśnych.

2. Budowa obiektów infrastruktury wodnej punktowej, czyli zbiorników wodnych w tym również o powierzchni do 500 m² i głębokości do 3 m – m. in. W ramach Kompleksowych projektów adaptacji lasów i leśnictwa do zmian klimatu – mała retencja oraz przeciwdziałanie erozji wodnej na terenach nizinnych i górskich (MRN3 i MRG3):

- a) napełnianych wodami opadowymi, roztopowymi lub gruntowymi;
- b) zasilanych wodami z rowów melioracyjnych i innych cieków;
- c) wykonanych na skutek spiętrzenia wody w rowach i innych ciekach;
- d) przy wodospustach i innych urządzeniach odwadniających drogi leśne.

Budowa zbiorników umożliwia zgromadzenie nadmiaru wody w miejscu jej powstania. Zastosowanie rozwiązania typu zbiorniki o powierzchni do 500 m² wydaje się zasadne także w wypadku budowy nowych odcinków i remontów dróg, tzn. odbiorników wody pochodzącej z odwodnienia dróg leśnych. Takie zbiorniki będą mogły stanowić dodatkowy rezerwuuar wody na wypadek pożaru. Jest to rozwiązanie systemowo proste pod względem formalnoprawnym. Dodatkowo przemawiającym atutem budowy tego typu zbiorników jest również nieponoszenie kosztów z tytułu opłat za usługi wodne. Ponadto zasięg oddziaływania tego typu zbiorników i ich wpływ na bogactwo przyrodnicze może w zależności od warunków fizjograficznych osiągać odległość od 50 m do 200 m od górnej krawędzi skarpy. Większe zbiorniki są rozwiązaniem bardziej skomplikowanym, ale przynoszącym pozytywne efekty przyrodnicze na większą skalę.

3. Konserwacja istniejących systemów melioracji wodnych, polegająca na:

- a) wykaszaniu roślin pływających i korzeniących się w dnie rowów,
- b) usuwaniu przeszkód naturalnych,
- c) zasypywaniu wyrw w brzegach i dnie rowów oraz profilowanie zniekształconych skarp.

Podejmowanie tego typu działań umożliwi dostosowanie i przygotowanie infrastruktury wodnej w lasach do zarządzania zasobami wodnymi w zależności od występujących warunków pogodowych. Mimo że nie mamy wpływu na wielkość opadów, to dzięki konsekwentnym działaniom polegającym na konserwacji sieci rowów istnieje możliwość regulacji zasobów wodnych w lesie.

4. Współpraca z podmiotami prowadzącymi odwadnianie oraz odprowadzającymi oczyszczone wody technologiczne w celu ich przerzutu i wykorzystania na terenach leśnych. Działanie mogłoby polegać na:

- a) wykonaniu sieci rowów doprowadzających,
- b) prowadzeniu przerzutów wody,
- c) tworzeniu śródleśnych zbiorników wodnych napełnianych wodą pochodzącą z odwodnienia.

Obecnie duże ilości wody technologicznej, spełniającej wymagania Rozporządzenia Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych (Dz. U. 2019 poz. 1311), pochodzącej z większych zakładów przemysłowych oraz z kopalni odprowadzane są do rzek i innych cieków naturalnych. Odprowadzanie wody do cieków naturalnych powoduje jej odpływ i bezpowrotną utratę. Przerzut wody na tereny kompleksów leśnych może powodować, że woda płynąca rowami oraz znajdująca się w zbiornikach będzie ponownie infiltrowała do gruntu i zasilala warstwy gleby, zwiększając ich zasobność. W wypadku kopalni

powodujących duży zasięg leja depresyjnego przerzucana woda będzie krążyła praktycznie w obiegu zamkniętym, zasilając duże obszary kompleksów leśnych.

5. Utrzymywanie tam bobrowych w miejscach niepowodujących szkód gospodarczych.

Tamy bobrowe są obiektami samoistnie powstałymi w wyniku działalności zwierząt. Kiedy nie powodują istotnych szkód gospodarczych, nie powinny być likwidowane oraz rozbierane. Korzyści wynikające z fizycznego istnienia tam bobrowych są nieocenione w sytuacjach, gdy nie prowadzi to do konfliktów z gospodarką rolną lub leśną.

6. Opracowanie planów gospodarowania wodami w skali nadleśnictwa z uwzględnieniem obszaru zlewni (np. w ramach opracowywania PUL) polegałoby na:

- a) inwentaryzacji całej infrastruktury wodno-melioracyjnej,
- b) sklasyfikowaniu i pogrupowaniu obiektów występujących wraz z określeniem ich stanu technicznego,
- c) określeniu wartości użytkowej obiektów wodno-melioracyjnych dla bilansowania zasobów wodnych,
- d) planowaniu działań ukierunkowanych na budowę nowych obiektów i remonty istniejących,
- e) wskazaniu kierunków postępowania w zależności od mogących wystąpić warunków atmosferycznych.

7. Nawiązanie współpracy z Państwowym Gospodarstwem Wodnym Wody Polskie w zakresie:

- a) realizacji nowych inwestycji zwiększających małą retencję,
- b) tworzenia planów utrzymania i konserwacji obiektów i urządzeń wodnych,
- c) przerzutów wody,
- d) gospodarowania wodą uwzględniającego bilans wodno-gospodarczy zlewni oraz prowadzoną w zlewni gospodarkę leśną,
- e) utrzymywania urządzeń wodnych na ciekach będących w zarządzie PGL LP.

Nawiązanie współpracy oraz wypracowanie wspólnej polityki w zakresie wzajemnego uzupełniania potrzeb i zależności pomiędzy gospodarką wodną a gospodarką leśną. Stała współpraca pozwoli wyprzedzająco planować zadania w zakresie melioracji oraz gospodarki wodnej na gruntach Skarbu Państwa będących w zarządzie PGL LP. Dodatkowo można pokusić się o partycypację Wód Polskich w kosztach utrzymania urządzeń wodnych mających wpływ na obniżenie ryzyka powodzi i minimalizujących skutki suszy.

4.3. Ochrona lasu

Nadrzędną zasadą obowiązującą w zakresie działań dotyczących ochrony lasu powinno być dokładne stosowanie się do opisujących je zapisów obowiązującej Instrukcji ochrony lasu. W wypadku działań ponadstandardowych, wynikających z powstawania nowych jakościowo zagrożeń, należy wdrażać odpowiednie postępowanie oparte na istniejącym stanie wiedzy i dostosowane do warunków lokalnych.

■ Czynniki abiotyczne

Zgodnie z zapisami IOL do czynników abiotycznych, które wyrządzają szkody w ekosystemach leśnych, należą:

- 1) wiatr (huragany i tornada);
- 2) deszcz (powódź), śnieg (okiść);
- 3) grad;

- 4) szadź;
- 5) gołoledź;
- 6) wysoka temperatura (oparzenia, zgorzel słoneczna, susza glebowa);
- 7) niska temperatura (wczesne i późne przymrozki, mrozy zimowe, mrozowa susza fizjologiczna).

Działania ochronne w drzewostanach uszkodzonych przez huraganowe wiatry, okiść, gołoledź, szadź i grad, w których doszło do wystąpienia szkód na znacznych obszarach, obejmują głównie zadania z zakresu ochrony drewna przed szkodnikami ksylofagicznymi (ksylofagami) oraz przed szkodnikami fizjologicznymi (kambiofagami), poprzez ograniczenie możliwości wykorzystania drzew powalonych, złamanych oraz stojących, ale osłabionych, jako bazy ich rozrodu. W dalszej perspektywie działania ochronne dotyczą nowo zakładanych upraw zagrożonych przez szkodniki i choroby drzew iglastych oraz liściastych, a także gleby – przed zachwaszczeniem, degradacją i erozją.

Występowanie długotrwałych okresów bez opadów atmosferycznych i z wysokimi temperaturami powoduje zachwianie równowagi fizjologicznej drzew na znacznych obszarach i uruchomienie procesów chorobowych w drzewostanach z udziałem takich czynników biotycznych, jak opieńkowa zgnilizna korzeni oraz szkodniki wtórne. Działania ochronne w drzewostanach dotkniętych skutkami suszy należy zasadniczo realizować zgodnie z zasadami dotyczącymi tych grup czynników, omówionych w odnośnych podrozdziałach w dalszej części opracowania.

Działania krótkoterminowe

1. W sytuacji zagrożenia trwałości lasu (intensywne wydzielanie się drzew) bieżące usuwanie drzew wydzielających się bez udziału szkodników wtórnych, które ze względu na stan łyka są nieatrakcyjne jako baza lęgowa tych owadów. Działania te dotyczą w sposób szczególny drzewostanów dotkniętych skutkami suszy, o obniżonej odporności (np. lite drzewostany sosnowe i świerkowe), zwłaszcza w kontekście zagrożenia pożarowego.
2. Terminowe zagospodarowanie drewna z wywrotów i złomów, które generalnie należy prowadzić zgodnie z zasadami opisanymi w IOL. Podstawowym celem tych działań jest ograniczenie ilości materiału lęgowego dla owadów kambio- i ksylofagicznych, z jednoczesnym wykorzystaniem części drzew powalonych i złamanych, jako naturalnych pułapek.
3. Rotacja drewna zapewniająca z jednej strony wywóz drzew zasiedlonych przez owady, z drugiej zaś – ograniczenie dostępnej bazy lęgowej.

Działania długoterminowe

1. Efektywna ochrona przeciwpożarowa w uprawach, młodnikach i drzewostanach objętych skutkami suszy lub działaniami odnowieniowymi.
2. Działania hodowlane zwiększające odporność drzewostanów na czynniki abiotyczne.
3. Ochrona powstających lub wprowadzanych odnowień przed szkodami wyrządzanymi przez czynniki biotyczne, zwłaszcza choroby infekcyjne, szkodniki owadzie i zwierzęcą.

■ **Czynniki biotyczne**

Choroby infekcyjne

Obserwowane od wielu lat zmiany klimatyczne i związane z nimi anomalie pogodowe mogą stanowić impuls do dalszego rozwoju procesów chorobowych w lasach Polski, zwłaszcza w drzewostanach sosnowych, świerkowych i dębowych. W okresie 100 lat, od roku 1906 do roku 2005, średnia globalna temperatura wzrosła o 0,74°C (Solomon i in. 2007). Wzrost temperatury w ostatnich latach przebiega szybciej niż zakładano i nie wyklucza się wzrostu średniej temperatury globalnej o 2°C do roku 2052. Dlatego najnowszy Raport IPCC skupia się na konsekwencjach wzrostu globalnej temperatury o 2°C (w porównaniu z zakładanym dotychczas wzrostem o 1,5°C). Wzrost średnich temperatur, brak opadów i długotrwała susza, szczególnie w okresie wiosennym, silne wiatry i związane z tym uszkodzenia stanowią czynniki sprzyjające dynamicznemu rozwojowi chorób infekcyjnych. Czynniki te z jednej strony obniżają odporność drzew, a z drugiej sprzyjają rozwojowi patogenów. W takich warunkach możliwe jest nasilenie procesów chorobowych związanych z permanentnym zasiedleniem arealu lasów przez patogeny (choroby systemów korzeniowych), jak również z nagłym rozwojem epifitów spowodowanych porażeniem drzew w stanie silnego stresu przez patogeny (choroby pędów i aparatu asymilacyjnego), (Sierota 2014).

W Polsce zagrożenie ze strony grzybów powodujących choroby drzew leśnych w latach 2015–2019 określono jako niezmiennie. Powierzchnia, na której wystąpiły choroby w tym okresie, została oszacowana na 941 tys. ha. Najważniejszą grupą chorób infekcyjnych są choroby systemów korzeniowych, w tym huba korzeni powodowana przez korzeniowce *Heterobasidion spp.* i opieńkowa zgnilizna korzeni powodowana przez opieńki *Armillaria spp.* Ich udział w całkowitej powierzchni chorób infekcyjnych wynosił 76%. Dodatkowo pojawiają się takie choroby, jak zamieranie pędów sosny, osutka wiosenna sosny czy wieloczynnikowe procesy zamierania drzewostanów dębowych, brzoźowych i olszowych (Jabłoński i in. 2016–2019).

Działania krótkoterminowe

1. Monitorowanie występowania chorób pędów sosen, a w razie ich stwierdzenia sprawne usuwanie i wywóz drzew zamartwych.
2. Monitorowanie procesów zamierania drzewostanów liściastych i możliwie szybka diagnoza przyczyn.
3. Możliwie sprawne usuwanie zamierających drzew liściastych przed wystąpieniem deprecjacji drewna.

Działania długoterminowe

1. Określenie drzewostanów najsilniej zasiedlonych przez korzeniowce i opieńki oraz rozpoczęcie ich przebudowy.
2. Stosowanie *Phlebiopsis gigantea* (Fr.) Jülich na gruntach porolnych, a także na gruntach leśnych najsilniej zasiedlonych przez patogeny. Na obszarach wysokiego ryzyka wystąpienia szkód od opieńkowej zgnilizny korzeni w uprawach odstąpienie od sposobów przygotowania gleby uszkadzających ryzomorfy.
3. Planowanie przebudowy jednogatunkowych drzewostanów niezgodnych z typem siedliskowym lasu na drzewostany wielogatunkowe (unikanie zastępowania jednej monokultury drugą).

Jemiola

W ostatnim dziesięcioleciu w Europie obserwuje się zwiększenie dynamiki rozprzestrzeniania się jemioli *Viscum sp.* Wyróżniamy trzy podgatunki związane

z gatunkiem gospodarza: jemiola pospolita *Viscum album ssp. album* – zasiedla gatunki drzew liściastych; jemiola jodłowa *Viscum album ssp. abietis* – atakuje jodłę i jemiola rozpięchła *Viscum album ssp. austriacum* – poraża sosnę. W Polsce najliczniej i najczęściej występuje jemiola pospolita (78,4% stanowisk), następnie jemiola rozpięchła (15,6%), najrzadziej (6%) jemiola jodłowa (Stypiński 1997). Jemiola jako półpasożyt czerpie od gospodarza wodę z solami mineralnymi i związki azotowe, zwiększając transpirację, zwłaszcza w latach deficytu wody, co powoduje silne osłabienie drzew. Gatunek ten indukuje degradację koron drzew, zwłaszcza na suchych siedliskach, oraz zwiększa śmiertelność w wyniku stresu oksydacyjnego w okresie letnim (Mutlu i in. 2016). Ogranicza także wzrost, zmniejsza wydajność zużycia wody oraz zwiększa wrażliwość drzew na suszę (Sanguesa-Barreda i in. 2013). Ponadto ułatwia porażenie drzew przez inne patogeny oraz może wywoływać zwiększoną śmiertelność. Stwierdzono także, że jemiola wpływa na procesy rozmnażania generatywnego (Jasiczek i in. 2017), a także powoduje obniżenie przyrostów drzew (Bilgili i in. 2017) oraz wywołuje zmiany anatomiczne drewna i igieł (Öztürk i in. 2018). Do przyczyn rozszerzania arealu przez jemiolę i intensywnego porażania drzew zaliczyć można ocieplenie klimatu (Dobbertin i in. 2005). Istotna jest również rola ptaków jako wektorów tego półpasożyta (Mellado i in. 2014). Problem z występowaniem jemioly pospolitej, a szczególnie podgatunku występującego na sosnie, staje się w gospodarce leśnej coraz poważniejszy.

Działania krótkoterminowe

1. Monitorowanie skali i stopnia porażenia drzewostanów.
2. Podejmowanie decyzji o usunięciu drzewostanu w sytuacji zamierania większości drzew.
3. Wykonywanie cięć pielęgnacyjnych ukierunkowanych na usuwanie drzew porażonych.

Działania długoterminowe

1. Planowanie urozmaiconego składu gatunkowego na powierzchniach objętych zrębami sanitarnymi.

Szkodniki korzeni

Zmiany w użytkowaniu gruntów rolnych oraz wprowadzone ograniczenia dotyczące środków ochrony roślin dopuszczonych do stosowania w leśnictwie w formie doglebowej przyczyniły się do gwałtownego narastania zagrożeń ze strony szkodników korzeni, głównie za sprawą chrabąszczy *Melolontha spp.* z rodziny poświętnikowatych (*Scarabaeidae*). Dla przykładu, w 2015 r. odnotowano wzmożone występowanie imagines chrabąszczy na terenie 71 nadleśnictw należących do 15 RDLP na łącznej powierzchni ok. 126 tys. ha. Tymczasem w roku 2019 w LP zabiegami agrotechnicznymi przeciwko postaci doskonałej chrabąszczy objęto już areał 146 tys. ha. Zagrożenie trwałości lasu (głównie w fazie uprawy i młodnika) stwarza postać larwalna, szczególnie starszych stadiów rozwojowych pędraka (L2 i L3). Chroniczne utrzymywanie się wzmożonej obecności pędraków na określonych obszarach leśnych uniemożliwia uzyskanie i utrzymanie odnowień naturalnych i sztucznych. Powierzchnie te jako trwale zagrożone żerami, głównie chrabąszczy, kwalifikowane są jako uporczywe pędraczyska. Stosunkowo nowym zjawiskiem jest obecność pędraków chrabąszczy wewnątrz drzewostanów (pod okapem drzew); powoduje to uszkodzanie ryzosfery również dojrzałych drzew i pogarszanie się stanu zdrowotnego drzewostanów. Narastaniu gradacji i co za tym idzie

szkód od chrabąszczy sprzyja istnienie na tym samym obszarze różnych ich szczepów (w glebie niejednokrotnie występują równocześnie pędraki chrabąszczy w różnym wieku). Powszechność występowania chrabąszczy zarówno na gruntach użytkowanych rolniczo, sadowniczo, ogrodniczo, jak i w lasach różnych własności, przy bardzo ograniczonej możliwości stosowania metody chemicznej w lasach, stwarza dodatkowy problem w zakresie podejmowania skutecznych środków zaradczych.

Działania krótkoterminowe

1. Postępowanie zgodne z wdrożonymi do gospodarki leśnej zasadami integrowanej metody ochrony drzewostanów iglastych i liściastych opracowanymi przez IBL na potrzeby LP.
2. Bieżąca ocena stanu populacji chrabąszczowatych i zagrożenia lasu wg zapisów IOL.
3. Stosowanie chemicznych zabiegów ograniczających liczebność postaci doskonalej jako podstawowej metody czynnej ochrony przed szkodnikami korzeni. Redukcja liczebności chrabąszczy odczuwalna jest szczególnie na dużych obszarach leśnych poddanych zabiegom, przy występowaniu jednego szczepu chrabąszczy i przynajmniej dwukrotnym prowadzeniu zabiegów ochronnych wobec kolejnych generacji szkodnika,

Działania długoterminowe

1. Długofalowe działania wpisują się w sferę profilaktyki dyspozycyjnej. Obniżanie dyspozycji drzew i drzewostanów na atak szkodników korzeni odbywa się z jednej strony poprzez poprawę ich kondycji zdrowotnej, z drugiej zaś – poprzez pogorszenie warunków egzystencji szkodników korzeni. Katalog takich działań do zastosowania w dłuższej perspektywie ujmuje IOL.
2. Monitorowanie, zgodnie z zapisami IOL, stanu populacji chrabąszczowatych.
3. Wprowadzanie na obszarach pędraczysk gatunków drzew nieodpowiednich do odbycia żeru uzupełniającego lub regeneracyjnego, rezygnacja z domieszek biocenotycznych, w tym dębu, likwidacja ugorów, unikanie rozluźniania zwarcia.
4. Dążenie do ograniczania działania innych stresorów wpływających na pogarszanie się kondycji zdrowotnej drzew na obszarach poddanych silnej presji chrabąszczy. Najważniejszym czynnikiem są tu szkody od zwierzyny.
5. Wprowadzenie do praktyki stałych powierzchni kontrolnych (PK) występowania szkodników korzeni (chrabąszczy), podobnie jak ma to miejsce w wypadku PK służących do prowadzenia jesiennych poszukiwań szkodników pierwotnych sosny.
6. Przyjęcie do powszechnego stosowania w LP zmodyfikowanej metodyki monitorowania stanu populacji chrabąszczy i wielkości zagrożenia w latach poprzedzających zabieg zwalczania imago oraz w roku jego prowadzenia w celu optymalizacji decyzji co do zasięgu pola zabiegowego i terminu zabiegu.
7. Opracowanie metodyki określania skuteczności zabiegów ograniczania imago chrabąszczy poprzez analizę szkód w uprawach leśnych w następstwie tych zabiegów. Dotychczasowe określanie śmiertelności na tackach opadowych bezpośrednio po wykonaniu zabiegów zwalczania jest niewystarczające.

8. Ograniczenie szkód w uprawach rolnych i leśnych przez szkodniki korzeni poprzez zwalczanie imago chrabąszczy wymaga koordynacji i współpracy Lasów Państwowych i władz samorządowych (starostwa powiatowe i gminy).

Foliofagi

Wieloletnie doświadczenie w prognozowaniu występowania gradacji foliofagów drzew leśnych zaowocowało wypracowaniem schematów i metod umożliwiających przewidywanie zagrożenia dla trwałości lasu, powodowanego gwałtownym rozwojem populacji owadów. Możliwość oceny zagrożeń z wyprzedzeniem pozwala na przeprowadzenie działań ograniczających szkody w drzewostanach. Coraz ostrzejsze kryteria środowiskowe zawężają jednak możliwości tych działań, szczególnie związanych z metodami chemicznymi oraz zabiegami agrolotniczymi. Instrukcja ochrony lasu przewiduje rutynowe działania dla określonej, zamkniętej listy gatunków uważanych za podstawowe i tych, które odgrywają największą rolę w uszkodzaniu drzewostanów. Poznanie mechanizmów rozwoju gradacji w zależności od stanu zdrowotnego lasu pozwala zarówno doskonalić metody prognostyczne, jak i prowadzić profilaktykę zapobiegania i ograniczania szkód.

Działania krótkoterminowe

1. Prowadzenie monitoringu foliofagów zgodnie z obowiązującymi wytycznymi i metodyką zawartą w obowiązującej IOL.
2. Wybór standardowych, znanych metod prognozowania odpowiednio do istniejącej sytuacji związanej ze stanem lasu.
3. Ocena zagrożenia drzewostanów uwzględniająca ich stan zdrowotny (bieżąca modyfikacja liczb krytycznych oparta na empirycznych danych).
4. Prowadzenie zabiegów agrolotniczych i naziemnych przy zastosowaniu dostępnych środków technicznych i zarejestrowanych dla leśnictwa środków ochrony roślin.
5. Bieżąca aktualizacja lokalizacji ognisk gradacyjnych na podstawie przyjętych kryteriów.
6. Prowadzenie prac związanych z udoskonalaniem metod prognozowania, w tym wykorzystanie nowych technologii (zdjęcia lotnicze itp.).

Działania długoterminowe

Profilaktyka

1. Różnicowanie, poprzez działania hodowlane (rębnie, odnowienia, dolesienia), drzewostanów pod względem gatunkowym i wiekowym w celu ograniczania wielkopowierzchniowych, jednogatunkowych i jednowiekowych monokultur sprzyjających rozwojowi foliofagów na dużych powierzchniach.
2. Prowadzenie innych zabiegów hodowlanych (czyszczenia, trzebieże) w sposób gwarantujący zróżnicowanie gatunkowe i wiekowe drzewostanów w celu podnoszenia ich odporności na działania czynników biotycznych, w tym foliofagów.
3. Dokonywanie regularnych przeglądów drzewostanów pod kątem uszkodzeń przez foliofagi przy wykorzystaniu nowych dostępnych narzędzi (zdjęcia lotnicze, satelitarne, obserwacje z dronów itp.).

Długoterminowe monitorowanie populacji owadów, wykorzystanie nowych technologii w ograniczaniu ich nadmiernej liczebności

1. Adoptowanie do praktyki istniejących lub stworzenie nowych modeli rozwoju gradacji owadów, uwzględniających czynniki współuczestniczące, w tym zakłócenia wywołane przez czynniki abiotyczne.
2. Prowadzenie monitoringu owadów, które historycznie miały olbrzymi wpływ na zamieranie drzewostanów na terenie Polski, monitoringu, który obecnie realizowany jest w formie szczątkowej (niewiele punktów obserwacyjnych) bądź zaniechano go zupełnie (np. wskaźnica modrzewianeczka *Zeiraphera griseana* [Hb.]).
3. Wprowadzanie do praktyki nowych metod ochrony lasu, polegających na wykorzystywaniu pojawiających się nowych technologii i substancji aktywnych, np. preparaty biologiczne czy powodujące zakłócenia różki owadów (feromony).

Kambio- i ksylofagi

Owady kambio- i ksylofagiczne w świetle teorii Maniona (Manion, Lachance 1992) stanowią czynnik współuczestniczący w procesie chorobowym drzew i drzewostanów zainicjowanym suszą. Są niezwykle istotne, ponieważ opanowując osłabione drzewa i drzewostany, przyspieszają i na ogół ostatecznie przesądzają o ich finalnym zamieraniu. Posiadając zdolność do szybkiego oraz masowego rozwoju i będąc w stanie gradacji, mogą silnie dynamizować proces zamierania drzewostanów – zarówno w aspekcie czasowym, jak i przestrzennym, a tym samym powodować szybki postęp tego procesu na znacznych obszarach lasu. Wymownym przykładem takiej sytuacji pozostaje np. ostatnie masowe zamieranie świerka w przebiegu gradacji kornika drukarza *Ips typographus* (L.) w Puszczy Białowieskiej i w Tatrach czy wcześniejsze w Beskidach: Śląskim i Żywieckim, a także obecne, zapoczątkowane suszą z 2015 r., nasilone usychanie sosny (np. na Lubelszczyźnie, Opolszczyźnie, Dolnym Śląsku) przy istotnym udziale kornika ostrozębnego *I. acuminatus* (Gyll.) w związku z mającą miejsce gradacją tego kambiofaga.

Powstanie i rozwój gradacji owadów kambio- i ksylofagicznych zależy od aury oraz obfitości materiału lęgowego. Warunki pogodowe, zwłaszcza termiczne, determinują czas trwania poszczególnych stadiów rozwojowych, decydują o liczbie generacji szkodnika, różnicują skalę działania czynników oporu środowiska. Obfitość materiału lęgowego wpływa stymulująco na kondycję fizjologiczną szkodników, zwiększa ich płodność, ogranicza konkurencję wewnątrz- i międzygatunkową. Skala działania czynników oporu środowiska zależy od stanu zdrowotnego drzewostanu, a obfitość materiału lęgowego – także od jego stanu sanitarnego. Gradacje owadów kambio- i ksylofagicznych – szkodników wtórnych – i stan sanitarny połączone są związkami przyczynowo-skutkowymi: każda gradacja pogarsza stan sanitarny, a każde okresowe lub trwałe pogorszenie stanu zdrowotnego sprzyja rozwojowi szkodników. W konsekwencji zarówno częstość, jak i skala pojawu szkodników wtórnych – owadów kambio- i ksylofagicznych – pozostaje zawsze w ścisłym związku ze stanem zdrowotnym lasu, okresowymi wahaniami osłabienia drzewostanów, ich stanem sanitarnym oraz skutecznością podejmowanych zabiegów ograniczających (Mazur 1994, Grodzki 2013).

Najważniejszymi, o największym znaczeniu w gospodarce leśnej, owadami kambio- i ksylofagicznymi – szkodnikami wtórnymi – są:

- 1) na świerku: kornik drukarz *I. typographus* wraz z kornikiem drukarczykiem *I. amitinus* (Eichh.), kornikiem zrosłozębnym *I. duplicatus* (C.R. Sahlb.) i rytownikiem pospolitym *Pityogenes chalcographus* (L.);

- 2) na sośnie: kornik ostrozębny *I. acuminatus*, przyplaszczek granatek *Phaenops cyanea* (F.), żerdzianka sosnowka *Monochamus galloprovincialis* (Ol.);
- 3) na dębach: opietki *Agrilus* spp., paśniki *Plagionotus* spp., rozwiertki *Xyleborus* spp., wyrzynnik dębowiec *Platypus cylindrus* (F.);
- 4) na modrzewiach: kornik modrzewiowiec *I. cembrae* (Heer) i ściga modrzewiowa *Tetropium gabrieli* (Weise);
- 5) na jesionach: jesionowce *Hylesinus* spp., zwłaszcza *H. crenatus* (F.), *H. varius* (F.), *H. orni* Fuchs.

Działania krótkoterminowe

1. Bieżące rozpoznawanie i usuwanie posuszu wydzielającego się z udziałem szkodników wtórnych, z uwzględnieniem ograniczeń wynikających z ochrony przyrody. W nadleśnictwach, w których ma miejsce wzmożone usychanie drzew i wydzielanie się posuszu, wykonywanie cyklicznego szacowania ilości posuszu w lesie. Zaleca się stosowanie w tym celu nowoczesnych technologii, np. dronów.
2. Zagospodarowanie drewna z drzew zasiedlonych i jego rotacja. Możliwie jak najszybszy, sprawny zbyt i wywóz surowca wyrabianego z usuwanych drzew posuszowych. Oba te działania (→ pkt 1, 2) służą minimalizowaniu możliwości pełnego rozwoju owadów kambio- i ksylofagicznych i wylotu ich kolejnych generacji.
3. Stosowanie innych znanych i/lub opisanych w IOL metod ograniczania populacji szkodników wtórnych – pułapek feromonowych, środków owadobójczych, korowania surowca z pozyskanych drzew zasiedlonych z utylizacją kory, zatapianie i zraszanie wodą nieokorowanego drewna (w miarę lokalnych możliwości).
4. Zagospodarowanie pozostałości drzewnych. Celem jest minimalizowanie możliwości rozwoju owadów kambio- i ksylofagicznych na pozostałościach drzewnych. Działanie komplementarne z działaniem pkt 2. Szczególnie nieodzowne w odniesieniu do sosny (kornik ostrozębny) oraz świerka (rytownik pospolity).

Działania długoterminowe

1. Zapewnienie w dłuższej perspektywie sprawnego zagospodarowywania, tj. szybkiego usuwania z lasu pozostałości drzewnych i zasiedlonego przez owady surowca drzewnego.
2. Rewizja zasad pozostawiania drewna z martwych drzew, biogrup. W nadleśnictwach o wzmożonym wydzielaniu posuszu sosnowego rezygnacja z pozostawiania na powierzchniach zrębowych biogrup, stających się wówczas miejscami dynamicznej rozmnoży owadów kambio- i ksylofagicznych i powstawania posuszu. Uwzględnienie ryzyka wielkopowierzchniowego zamierania drzewostanów spowodowanego gradacją ww. owadów na etapie podejmowania decyzji o pozostawianiu drewna z martwych drzew z uwzględnieniem konieczności terminowego usuwania zasiedlonych drzew (czyli niepozostawiania posuszu zasiedlonego np. przez korniki).

3. Wzbogacanie składu gatunkowego, zwłaszcza litych drzewostanów. Celem jest podwyższanie poziomu naturalnej odporności drzewostanów na działanie biotycznych czynników chorobotwórczych.
4. „Odmłodzenie” drzewostanów – obniżanie wieków rębności drzewostanów złożonych z gatunków drzew szczególnie narażonych na proces zamierania. Celem jest zmniejszenie stopnia podatności drzewostanów na działanie abiotycznych i biotycznych czynników szkodliwych, w tym na zasiedlanie przez owady kambio- i ksylofagiczne.

Zwierzyna

Las stanowi naturalną bazę żerową występujących w nim zwierząt, ale nadmierna liczebność zwierzyny prowadzi do uszkodzeń, które w skrajnych przypadkach uniemożliwiają uzyskanie młodego pokolenia lasu. Szkody w drzewostanach dotyczą w szczególności młodszych klas wieku, a powodują je głównie jeleni, łosi i sarna. Na terenach leśnych, w rejonach swojego bytowania, pewne straty w gospodarce leśnej powodują też: żubr, muflon i daniel.

Przyczyną powstawania szkód jest przede wszystkim utrzymywanie wysokiej liczebności zwierzyny przekraczającej możliwości wyżywieniowe biotopu leśnego. Na wielkość wyrządzanych w lesie szkód wpływa również niewłaściwa struktura płciowa i wiekowa populacji jeleniowatych. Czasami wielkopowierzchniowe (np. po klęskach wiatrolomów itp.) występowanie młodników czy innych zalesień może być przyczyną koncentrowania się zwierzyny w takich miejscach. Skutkiem tego są znaczne szkody na stosunkowo małej powierzchni.

Działania krótkoterminowe i długoterminowe

Doprowadzenie stanu ilościowego i jakościowego populacji zwierzyny łownej do poziomu gwarantującego zachowanie powierzchni leśnych z rozmiarem szkód gospodarczo akceptowalnych, a następnie egzekwowanie rocznych i wieloletnich planów łowieckich.

Nowe patogeny

Zmiany klimatu, szczególnie wzrost średnich temperatur, występowanie warunków stresowych są czynnikami, które mogą umożliwiać pojawianie się organizmów kwarantannowych, obcych, inwazyjnych, oraz uaktywnienie patogenicznych cech organizmów dotychczas nieszkodliwych. Organizmy te mogą powodować poważne straty gospodarcze. Zawleczone na nowe tereny mogą się rozmnażać i stanowić istotne zagrożenie dla innych gatunków.

Spośród najgroźniejszych należy wymienić:

- 1) nicienia: węgorka sosnowca *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner and Bühner) Nickle et al.;
- 2) mykoplazmę: Elm phloem necrosis mycoplasma;
- 3) grzyby: *Atropellis* spp.;
- 4) *Ceratocystis fagacearum* (Bretz) J. Hunt;
- 5) *Cryphonectria parasitica* (Murrill) M.E. Barr;
- 6) *Guignardia laricina* (Sawada) W. Yamam. & Kaz. Itô;
- 7) *Lecanosticta acicola* (Thüm.) Syd.;
- 8) *Melampsora medusae* Thüm.;
- 9) *Mycosphaerella gibsonii* H.C. Evans;

- 10) *Mycosphaerella laricis-leptolepidis* K. Itô, K. Sato & M. Ota;
- 11) *Sphaerulina musiva* (Peck) Quaedvl., Verkley & Crous;
- 12) *Stegophora ulmea* (Fr.) Syd. & P. Syd.

Należy także zwrócić uwagę na stwierdzane coraz częściej gatunki owadów, będących szkodnikami technicznymi drewna:

- 1) *Xylosandrus germanus* Blandf.,
- 2) *Gnathotrichus materiarius* (Fitch) Egg.,
- 3) *Trypodendron laeve* Eggers.

Działania krótkoterminowe

1. Monitorowanie nietypowych objawów dla chorób występujących w Polsce w celu szybkiej detekcji pojawu nowych patogenów:
 - a) nagłe zamieranie drzew;
 - b) więdnienie dębów, sosen;
 - c) żółknięcie wiązków;
 - d) raki drzewne na sosnach, wiązach;
 - e) zgorzele kory, w tym wielkopowierzchniowe na pniach drzew liściastych;
 - f) zamieranie pędów modrzewia;
 - g) atramentowe zacieki w drewnie dębowym;
 - h) na igłach sosnowych pomarańczowo-żółte, czasami nasiąknięte żywicą plamy, które z czasem stają się ciemnobrązowe w centrum, a na brzegach żółte;
 - i) spękania pni świerkowych i obfity wyciek żywicy.
2. Monitorowanie nietypowych śladów żerowania w celu szybkiej detekcji pojawu nowych szkodników owadzych.

■ Czynniki antropogeniczne

Pożary lasu

Na duże zagrożenie polskich lasów wpływają zarówno warunki abiotyczne, biotyczne, jak i antropogeniczne występujące na terenie kraju. Jest ono wynikiem równoczesnego oddziaływania wielu niekorzystnych czynników, które sprawiają, że lasy stają się bardziej podatne na powstawanie i łatwiejsze rozprzestrzenianie się pożarów, m.in. wskutek pogorszenia się ich stanu zdrowotnego. Jednak w Polsce głównym sprawcą pożarów lasu jest człowiek (pożary z przyczyn naturalnych stanowią ok. 1% wszystkich pożarów lasu) i dlatego to jego obecność w lesie i działanie umyślne bądź nieostrożne obchodzenie się z ogniem powoduje zagrożenie pożarowe. Ryzyko pożarowe lasu może być oceniane w długo- i krótkookresowej perspektywie.

Długookresowe, potencjalne ryzyko zagrożenia pożarowego obszarów leśnych, zależy od wskaźników o dużej bezwładności zmian w czasie, np. typu siedliskowego lasu, klimatu, rodzaju materiału palnego. Określają one podatność klasyfikowanego obszaru na możliwość występowania pożarów. Stopień tej podatności wyrażony jest kategorią zagrożenia pożarowego lasu, ustalaną raz na dziesięć lat w planie urządzenia lasu. Do najwyższej „I” kategorii zagrożenia pożarowego lasu zaliczono 131 nadleśnictw; obejmuje ona 32% powierzchni Lasów Państwowych, tj. 2,37 mln ha.

W krótkim natomiast czasie ryzyko wyrażające prawdopodobieństwo zaistnienia pożaru, w zależności od dynamicznie zmiennych czynników (np. warunki meteorologiczne, wilgotność materiału palnego), określane jest przez ustalany codziennie stopień zagrożenia pożarowego lasu. Te dwa wskaźniki (kategoria i stopień zagrożenia pożarowego lasu) są podstawowymi przesłankami organizacji systemu ochrony

przeciwpozarowej. Rzutuują one na długookresowe zagospodarowanie przestrzenne, jakim jest sposób przygotowania lasu na wypadek pożaru oraz zakres i poziom gotowości służb, a także rodzaj codziennych przedsięwzięć operacyjnych w sezonie zagrożenia pożarami.

Lasy Państwowe od lat utrzymują system ochrony przeciwpozarowej. W jego skład wchodzi m.in. system obserwacji naziemnej, obejmujący 659 punktów, z których wykrywa się pożary lasów. Co roku LP czarterują 40–50 samolotów i śmigłowców do wykrywania i gaszenia pożarów. Jednym z ważniejszych zadań jednostek LP jest zapewnienie wody do celów gaśniczych. Ogólna liczba istniejących na terenach LP punktów czerpania wody wynosi ponad 11 tys. Na obszarach leśnych nadleśnictwa prowadzą prace gospodarcze zapobiegające powstawaniu przerzutów ognia i rozwojowi pożarów lasu, wykonując i utrzymując pasy przeciwpozarowe. Ich łączna długość wynosi 16 tys. km. W celu przygotowania kompleksów leśnych do prowadzenia akcji gaśniczych i pełnego udostępnienia terenu jednostkom ochrony przeciwpozarowej wyznaczono 51 tys. km dojazdów pożarowych. Na wyposażeniu baz sprzętu nadleśnictw znajdują się samochody patrolowo-gaśnicze oraz sprzęt podręczny do zwalczania pożarów. Głównym celem tych działań jest minimalizacja skutków ognia w środowisku leśnym i ograniczenie strat powodowanych przez pożary. Ww. działania będą realizowane także w ramach „Kompleksowego projektu adaptacji lasów i leśnictwa do zmian klimatu – zapobieganie, przeciwdziałanie oraz ograniczanie skutków zagrożeń związanych z pożarami lasów” (PPOŻ2).

Bezpieczeństwo lasów pod względem pożarowym należy rozpatrywać w szerszym kontekście bezpieczeństwa ekologicznego i publicznego kraju. Zdając sobie sprawę, że zabezpieczenie przed pożarami powinno być adekwatne do występującego zagrożenia, należy brać szczególnie pod rozwagę sytuacje, do jakich dochodzi w lasach na skutek zdarzeń nadzwyczajnych, wynikających ze zmian klimatycznych.

Działania krótkoterminowe

1. Bieżące utrzymywanie w sprawności systemu ochrony przeciwpozarowej, adekwatne do występującego zagrożenia.
2. Bieżące prognozowanie i monitorowanie zagrożenia pożarowego.
3. Szczegółowe określenie w nadleśnictwach zagrożenia pożarowego lasu oparte na nowej metodzie ustalania klas palności drzewostanów, opisanej w znowelizowanej Instrukcji ochrony przeciwpozarowej lasu. Klasyfikacja powinna być wykorzystywana w planowaniu i prowadzeniu działań z zakresu ochrony przeciwpozarowej lasu. Należy ją stosować przy opracowywaniu Kierunkowych wytycznych z zakresu ochrony przeciwpozarowej lasu w trakcie sporządzania planu urządzenia lasu oraz Sposobów postępowania na wypadek powstania pożaru lasu.

Działania długoterminowe

1. Ciągła modernizacja systemu ochrony przeciwpozarowej lasu. Wszelkie odstępstwa od określonych norm i procedur w dłuższej perspektywie czasu mogą doprowadzić do deregulacji zbudowanego, efektywnego systemu ochrony przeciwpozarowej w Lasach Państwowych.
2. Konieczność modernizacji sieci radiokomunikacji ruchomej lądowej. Łączność radiowa jest obecnie najsłabszym ogniwem ww. systemu ochrony przeciwpozarowej lasu. Sprawnie działający system łączności ułatwi

- współdziałanie Służby Leśnej z jednostkami ochrony przeciwpożarowej podczas działań ratowniczo-gaśniczych na obszarach leśnych.
3. Podnoszenie bezpieczeństwa pożarowego terenów leśnych przez położenie większego nacisku na zabiegi hodowlane.
 4. Prowadzenie edukacji i podnoszenie poziomu świadomości społecznej dotyczącej zagadnienia zagrożenia pożarowego.
 5. Utrzymywanie bieżącej współpracy z jednostkami ochrony przeciwpożarowej (PSP, OSP, WOP) na wszystkich szczeblach zarządzania.
 6. Wykorzystywanie w ochronie przeciwpożarowej nowoczesnych technik i technologii (systemy satelitarne, bezzałogowe statki powietrzne itp.).
 7. Utrzymanie istniejących Leśnych Baz Lotniczych oraz wykorzystywanie sprzętu lotniczego do patrolowania i gaszenia pożarów lasu.

4.4. Urządzanie lasu

Trwale zrównoważoną gospodarkę leśną prowadzi się według planu urządzenia lasu (PUL) lub uproszczonego planu urządzenia lasu²⁵, ze szczególnym uwzględnieniem ciągłości i trwałości lasu, jego funkcji ochronnej i produkcyjnej. Zapisy PUL definiują gospodarkę leśną prowadzoną w lasach w aspekcie zarówno przestrzennym, jak i czasowym przy uwzględnieniu²⁶ wymogów hodowli, ochrony, urządzenia i użytkowania lasu, ochrony przeciwpożarowej, a także ochrony przyrody i krajobrazu, ochrony różnorodności biologicznej oraz potrzeb obronności i bezpieczeństwa państwa.

Plan urządzenia lasu określa również zasady prowadzenia gospodarki leśnej w lasach ochronnych, sposób zagospodarowania lasu i jego otoczenia, a także uwzględnia potrzeby racjonalnego kształtowania i ochrony zasobów wodnych.

Trwale zrównoważony wielofunkcyjny model leśnictwa w Polsce powinien uwzględniać następujące cele:

- 1) powiększać zasoby leśne i ich udział w globalnym obiegu węgla w powiązaniu ze zmieniającą się strukturą wiekową i gatunkową;
- 2) zachowywać zdrowotność i żywotność ekosystemów leśnych;
- 3) utrzymywać rozwój produkcyjnej funkcji lasu;
- 4) zachowywać, ochraniać i wzmacniać biologiczną różnorodność ekosystemów leśnych;
- 5) utrzymywać i wzmacniać społeczno-ekonomiczne funkcje lasu (Ważyński i in. 2005).

Stabilny las – to las oparty na półnaturalnej hodowli lasu (stosującej zasadę zmniejszenia i rozproszenia ryzyka hodowlanego), zmierzającej do utrzymania i przywracania pełnego bogactwa ekosystemów leśnych kształtowanych zgodnie z prawami przyrody.

W zmieniających się warunkach prowadzenia gospodarki leśnej, również w wytycznych do sporządzania PUL, należy brać pod uwagę nowe cechy i wskaźniki opisujące obecny stan zasobów, społeczne oczekiwania i racjonalność gospodarowania, z uwzględnieniem postępujących zmian klimatu.

W planowaniu trwale zrównoważonej gospodarki leśnej należy ustalić cele długookresowe (perspektywiczne) oraz średniookresowe²⁷.

²⁵ Art. 7 Ustawy o lasach z dnia 28 września 1991 r. (tekst jednolity Dz.U.2022 poz. 672).

²⁶ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 listopada 2012 r. w sprawie szczegółowych warunków i trybu sporządzania planu urządzenia lasu.

²⁷ Instrukcja urządzenia lasu. Część I. Instrukcja sporządzania projektu planu urządzenia lasu dla nadleśnictwa. Ogólne cele i zasady prowadzenia trwale zrównoważonej gospodarki leśnej, § 79 pkt 2.

Realizacja celów długookresowych winna być oparta m.in. na:

- 1) poprawnym ustaleniu celów hodowlanych gospodarki leśnej w zmieniających się warunkach klimatycznych z uwzględnieniem ochronnego, społecznego lub gospodarczego kierunku kształtowania drzewostanu. W tym miejscu należy wyraźnie rozróżniać docelowe składy gatunkowe od składów zakładanych upraw ze szczególnym uwzględnieniem odnowień naturalnych;
- 2) zapewnieniu zachowania trwałości lasu i ciągłości jego użytkowania poprzez weryfikację celów gospodarki leśnej, polegającą na dostosowywaniu przeciętnych wieków rębności głównych gatunków drzew do struktury wiekowej, warunków siedliskowych i stabilności drzewostanów oraz na doborze właściwego sposobu zagospodarowania lasu, najkorzystniejszego w danym momencie dla realizacji przyjętych celów, a jeśli zaistnieje taka potrzeba, również z zastosowaniem rębni wielkopowierzchniowej (Ia). Stosowanie ww. rębni w szczególności w odniesieniu do najbardziej zagrożonych rozpadem drzewostanów sosnowych, lub w których rozpad ten jest już dalece zaawansowany, powinno być akceptowalne przede wszystkim z uwagi na utrzymanie pożądanego ładu czasowo-przestrzennego w ostępie.

Realizowanie ustalonych celów średniookresowych w planie urządzenia lasu powinno opierać się na podstawie zweryfikowanych (bądź nowo opracowanych) wytycznych dotyczących:

- 1) podziału lasów na gospodarstwa, wynikającego z waloryzacji pełnionych przez nie funkcji i będącego podstawą do racjonalnej regulacji użytkowania głównego,
- 2) kompleksowej oceny stanu drzewostanów, opartej na katalogu odpowiednich cech i wskaźników (w tym: stopnia realizacji celu hodowlanego, stabilności drzewostanu oraz stanu zapasu na pniu);
- 3) działań zmierzających do osiągnięcia pożądanego składu gatunkowego drzewostanów na koniec planowanego okresu gospodarczego, uwzględniających także weryfikację zasięgów występowania głównych gatunków drzew w Polsce;
- 4) działań zmierzających do osiągnięcia pożądanej budowy lasu oraz struktury wiekowej drzewostanów z uwzględnieniem czynników wpływających na ich stabilność;
- 5) nasilenia i częstotliwości użytkowania przedrębego, które poza względami pielęgnacyjnymi drzewostanów powinno uwzględniać także potrzebę poprawy stabilności mechanicznej (H/D1.3) i regulowania zagęszczenia i zwarcia drzewostanów z punktu widzenia poprawy ich kondycji;
- 6) sporządzania kompleksowego opisu stanu zdrowotnego i sanitarnego drzewostanów wraz ze śledzeniem zmian w czasie, przy wykorzystaniu danych ze stałych powierzchni kontrolnych, na których należy prowadzić monitoring zagrożeń drzewostanów powodowanych przez czynniki abiotyczne i biotyczne;
- 7) regulacji użytkowania rębego w kierunku zachowania racjonalnych relacji pozyskania drewna w stosunku do wielkości przyrostu miąższości i kształtowania zasobów drzewnych, ale także zachowania właściwego udziału w cięciach rębnych – cięć mających na celu poprawę stanu zasobów drzewnych w drzewostanach zdegradowanych przez zaistniałe szkody (pomocny w tym zakresie może się okazać etat określany dla gospodarstwa drzewostanów mało stabilnych – w uproszczeniu etat w gospodarstwie do „przebudowy” lub etat

ze stabilności drzewostanów nadleśnictwa jako „etat ze stabilności drzewostanów na okres obowiązywania planu”);

- 8) określania przyrostu miąższości, m.in. przy wykorzystaniu czasowych i stałych powierzchni pomiarowych zakładanych podczas prac urządzeniowych, w tym także z wykorzystaniem wyników inwentaryzacji wielkoobszarowych i technik skaningu laserowego;

W celu przyspieszenia ewentualnych działań zmierzających do ograniczenia procesu zamierania drzewostanów należy także podkreślić znaczenie oceny realizacji celów zawartych w planach urządzenia lasu przeprowadzanej jeszcze w toku realizacji planu (np. w połowie okresu jego obowiązywania); powinno to dotyczyć przede wszystkim nadleśnictw silnie zagrożonych przez szkody powodowane przez czynniki biotyczne i abiotyczne.

Ocena osiągnięcia celów ujmowanych w PUL w trakcie ich realizacji powinna w głównej mierze dotyczyć weryfikacji rozmiaru i sposobu użytkowania rębego i przedrębego w trakcie danej rewizji PUL przez jednostki PGL LP i polegać w szczególności na:

- 1) analizie zachowania właściwego ładu czasowego i przestrzennego w użytkowaniu lasu;
- 2) wskazaniach i wytycznych postępowania gospodarczego, umożliwiającego realizację przyjętych celów hodowlanych i technicznych określonych w PUL;
- 3) wskazaniach i wytycznych zmierzających do zachowania i ochrony bioróżnorodności w ekosystemach leśnych.

W podsumowaniu wyżej przedstawionych celów, mających za zadanie przeciwdziałanie procesom zamierania lasów w Polsce oraz podjęcie w lasach działań adaptacyjnych do zmian klimatycznych w perspektywie do 2030 r., zasadne jest wprowadzenie do praktyki leśnej niżej wymienionych działań zarówno w ramach działań krótkoterminowych (w tym także w okresie realizacji planów urządzenia lasu – tzw. działań doraźnych), jak również długoterminowych.

Działania krótkoterminowe

W ramach działań krótkoterminowych/doraźnych należy opracować zasady:

- 1) weryfikacji użytkowania głównego w nadleśnictwach objętych klęską, w trakcie obowiązywania planu urządzenia lasu, ze szczególnym uwzględnieniem stanu zdrowotnego drzewostanów i ładu czasowo-przestrzennego. Weryfikacja taka powinna w szczególności obejmować przegląd drzewostanów z punktu widzenia udziału cięć sanitarnych w stosunku do cięć planowych w celu:
 - a) określenia możliwości realizacji zadań obligatoryjnych z zachowaniem ładu czasowo-przestrzennego,
 - b) ustalenia potrzeby modyfikacji ustalonego planu cięć użytkowania rębego w planie urządzenia lasu,
 - c) przygotowania rekomendacji dla dyrektora RDLP ewentualnej potrzeby aneksowania planu urządzenia lasu;
- 2) przeglądów drzewostanów pod względem zagrożenia i potencjalnych scenariuszy rozwoju rozpadu drzewostanów;
- 3) odtworzenia ładu czasowo-przestrzennego w użytkowaniu (uprzątnięciu) powierzchni pokłeskowych;
- 4) odnawiania powierzchni pokłeskowych ze szczególnym uwzględnieniem istniejących odnowień naturalnych, w tym również potencjalnych możliwości

wykorzystania samorzutnie mogących się pojawić odnowień gatunków lekkonasiennych stanowiących pokolenie przedplonowe, z uwzględnieniem wytycznych z zakresu ochrony lasu i ochrony przeciwpożarowej.

Wyniki działań krótkoterminowych, tj. opracowanie ww. zasad, należy bezpośrednio wykorzystać do:

- 1) planowania urzędniowego i wytycznych na Komisji Założeń Planu, w postaci:
 - a) ustalenia hierarchii potrzeb dotyczących przebudowy drzewostanów w nadleśnictwie na podstawie przeglądu drzewostanów pod względem zagrożenia i potencjalnych scenariuszy rozwoju rozpadu drzewostanów,
 - b) ustalenia Przykładowych składów gatunkowych odnowienia, w tym składów drzewostanów przedplonowych na powierzchniach po katastrofie naturalnej, ze szczególnym uwzględnieniem istniejących odnowień naturalnych;
- 2) oceny osiągania celów ujmowanych w PUL w trakcie ich realizacji, a w szczególności weryfikacji rozmiaru i sposobu użytkowania rębego i przedrębego w trakcie danej rewizji PUL poprzez opracowanie zasady weryfikacji użytkowania głównego w nadleśnictwach objętych klęską;
- 3) wskazań i wytycznych zagospodarowania (użytkowania) powierzchni pokłeskowych celem zachowania właściwego ładu czasowego i przestrzennego w użytkowaniu lasu, uwzględniającego również nowe technologie w pracach leśnych.

Działania długoterminowe

W ramach działań długoterminowych/perspektywicznych (w tym także przez uwzględnienie w ramach nowelizowanej Instrukcji urządzania lasu) należy:

- 1) poszerzyć katalog inwentaryzowanych cech i wskaźników w trakcie sporządzania projektu planu urządzenia lasu, charakteryzujących obecny stan drzewostanu, na przykład: powierzchnia pokłeskowa itp.;
- 2) uwzględnić w opisie taksacyjnym katalog cech i wskaźników pochodzących z cech taksacyjnych poszczególnych drzewostanów, ich usytuowania w ostępie, warunków klimatycznych, a także znaczenia w systemie ochrony przyrody;
- 3) wprowadzić obowiązek ewidencjonowania uszkodzeń abiotycznych i biotycznych w trakcie sporządzania i realizacji planu urządzenia lasu w celu wprowadzenia monitoringu zagrożenia drzewostanów ze strony czynników abiotycznych i biotycznych. Wiązałoby się to z potrzebą odpowiedniej modernizacji SILP;
- 4) alternatywnie wprowadzić metodę inwentaryzacji zasobów drzewnych w nadleśnictwie na stałych powierzchniach pomiarowych, w tym z wykorzystaniem technik skaningu laserowego;
- 5) zweryfikować zasady określania wieków rębności głównych gatunków drzew w nadleśnictwie oraz wieków dojrzałości rębnej poszczególnych drzewostanów, m.in. na podstawie aktualnego stanu zasobów (kompleksowej oceny stanu drzewostanów) i pełnionych funkcji;
- 6) dokonać weryfikacji zasad zagospodarowania drzewostanów o obniżonej stabilności i zagrożonych rozpadem. Użytkowanie rębne należy planować, biorąc pod uwagę wymagania ekologiczne wprowadzanych gatunków, w tym również z zastosowaniem rębni wielkopowierzchniowej (Ia);

- 7) dokonać weryfikacji zasad regulacji użytkowania rębego i przedrębego, m.in. przez wyróżnienie drzewostanów mało stabilnych i ustalanie dla nich etatu ze stabilności drzewostanów (Etat ze stabilności drzewostanów na okres obowiązywania planu) oraz uwzględnienie w etacie użytkowania przedrębego cięć poprawiających zarówno stabilność mechaniczną ($H/D1.3$), jak również zagęszczenie i zwarcie drzewostanów z punktu widzenia poprawy ich żywotności;
- 8) rozróżniać w planowaniu hodowlanym docelowe składy gatunkowe wynikające z przyjętego celu hodowlanego (TD), orientacyjne składy gatunkowe zakładanych upraw oraz składy przedplonowe w zagospodarowywaniu powierzchni pokłeskowych;
- 9) poszerzyć program małej retencji, w szczególności w zakresie realizacji przedsięwzięć przyrodniczych i technicznych ukierunkowanych na zatrzymywanie wody na obszarach leśnych – tak, aby podejmowano decyzję opartą m.in. na zinwentaryzowanej infrastrukturze wodnej. Celowe jest sporządzanie planów gospodarowania wodą w nadleśnictwach.

Wyniki działań długoterminowych wymagają zmian przepisów branżowych – Instrukcji urządzania lasu, Zasad hodowli lasu oraz innych.

4.5. Ochrona różnorodności przyrodniczej

Wiele działań opisanych w poprzednich rozdziałach, przeciwdziałając zamieraniu, będzie jednocześnie korzystnie wpływać na różnorodność biologiczną lasów.

Do korzystnych dla różnorodności biologicznej skutków ich realizacji należy zaliczyć m.in.:

- 1) większe zróżnicowanie wiekowe, gatunkowe i przestrzenne drzewostanów;
- 2) promowanie genotypów drzew lepiej przystosowanych do ocieplającego się klimatu (lokalne genotypy, drzewa cechujące się odpornością na suszę, gradacje owadów itp.);
- 3) zatrzymywanie wody w lasach (obiekty małej retencji, spowolnienie odpływu wód, zmniejszenie ewapotranspiracji itp.);
- 4) lepsze dostosowanie lasów do lokalnych warunków siedliskowych i klimatycznych (przebudowa drzewostanów o niewłaściwej strukturze i składzie gatunkowym);
- 5) przeciwdziałanie wielkopowierzchniowemu zamieraniu lasu (cięcia sanitarne, zabiegi ograniczające populacje nadmiernie występujących organizmów szkodliwych);
- 6) modyfikacja technologii realizacji prac urządzeniowych umożliwiające planowanie działań wynikających z Programu.

■ Działania z zakresu ochrony różnorodności biologicznej

Głównym celem działań opisanych w tym rozdziale jest utrzymanie lub poprawa wartości przyrodniczej lasów. Działania te na ogół bezpośrednio nie przeciwdziałają zamieraniu drzewostanów, niemniej zwiększają różnorodność biologiczną lasów, a tym samym ich odporność na czynniki stresowe (np. gradacje szkodników wtórnych). Spośród działań szczególnie istotnych dla zachowania różnorodności biologicznej wymienić należy pozostawianie części drzew do naturalnej śmierci i rozkładu. Postulat ten należy realizować w taki sposób, aby nie powodował zagrożenia dla trwałości lasu (wzrostu ryzyka gradacji owadów, pożaru, chorób grzybowych itp.). Szczególnie zalecane jest

pozostawianie podczas wykonywanych zabiegów w drzewostanach – żywych, zamierających oraz martwych drzew gatunków domieszkowych, zarówno w postaci pojedynczych okazów, jak i biogrup. Wskazać tu należy takie gatunki, jak: grab, wiąz, lipa, klon, jawor, jesion, buk, dąb, jodła, topola, wierzba, dzikie drzewa owocowe itp. Są to gatunki, których pozostawienie nie powinno powodować wzrostu ryzyka wystąpienia gradacji kambio- i foliofagów. Możliwe jest również pozostawianie drzew gatunków iglastych w drzewostanach o dużym udziale gatunków liściastych, np. sosen i świerków w grądach. I odwrotnie – buków, dębów lip i innych gatunków liściastych w drzewostanach z przewagą gatunków iglastych.

Równie istotnym działaniem będzie pozostawianie tzw. drzew biocenotycznych podczas realizacji zabiegów gospodarczych w drzewostanie. Tego rodzaju drzewa, jak każde inne w drzewostanie, poza wypełnianiem typowej funkcji lasotwórczej, odgrywają kluczową rolę w zwiększaniu różnorodności biologicznej poprzez tworzenie nisz siedliskowych umożliwiających występowanie organizmów o wyższych wymaganiach ekologicznych. Do takich drzew zaliczyć można m.in. drzewa dziuplaste, drzewa z gniazdami wieloletnimi ptaków, drzewa rodzimych gatunków szybkorosnących, nektarodajnych i owocodajnych stanowiących domieszkę w drzewostanie, drzewa wyraźnie wyróżniające się wiekiem i rozmiarami w stosunku do innych drzew w drzewostanie, martwe drzewa o znacznych rozmiarach w różnym stadium rozkładu, drzewa będące stanowiskiem występowania organizmów objętych ochroną gatunkową.

Ze względu na charakter działań służących zachowaniu różnorodności biologicznej można je podzielić na działania krótkoterminowe i długoterminowe.

Działania krótkoterminowe

1. Pozostawianie drzew biocenotycznych w postaci grup, kęp i pojedynczych drzew.
2. Pozostawianie zamarłych i zamierających drzew, w szczególności gatunków domieszkowych (z wyjątkiem sytuacji zagrażających bezpieczeństwu publicznemu, w tym pożarowemu lub zagrażających trwałości lasu oraz rozprzestrzenianiu się chorób i gradacji).
3. Ograniczanie pozyskania drewna na siedliskach bagiennych, z wyjątkiem działań mających na celu przeciwdziałanie zamieraniu lasu.
4. Doraźne działania z zakresu małej retencji – zastawki, deflektory z powalonych drzew, zasypywanie rowów, zagospodarowanie wody pochodzącej z rowów odwodniających drogi leśne itp.
5. Maksymalne wykorzystanie odnowienia naturalnego lasu (również odnowienia naturalnego gatunków wczesnosukcesyjnych).
6. W ramach działań hodowlanych (cięcia pielęgnacyjne, cięcia odnowieniowe) dążenie do maksymalnego zróżnicowania gatunkowego (zgodnego z typem siedliskowym lasu) oraz wiekowego i przestrzennego,

Działania długoterminowe

1. Uwzględnianie w planach urządzenia lasów działań mających na celu uzyskanie maksymalnego zróżnicowania gatunkowego, wiekowego i przestrzennego w ramach poszczególnych płatów drzewostanów.
2. Doprowadzenie w ramach kompleksów leśnych do powstania i utrzymywania sieci drzewostanów lub kęp starodrzewu w V i starszych klasach wieku

- ze szczególnym uwzględnieniem gatunków niepodatnych na zamieranie od gradacyjnych pojawów owadów.
3. Doprowadzenie w ramach kompleksów leśnych do powstania sieci drzew sędziwych (szczególnie gatunków długowiecznych), pozostawionych do naturalnego rozkładu w ramach kolejnych rewizji PUL.
 4. Uwzględnianie w planach urządzenia lasu działań mających na celu zwiększenie możliwości retencjonowania wody w ekosystemach leśnych, w szczególności skutkujących lepszym uwodnieniem siedlisk bagiennych na glebach organicznych. Następnie planowanie stosownych działań w planach urządzenia lasu.
 5. Uwzględnienie w Zasadach hodowli lasu, a następnie w planach urządzania lasu, postulatu wykorzystania do odnowienia lasu lokalnych ekotypów gatunków drzew cechujących się wybitną odpornością na czynniki stresowe, np. susze, wysokie temperatury, huragany, gradacje itp. (np. osobniki, które przetrwały gradację owadów, suszę).

5. Badania naukowe

Wiele ośrodków naukowych od lat bada zjawisko zamierania drzewostanów (*forest decline*), poszukując jego przyczyn m.in. w okresach długotrwałej suszy czy w dynamice zmian klimatycznych, które wpływają na gradacyjne pojawy owadów czy też epifitozyjne wystąpienia chorób infekcyjnych.

Na przestrzeni ostatnich stu lat powstało ponad 30 tys. publikacji na temat zjawiska zamierania lasu. Pierwsze publikacje łączące to zjawisko ze zmianami klimatycznymi pojawiły się w 1987 r. i dotyczyły modelowania wpływu zmian klimatu na lasy na podstawie analizy przyrostów drzew. W latach 1987–2000 ukazało się 279 prac na ten temat, w latach 2001–2010 – 1058, a w latach 2011–2022 – 5334 publikacji. W Polsce pierwsze prace dotyczące tego zagadnienia zaczęły się pojawiać na początku lat 90. Do chwili obecnej pojawiło się 50 publikacji.

Według podzespołu ds. badań naukowych, kierunków i potrzeb ich realizacji, kierunki badawcze, które należy podjąć w dalszej perspektywie, to:

■ Związane z czynnikami biotycznymi:

- 1) określenie wpływu stanu fizjologicznego drzew w drzewostanach sosnowych i świerkowych na ich odporność/podatność na ataki ze strony owadów kambiofagicznych (głównie korników);
- 2) monitorowanie objawów chorobowych w celu poszukiwania nowych patogenów i szkodników;
- 3) badanie biologii/behawioru szkodliwych owadów i patogenów w warunkach zmian klimatycznych;
- 4) opracowanie termoenerygetycznych modeli rozwoju dla korników sosnowych oraz rytownika pospolitego (podstawa do przewidywania liczby generacji w roku);
- 5) opracowanie i wykorzystanie modeli prognostycznych:
 - a) dla rozwoju drzew,
 - b) pojawu szkodliwych owadów (z wykorzystaniem modeli termoenerygetycznych),
 - c) występowania chorób infekcyjnych w zależności od zmian klimatycznych jako narzędzia pomocniczego do podejmowania decyzji;

- 6) opracowanie skutecznych strategii monitorowania drzewostanów sosnowych pod kątem wczesnego wykrywania kwarantannowego nicienia węgorka sosnowca w warunkach aktualnie zachodzących zmian klimatycznych;
- 7) poszukiwanie biologicznych metod ograniczania populacji szkodliwych owadów leśnych;
- 8) badania nad możliwościami ograniczania rozprzestrzeniania się jemioli w drzewostanach sosnowych.

■ **Związane z czynnikami abiotycznymi:**

- 1) określenie stanu fizjologicznej odporności drzew na susze w drzewostanach, które nie wykazują jeszcze objawów zamierania, szczególnie sosnowych i świerkowych;
- 2) potencjalna rola lasotwórcza i produkcyjna gatunków oraz proveniencji drzew leśnych o dużych wymaganiach cieplnych i odpornych na susze w warunkach polskich lasów;
- 3) wielkoskalowe badania nad czynnikami predysponującymi drzewostany rosnące na obszarze Polski do zamierania (wpływ produktywności siedlisk na prawdopodobieństwo zamierania drzewostanów poszczególnych gatunków lasotwórczych, określenie głównych czynników ryzyka i prawdopodobieństwa zagrożenia zamieraniem drzewostanów dla obszaru LP, określenie wpływu prognozowanych zmian warunków siedliskowych na ryzyko rozpadów drzewostanów na obszarze Polski);
- 4) badania nad zastosowaniem teledetekcji w monitorowaniu stanu zdrowotnego drzewostanów i wczesnym wykrywaniu rozpadów (opracowanie metodyki zastosowania wieloczasowych zobrazowań satelitarnych do monitorowania stanu zdrowotnego oraz dynamiki rozpadu drzewostanów, wykorzystanie teledetekcji bliskiego zasięgu do oceny i monitorowania stanu zdrowotnego drzew leśnych);
- 5) analiza procesu zamierania drzewostanów w kontekście synergicznego oddziaływania depozycji azotu i zmian wybranych parametrów klimatycznych na właściwości fizyko-chemiczne i mikroflorę glebową;
- 6) ocena wpływu sposobów postępowania hodowlanego ze szczególnym uwzględnieniem rodzaju i nasilenia zabiegów pielęgnacyjnych oraz sposobów mieszania gatunków na odporność drzewostanów na zmiany warunków siedliskowych i suszę.

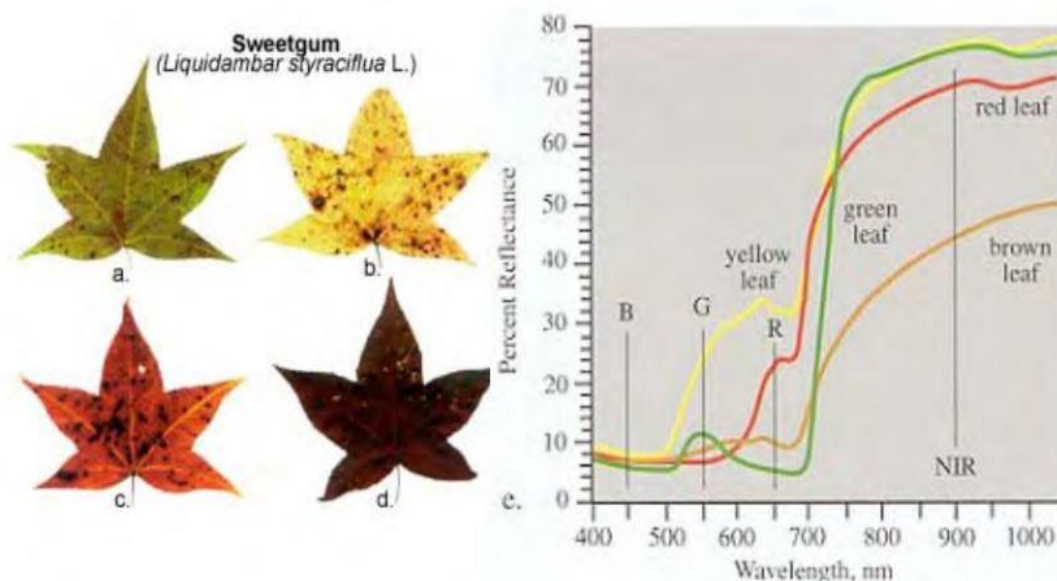
6. Nowoczesne technologie

■ **Możliwości wykorzystania teledetekcji**

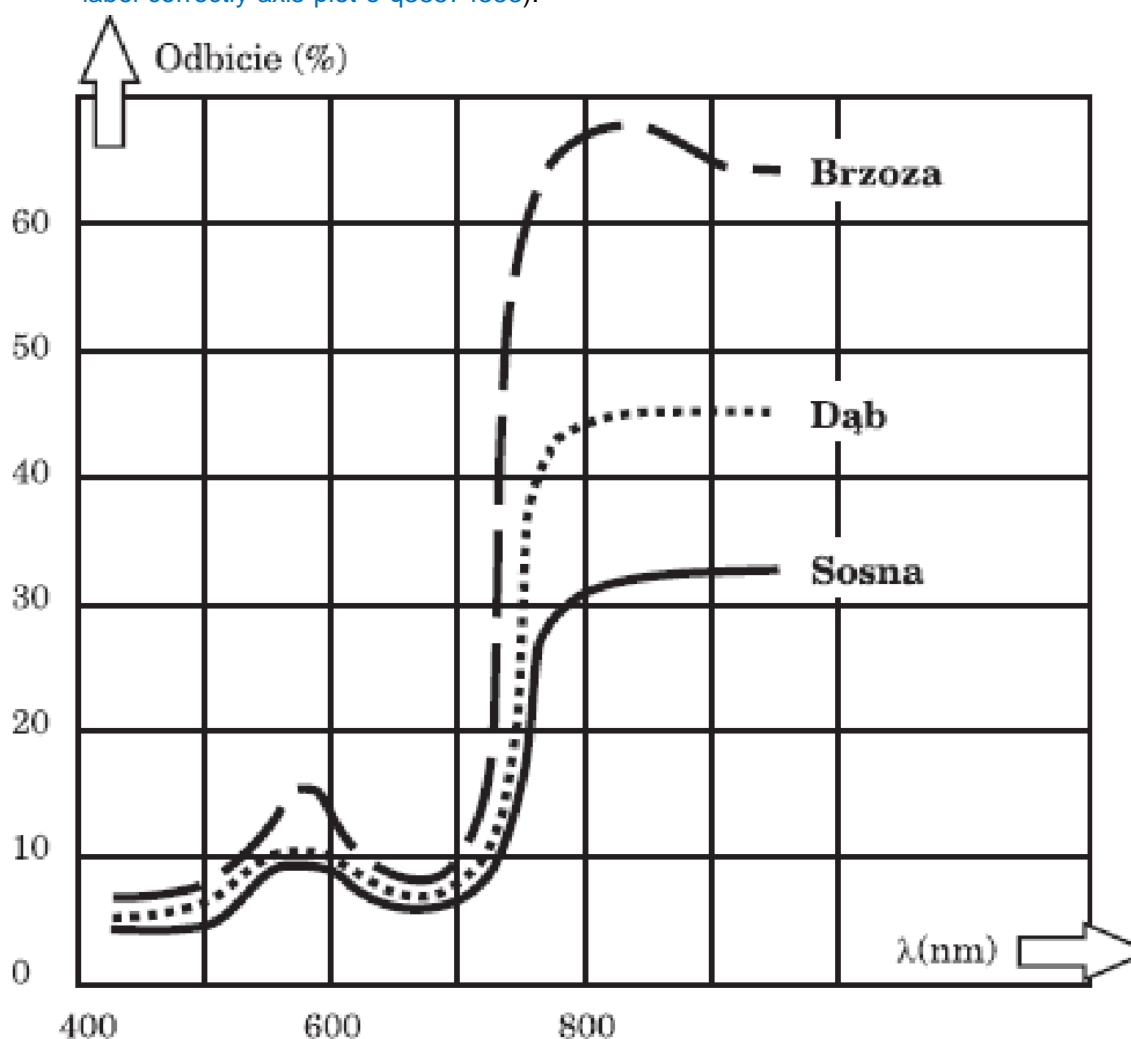
Teledetekcja jest techniką umożliwiającą badanie obiektów i zjawisk bez fizycznego kontaktu z nimi. Wyróżniamy teledetekcję aktywną i pasywną. Pasywna teledetekcja to technologia, która rejestruje słoneczne promieniowanie elektromagnetyczne odbite od obiektów. Aktywna teledetekcja wykorzystuje narzędzia wysyłające promieniowanie elektromagnetyczne i rejestrujące tę jego część, która została odbita od różnych obiektów. Stąd aktywna teledetekcja może być stosowana również nocą.

Zarejestrowane odbicie w różnych zakresach spektralnych może być prezentowane jako zdjęcie barwne i być podstawą do interpretacji różnych cech obiektów. Jedną z powszechnych metod wizualizacji są zdjęcia w barwach naturalnych (RGB, stworzone z trzech zakresów spektralnych: niebieskiego, zielonego i czerwonego). W kontekście

analizy kondycji drzew decydujące jest wykorzystanie kanałów: czerwonego (ok. 600–700 nm.) i podczerwonego (ok. 700–1300 nm.). To w tym zakresie uwiadcniają się szczególnie zmiany kondycji (stanu zdrowotnego) roślinności (ryc. 11-15). Oznacza to, że do oceny stanu rośliny należy wykorzystać system, który umożliwia rejestrację promieniowania elektromagnetycznego w tych zakresach.

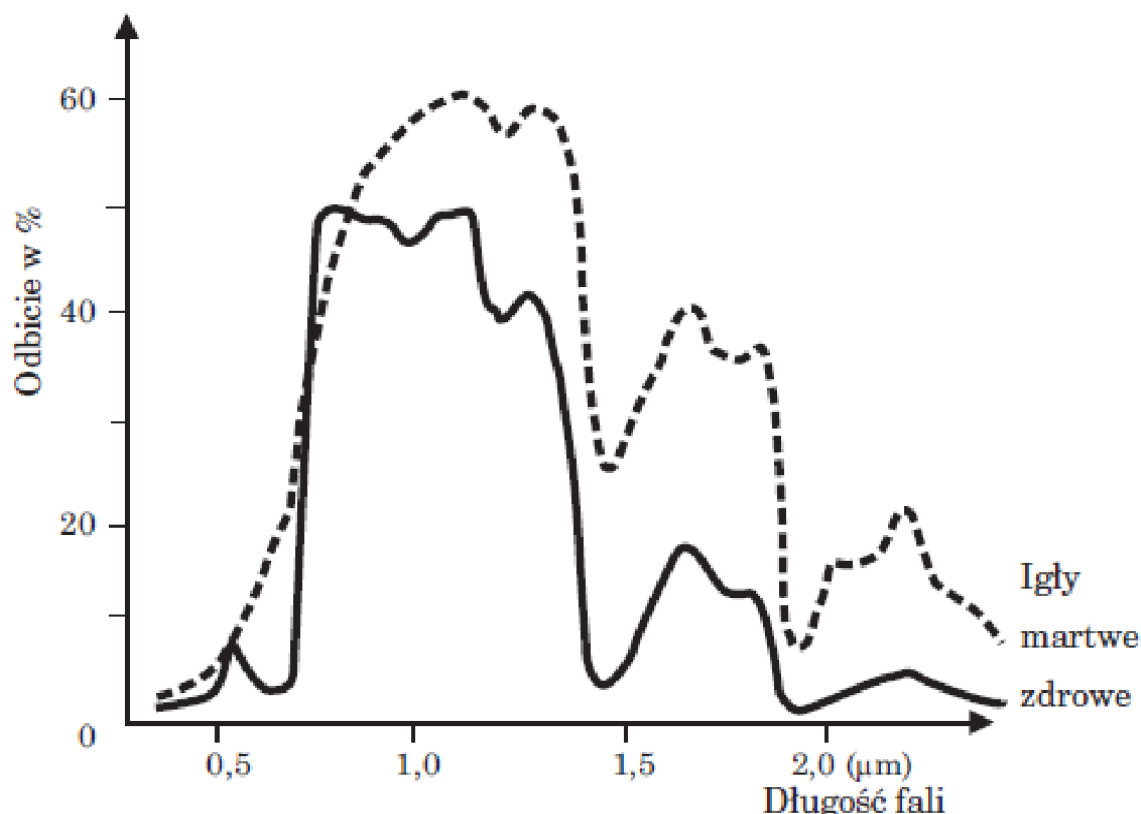


Ryc. 11. Krzywe spektralne liści w różnym stanie zdrowotnym(<https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/draw-typical-reflectance-curve-04-26-m-healthy-green-leaf-sure-label-correctly-axis-plot-e-q38574353>).

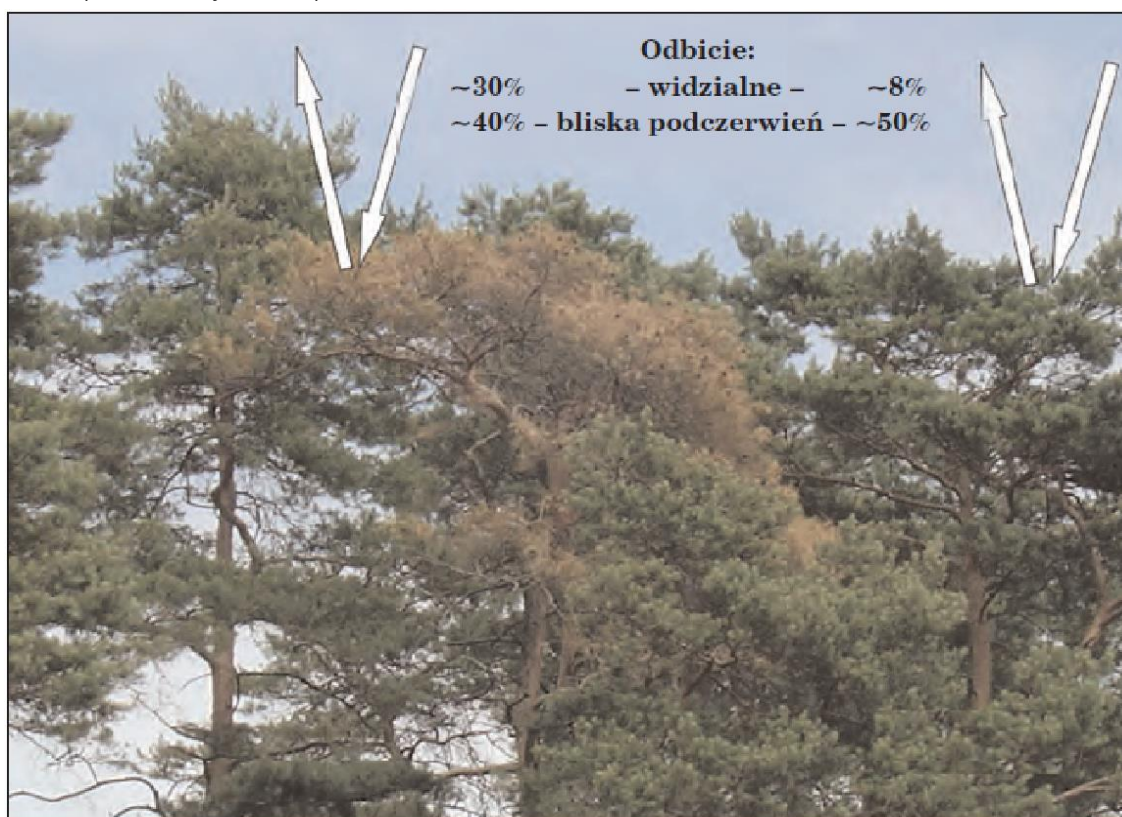


Ryc. 12. Charakterystyki spektralne aparatu asymilacyjnego różnych gatunków drzew leśnych. Przy różnych proporcjach odbijania różnych zakresów spektralnych zachowane są podobne

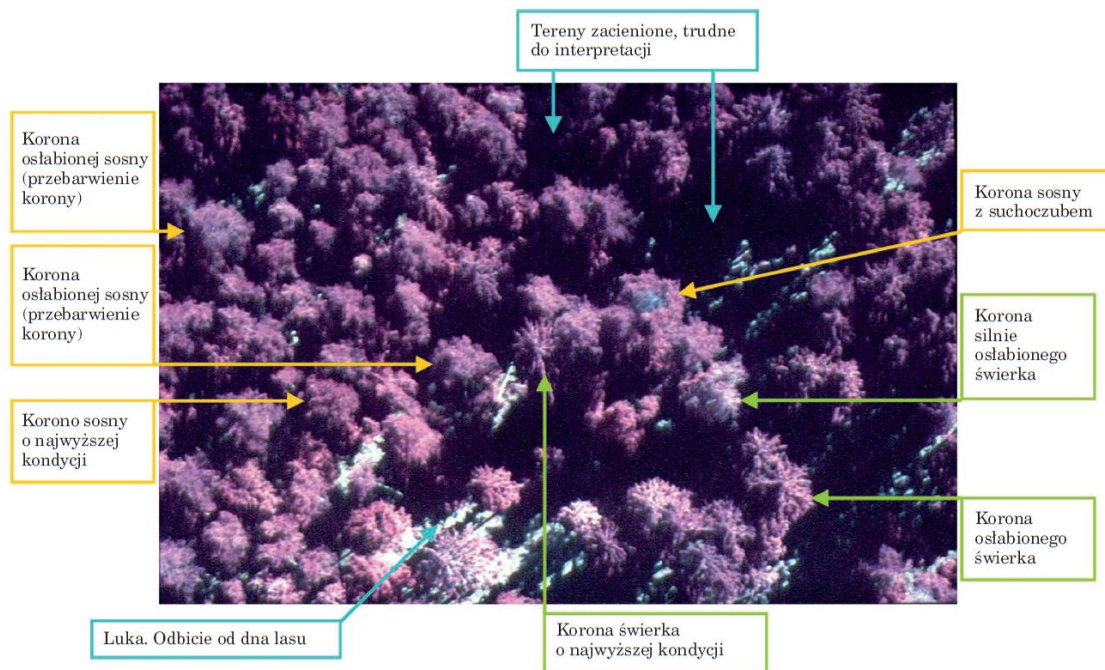
kształty krzywych z minimami w zakresach niebieskim i czerwonym (pochłanianie światła przez chlorofil) oraz maksimami w zakresach zielonym i podczerwieni fotograficznej (źródło: Ciołkosz i in. 1999).



Ryc. 13. Różnice w odbiciu promieniowania elektromagnetycznego od sosen zdrowych i martwych (źródło: Guyot 1985).



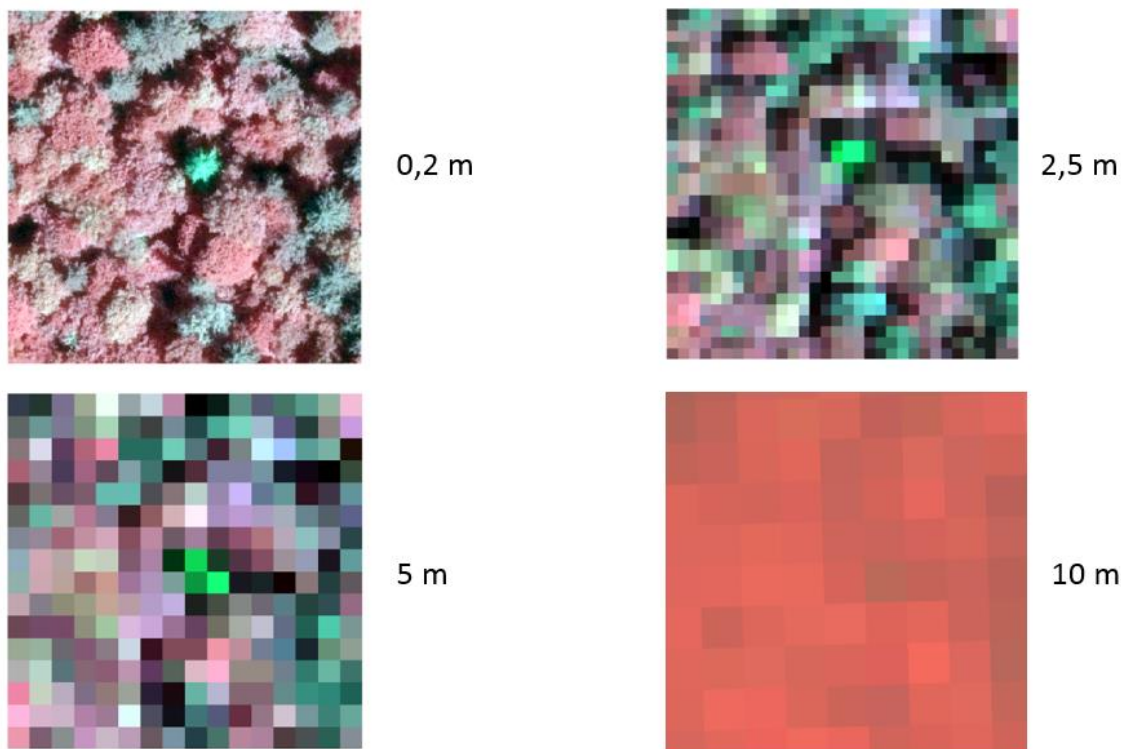
Ryc. 14. Różnice w odbiciu promieniowania widzialnego i bliskiej podczerwieni od sosen zdrowych i martwych. Drzewa zdrowe odbijają ok. 8% światła widzialnego i 50% bliskiej podczerwieni, natomiast z martwymi igłami – odpowiednio 30% i 40% (źródło: Zawila-Niedźwiecki 2010).



Ryc. 15. Barwne zdjęcia lotnicze w podczerwieni (CIR) z widocznymi koronami świerków i sosen o różnej kondycji. Interpretacja wizualna wybranych elementów lasu na pojedynczym zdjęciu (źródło: Wiśniewska 2013).

Najłatwiej jest uchwycić stan zdrowotny drzewa, gdy roślina jest w pełni zdrowa i ma wybarwione igły lub liście na zielono albo gdy jest już martwa i wszystkie igły lub liście są przebarwione bądź ich już nie ma. Natomiast stany pośrednie są trudniejsze do określenia. Wynika to nie tylko z tego, że trudno jest określić kondycję rośliny tylko po kolorze igieł/liści. Związane jest to również ze szczegółowością poszczególnych systemów teledetekcyjnych, wynikającą z rozmiaru najmniejszego rejestrowanego elementu (piksela określającego rozdzielczość przestrzenną zdjęcia). Oznacza to, że suma promieniowania odbitego w tym polu konwertowana jest do jednej cyfry, tj. jednej wartości dla każdego kanału spektralnego.

Kolejnym elementem, który należy uwzględnić, jest budowa pionowa korony drzewa. Korony zwarte i duże (np. świerk i jodła) są reprezentowane przez piksele, które rejestrują informację o odbiciu promieniowania elektromagnetycznego w całości (wyłącznie) od powierzchni korony. Przy koronach ażurowych (np. sosna) piksel rejestruje nie tylko odbicie od korony (igieł i gałęzi), ale także sygnały związane z odbiciem promieniowania od dna lasu i niższych warstw drzewostanu. Wprowadza to niepożądane szумы utrudniające późniejszą interpretację. Zatem istotną kwestią jest dobór rozdzielczości przestrzennej w zależności od obiektów, które zamierzamy rozpoznać. Kwestia wyboru rozdzielczości przestrzennej jest bardziej złożona, gdyż duże piksele (w relacji do zjawiska) mieszczą w sobie wiele obiektów, natomiast małe piksele (w relacji do zjawiska) dostarczają precyzyjnej informacji na temat jednego obiektu i od jego homogeniczności zależy jego charakterystyka opisana przez wszystkie piksele w nim się mieszczące. Oznacza to, że niektóre systemy mają rozdzielczość zbyt małą, by zarejestrować określone zjawisko, inne natomiast zdecydowanie nadają się do obrazowania określonych zjawisk (ryc. 16).



Ryc. 16. Przykład wybranych materiałów teledetekcyjnych różnej wielkości piksela i możliwości zarejestrowania na nich pojedynczego martwego drzewa widocznego na lewym górnym obrazie (opr. M. Lisiewicz).

Istotnym elementem związanym z operacyjnym zastosowaniem różnego rodzaju platform jest wielkość (zasięg) zobrazowania przez różne systemy (z pułapów bezzałogowych statków powietrznych, załogowych lotniczych, satelitarnych). Zasadniczo systemy satelitarne wygrywają w tej kwestii, gdyż uzyskiwane z nich dane obejmują swoim zasięgiem nawet kilkaset kilometrów kwadratowych. Ponadto część z nich jest darmowa. Dodatkowo zobrazowanie danego obszaru może odbywać się w kilkudniowych odstępach, gdyż satelita cały czas porusza się w przestrzeni. Często jednak szczególnie darmowe systemy mają małą rozdzielczość (wielkość piksela od 10 m), przez co wykorzystywane są przy analizach mniej szczegółowych i raczej dotyczących grup drzew jako najmniejszej jednostki mapowania.

Po drugiej stronie są systemy bazujące na zdjęciach zarejestrowanych z samolotów załogowych lub bezzałogowych statków powietrznych (BSP, z ang. UAV). Umożliwiają one pozyskanie danych w dużej rozdzielczości (piksel o wielkości od 40 cm i mniejszej, nawet do kilku centymetrów przy rejestracji z BSP). BSP dostarczają danych raczej dla małego obszaru, od kilkudziesięciu do kilkuset hektarów (przynajmniej na jednym zestawie baterii). Pomędzy technologiami satelitarnymi a BSP znajdują się różnego rodzaju systemy lotnicze. Podsumowaniem zagadnienia związanego z operacyjnością, skalą opracowania i rozdzielczością danych jest poniższa rycina (ryc. 17).



Ryc. 17. Syntetyczne podsumowanie możliwych do wykorzystania danych teledetekcyjnych w zależności od rodzaju i skali problemu.

Zakładając wykorzystanie operacyjne teledetekcji, należy zwrócić uwagę na kilka innych jej uwarunkowań, które istotnie wpływają na możliwości jej zastosowania:

- 1) stan pogody (wiatr, deszcz) – warunki atmosferyczne ograniczają lub uniemożliwiają pozyskanie danych teledetekcyjnych, głównie poprzez brak możliwości wykonania lotu;
- 2) zachmurzenie – uniemożliwia pozyskanie optycznych danych satelitarnych. W wypadku danych lotniczych możliwa jest rejestracja poniżej poziomu chmur, jednak jakość danych może być obniżona;
- 3) wielkość obszaru, jaki objęty jest działaniami – wielkość obszaru opracowania warunkuje wykorzystanie określonej platformy, która z ekonomicznego punktu widzenia powinna być użyta. Do pozyskania danych dla małych obszarów mogą zostać wykorzystane platformy bezzałogowe lub samoloty. Dane dla większych obszarów powinny być pozyskane z samolotów lub satelitów;
- 4) niezbędne do przeprowadzenia procedury – zamówienie danych może być obwarowane procedurami przetargowymi. Tu bezzałogowe systemy latające, często będące w zasobach nadleśnictw lub regionalnych dyrekcji LP, mogą być ciekawą alternatywą pozwalającą na pozyskanie danych w każdym momencie;
- 5) teoretyczna możliwość wykonania zobrazowania a faktyczne pozyskanie danych (zastosowania militarne vs. cywilne) – zgodnie z teorią satelity mogą pozyskać dane, jak tylko znajdują się nad obszarem zainteresowania. Jest to tylko teoretyczna rozdzielczość czasowa, gdyż w praktyce, nawet jeśli są odpowiednie warunki atmosferyczne, zamówienia militarne lub inne komercyjne o wyższym priorytecie mogą zablokować możliwość pozyskania danych interesującego nas obszaru;
- 6) czas od zamówienia, przez pozyskanie danych, do dostarczenia danych – z reguły moment pozyskania danych jest dopiero rozpoczęciem procesu uzyskania danych przez zamawiającego. Zdarza się, że gdy pozyskany jest duży zasób danych, to czas przetworzenia danych do finalnego produktu może zająć dużo czasu. Czasochłonność związana jest także z liczbą klas, które planujemy wyróżnić. Pewnym rozwiązaniem, pozwalającym na szybsze

uzyskanie informacji o analizowanych drzewostanach, jest wykonanie klasyfikacji w dwóch trybach: pierwsza, szybka analiza – ogólna, wstępna; druga, finalna analiza – szczegółowa, połączona np. z jej weryfikacją na wybranych polach treningowych.

Kolejnym źródłem danych teledetekcyjnych, które w najbliższych latach mogą być coraz częściej pozyskiwane przez jednostki PGL LP, jest lotnicze skanowanie laserowe (ALS). W chwili obecnej prowadzony jest pilotażowy projekt mający na celu zastosowanie tych danych i ich produktów do szacowania zasobności w wydzieleniach na potrzeby sporządzania PUL. W związku z powyższym, mając na uwadze stale rozwijające się technologie pozyskiwania oraz przetwarzania danych ALS, być może także i te dane mogą stać się w przyszłości przydatnym źródłem informacji wykorzystywanym do monitorowania i oceny stanu lasów.

Biorąc pod uwagę potrzeby oraz aktualny stan infrastruktury w LP, poniżej wymieniono najważniejsze działania, których zadaniem jest głównie monitorowanie stanu oraz rozwoju zamierania fragmentów lub całych drzewostanów. Teledetekcja jest tu zawsze **technologią pomocniczą**, mogącą dostarczyć informacji o **powierzchni zamarych drzewostanów** oraz tylko **częściowo określić stopień osłabienia drzew**.

Działania krótkoterminowe

1. Wykorzystanie istniejącej bazy bezzałogowych systemów latających do pozyskania informacji o zasięgu i skali zamierania drzewostanów na poziomie nadleśnictwa²⁸.
2. Wykorzystanie samolotów patrolowych do pozyskania danych na temat obszarów, gdzie notuje się występowanie czynników stresogennych, a w dalszej perspektywie rozważenie zlecenia serwisu abonamentowego na coroczne dostarczanie zdjęć fotogrametrycznych.
3. Opracowanie metodyki i jej wykorzystanie do określenia stanu zdrowotnego drzewostanów na podstawie danych pozyskiwanych na potrzeby PUL.
4. Opracowanie specyfikacji pozyskiwania danych na potrzeby określenia kondycji drzewostanów, a także opracowanie wskaźników określających czasową zmianę kondycji drzewostanów generowanych ze zdjęć w sposób automatyczny lub półautomatyczny²⁹.
5. Określenie procedur wymiany informacji obrazowej pomiędzy sąsiadującymi jednostkami organizacyjnymi oraz wsparcie sąsiednich jednostek organizacyjnych³⁰.

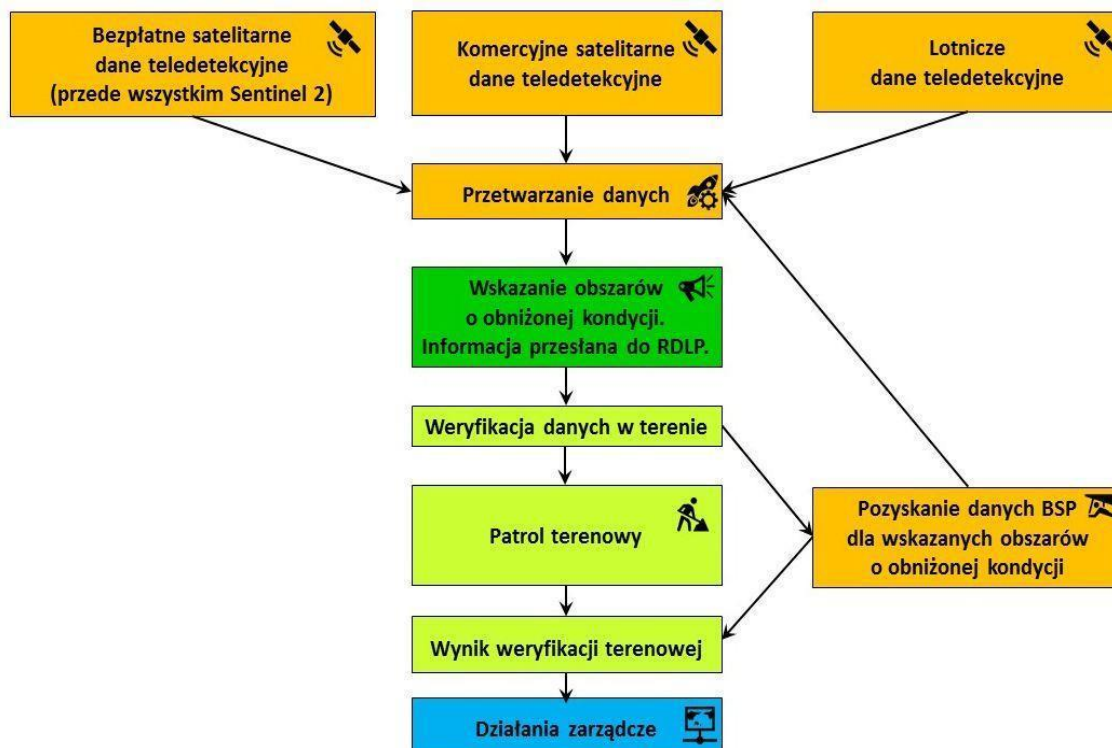
²⁸ Opracowanie dotyczące wykorzystania bezzałogowych statków powietrznych (BSP) przygotowano w ramach prac zespołu zadaniowego do spraw stosowania technik teledetekcyjnych w PGL w nagłych zdarzeniach kłęskowych, powołanego przez Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych zarządzeniem nr 18 z dnia 3 kwietnia 2019 r. (wg stanu na 2019 rok). Obecnie wykorzystaniem BSP w PGL LP zajmuje się Zespół Zadaniowy ds. opracowania projektu i pilotażowego wdrożenia systemu monitorowania i wykrywania drzew zamierających i obumarłych z wykorzystaniem technik geoinformatycznych w Lasach Państwowych powołanego zarządzeniem nr 48 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 15.07.2021 r.

²⁹ Ogólne założenia dotyczące specyfikacji pozyskiwania danych teledetekcyjnych (przede wszystkim fotogrametrycznych zdjęć lotniczych i opracowanych na ich podstawie ortofotomap) przygotowano w ramach prac zespołu zadaniowego do spraw stosowania technik teledetekcyjnych w PGL LP w nagłych zdarzeniach kłęskowych, powołanego przez Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych zarządzeniem nr 18 z dnia 3 kwietnia 2019 r. Obecnie zaktualizowane specyfikacje są przygotowywane w ramach prac Zespołu Zadaniowego ds. opracowania projektu i pilotażowego wdrożenia systemu monitorowania i wykrywania drzew zamierających i obumarłych z wykorzystaniem technik geoinformatycznych w Lasach Państwowych powołanego zarządzeniem nr 48 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 15.07.2021 r. Ponadto opracowanie wskaźników określających czasową zmianę kondycji drzewostanów generowanych ze zdjęć satelitarnych jest realizowane w ramach usługi badawczej pn. „Identyfikacja lasów na gruntach porolnych w skali kraju na podstawie archiwalnych i współczesnych danych satelitarnych oraz wykrywanie osłabionych drzewostanów na podstawie satelitarnych wskaźników spektralnych” zleconej w 2021 roku przez DGLP (umowa nr EZ.271.3.25.2021).

³⁰ Dostęp do danych teledetekcyjnych stanowiących zasób jednostek PGL LP umożliwia zbudowany i wdrażany przez ZILP Centralnego Repozytorium Teledetekcyjnego (CRT) oraz innych inicjatyw podejmowanych przez DGLP.

Działania długoterminowe

1. Wdrożenie operacyjnego systemu wykorzystania teledetekcji w monitorowaniu procesu zamierania drzewostanów w LP (ryc. 18).
2. Prowadzenie bazy bezzałogowych systemów latających w PGL LP, by możliwe było bardziej operacyjne dysponowanie nimi w skali PGL LP (wspomaganie sąsiednich jednostek; w sytuacjach nagłych można chwilowo doposażyć BSP o dodatkowe baterie ze statków tego samego typu w innych jednostkach itp.).
3. Opracowanie procedur wykorzystania bezzałogowych systemów latających w ochronie lasu³¹.
4. Wykorzystanie danych obrazowych pozyskanych w ramach PUL na potrzeby ochrony lasu³².



Ryc. 18. Schemat organizacyjno-zarządczy wykorzystania operacyjnego danych teledetekcyjnych w monitorowaniu stanu lasów.

5. Wykorzystanie danych obrazowych pozyskanych w ramach PUL na potrzeby ochrony lasu³³.
6. Włączenie do monitoringu lasów PGL LP dostępnych usług i serwisów zewnętrznych, m.in. serwisów dla administracji publicznej, takich, jak geoportal.gov.pl, Sat4Envi.imgw.pl.
7. Budowa aplikacji komputerowej umożliwiającej interpretację obrazów teledetekcyjnych pod kątem oceny kondycji drzewostanów lub wykupienie

³¹ Opracowanie dotyczące wykorzystania bezzałogowych statków powietrznych (BSP) przygotowano w ramach prac zespołu zadaniowego do spraw stosowania technik teledetekcyjnych w PGL LP w nagłych zdarzeniach kłęskowych, powołanego przez Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych zarządzeniem nr 18 z dnia 3 kwietnia 2019 r. (wg stanu na 2019 rok). Obecnie wykorzystaniem BSP w PGL LP zajmuje się Zespół Zadaniowy ds. opracowania projektu i pilotażowego wdrożenia systemu monitorowania i wykrywania drzew zamierających i obumarłych z wykorzystaniem technik geoinformatycznych w Lasach Państwowych powołanego zarządzeniem nr 48 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 15.07.2021 r.

³² Dostęp do ortofotomap pozyskiwanych na potrzeby PUL umożliwia wdrażane przez ZILP Centralne Repozytorium Teledetekcyjne PGL LP (CRT).

³³ Dostęp do ortofotomap pozyskiwanych na potrzeby PUL umożliwia wdrażane przez ZILP Centralne Repozytorium Teledetekcyjne PGL LP (CRT). Trwają także prace zmierzające do operacyjnego wykorzystania danych obrazowych na potrzeby ochrony lasu, w tym do operacyjnego wykorzystania danych satelitarnych (usługa badawcza pn. „Identyfikacja lasów na gruntach porolnych w skali kraju na podstawie archiwalnych i współczesnych danych satelitarnych oraz wykrywanie osłabionych drzewostanów na podstawie satelitarnych wskaźników spektralnych”) oraz z pułapów lotniczych i BSP (w ramach ZZ powołanego zarządzeniem nr 48 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 15.07.2021 r.).

dostępu do oferowanych usług/serwisów ukierunkowanych na klasyfikację danych teledetekcyjnych.

Dzisiejsze możliwości teledetekcji pozwalają na określenie obniżonej kondycji drzewa, o ile możliwe jest pozyskanie danych o wysokiej rozdzielczości (kilka pikseli opisuje pojedynczą koronę drzew). Z kolei wykorzystanie danych hiperspektralnych o rozdzielczości 4 m pozwala na dość dokładną (ogólna dokładność ok. 64%) detekcję świerków zasiedlonych przez kornika drukarza (Lausch i in. 2013), przy czym praktycznych wdrożeń w obecnej chwili nie stwierdzono.

Problemem jednak w tego typu zjawiskach jest to, iż mają one charakter ciągły. Oznacza to, że jedynie dostarczenie danych teledetekcyjnych w małych odstępach czasu umożliwia rejestrację subtelnych zmian w kondycji drzew wskutek działania czynnika stresogennego. Z punktu widzenia kosztów jest to ogromne przedsięwzięcie. Na to trzeba nałożyć problem ażurowości koron drzew i wprowadzone do wartości pikseli szumy informacyjne. Dlatego należy poszukiwać rozwiązań stosujących w maksymalnym stopniu wieloczasowe dane satelitarne, a także wykorzystujących zasoby ludzkie w terenie oraz posiadaną infrastrukturę BSP. Wypracowanie optymalnego schematu wykorzystania teledetekcji na obszarze PGL LP w działaniach operacyjnych na wszystkich szczeblach zarządzania.

Mimo pewnych niedogodności teledetekcja niesie ze sobą wiele pozytywnych rozwiązań, które mogą być zastosowane w praktyce. Przykładem zastosowania teledetekcji oraz danych lotniczego skanowania laserowego w praktyce jest projekt ForBioSensing. Metody i mapy opublikowane w ramach tego projektu zostały szeroko rozpropagowane, także w postaci publikacji naukowych³⁴ i są stosowane, o ile dane ALS, czy obrazowe są dostępne.

³⁴ <http://www.forbiosensing.pl/publikacje-naukowe>

7. Literatura

- Averill C., Dietze M.C., Bhatnagar J.M., 2018. Continental-scale nitrogen pollution is shifting forest mycorrhizal associations and soil carbon stocks. *Glob Change Biol.*; 24: 4544–4553.
- Ayres M.P., Lombardero M.J., 2000. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *The science of the total environment*, 262 (3): 263–286.
- Battisti A., 2008. Forests and climate change – lessons from insects. *iForest*, 1: 1–5.
- Bellasen V., Luyssaert S., 2014. Managing forests in uncertain times. *Nature* 506: 153–155.
- Bernadzki E. 1995. Hodowla lasu w kompleksowej ochronie zasobów leśnych. [W:] Problemy realizacji proekologicznego modelu leśnictwa metodami aktywnej gospodarki leśnej. GEF 05/21685 POL. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Bettinger P., 2011. Forest Management in a Climate Change Era: Options for Planning. *Journal of Forest Planning*. 16:57–66.
- Bilgili E., Öztürk M., Coskuner K.A., Usta Y., 2017. Quantifying the effect of pine mistletoe on the growth of Scots pine. *Forest Pathology* 48 (1) DOI: 10.1111/efp.12435.
- Boczoń A., Hildebrand R., Kantorowicz W., Kluziński L., Kowalska A., Lech P., Małachowska J., Piwnicki J., Szczygiał R., Ślusarski S., Wawrzoniak J., Zajączkowski G., 2017. Stan uszkodzenia lasów w Polsce w 2016 roku na podstawie badań monitoringowych. Instytut Badawczy Leśnictwa.
- Boczoń A., Hildebrand R., Kluziński L., Kowalska A., Lech P., Małachowska J., Wawrzoniak J., Zajączkowski G., 2018. Stan uszkodzenia lasów w Polsce w 2017 roku na podstawie badań monitoringowych. Instytut Badawczy Leśnictwa.
- Boczoń A., Jabłoński T., 2019. Występowanie susz na terenach leśnych i zagrożenia przez nie powodowane, *Postępy techniki w leśnictwie*, 144: Klęski żywiołowe w lasach – narastające problemy w gospodarce, 57–65.
- Brang P., Spathelf J., Larsen B., Bauhus J., Bončina A., Chauvin Ch., Drössler L., García-Güemes C., Heiri C., Kerr G., Lexer M.J., Mason B., Mohren F., Mühlethaler U., Nocentini S., Svoboda M., 2014. Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry* 87: 492–503.
- Brzeziecki B., 1991. Ekologiczny model wzrostu lasu: niektóre problemy metodyczne i kalibracyjne. *Sylwan* 9: 5–16.
- Brzeziecki B., 1994. Rola matematycznego modelowania w prognozowaniu wpływu potencjalnych zmian klimatu na ekosystemy leśne. *Sylwan* 10: 5–21.
- Brzeziecki B., 2008. Podejście ekosystemowe i półnaturalna hodowla lasu (w kontekście zasady wielofunkcyjności lasu). *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 19, 3: 41–54.
- Brzeziecki B., 2017. Podstawy kształtowania składu gatunkowego drzewostanu w lasach wielofunkcyjnych. [W:] VIII Sesja Zimowej Szkoły Leśnej przy IBL pt. „Zagrożenia lasu oraz jego funkcji – przyczyny, konsekwencje i szanse dla gospodarki leśnej”. IBL, Sękocin Stary.
- Churkina G., Zaehle S., Hughes J., Viovy N., Chen Y., Jung M., Heumann B.W., Ramankutty N., Heimann M., Jones C., 2010. Interactions between nitrogen deposition, land cover conversion, and climate change determine the contemporary carbon balance of Europe. *Biogeosciences* 7, 2749–2764.
- Ciołkosz A., Miszański J., Olędzki J.R., 1999. Interpretacja zdjęć lotniczych. PWN, Warszawa: 460 s. (rozdz. XIV).
- Dobbertin M., Hilker N., Rebetez M., Wohlgemuth T., Zimmermann N.E., Rigling A., 2005. The upward shift in altitude of pine mistletoe (*Viscum album* ssp. *austriacum*) in Switzerland – a result of climate warming? *International Journal of Biometeorology* 50: 40–47.
- Dudzińska M., Hildebrand R., Kantorowicz W., Kluziński L., Kowalska A., Lech P., Małachowska J., Pierzgalski E., Piwnicki J., Stolarek A., Szczygiał R., Ślusarski S., Tyszka

J., Wawrzoniak J., Zajączkowski G., 2016. Stan uszkodzenia lasów w Polsce w 2015 roku na podstawie badań monitoringowych. Instytut Badawczy Leśnictwa.

- Grodzki W. (red.), 2013. Kornik drukarz *Ips typographus* (L.) i jego rola w ekosystemach leśnych. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
- Guyot G., 1985. Characterisation spectrale des couverts vegetaux dans le visible et le proche infrarouge. Application a la teledetection. Bull. de Soc. Fr. de Photogr. Et de Teled., No. 95 (rozdz. 14).
- Hanewinkel M., Cullmann D.A., Schelhaas M.-T., Nabuurs G.-J., Zimmermann N.E., 2013. Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change* 3: 203–207.
- Hilszczański J., 2013. Dynamika populacji owadów oraz ocena ich funkcji ekologicznych w ekosystemach leśnych w związku ze zmianami klimatycznymi. [W:] K. Rykowski (red.). Materiały pierwszego panelu ekspertów w ramach prac nad Narodowym Programem Leśnym. Klimat. Lasy i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse. Instytut Badawczy Leśnictwa, str. 174–188.
- Ilmurzyński E., 1969. Szczegółowa hodowla lasu. PWRiL, Warszawa.
- Jabłoński T., Grodzki W., Jaworski T., Kolk A., Maciąg M., Małecka M., Plewa R., Pudelko M., Sierota Z., Sowińska A., Sukovata L., Szmidla H., Ślusarski S., Tarwacki G., Wolski R., 2016. Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce w 2016 roku. Instytut Badawczy Leśnictwa, 190 pp.
- Jabłoński T., Grodzki W., Jaworski T., Małecka M., Plewa R., Pudelko M., Sierota Z., Sowińska A., Sukovata L., Szmidla H., Ślusarski S., Tarwacki G., Wolski R., 2017. Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce w 2017 roku, Instytut Badawczy Leśnictwa, 194 pp.
- Jabłoński T., Grodzki W., Małecka M., Plewa R., Pudelko M., Sierota Z., Sowińska A., Sukovata L., Szmidla H., Ślusarski S., Tarwacki G., Wolski R., 2018. Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce w 2018 roku, Instytut Badawczy Leśnictwa, 179 pp.
- Jabłoński T., Grodzki W., Małecka M., Plewa R., Pudelko M., Sierota Z., Sowińska A., Sukovata L., Szmidla H., Ślusarski S., Tarwacki G., Sikora K., Tkaczyk M., Wolski R., 2019. Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce w 2019 roku, Instytut Badawczy Leśnictwa, 160 pp.
- Jabłoński T., Grodzki W., Skrzecz I., Plewa R., Sierota Z., Sowińska A., Sukovata L., Szmidla H., Ślusarski S., Tarwacki G., Sikora K., Tkaczyk M., Wolski R., 2020. Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce w 2020 roku, Instytut Badawczy Leśnictwa, 143 pp.
- Jabłoński T., Grodzki W., Skrzecz I., Plewa R., Jaworski T., Sukovata L., Szmidla H., Ślusarski S., Tarwacki G., Sikora K., Tkaczyk M., Wolski R., 2021. Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce w 2021 roku, Instytut Badawczy Leśnictwa, 144 pp.
- Jabłoński T., Grodzki W., Skrzecz I., Plewa R., Sukovata L., Szmidla H., Ślusarski S., Tarwacki G., Sikora K., Tkaczyk M., Wolski R., 2022. Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce w 2022 roku, Instytut Badawczy Leśnictwa, 145 pp.
- Jasiczek N., Giertych M.J., Suszka J., 2017. Wpływ jemioli (*Viscum album*) na jakość nasion sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*). *Sylwan* 161 (7): 558–564.
- Jaworski T., Hilszczański J., 2013. Wpływ zmian temperatury i wilgotności na cykle rozwojowe i znaczenie owadów w ekosystemach leśnych w związku z prawdopodobnymi zmianami klimatycznymi. *Leśne Prace Badawcze*, 74 (4): 345–355.
- Lauscha A., Heurich M., Gordalla D., Dobner H.-J., Gwilym-Margianto S., Salbach C., 2013. Forest Ecology and Management Forecasting potential bark beetle outbreaks based on spruce forest vitality using hyperspectral remote-sensing techniques at different scales:

- Lieutier F., 2002. Mechanisms of resistance in conifers and bark beetle attack strategies. [W:] Wagner M.R., Clancy K.M., Lieutier F., Paine T.D. (Eds.), Mechanisms and deployment of resistance in trees to insects. Kluwer Ac. Publ.
- Lilleskov E.A., Kuyper T.W., Bidartondo M.I., Hobbie E.A., 2018. Atmospheric nitrogen deposition impacts on the structure and function of forest mycorrhizal communities: A review, Environmental Pollution.
- Łukaszewicz J., Gil W., 2019. Rola postępowania hodowlanego w zwiększaniu stabilności drzewostanów na gruntach porolnych. Postępy Techniki w Leśnictwie, 146: Ochrona lasu na gruntach porolnych – wyzwania i możliwości, 14–20.
- Manion P.D., Lachance D., 1992. Forest decline concepts. APS Minesota.
- Masson-Delmotte V. i in., 2018. IPCC: Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.
- Mazur S., 1994. Szkodniki wtórne drzew iglastych. Wydawnictwo Świat, Warszawa.
- Mellado A., Zamora R., 2014. Generalist birds govern the seed dispersal of a parasitic plant with strong recruitment constraints. Oecologia 176: 139–147.
- Miętus M., Owczarek M., Filipiak J., 2002. Warunki termiczne na obszarze Wybrzeża i Pomorza w świetle wybranych klasyfikacji, Materiały Badawcze IMGW, Seria Meteorologia, 36, 56 pp.
- Moore B.A., Allard G.B., 2008. Climate change impacts on forest health. Forest Health & Biosecurity Working Papers FBS/34E. Forest Resources Development Service, Forest Management Division, FAO, Rome.
- Mutlu S., İlhan V., Turkoglu H.I., 2016. Mistletoe (*Viscum album*) infestation in the Scots pine stimulates drought-dependent oxidative damage in summer. Tree Physiology 36 (4): 479–489.
- Öztürk M., Coskuner K.A., Usta Y., Bilgili E., 2018. The effect of mistletoe (*Viscum album*) on branch wood and needle anatomy of Scots pine (*Pinus sylvestris*). IAWA journal / International Association of Wood Anatomists. DOI: 10.1163/22941932-40190219.
- Pretzsch H., Biber P., Schütze G., Uhl E., Rötzer T., 2014. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. Nat. Commun. 5, 4967.
- Puła J., Skowera B., 2004. Skrajne warunki pluwiometryczne w okresie wiosennym, Acta Agrophysica 3 (1), 171–177.
- Pureswaran D.S., Roques A., Battisti A. 2018. Forest Insects and Climate Change. Current Forestry Reports 4 (2): 35–50.
- Rostek K., Magnuszewski M., 2018. Stan i perspektywy wzrostu lesistości Polski, Gospodarka w lasach na gruntach porolnych, PTL, 5–16.
- Rozwałka Z., 2001. Praktyczna ocena zgodności fitocenozy leśnej z warunkami biotopów z punktu widzenia potrzeb trwałej, zrównoważonej i wielofunkcyjnej gospodarki leśnej. [W:] Zielony R. (red.), Zgodność fitocenozy z biotopem w ekosystemach leśnych. Fundacja „Rozwój SGGW”. Warszawa, str. 165–172.
- Sala O.E., Chapin F.S. III, Armesto J.J., Berlow R., Bloomfield J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L.F., Jackson R.B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D., Mooney H.A., Oesterheld M., Poff N.L., Sykes M.T., Walker B.H., Walker M., Wall D.H., 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. Science 287: 1770–1774.
- Sanguesa-Barreda G., Linares J.C., Camarero J.J., 2013. Drought and mistletoe reduce growth and water-use efficiency of Scots pine. Forest Ecology and Management 296: 64–73.
- Sierota Z., 1998. Kryteria i metody oceny stanu zdrowotnego drzew i drzewostanów. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, A, 854: 75–102.

- Sierota Z., 2014. Obserwowane i prawdopodobne zmiany występowania mikroorganizmów chorobotwórczych w związku ze zmianami klimatycznymi oraz ocena ich funkcji ekologicznych w ekosystemach leśnych; potencjalne rozprzestrzenianie się gatunków inwazyjnych. Materiały pierwszego panelu ekspertów w ramach prac nad Narodowym Programem Leśnym KLIMAT: Lasy i drewno a zmiany klimatyczne: zagrożenia i szanse. Instytut Badawczy Leśnictwa, str. 189–198.
- Sierota Z., 2019. Huba korzeni w zalesieniach porolnych: stary – nowy problem. Postępy Techniki w Leśnictwie, 146: Ochrona lasu na gruntach porolnych – wyzwania i możliwości, 7–13.
- Socha J., 2019. Aktualne wyzwania dla nauk leśnych. Konferencja Jubileuszowa. Kraków.
- Solomon S., Qin D., Manning M., Marquis M., Averyt K., Tignor M.M.B., LeRoy Miller, Chen Z., 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA.
- Stypiński P.T., 1997. Biologia i ekologia jemioli pospolitej (*Viscum album*, Viscaceae) w Polsce. Fragmenta Floristica et Geobotanica Polonica, Suppl. 1: 1–117.
- Sykes M.T., Prentice I.C., 1996. Climate change, tree species distributions and forest dynamics: a case study in the mixed conifer/northern hardwoods zone of Northern Europe. Climatic Change 34: 161–177.
- Tomanek J., Witkowska-Żuk L., 2008. Botanika leśna. PWRiL, Warszawa.
- Ważyński B., 2005. Poradnik urządzania lasu, Podstawy urządzenia lasu, pkt 3.1. Modele gospodarstwa leśnego.
- Wigley T.M.L., 1993. Climate change and forestry. Commonwealth Forestry Review, 72 (4): 256–264.
- Wiśniewska E., 2013. Geomatyka w Lasach Państwowych. Część II. Poradnik praktyczny. CILP, Warszawa (rozdz. 4.2).
- Zajączkowski J., Brzeziecki B., Perzanowski K., Kozak I., 2013. Wpływ potencjalnych zmian klimatycznych na zdolność konkurencyjną głównych gatunków drzew w Polsce. Sylwan 157 (4): 253–261.
- Zalasiewicz J., Waters C.N., Williams M., Barnosky A.D. i in., 2015. When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal. Quaternary International 833: 196–203.
- Zawila-Niedźwiecki T., 2010. Geomatyka w Lasach Państwowych. Część I. Podstawy. CILP, Warszawa (rozdz. 14.1).

8. Załączniki:

1. Katalog działań do Kompleksowego programu przeciwdziałania procesom zamierania lasów w Polsce.
2. Kompleksowy projekt adaptacji lasów i leśnictwa do zmian klimatu – zapobieganie, przeciwdziałanie oraz ograniczanie skutków zagrożeń związanych z pożarami lasów PPOŻ 2 – założenia projektu.
3. Kompleksowy projekt adaptacji lasów i leśnictwa do zmian klimatu – mała retencja oraz przeciwdziałanie erozji wodnej na terenach nizinnych MRN 3 – założenia projektu.
4. Kompleksowy projekt adaptacji lasów i leśnictwa do zmian klimatu – mała retencja oraz przeciwdziałanie erozji wodnej na terenach górskich MRG 3 – założenia projektu.

5. Przywracanie funkcji i poprawa stanu siedlisk hydrogenicznych na terenach pozostających w zarządzie PGL LP na obszarach Natura 2000 i Zielonej Infrastruktury – założenia projektu.