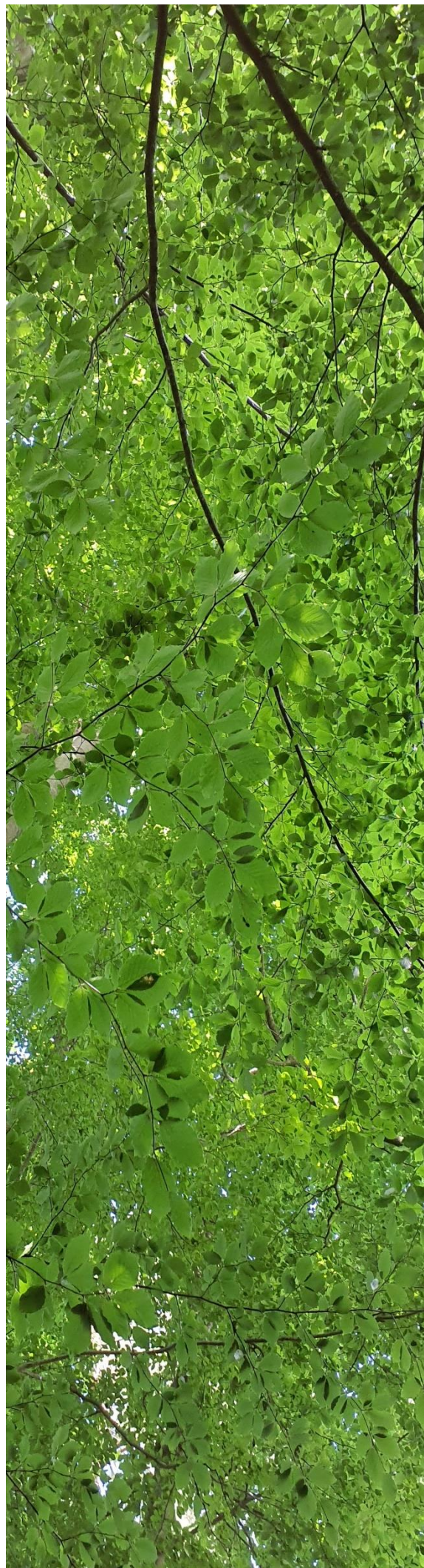




INSTYTUT BADAWCZY LEŚNICTWA



**STAN ZDROWOTNY
LASÓW POLSKI
W 2022 ROKU**

Sękocin Stary, październik 2023



INSTYTUT BADAWCZY LEŚNICTWA

ZAKŁAD ZARZĄDZANIA ZASOBAMI LEŚNYMI

Symbole: UKD 630* - 4

PKT 60.29.00

LKO 122;416.16

STAN ZDROWOTNY LASÓW POLSKI W 2022 ROKU

Synteza raportu z badań monitoringu lasów pt.

„Stan zdrowotny lasów w Polsce w 2022 roku na podstawie badań monitoringowych”

Rodzaj sprawozdania: **etapowe**

Zleceniodawca: **Główny Inspektorat Ochrony Środowiska**

Nr tematu: **540403**

Nr umowy: **GIOŚ/ZP/46/2023/DMS/NFOŚ**

Tytuł tematu: **Monitoring i ocena stanu zdrowotnego lasów w roku 2022 – część II
oraz w latach 2023-2025**



Sfinansowano ze środków
Narodowego Funduszu
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej



**Główny Inspektorat
Ochrony Środowiska**

na zamówienie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska

Kierownik projektu: Paweł Lech

Wykonawcy: Andrzej Boczoń, Robert Hildebrand, Leszek Kluziński, Anna Kowalska,

Paweł Lech, Jadwiga Małachowska, Grzegorz Zajączkowski

Kierownik Zakładu:

Dyrektor Instytutu:

Sękocin Stary, październik 2023

SPIS TREŚCI

WSTĘP – PAWEŁ LECH	3
Część I Program monitoringu lasów	5
1. Program monitoringu lasów w 2022 roku – <i>Paweł Lech, Grzegorz Zajączkowski</i>	5
Część II Monitoring lasów na stałych powierzchniach obserwacyjnych I rzędu	8
2. Ocena poziomu zdrowotnego monitorowanych gatunków drzew w 2022 r. i porównanie w latach 2013–2022 – <i>Jadwiga Małachowska, Paweł Lech, Grzegorz Zajączkowski</i>	8
2.1. Zróżnicowanie kondycji zdrowotnej monitorowanych gatunków drzew ogółem w kraju w 2022 r. oraz w dziesięcioleciu 2013-2022	9
2.2. Zróżnicowanie kondycji zdrowotnej monitorowanych gatunków drzew w zależności od wieku – 2022 r.	13
2.3. Kondycja zdrowotna drzew według lokalizacji powierzchni badawczych....	15
3. Ocena uszkodzeń drzew na stałych powierzchniach obserwacyjnych I rzędu monitoringu lasu w 2022 r. – <i>Paweł Lech</i>	21
3.1. Występowanie uszkodzeń drzew wg gatunków, wieku oraz lokalizacji powierzchni badawczych	22
3.2. Charakterystyka uszkodzeń pod względem lokalizacji w obrębie drzewa, występujących symptomów i głównych kategorii czynników sprawczych.....	25
4. Warunki wodne gleb na terenach leśnych Polski w 2022 r. i ich wpływ na stan zdrowotny lasów – <i>Andrzej Boczoń, Robert Hildebrand</i>	32
5. Stałe powierzchnie obserwacyjne monitoringu lasów na obszarach Natura 2000 – <i>Robert Hildebrand</i>	37
Część III Badania na stałych powierzchniach obserwacyjnych II rzędu	40
6. Stan odżywienia mineralnego drzew sosny, świerka, dębu i buka w roku 2021 oraz zachodzących w nim zmian w okresie 1997-2021 – <i>Anna Kowalska</i>	41
Część IV Badania na stałych powierzchniach obserwacyjnych monitoringu intensywnego (SPO MI).....	51
7. Warunki pogodowe na powierzchniach SPO MI w 2022 roku – <i>Leszek Kluziński</i> .	52
8. Poziom stężenia NO ₂ i SO ₂ w powietrzu na terenach leśnych – <i>Anna Kowalska</i>	57

8.1. Dwutlenek siarki	57
8.2. Dwutlenek azotu.....	58
8.3. Depozycja gazowych związków siarki i azotu.....	60
9. Wielkość depozytu wnoszonego z opadami atmosferycznymi na terenach leśnych – <i>Anna Kowalska</i>	62
10. Opady podkoronowe oraz spływ po pniu – Anna Kowalska	67
10.1. Opady podkoronowe	68
10.2. Spływ po pniu w drzewostanach bukowych	73
11. Roztwory glebowe – <i>Anna Kowalska</i>	74
12. Zmiany stężeń zanieczyszczeń gazowych, depozycji oraz składu roztworów glebowych po roku 2010 – <i>Anna Kowalska</i>	78
13. Literatura	84

WSTĘP – PAWEŁ LECH

Badania monitoringowe prowadzone są w Polsce w sieciach stałych powierzchni obserwacyjnych I i II rzędu (SPO I i II rzędu) oraz na powierzchniach monitoringu intensywnego (SPO MI). Dostarczają wiarygodnych informacji o głównych komponentach ekosystemów leśnych i procesach w nich zachodzących. Pozwalają na ocenę aktualnego stanu zdrowotnego drzewostanów oraz identyfikację kierunków zmian tego stanu w czasie i przestrzeni pod wpływem zmieniających się warunków środowiska, zwłaszcza pogody i zanieczyszczeń powietrza. Badania monitoringu lasów są wypełnieniem przez Polskę postanowień Air Convention (konwencja o transgranicznym rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń powietrza na dalekie odległości, Genewa 1979) i dostarczają niezbędnych informacji do raportowania do Unii Europejskiej w ramach dyrektywy o dopuszczalnych poziomach emisji gazowych zanieczyszczeń (NEC Directive).

Deficyt wody dostępnej dla drzew pozostawał w ostatnich latach głównym czynnikiem kształtującym stan zdrowotny lasów w Polsce. Dostępność wody na terenach leśnych w 2022 roku była, zwłaszcza w sezonie wegetacyjnym zbliżona do tych z roku poprzedniego, najlepszego w ostatniej dekadzie. Warunki pogodowe w 2022 r. były tym samym znacznie korzystniejsze w porównaniu z latami ekstremalnie suchymi i gorącymi: 2015 i 2018. Wykonane analizy wykazały co prawda niedobory wody i występowanie ograniczonej dostępności wody dla roślin w zachodniej części Polski, tym niemniej nie były one na tyle duże, by znalazło to odzwierciedlenie w złej kondycji zdrowotnej lasów. Kontynuacja w roku 2022 względnie dobrych warunków pogodowych na terenie większej części Polski skutkowałą dalszą poprawą kondycji zdrowotnej drzewostanów. Średnia defoliacja większości głównych gatunków lasotwórczych uległa zmniejszeniu w porównaniu do roku 2021 najwięcej dla dębu, sosny i domieszkowych gatunków liściastych (odpowiednio o 1,7, 1,5 i 1,2 punktu procentowego). Średnia defoliacja wszystkich drzew na stałych powierzchniach obserwacyjnych I rzędu w 2022 r. wynosiła 21,2% i była niższa o 1,2 punktu procentowego w porównaniu do roku 2021, o 1,9 punktu procentowego w porównaniu do roku 2020 oraz o 2,2 punktu procentowego względem roku 2019. Nastąpił również wzrost udziału drzew o defoliacji do 10% (z 11,0% w roku 2020 i 14,3% w roku 2021 do 14,4% w roku 2022) oraz zmniejszenie się udziału drzew o defoliacji powyżej 25% (z 19,4% i 17,1% w latach 2020 i 2021 do 15,5% w roku 2022). Wskazuje to na poprawę stanu zdrowotnego drzewostanów w roku 2022 w porównaniu do lat wcześniejszych.

Badania monitoringowe prowadzone na powierzchniach monitoringu intensywnego (SPO MI) w 2022 roku potwierdziły trend zmniejszania się koncentracji zanieczyszczeń powietrza. Na każdej z badanych SPO MI w okresie 2011–2022 zanotowano spadek stężenia dwutlenku siarki. Największe spadki wystąpiły w rejonach górskich. W rejonach o niższym poziomie zanieczyszczeń gazowych (Polska północno-wschodnia) spadek stężenia SO_2 był mniejszy, ale również statystycznie istotny. Również stężenia dwutlenku azotu w powietrzu w badanym okresie wykazywały trend spadkowy na wszystkich badanych powierzchniach SPO MI. Był on najslabszy w północno-wschodniej Polsce, gdzie od lat stężenia NO_2 w powietrzu utrzymują się na niskim poziomie w porównaniu z pozostałymi częściami kraju, zaś najsilniejszy na obszarach o najwyższych jego koncentracjach – w Polsce centralnej i na Górnym Śląsku. Niższym koncentracjom zanieczyszczeń powietrza towarzyszył w okresie 2011–2022 wzrost wartości pH opadów oraz spadek depozycji związków siarki. Depozycja związków azotu w znacznie mniejszym stopniu niż S-SO_4^{2-} podlegała trendom i trudno jest wskazać jednakowy kierunek zmian na terenie Polski. Warunki w glebie w okresie ostatnich 10 lat były na większości SPO MI stabilne, trendy wielkości depozycji w niewielkim stopniu znajdowały odzwierciedlenie w zmianach składu chemicznego roztworów glebowych. W roztworach glebowych kwasowość zmniejszała się na obu głębokościach tylko w Szklarskiej Porębie i Piwnicznej (świerk), co można powiązać z istotnie malejącymi trendami depozycji związków siarki (S-SO_4^{2-}) i azotu (N-NO_3^-) oraz rosnącą zasadowością opadów. Również w Chojnowie wystąpiły pierwsze sygnały poprawy właściwości środowiska glebowego w górnej części profilu – niewielki wzrost pH i spadek stężenia glinu.

Prowadzone na SPO MI pomiary służą ocenie stopnia antropogenicznego zagrożenia ekosystemów zakwaszeniem i eutrofizacją, jako pochodną depozycji związków siarki o działaniu zakwaszającym oraz związków azotu, działających zarówno zakwaszająco, jak i eutrofizująco. Wyniki prowadzonych badań monitoringu leśnego wskazują zwłaszcza na to drugie zjawisko jako obecnie realne zagrożenie dla stabilności lasów w Polsce. Ryzyko eutrofizacji wyrażone przekraczaniem tzw. ładunków krytycznych azotu (wynoszących dla Polski od 7 do 15 kg N ha^{-1}) występowało w minionych latach na większości SPO MI, wskazując na nadmierną podaż tego pierwiastka. W konsekwencji, a także wskutek rosnących stężeń CO_2 w powietrzu oraz wydłużonego sezonu wegetacyjnego, następuje z jednej strony przyspieszony przyrost drzew, ale z drugiej zakłócone są symbiotyczne układy mikoryzowe w systemach korzeniowych drzew, co z kolei może powodować

w dłuższej perspektywie niedobory w zaopatrzeniu drzew w związki odżywcze i być przyczyną ich niestabilności.

Zmiany klimatu w Polsce są faktem. Nie można przewidzieć, czy uda się je powstrzymać i, ewentualnie, kiedy to nastąpi. W tej sytuacji jedynym racjonalnym działaniem podejmowanym w celu utrzymania stabilności drzewostanów i podniesienia ich odporności na stresy w dłuższym okresie są zabiegi hodowlane prowadzące do minimalizacji ryzyka ekologicznego przez zwiększenie różnorodności gatunkowej drzewostanów. Z punktu widzenia zwiększania akumulacji CO₂ w biomasie korzystne byłoby szersze wykorzystanie odnowień naturalnych i podsadzeń oraz ograniczenie zrębów zupełnych, które wymagają pełnego przygotowania gleby powodującego uwalnianie CO₂ z szybko rozkładającej się materii organicznej.

CZĘŚĆ I PROGRAM MONITORINGU LASÓW

1. PROGRAM MONITORINGU LASÓW W 2022 ROKU – *PAWEŁ LECH,* *GRZEGORZ ZAJĄCZKOWSKI*

Badania Monitoring lasów (ML) mają na celu określenie zróżnicowania stanu zdrowotnego lasów w przestrzeni i czasie oraz kierunków zmian i ich dynamiki zachodzących w ekosystemach leśnych Polski. W 2022 roku kontynuowano realizację długookresowych celów monitoringu lasów, takich jak:

- określenie rozkładu przestrzennego stanu zdrowotnego drzewostanów,
- porównanie stanu zdrowotnego lasów wyróżnionych kategoriami własności,
- analiza związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy zdrowotnością lasów a czynnikami środowiska,
- identyfikacja głównych symptomów i przyczyn (biotycznych i abiotycznych) uszkodzeń drzew,
- określenie trendów zmian stanu zdrowotnego lasów w dziesięcioleciu 2013–2022.

W ramach programu monitoringu lasów corocznie przeprowadza się obserwacje stanu zdrowotnego drzewostanów (w wieku powyżej 20 lat) oraz symptomów i przyczyn uszkodzeń drzew na wszystkich dostępnych stałych powierzchniach obserwacyjnych I rzędu (SPO I rz.) (sieć powierzchni 8 x 8 km) oraz na stałych powierzchniach obserwacyjnych II rzędu (SPO II rz.) (nieregularna sieć 148 powierzchni czterech głównych gatunkach lasotwórczych drzew: sosny, świerka, dębu i buka). Rozszerzony zakres badań, pomiarów i obserwacji wykonuje się na stałych powierzchniach obserwacyjnych II rzędu (w cyklu 4-5 letnim, w 2022 r. wykonano analizy chemiczne liści i igieł zebranych w roku 2021) i na stałych powierzchniach monitoringu intensywnego (SPO MI) (coroczne pomiary

meteorologiczne, pomiary depozycji gazowych związków siarki i azotu w powietrzu, wielkości oraz składu chemicznego opadów na otwartej przestrzeni i pod koronami drzew oraz składu chemicznego roztworów glebowych). Rycina 1.1. przedstawia lokalizację powierzchni badawczych na terenach leśnych kraju.

W 2022 roku realizowano następujące badania, pomiary i obserwacje:

SPO I rzędu oraz SPO II rzędu

1. Monitoring stanu zdrowotnego drzewostanów – przeprowadzony na 2071 SPO I rzędu oraz na 133 SPO II rzędu. Na każdej powierzchni obserwacyjnej zarejestrowano gatunek, wiek, pierśnicę, status oraz stanowisko biosocjalne 20 drzew próbnych. Obserwacje cech morfologicznych koron drzew dotyczyły następujących parametrów: defoliacji, odbarwienia, ocienienia korony, liczby roczników igliwia, długości igliwia lub wielkości liści, struktury przyrostu pędów, typu przerzedzenia korony, udziału martwych gałęzi, występowania pędów wtórnych, urodzaju nasion i intensywności kwitnienia.

2. Monitoring symptomów i przyczyn uszkodzeń drzew – przeprowadzony na 2071 SPO I rzędu i na 133 SPO II rzędu. Na 20 drzewach próbnych określono miejsce uszkodzenia na drzewie (w tym lokalizację uszkodzenia w obrębie korony), rodzaj symptomu uszkodzenia, kategorię i klasę czynnika sprawczego oraz rozmiar uszkodzenia.

SPO II rzędu

3. Ocena stanu odżywienia mineralnego sosny, świerka, dębu i buka – wykonano analizy chemiczne liści i igieł zebranych w roku 2021 z drzew stojących na 133 SPO II rzędu. Oznaczono zawartość azotu, fosforu, potasu, wapnia, magnezu, siarki, miedzi, żelaza, manganu, cynku, glinu, kadmu i ołowiu. Łącznie analizom poddano 125 próbek liści (z drzewostanów buka i dębu) oraz 1078 próbek igieł sosny i świerka.

SPO Monitoringu Intensywnego

4. Monitoring parametrów meteorologicznych – obejmował pomiary w pobliżu 12 SPO MI następujących parametrów: temperatury powietrza [°C] na wysokości 2 m i 0,5 m oraz przy gruncie (na wysokości 5 cm), temperatury gleby [°C] na głębokości 5 cm, 10 cm, 20 cm i 50 cm, wilgotności względnej powietrza [%] na wysokości 2 m, wilgotności gleby [dm³/m³], promieniowania całkowitego [W/m²], prędkości wiatru [m/s], kierunku wiatru [°] oraz opadu atmosferycznego [mm]. Pomiary były wykonywane przez automatyczne stacje meteorologiczne w cyklu ciągłym.

5. Monitoring jakości powietrza atmosferycznego – przeprowadzony w pobliżu 12 SPO MI. Punkty pomiarowe zlokalizowane były na terenach leśnych, w miejscach

oddalonych od ściany lasu o co najmniej 50 m. Każdy punkt pomiarowy wyposażony był w 3 zmodyfikowane pasywne próbniki Amaya-Krochmala umieszczone około 2,5 m nad powierzchnią gruntu, wymieniane co miesiąc. Pomiar koncentracji SO_2 i NO_2 [$\mu\text{g m}^{-3}$] wykonywano metodą chromatografii jonowej.

6. Monitoring depozytu zanieczyszczeń na otwartej przestrzeni – przeprowadzony na 12 SPO MI. Punkty poboru próbek opadów zlokalizowane były w punktach pomiaru zanieczyszczeń gazowych. Kolektory umieszczano na wysokości około 2 m nad gruntem: latem były to pojemniki 5-litrowe wykonane z tworzywa chroniącego przed nagrzewaniem i dostępem światła słonecznego, zimą – otwarte pojemniki plastikowe 10-litrowe. Pobór próbek wykonywany był w cyklu miesięcznym.

7. Monitoring chemizmu opadów podkoronowych (w tym spływu po pniu) – obejmował pomiary na 12 SPO MI. Na każdej powierzchni w okresie letnim w cyklu miesięcznym pobierano próbki z 25 chwytników podkoronowych. Na dwóch SPO MI w drzewostanach bukowych pobierano również próbki spływu po pniu.

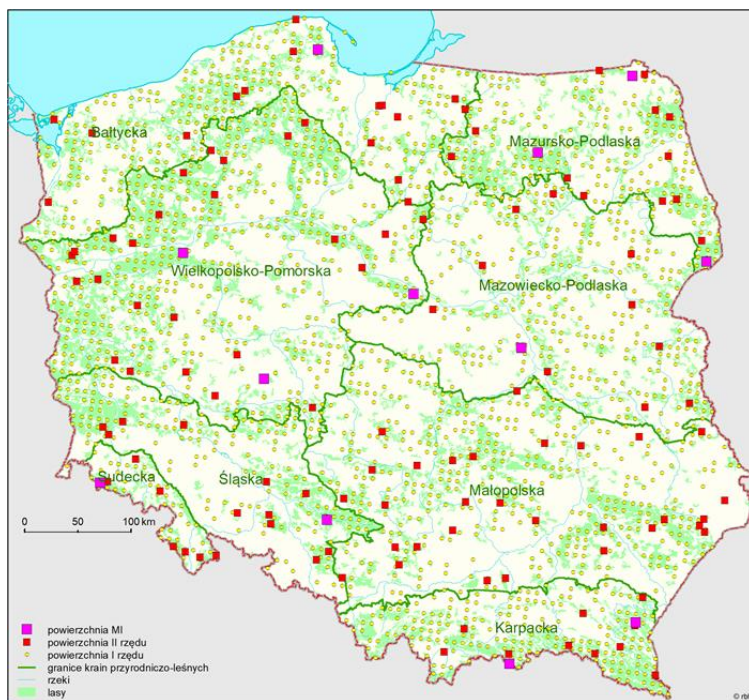
8. Monitoring chemizmu roztworów glebowych – przeprowadzony na 12 SPO MI. Wykonywano pobór próbek z 20 lizymetrów (rozmieszczonych po 10 na każdej z dwóch głębokości: 25 i 50 cm) w cyklu miesięcznym.

Analizy próbek opadów (z otwartej przestrzeni i podkoronowych) oraz roztworów glebowych pobranych na SPO MI obejmowały: pomiar objętości, przewodności elektrolitycznej właściwej (metodą konduktometryczną), pH (metodą potencjometryczną), zasadowości w próbkach o pH wyższym niż 5 (metodą miareczkowania potencjometrycznego), określenie stężeń metali: Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, Mn [mg l^{-1}] (metodą emisyjnej spektrofotometrii atomowej ICP-OES), stężeń jonów: NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} [mg l^{-1}] (metodą chromatografii jonowej), stężeń metali ciężkich Cd, Pb, Cu, Zn (metodą emisyjnej spektrometrii atomowej ICP-OES), stężenia RWO (metodą spektrofotometrii w zakresie podczerwieni IR) oraz stężenia azotu związanego (metodą chemiluminescencji).

Analizy chemiczne pobranych liści i igieł oraz próbek opadów i roztworów zostały wykonane w Laboratorium Chemii Środowiska Przyrodniczego IBL, które posiada certyfikat akredytacji nr AB 740 wydany przez Polskie Centrum Akredytacji. Zakres akredytacji obejmuje badania chemiczne gleb, materiału roślinnego oraz wody, a także badania właściwości fizycznych gleb i wody.

Część II MONITORING LASÓW NA STAŁYCH POWIERZCHNIACH OBSERWACYJNYCH I RZĘDU

Liczba stałych powierzchni obserwacyjnych I rzędu poddanych obserwacjom w 2022 roku wynosiła 2071 (ryc. 1.1). 1406 powierzchnie znajdowały się w lasach będących w zarządzie Lasów Państwowych, 531 powierzchnie – w lasach będących własnością osób fizycznych, 38 powierzchni – w granicach parków narodowych, 96 powierzchni – w lasach pozostałych form własności.



Rycina 1.1. Rozmieszczenie stałych powierzchni obserwacyjnych I i II rzędu oraz powierzchni monitoringu intensywnego (MI) w krainach przyrodniczo-leśnych (2022 rok)

Liczba powierzchni w lasach wszystkich form własności zawiera się w przedziale: 1) w układzie krain przyrodniczo-leśnych: od 42 w Krainie Sudeckiej do 492 w Krainie Wielko-polsko-Pomorskiej, 2) w układzie rdLP: od 71 w RDLP w Pile do 178 w RDLP w Olsztynie, 3) w układzie województw: od 40 w województwie opolskim do 215 w województwie mazowieckim.

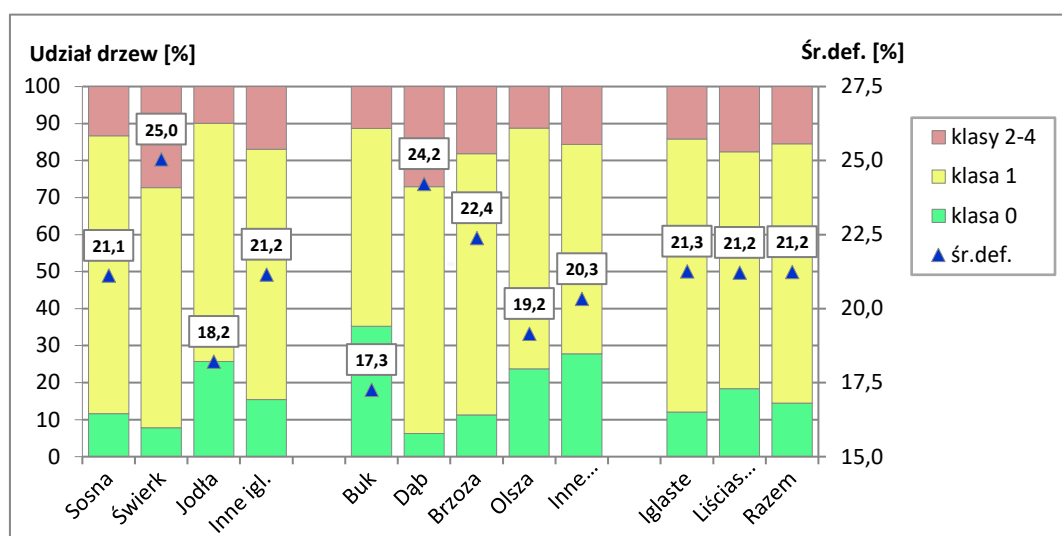
Liczyby powierzchni wg gatunku panującego w drzewostanie wynosiły w roku 2022: powierzchnie z dominacją sosny – 1221, świerka – 83, jodły – 49, innych iglastych – 22, buka – 80, dębu – 150, brzozy – 194, olszy – 158 oraz innych liściastych – 114.

2. OCENA POZIOMU ZDROWOTNEGO MONITOROWANYCH GATUNKÓW DRZEW W 2022 R. I PORÓWNANIE W LATACH 2013–2022 –

JADWIGA MAŁACHOWSKA, PAWEŁ LECH, GRZEGORZ ZAJĄCZKOWSKI

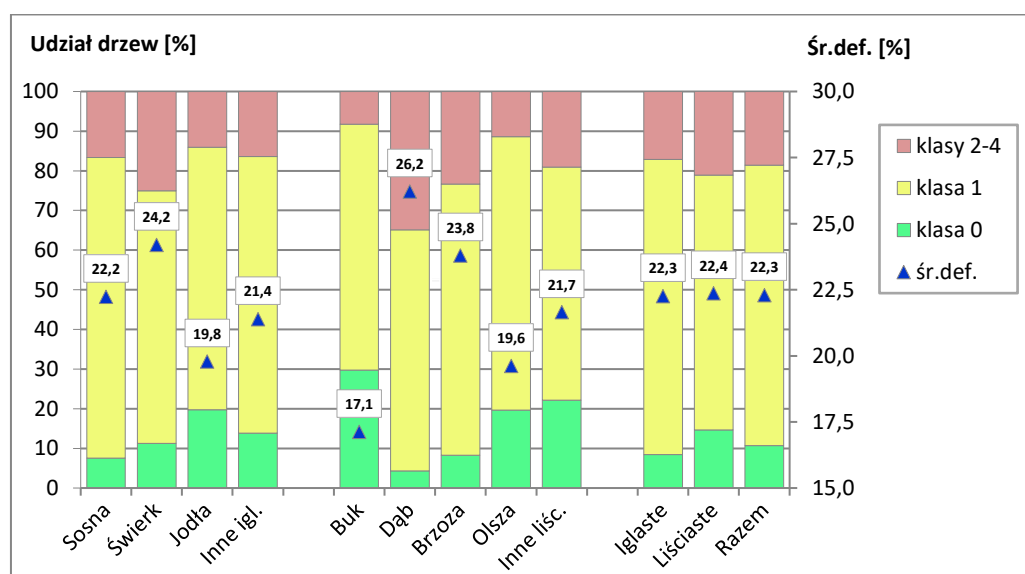
Parametrami oceny kondycji zdrowotnej gatunków drzew są następujące charakterystyki: procentowy udział drzew zdrowych (klasa 0, defoliacja 0–10%), procentowy udział drzew z klas defoliacji 2 do 4 (defoliacja > 25% i drzewa martwe) oraz średnia defoliacja. Klasa ostrzegawcza (klasa 1, lekka defoliacja, od 11 do 25% defoliacji), będąca dopełnieniem dającym w sumie 100% drzew (po zsumowaniu klas 0, 1 i 2 do 4), w większości przypadków nie jest omawiana.

2.1. Zróznicowanie kondycji zdrowotnej monitorowanych gatunków drzew ogółem w kraju w 2022 r. oraz w dziesięcioleciu 2013-2022



Rycina 2.1. Udział drzew [%] monitorowanych gatunków w klasach defoliacji oraz średnia defoliacja [%] w 2022 roku.

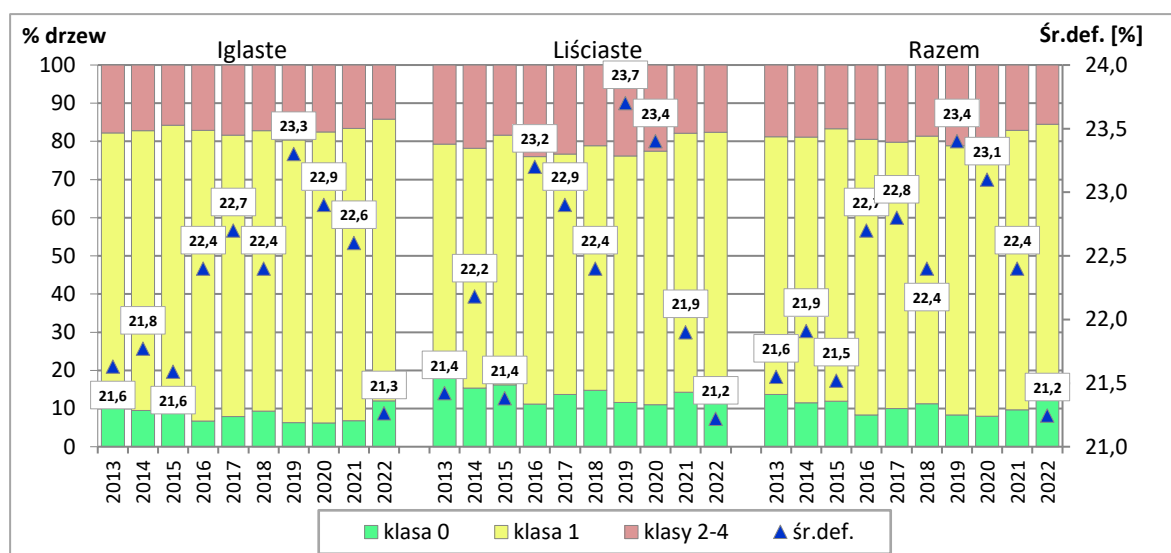
W 2022 r. średnia defoliacja wszystkich gatunków razem wynosiła 21,2%, iglastych – 21,3%, liściastych – 21,2%. Udział drzew zdrowych (do 10% defoliacji) gatunków razem wynosił 14,4%, udział drzew o defoliacji powyżej 25% – 15,5%. Gatunki liściaste charakteryzowały się wyższym udziałem drzew zdrowych (18,4%) oraz wyższym udziałem drzew o osłabionej kondycji (17,6%) niż gatunki iglaste (odpowiednio: 12,0% i 14,2%). Udział drzew w klasie ostrzegawczej (drzewa o defoliacji od 11% do 25%) wynosił: gatunków razem – 70,1%, gatunków iglastych – 73,8%, a gatunków liściastych – 64,0% (ryc. 2.1).



Rycina 2.2. Udział drzew [%] monitorowanych gatunków w klasach defoliacji oraz średnia wartość średniej defoliacji [%] w dziesięcioleciu 2013-2022.

Uśredniona dla dziesięciolecia 2013-2022 wartość średniej defoliacji gatunków razem wynosiła 22,3%, gatunków iglastych – 22,3%, a gatunków liściastych – 22,4%. Średni udział drzew o defoliacji do 10% dla gatunków razem wynosił 10,7%, a średni udział drzew o defoliacji powyżej 25% – 18,6%. Gatunki liściaste charakteryzowały się wyższym średnim udziałem drzew zdrowych (14,7%) oraz wyższym średnim udziałem drzew w klasach defoliacji 2-4 (21,1%) niż gatunki iglaste (odpowiednio: 8,5% i 17,1%). Średni udział drzew w klasie ostrzegawczej (drzewa o defoliacji od 11% do 25%) wynosił: gatunków razem – 70,7%, gatunków iglastych – 74,4%, a gatunków liściastych – 64,3% (ryc. 2.2).

Ogółem w skali kraju najlepszą kondycję drzew ‘gatunków razem’ obserwowano w 2022 roku, dobrą – w latach 2013–2015, średnią – w latach 2017, 2018 i 2021, a najgorszą – w latach 2019–2020. Udział drzew zdrowych zawierał się w przedziale od 8,0% w 2020 r. do 14,4% w 2022 r., udział drzew w klasach defoliacji 2-4 – od 15,5% w 2022 r. do 21,1% w 2019 r., a średnia defoliacja – od 21,2% w 2022 r. do 23,4% w 2019 r.



Rycina 2.3. Udział drzew [%] gatunków iglastych, liściastych i razem w klasach defoliacji oraz średnia defoliacja [%] w latach 2013–2022. Wiek powyżej 20 lat. Wszystkie formy własności.

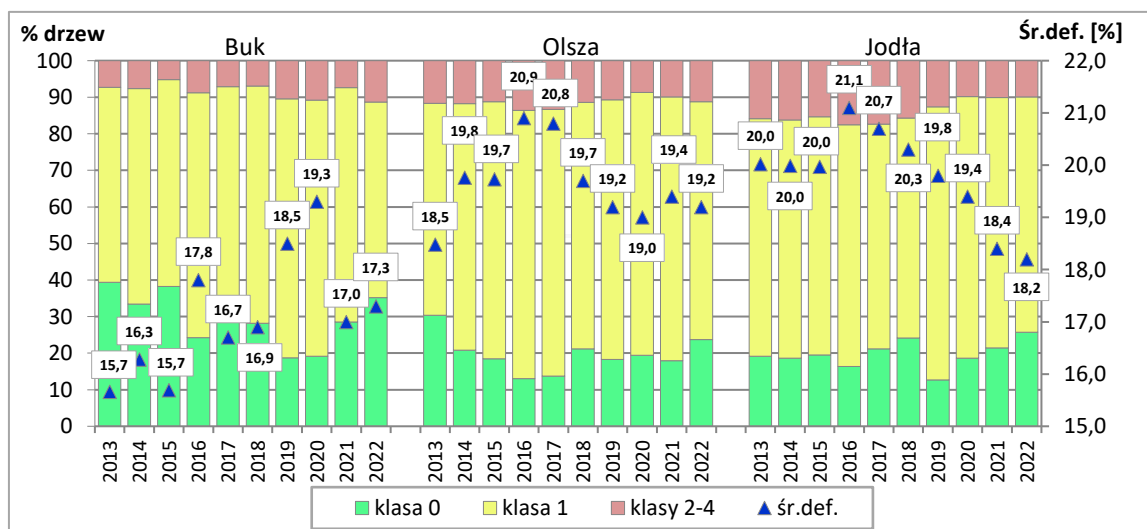
Zmienność kondycji zdrowotnej drzew w kolejnych latach dziesięciolecia 2013-2022 była różna w zależności od gatunku

Średnio w dziesięcioleciu 2013-2022 gatunkiem o najlepszej kondycji zdrowotnej był **buk**. Rozpatrując kolejne lata buk charakteryzował się najlepszą kondycją, w porównaniu z innymi grupami gatunków, do roku 2018. W latach 2019-2020, na skutek stopniowego pogarszania się kondycji drzew tego gatunku, oraz poprawy w tym okresie stanu koron jodeł i olszy nastąpiło zrównanie poziomu zdrowotności buka z poziomem zdrowotności olszy i jodły. W latach 2021-2022 buk ponownie uzyskał najlepszą lokatę

w tym rankingu, jednak różnice jego poziomu zdrowotnego w porównaniu ze zdrowotnością olszy i jodły nie były tak duże jak w latach 2013-2018. (ryc. 2.4).

Olsze w dziesięcioleciu charakteryzowały się dobrą kondycją wśród monitorowanych gatunków. W 2013 roku stan koron tej grupy gatunków był najlepszy w porównaniu z pozostałymi latami dziesięciolecia, w 2014 r. – lekko pogorszył się, w 2015 r. – nie uległ zmianie. W latach 2016 -2017 stan koron olszy był najgorszy w dziesięcioleciu. W 2018 roku nastąpiła poprawa, a w 2019 roku – niewielkie pogorszenie. W latach 2020-2022 – nie odnotowano znaczących zmian (ryc. 2.4).

Kondycja **jodły** w dziesięcioleciu była porównywalna z kondycją olszy. W latach 2013-2015 oraz 2018-2020 jodła charakteryzowała się dobrą kondycją. W latach 2016 i 2017 zanotowano gorszą kondycję tego gatunku. Z kolei w latach 2021 i 2022 kondycja jodły była bardzo dobra (ryc. 2.4).

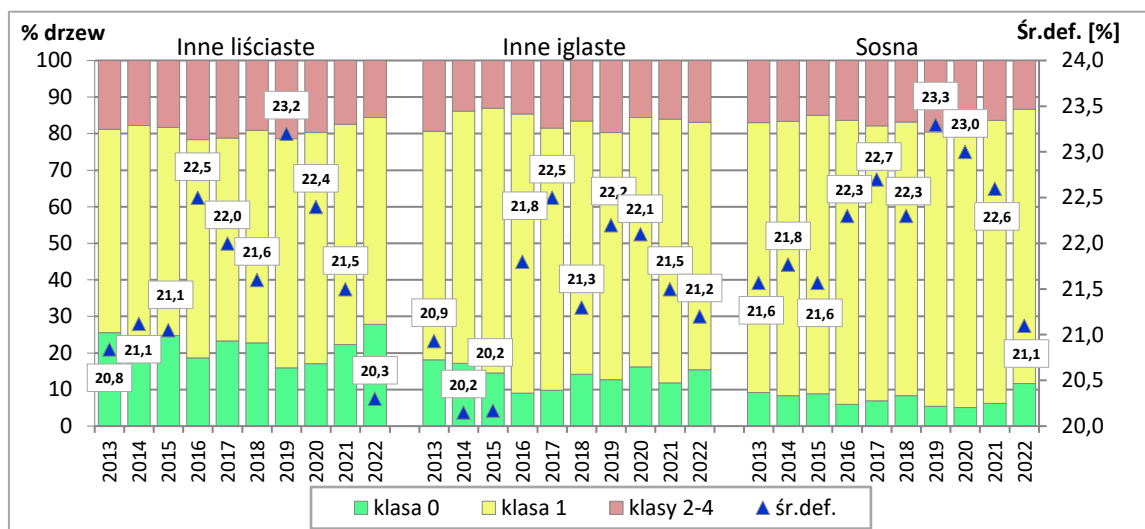


Rycina 2.4. Udział [%] buka, olszy i jodły w klasach defoliacji oraz średnia defoliacja [%] w latach 2013–2022. Wiek powyżej 20 lat. Wszystkie formy własności.

Gatunki **‘inne iglaste’** wraz z sosną i gatunkami **‘inne liściaste’** zaliczone zostały do grupy gatunków o średnim poziomie defoliacji. W dziesięcioleciu 2013-2022 charakteryzowały się stabilną kondycją. W latach 2014, 2015 kondycja drzew tej grupy gatunków była lepsza, w porównaniu z pozostałymi latami dziesięciolecia. W latach 2013, 2018, 2021 i 2022 kondycja drzew utrzymywała się na średnim poziomie. W latach 2016, 2017, 2019 i 2020 kondycja drzew była gorsza (ryc. 2.5).

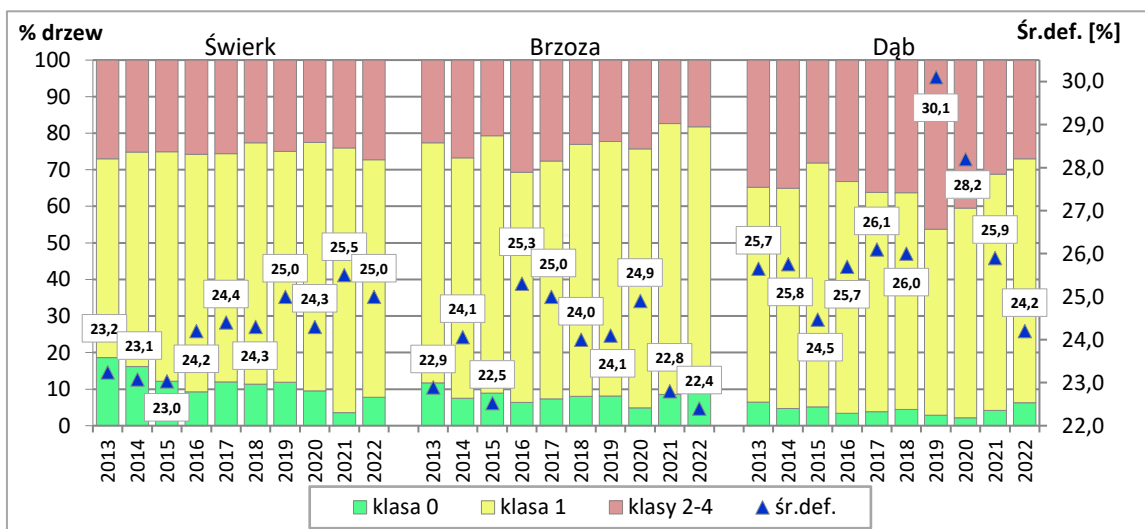
Najlepszą kondycję zdrowotną gatunków z grupy **‘inne liściaste’** odnotowano w 2022 roku. Dobłą kondycją charakteryzowały się drzewa tej grupy gatunków w latach 2013–2015. Średnią kondycję – zanotowano w latach 2017, 2018, 2021. Gorszą kondycję

drzew tej grupy gatunków rejestrowano w latach 2016 i 2020, najgorszą – w 2019 roku (ryc. 2.5).



Rycina 2.5. Udział [%] ‘innych liściastych’, ‘innych iglastych’ i sosny w klasach defoliacji oraz śr. defoliacja [%] w latach 2013–2022. Wiek powyżej 20 lat. Wszystkie formy własności.

Sosna charakteryzowała się średnim poziomem defoliacji, jej kondycja była najbardziej stabilna w kolejnych latach dziesięciolecia. Najniższą, w porównaniu z innymi latami, defoliację drzew tego gatunku odnotowano w 2022 roku, a najwyższą – w 2019 roku (ryc. 2.5).



Rycina 2.6. Udział [%] świerka, brzozy i dębu w klasach defoliacji oraz średnia defoliacja [%] w latach 2013–2022. Wiek powyżej 20 lat. Wszystkie formy własności

Defoliacja **świerka** w dziesięcioleciu była wysoka w porównaniu z innymi gatunkami. Niższa defoliacja drzew tego gatunku utrzymywała się w latach 2013–2015, najwyższa – w 2021 roku (ryc. 2.6).

Brzoza również charakteryzowała się wysokim poziomem defoliacji w porównaniu z innymi gatunkami. Lepszą, w porównaniu z innymi latami, kondycję brzoź odnotowano w latach 2013, 2015, 2021 i 2022, średnią – w latach 2014, 2018 i 2019, gorszą – w latach 2016, 2017 i 2020 (ryc. 2.6).

Dąb to gatunek o najsłabszej kondycji w dziesięcioleciu. Lepszą, w porównaniu z innymi latami, kondycję dębów odnotowano w latach 2015 i 2022. W latach 2013, 2014, 2016–2018 oraz 2021 kondycja dębów była osłabiona. Silnie osłabioną kondycję dębów odnotowano w 2020 roku, najsłabszą – w 2019 roku (ryc. 2.6).

Biorąc pod uwagę średnie wartości parametrów składających się na ocenę zdrowotności monitorowanych gatunków drzew w latach 2013-2022 kolejność gatunków od najbardziej do najmniej zdrowych przedstawiała się następująco: buk << olsza, jodła < ‘inne iglaste’, ‘inne liściaste’, sosna < świerk, brzoza << dąb.

W 2022 r. kolejność gatunków od najbardziej do najmniej zdrowych była następująca: buk << jodła, olsza < inne liściaste < inne iglaste < sosna < brzoza << świerk, dąb

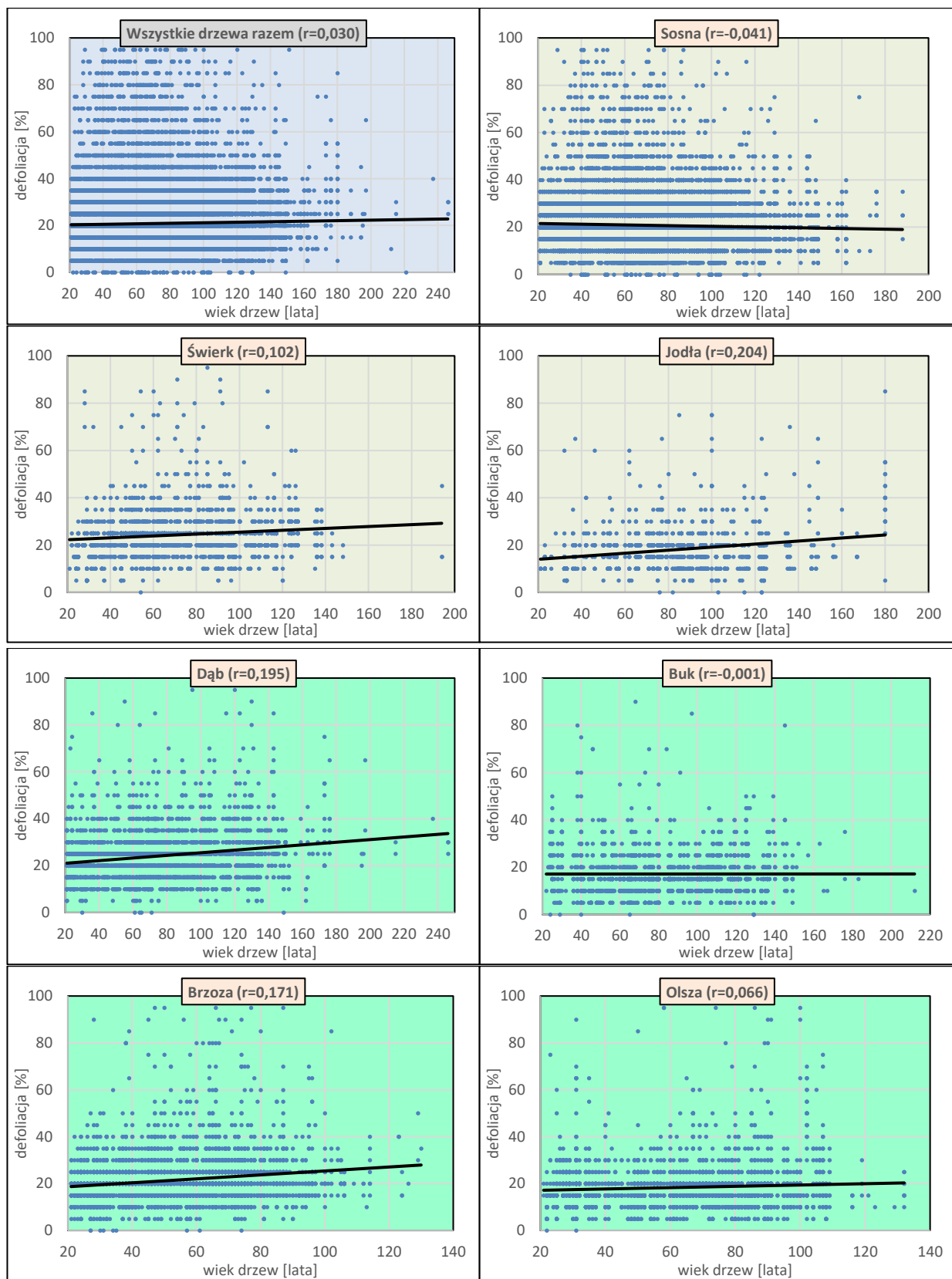
Ogółem w skali kraju najlepszą kondycję drzew gatunków razem obserwowano w 2022 roku, dobrą – w latach 2013–2015, średnią – w latach 2017, 2018 i 2021, a najgorszą – w latach 2019–2020.

W dziesięcioleciu 2013-2022 najbardziej stabilną kondycją zdrowotną charakteryzowała się sosna, największą zmiennością kondycji charakteryzowały się dąb.

2.2. Zróznicowanie kondycji zdrowotnej monitorowanych gatunków drzew w zależności od wieku – 2022 r.

Porównano kondycję zdrowotną (wyrażoną poziomem defoliacji) drzew młodszych (do 60 lat) i starszych (powyżej 60 lat) na tle stanu drzew w całym zakresie wiekowym (powyżej 20 lat). Wykonano analizę regresji defoliacji drzew w zależności od ich wieku dla 7 głównych lasotwórczych gatunków drzew (sosna, świerk, jodła, buk, dąb, brzoza i olsza) oraz dla wszystkich drzew łącznie (ryc. 2.7).

W 2022 roku ogółem dla wszystkich drzew objętych obserwacjami udział drzew zdrowych (do 10% defoliacji) wynosił 14,4%, udział drzew w klasach defoliacji 2-4 (powyżej 25% defoliacji i drzewa martwe) – 15,5%, a średnia defoliacja – 21,2%. Wśród drzew młodszych zanotowano 15,2% drzew zdrowych, 15,6% drzew w klasach defoliacji 2-4, a średnia defoliacja wynosiła 21,3%. Wśród drzew starszych udział drzew zdrowych wynosił 14,0%, udział drzew w klasach defoliacji 2-4 – 15,4%, a średnia defoliacja – 21,2%.



Rycina 2.7. Defoliacja sosny, świerka, jodły, buka, dębu, brzozy, olszy i wszystkich drzew łącznie w zależności od wieku w 2022 r.

Taki układ udziału drzew zdrowych i drzew w klasach defoliacji 2-4 oraz średniej defoliacji w grupach wiekowych w zestawieniu ‘gatunki razem’ nie wskazuje na istnienie

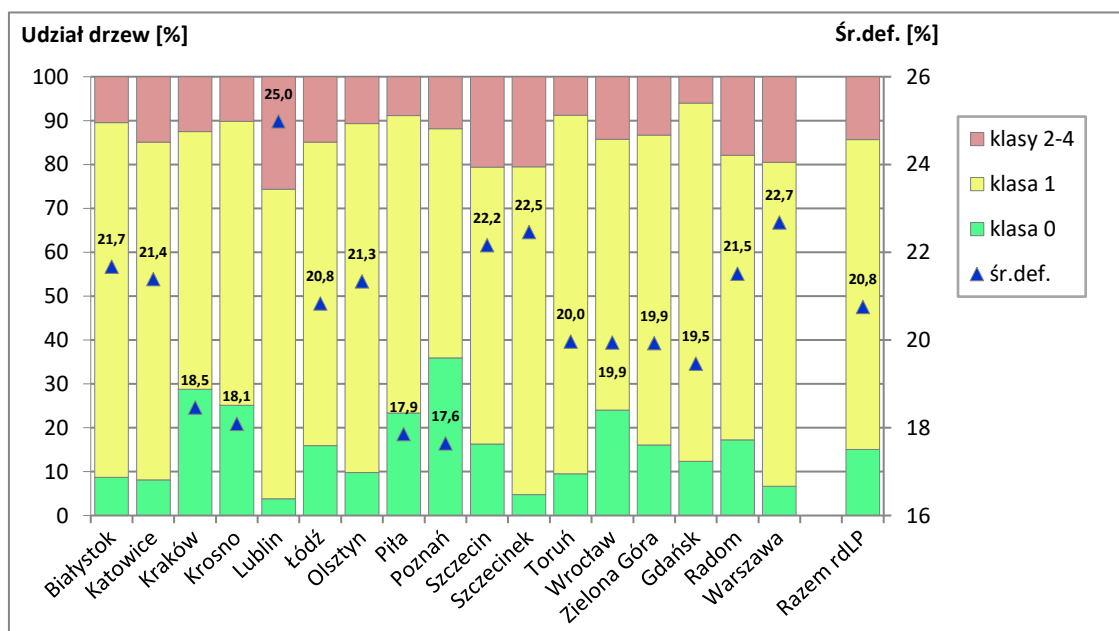
zależności pomiędzy kondycją zdrowotną drzew a ich wiekiem. W odniesieniu do gatunków ‘iglastych razem’ wystąpiła słaba zależność poprawy kondycji zdrowotnej drzew wraz z wiekiem (ma to związek z dużą przewagą udziału sosny wśród ‘iglastych razem’, u której taką właśnie zależność zanotowano). Natomiast w grupie gatunków ‘liściastych razem’ odwrotnie, wystąpiła słaba zależność pogarszania się kondycji zdrowotnej drzew wraz z wiekiem. Analiza zależności defoliacji wszystkich drzew od wieku dała zbliżone wyniki. Stwierdzono bardzo słabą pozytywną zależność, która jednakże była statystycznie istotna.

Wśród gatunków iglastych – u jodły i świerka występowała słaba, pozytywna zależność pomiędzy defoliacją drzew i wiekiem, natomiast u sosny występowała bardzo słaba zależność negatywna, tzn. wraz z wiekiem defoliacja malała. Wśród gatunków liściastych – pozytywną zależność defoliacji od wieku stwierdzono dla dębu i brzozy, słabszą, ale wciąż pozytywną dla olszy, natomiast dla buka zależność pomiędzy wiekiem i defoliacją nie występowała.

2.3. Kondycja zdrowotna drzew według lokalizacji powierzchni badawczych

Kondycja zdrowotna drzew (gatunki razem) w układzie regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych w 2022 roku

Najzdrowsze okazały się drzewa w lasach w RDLP w Poznaniu. Udział drzew zdrowych był najwyższy i wynosił 35,9%, udział drzew w klasach defoliacji 2-4 był równy 11,9%, a średnia defoliacja, najniższa w zestawieniu, wynosiła 17,6% (ryc. 2.8).



Rycina 2.8. Udział drzew [%] monitorowanych gatunków łącznie w klasach defoliacji oraz średnia defoliacja [%] w układzie regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych (lasy w zarządzie LP) w 2022 r.

Wysokim poziomem zdrowotności charakteryzowały się drzewa w lasach w rdLP w Pile, Krośnie i Krakowie. Udział drzew zdrowych zawierał się w przedziale od 23,4 do

28,8%, udział drzew w klasach defoliacji 2-4 – od 8,8 do 12,5%, a średnia defoliacja – od 17,9 do 18,5%.

Dobry stan zdrowotny drzew zarejestrowano w lasach w rdLP w Gdańsku, Wrocławiu, Zielonej Górze i Toruniu (od 9,5 do 24,0% drzew zdrowych, od 6,0 do 14,3% drzew w klasach defoliacji 2-4 oraz od 19,5 do 20,0% średniej defoliacji).

Średnią kondycję zdrowotną drzew zanotowano w lasach w rdLP w Łodzi, Olsztynie, Białymstoku i Radomiu (od 8,7 do 17,2% drzew zdrowych, od 10,5 do 17,9% drzew w klasach defoliacji 2-4 oraz od 20,8 do 21,7% średniej defoliacji).

Lasy w rdLP w Katowicach, Warszawie, Szczecinie i Szczecinku charakteryzowały się osłabioną kondycją drzew. Udział drzew zdrowych zawierał się w przedziale od 4,8 do 16,3%, udział drzew w klasach defoliacji 2-4 – od 14,9 do 20,6%, a średnia defoliacja – od 21,4 do 22,7%.

Najgorszą kondycją charakteryzowały się drzewa w lasach w RDLP w Lublinie. Zanotowano tu najmniej drzew zdrowych (3,8%), najwyższy udział drzew w klasach defoliacji 2-4 (25,6%) oraz najwyższą w zestawieniu średnią defoliację – 25,0%.

Regionalne dyrekcje Lasów Państwowych uszeregowane grupami, według kondycji drzew (gatunki razem) w lasach (2022 rok), od najbardziej do najmniej zdrowych: Poznań << Piła, Krosno, Kraków << Gdańsk, Wrocław < Zielona Góra, Toruń < Łódź, Olsztyn, Białystok, Radom < Katowice, Szczecin < Warszawa, Szczecinek << Lublin.

Kondycja zdrowotna drzew (gatunki razem) w układzie województw w 2022 r.

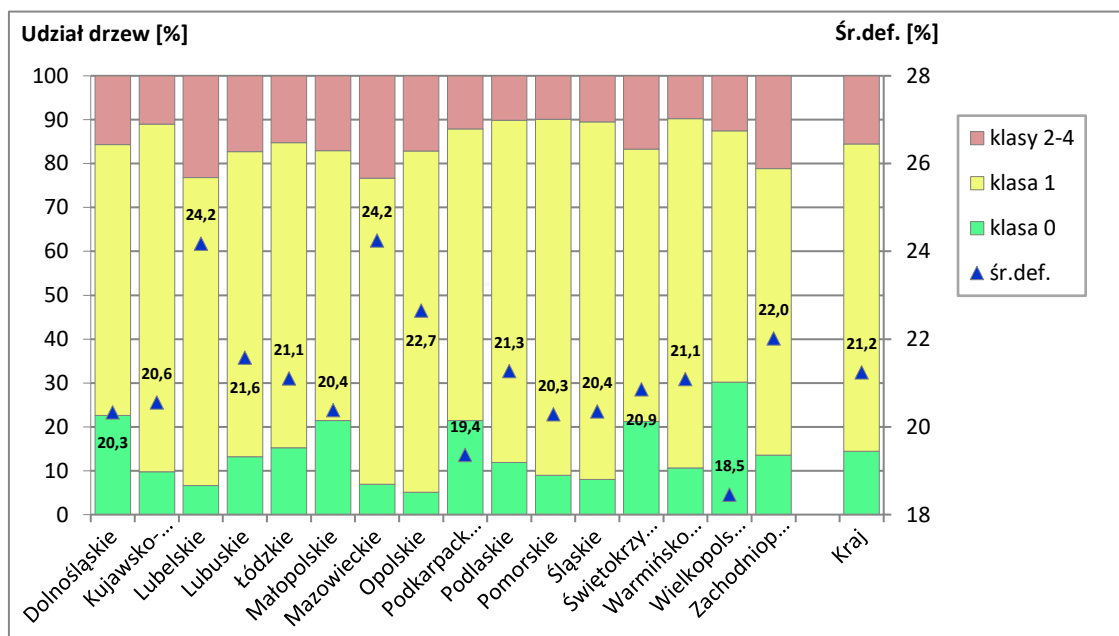
Najzdrowsze okazały się drzewa w lasach województwa wielkopolskiego, gdzie zarejestrowano najwyższy w zestawieniu udział drzew zdrowych (30,2%), 12,5% drzew w klasach defoliacji 2-4 oraz najniższą średnią defoliację (18,5%) (ryc. 2.9).

Dobrą kondycją zdrowotną drzew obserwowano w lasach województwa podkarpackiego i dolnośląskiego, gdzie udział drzew zdrowych wynosił 21,4% i 22,6%, udział drzew o defoliacji powyżej 25% – 12,1% i 15,7%, a średnia defoliacja – 19,4% i 20,3%.

Średnią kondycję drzew obserwowano w lasach województw: kujawsko-pomorskiego, małopolskiego, podlaskiego, pomorskiego, śląskiego, warmińsko-mazurskiego, świętokrzyskiego i łódzkiego (od 8,0 do 21,4% drzew zdrowych, od 9,7 do 17,1% drzew w klasach defoliacji 2-4 oraz od 20,3 do 21,3% średniej defoliacji).

Osłabioną kondycją zdrowotną charakteryzowały się drzewa w lasach: województw: lubuskiego, zachodniopomorskiego i opolskiego (od 5,1 do 13,5% drzew zdrowych, od 17,1 do 21,2% drzew w klasach defoliacji 2-4 oraz od 21,6 do 22,7% średniej defoliacji).

Najgorszą kondycję zdrowotną drzew obserwowano w lasach województw: lubelskiego i mazowieckiego (odpowiednio: 6,6% i 6,9% drzew zdrowych, 23,2% i 23,3% drzew w klasach defoliacji 2-4 oraz średnia defoliacja równa 24,2%).



Rycina 2.9. Udział drzew [%] monitorowanych gatunków łącznie w klasach defoliacji oraz średnia defoliacja [%] w układzie województw w 2022 r.

Województwa uszeregowane grupami według kondycji drzew (gatunki razem) w lasach (2022 rok) od najzdrowszych do najmniej zdrowych: wielkopolskie < podkarpackie << dolnośląskie < kujawsko-pomorskie, małopolskie, podlaskie, pomorskie, śląskie, warmińsko-mazurskie < świętokrzyskie, łódzkie < lubuskie < zachodniopomorskie, opolskie << lubelskie, mazowieckie.

Kondycja zdrowotna drzew (gatunki razem) w układzie krain przyrodniczo-leśnych w 2022 roku

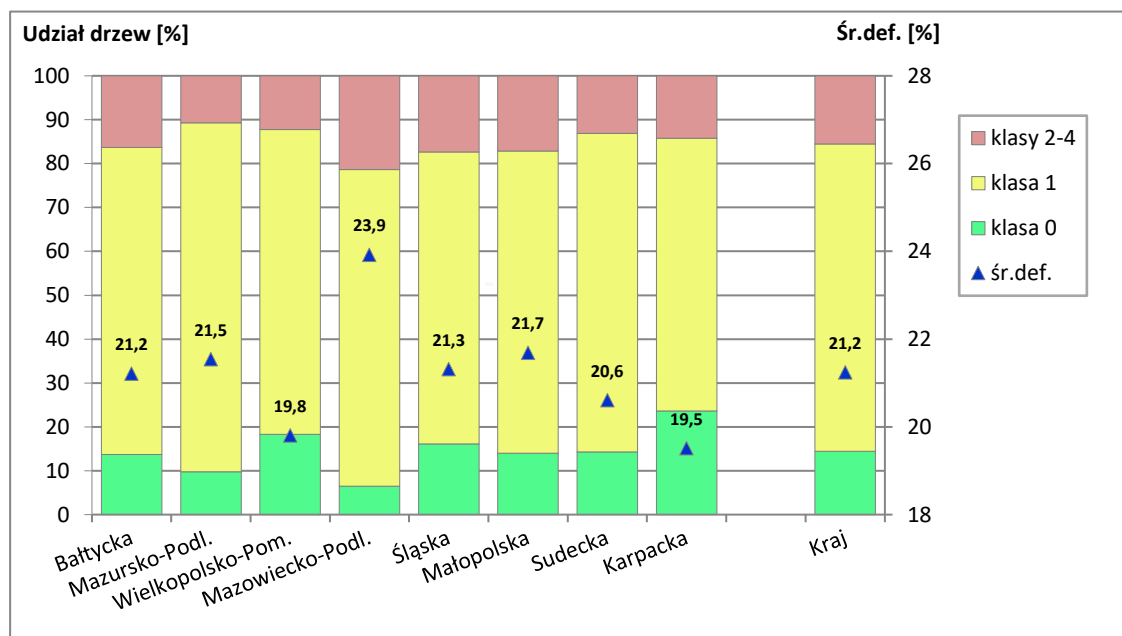
Najzdrowsze okazały się drzewa w lasach Krainy Karpackiej, zanotowano tam najwyższy w porównaniu z innymi krainami udział drzew zdrowych (23,6%), niski udział drzew w klasach defoliacji 2-4 (14,2%) i najniższą średnią defoliację (19,5%) (ryc. 2.10).

Dobłą kondycję drzew zanotowano w lasach w krainach: Wielkopolsko-Pomorskiej i Sudeckiej, gdzie udział drzew zdrowych wynosił 18,3% i 14,3%, udział drzew w klasach defoliacji 2-4 wynosił 12,3% i 13,1%, a średnia defoliacja: 19,8% i 20,6%.

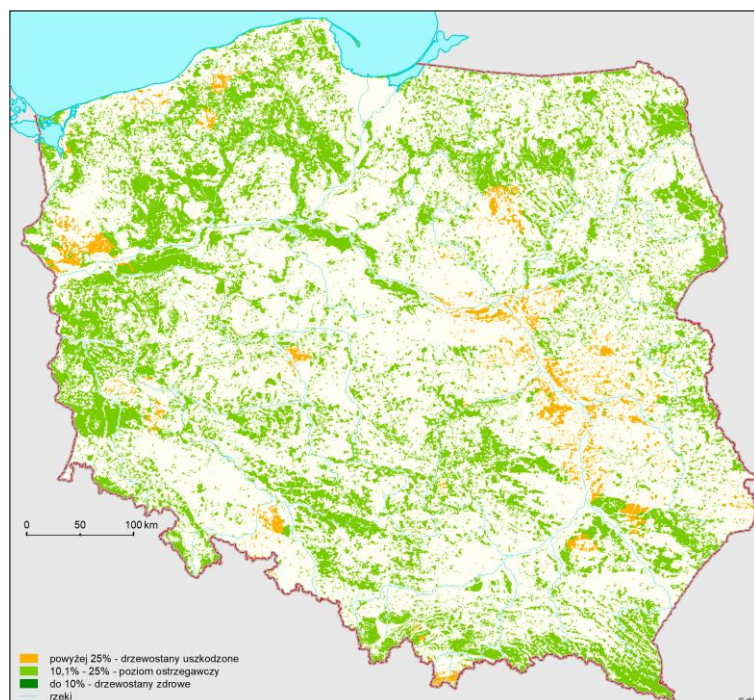
Krainy: Bałtycka, Śląska, Mazursko-Podlaska i Małopolska zaliczone zostały do grupy krain o osłabionej kondycji zdrowotnej drzew w lasach (od 9,7 do 16,1% drzew

zdrowych, od 10,7 do 17,3% drzew w klasach defoliacji 2-4 oraz od 21,2 do 21,7% średniej defoliacji).

Najslabszą kondycją w porównaniu z innymi krainami charakteryzowały się drzewa w lasach Krainy Mazowiecko-Podlaskiej, gdzie zarejestrowano najmniej (6,5%) drzew zdrowych, najwięcej drzew w klasach defoliacji 2-4 (21,4%) oraz najwyższą w zestawieniu średnią defoliację (23,9%).



Rycina 2.10. Udział drzew [%] monitorowanych gatunków łącznie w klasach defoliacji oraz średnia defoliacja [%] w układzie krain przyrodniczo-leśnych w 2022 r.



Rycina 2.11. Poziom defoliacji drzewostanów w 2022 r. (z wyróżnieniem 3 klas) na podstawie wizualnej oceny stanu koron drzew próbnych na stałych powierzchniach obserwacyjnych.

Mapa prezentująca wyniki obserwacji defoliacji drzew na SPO I rzędu (ryc. 2.11) pozwala na bardziej szczegółowe wydzielenie obszarów zróżnicowanych pod względem zdrowotności lasów w kraju.

Wysoki poziom zdrowotności drzew (do 20% średniej defoliacji) występował w kilku kompleksach leśnych w Krainie Bałtyckiej (lasy okolic Ińska, Lasy

Oliwsko-Darżlubskie, kompleksy leśne zlokalizowane na linii Wejherowo – Łębork – Bytów, Lasy Elbląsko-Żuławskie, okolice jeziora Jeziorak, lasy pomiędzy Pasłękiem, Iławą, Miłomłynem i Ornetą). W Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej były to kompleksy leśne zlokalizowane w Puszczy Rzepińskiej, Puszczy Noteckiej, Puszczy Drawskiej, Borach Tucholskich, Puszczy Bydgoskiej, lasy zlokalizowane w okolicach Szczecinka. W Krainie Sudeckiej były to kompleksy leśne zlokalizowane pomiędzy Wałbrzychem, Karpaczem, Lwówkiem Śląskim i Złotoryją. Wysoką zdrowotnością charakteryzowały się również kompleksy leśne położone w zachodniej części Krainy Śląskiej, na granicy krain: Śląskiej i Małopolskiej, mozaikowo w Krainie Małopolskiej, we wschodniej części Krainy Karpackiej (Lasy Beskidu Sudeckiego, Lasy Bieszczadzkie oraz Lasy Birczańskie). Ponadto kompleksy leśne o wysokiej zdrowotności występowały w Krainie Mazowiecko-Podlaskiej (tereny pomiędzy Bugiem i Narwią) oraz w Krainie Mazursko-Podlaskiej (Puszcza Białowieska, Puszcza Knyszyńska).

Kompleksy leśne o słabszej kondycji (średnia defoliacja na poziomie 25,1% – 30%) występowały na terenie siedmiu krain przyrodniczo-leśnych. W Krainie Bałtyckiej były to lasy położone na linii Sławno – Bobolice; na granicy krain Bałtyckiej i Wielkopolsko-Pomorskiej były to lasy Pojezierza Myśliborskiego, Puszczy Barlineckiej oraz okolic Gorzowa Wielkopolskiego, w Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej – lasy pomiędzy Kaliszem, Turkiem i Sieradzem, w Krainie Śląskiej – lasy między Nysą a Opolem, w Krainie Karpackiej – lasy Podhala. Ponadto kompleksy leśne o słabszej kondycji zdrowotnej występowały we wschodniej części Krainy Małopolskiej, na granicy krain: Małopolskiej i Mazowiecko-Podlaskiej, w Krainie Mazowiecko-Podlaskiej (Puszcza Kampinoska, okolice Warszawy i Żyrardowa) oraz na granicy krain: Mazowiecko-Podlaskiej i Mazursko-Podlaskiej.

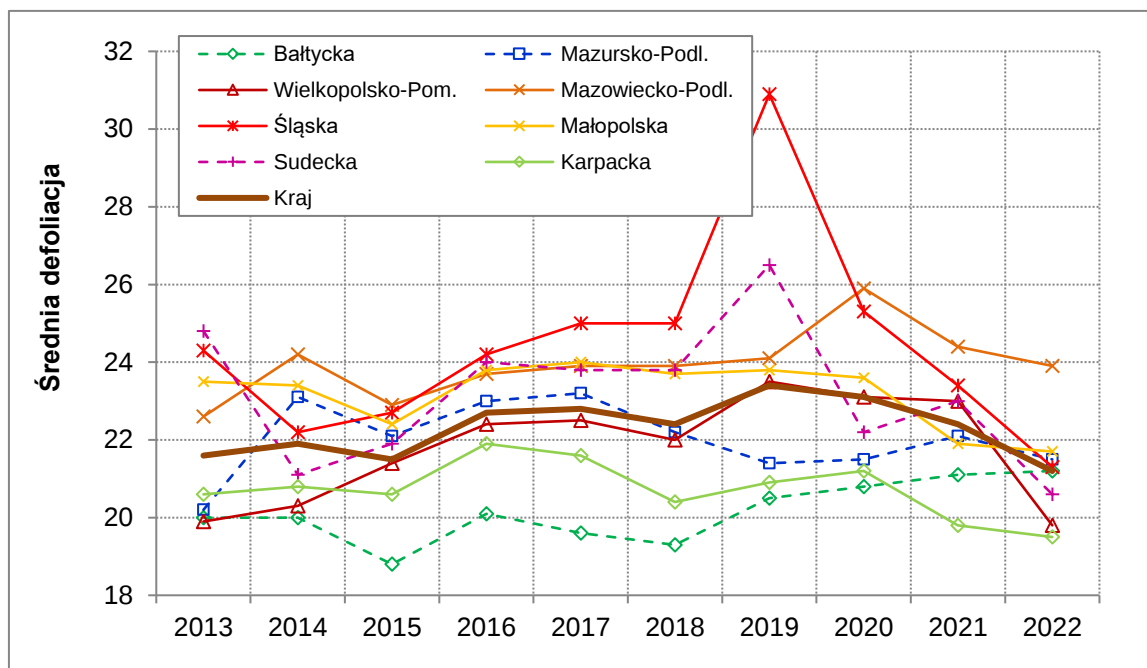
Według prezentowanych map w 2022 roku w żadnym kompleksie leśnym nie wystąpiło znaczne osłabienie kondycji zdrowotnej (powyżej 30% średniej defoliacji).

W 2022 r. uszeregowanie krain przyrodniczo-leśnych grupami według kondycji drzew (gatunki razem) w lasach od najzdrowszych do najmniej zdrowych wyglądało następująco: Karpacka < Wielkopolsko-Pomorska < Sudecka < Bałtycka, Śląska, Mazursko-Podlaska, Małopolska << Mazowiecko-Podlaska.

Kondycja zdrowotna drzew (gatunki razem) w układzie krain przyrodniczo-leśnych w dziesięcioleciu 2013-2022

Wśród krain przyrodniczo-leśnych dobrą, względnie wyrównaną kondycją, utrzymującą się stale poniżej średniej krajowej, charakteryzowały się drzewa w lasach

Krain: Bałtyckiej i Karpackiej. Również wyrównaną kondycją, ale gorszą, utrzymującą się stale powyżej średniej krajowej charakteryzowały się drzewa w lasach Krainy Małopolskiej (ryc. 2.12).



Rycina 2.12. Udział drzew monitorowanych gatunków razem w klasach defoliacji 2-4 w krainach przyrodniczo-leśnych w latach 2013-2022.

W lasach Krainy Wielkopolsko-Pomorskiej bardzo dobrą kondycję drzew obserwowano w latach 2013-2014 (porównywalną ze stanem notowanym w Krainie Bałtyckiej) oraz w 2022 roku (porównywalną ze stanem notowanym wówczas w Krainie Karpackiej). W latach 2015-2019 stan zdrowotny drzew w tej krainie ulegał stopniowemu pogorszeniu, w latach 2020-2021 nie ulegał dalszym zmianom, w ciągu tych siedmiu lat średnia defoliacja przyjmowała wartości zbliżone do średniej krajowej.

W Krainie Mazursko-Podlaskiej w 2014 roku kondycja drzew uległa znacznemu pogorszeniu w porównaniu 2013 rokiem, w 2015 roku nastąpiła poprawa, w latach 2016-2017 oraz 2021 następowało pogorszenie kondycji drzew w porównaniu z poprzednimi latami, z kolei w latach 2018-2019 następowała poprawa.

W lasach Krainy Mazowiecko-Podlaskiej kondycja zdrowotna drzew w latach 2014, 2016 oraz 2020 ulegała pogorszeniu, a w latach 2015, 2021-2022 poprawiała się. Lata 2016-2019 to okres stabilnej kondycji drzew w lasach tej krainy na poziomie nieco wyższym niż średnio w kraju.

Krainy Śląska i Sudecka charakteryzowały się podobną zmiennością kondycji zdrowotnej drzew w lasach w kolejnych latach dziesięciolecia, z tym, że kondycja drzew w Krainie Śląskiej była gorsza lub znacznie gorsza, niż miało to miejsce w Krainie Sudeckiej

(z wyjątkiem 2013 roku). W 2014 r. w obydwu krainach kondycja zdrowotna drzew poprawiła się w porównaniu z 2013 r., w latach 2015-2016 następowało pogorszenie, a w 2018 roku kondycja nie uległa zmianie w stosunku do stanu z 2017 roku. W 2019 roku nastąpiło znaczne pogorszenie stanu koron drzew. Z kolei w latach 2020 i 2022 kondycja drzew w obydwu krainach znacznie poprawiła się w porównaniu do stanu z 2019 roku.

W dziesięcioleciu 2013-2022 najgorszą kondycją drzew w lasach w porównaniu z innymi krainami charakteryzowały się: Kraina Sudecka w 2013 roku, Kraina Mazowiecko-Podlaska – w latach 2014 i 2020-2022 oraz Kraina Śląska – w latach 2016-2019.

3. OCENA USZKODZEŃ DRZEW NA STAŁYCH POWIERZCHNIACH OBSERWACYJNYCH I RZĘDU MONITORINGU LASU W 2022 R. – PAWEŁ LECH

W 2022 roku ocenę symptomów uszkodzeń i przyczyn ich powstawania wykonano na 2071 SPO I rzędu, łącznie na 41 420 drzewach 41 gatunków: na 25 602 drzewach ośmiu gatunków iglastych (w tym na 62 drzewach 4 gatunków obcych), co stanowiło 61,8% wszystkich ocenianych drzew oraz na 15 818 (38,2%) drzewach 33 gatunków liściastych. Najliczniej reprezentowany był rodzaj sosna, a w nim sosna zwyczajna (53,3% wszystkich drzew), następnie brzoza, głównie brzoza brodawkowata (10,1% drzew), dąb – przede wszystkim rodzime gatunki dębów (8,6% drzew), olsza – głównie olsza czarna (7,1% drzew), buk (4,3%), świerk pospolity (4,2%) oraz jodła (2,7% drzew).

Łącznie na SPO I rzędu stwierdzono 49 998 uszkodzeń, które występowały na 31 828 drzewach (76,8% ocenianych drzew, o około 0,7 punktu procentowego mniej niż w 2021 r.). Uszkodzeń o nasileniu przekraczającym 40% było 3483 (7,0% wszystkich odnotowanych uszkodzeń drzew) o 0,2 punktu procentowego więcej niż w 2021 roku.

Na 17 062 drzewach (41,2% wszystkich ocenionych drzew) stwierdzono występowanie jednego uszkodzenia, na 11 352 (27,4%) – dwóch uszkodzeń, a na 3 404 drzewach (8,2%) – trzech. Nieuszkodzonych było łącznie 9 592 drzew, co stanowiło 23,2% ocenianych drzew (w roku 2021 udział drzew nieuszkodzonych wynosił 22,5%, a w roku 2020 – 21,7%). W ciągu kilku ostatnich lat rejestruje się zatem wzrost udziału drzew nieuszkodzonych. Spośród głównych lasotwórczych gatunków iglastych najwięcej drzew bez uszkodzeń cechowało sosnę zwyczajną (31,2%) i jodłę (29,3%), a znacznie mniej świerka (19,8%). Spośród gatunków liściastych największym udziałem drzew bez uszkodzeń cechował się buk (15,0%), następnie brzoza brodawkowata (13,7%), olsza czarna

(10,0%), a najmniejszym – rodzime dęby (5,3%). Oznacza to, że w 2022 roku, w porównaniu do roku poprzedniego, zmiany udziału drzew nieuszkodzonych były niewielkie.

3.1. Występowanie uszkodzeń drzew wg gatunków, wieku oraz lokalizacji powierzchni badawczych

Występowanie uszkodzeń drzew wg gatunków i grup gatunków

W 2022 r. przeciętna liczba uszkodzeń przypadających na jedno drzewo (gatunki razem) wynosiła 1,21, była taka sama jak w roku 2021 i nieznacznie mniejsza niż w roku 2020. W układzie gatunków i grup gatunków – zawierała się w przedziale od 0,89 (dla domieszkowych gatunków iglastych) do 1,72 (dla dębu) (tab. 3.1). W przypadku wszystkich poddanych ocenie gatunków liściastych, świerka oraz jodły na jedno drzewo przypadało powyżej jednego uszkodzenia, u sosny było to jedno uszkodzenie, natomiast u domieszkowych gatunków iglastych była to wartość mniejsza od jedności. W porównaniu do 2021 r. u czterech badanych gatunków i grup gatunków (sosny, rodzimych dębów, brzozy brodawkowatej i olszy czarnej) nastąpił spadek częstości występowania uszkodzeń, u dwóch (jodły i buka) – wzrost, a u trzech pozostałych – nie odnotowano zmian. Przeprowadzona analiza trendów zmian nasilenia występowania uszkodzeń na drzewach w okresie 2013–2022 (test Mann-Kendall’a) wykazała wzrost nasilenia częstości występowania uszkodzeń u większości wyróżnionych gatunków drzew, jedynie w przypadku jodły test wskazał na tzw. brak trendu (tab. 3.1).

Tabela 3.1. Wskaźnik występowania uszkodzeń na drzewach badanych gatunków w klasach wieku w 2022 r. oraz trend zmian tego wskaźnika w okresie 2013-2022 określony za pomocą testu Mann-Kendall’a.

Gatunki	Liczba uszkodzeń na jednym drzewie w 2022 r. w przedziale wieku (lata)				Średnia liczba uszkodzeń na jednym drzewie w latach 2013-2022										Trend 2013-2022
	21-40	41-60	61-80	>80	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	
Sosna	0,80	0,96	0,96	1,15	1,00	1,01	1,01	0,97	0,89	0,77	0,74	0,71	0,67	0,62	W
Świerk	1,13	1,21	1,30	1,32	1,26	1,26	1,29	1,22	1,13	1,03	1,04	0,99	1,01	0,95	W
Jodła	1,07	0,98	0,90	1,19	1,08	0,97	1,00	1,09	1,01	0,94	1,00	0,97	0,95	0,98	NT
Inne igl.	0,64	0,81	1,13	0,95	0,89	0,89	0,91	0,82	0,80	0,69	0,66	0,62	0,56	0,57	W
Dęby	1,75	1,50	1,64	1,81	1,72	1,77	1,89	1,99	1,69	1,60	1,37	1,30	1,47	1,31	W
Buk	1,71	1,15	1,30	1,47	1,41	1,31	1,44	1,32	1,29	1,13	1,20	1,01	1,04	0,92	W
Brzoza br.	1,19	1,39	1,49	1,64	1,39	1,40	1,46	1,56	1,41	1,31	1,24	1,15	1,13	0,94	W
Olsza cz.	1,51	1,50	1,50	1,60	1,53	1,54	1,49	1,45	1,54	1,47	1,33	1,26	1,17	1,00	W
Inne liśc.	1,48	1,49	1,41	1,47	1,46	1,46	1,56	1,52	1,53	1,43	1,45	1,32	1,22	1,07	W
Razem	1,15	1,15	1,16	1,32	1,21	1,21	1,23	1,21	1,13	1,01	0,97	0,91	0,87	0,78	W

W – wzrost, NT – brak trendu

Występowanie uszkodzeń drzew wg wieku

U sosny, świerka i brzozy wraz z wiekiem następował wzrost średniej liczby uszkodzeń występujących na jednym drzewie. U olszy i domieszkowych gatunków liściastych liczba uszkodzeń występująca na jednym drzewie była podobna we wszystkich wyróżnionych klasach wieku. W przypadku jodły, buka i dębów drzewa najmłodsze (21–40 lat) i najstarsze (powyżej 80 lat) cechowały się wyższym nasileniem występowania uszkodzeń niż drzewa z przedziału wieku 41–80 lat (tab. 3.1).

Występowanie uszkodzeń drzew w układzie krain przyrodniczo-leśnych

W 2022 r. zróżnicowanie średniej liczby uszkodzeń przypadającej na jedno drzewo pomiędzy krainami przyrodniczo-leśnymi, zawierało się w przedziale od 0,89 w Krainie Mazursko-Podlaskiej do 1,50 w Krainie Bałtyckiej. Mniejsza niż przeciętna dla całej Polski (1,21 uszkodzenia/drzewo) liczba uszkodzeń na jednym drzewie wystąpiła w trzech krainach: Mazursko-Podlaskiej, Wielkopolsko-Pomorskiej i Śląskiej, w krainach: Mazowiecko-Podlaskiej i Małopolskiej była taka sama, a w pozostałych trzech krainach była wyższa (tab. 3.2).

Tabela 3.2. Liczba uszkodzeń przypadająca na 1 drzewo danego gatunku w krainach przyrodniczo-leśnych w 2022 r. oraz trend zmian tego wskaźnika w latach 2013 – 2022 określony za pomocą testu Mann-Kendall’a

Kraina przyrodniczo-leśna	Gatunki iglaste				Gatunki liściaste					Średnia w 2022 r.	Średnia w 2021 r.	Trend 2013-2022
	Sosna	Świerk	Jodła	Inne iglaste	Dąb	Buk	Brzoza brod.	Olsza czarna	Inne liściaste			
Bałtycka	1,16	1,41	1,00	1,12	1,98	1,77	1,65	2,03	1,83	1,50	1,43	W
Mazursko-Podlaska.	0,69	0,72		0,28	1,42	1,07	1,12	1,10	1,09	0,89	0,95	NT
Wielkopolsko-Pomorska	0,97	1,52		0,95	1,87	1,08	1,29	1,72	1,44	1,11	1,15	W
Mazowiecko-Podlaska	1,11	0,92		0,90	1,58	0,00	1,25	1,43	1,37	1,21	1,21	W
Śląska	0,86	1,12		0,70	1,67	0,86	1,53	1,43	1,47	1,17	1,16	W
Małopolska	1,06	1,30	1,02	0,84	1,67	0,93	1,40	1,53	1,42	1,21	1,17	W
Sudecka	0,81	1,35	1,71	0,78	1,40	0,53	1,28	1,45	1,14	1,24	1,45	W
Karpacka	1,06	1,58	1,09	0,91	1,74	1,49	1,78	1,91	1,64	1,39	1,35	W
Razem	1,00	1,26	1,08	0,89	1,72	1,41	1,39	1,53	1,46	1,21	1,21	W

Wykonana za pomocą testu Mann-Kendall’a analiza trendów dla dziesięciolecia 2013–2022 wykazała wzrost nasilenia występowania uszkodzeń w 7 krainach oraz brak trendu w jednej (w Krainie Mazursko-Podlaskiej) (tab. 3.2).

Występowanie uszkodzeń drzew w układzie rdLP

Średnia liczba uszkodzeń przypadająca na jedno drzewo w rdLP zawierała się w przedziale od 0,95 (w RDPL w Białymstoku) do 1,67 (w RDLP w Szczecinie). Mniejsza niż przeciętna dla całej Polski (1,21 uszkodzenia/drzewo) liczba uszkodzeń na jednym drzewie wystąpiła w dziewięciu rdLP (w Białymstoku, Katowicach, Lublinie, Olsztynie, Pile, Poznaniu, Toruniu, Zielonej Górze i Gdańsku), w Łodzi i we Wrocławiu była taka sama, a w pozostałych sześciu rdLP oraz w parkach narodowych była wyższa (tab. 3.3).

Tabela 3.3. Liczba uszkodzeń przypadająca na 1 drzewo danego gatunku w regionalnych dyrekcjach LP oraz w parkach narodowych w 2022 r. oraz trend zmian tego wskaźnika w latach 2013 – 2022 określony za pomocą testu Mann-Kendall’a

RDLP	Gatunki iglaste				Gatunki liściaste					Średnia w 2022 r.	Średnia w 2021 r.	Trend 2013-2022
	Sosna	Świerk	Jodła	Inne iglaste	Dąb	Buk	Brzoza brod.	Olsza czarna	Inne liściaste			
Białystok	0,84	0,75		0,67	1,41		1,13	1,09	1,04	0,95	1,03	NT
Katowice	0,94	1,65	0,74	0,76	1,45	1,14	1,31	1,56	1,20	1,13	1,11	W
Kraków	1,38	1,56	0,95	1,48	1,71	1,44	1,81	1,71	1,56	1,41	1,44	W
Krosno	0,93	1,25	1,37	0,84	1,77	1,47	1,84	1,78	1,73	1,38	1,27	NT
Lublin	0,99	1,26	1,05	0,74	1,66	0,58	1,26	1,36	1,31	1,18	1,11	W
Łódź	1,15	1,00	1,00	0,66	1,89	1,17	1,41	1,69	1,05	1,21	1,15	NT
Olsztyn	0,80	0,81		0,26	1,39	1,29	1,14	1,34	1,36	1,01	1,06	W
Piła	0,91	1,55		0,40	1,54	0,96	1,23	1,64	1,39	0,99	1,01	W
Poznań	0,86	1,06		0,58	1,74	0,64	1,27	1,62	1,26	1,09	1,17	W
Szczecin	1,40	1,86		1,30	2,48	1,70	1,99	2,39	1,94	1,67	1,63	W
Szczecinek	1,04	1,65	1,00	1,35	2,54	1,83	1,82	2,18	1,92	1,48	1,33	W
Toruń	0,88	2,00		0,43	2,01	0,86	1,19	2,06	1,48	1,05	1,05	W
Wrocław	0,84	1,32	1,71	0,79	1,48	0,68	1,57	1,31	1,41	1,21	1,32	W
Zielona Góra	0,96	1,22		2,00	2,36	0,40	1,84	1,56	1,63	1,18	1,25	W
Gdańsk	0,99	1,39		0,86	1,35	1,62	1,36	1,48	1,53	1,14	1,14	PW
Radom	1,12	1,27	1,09	0,67	1,41	0,88	1,28	1,44	1,66	1,22	1,19	W
Warszawa	1,19			1,63	1,56		1,37	1,44	1,50	1,29	1,31	W
Parki Narodowe	1,41	1,49	1,47	1,06	2,50	1,45	1,47	1,10	1,56	1,43	1,48	W

Wykonana za pomocą testu Mann-Kendall’a analiza trendów dla dziesięciolecia 2013–2022 wykazała: wzrost nasilenia występowania uszkodzeń w trzynastu rdLP (Katowice, Kraków, Lublin, Olsztyn, Piła, Poznań, Szczecin, Szczecinek, Toruń, Wrocław, Zielona Góra, Radom i Warszawa) oraz w parkach narodowych; wzrost prawdopodobny, ale statystycznie nieistotny – w RDLP w Gdańsku; brak trendu – w trzech rdLP (w Białymstoku, Krośnie i Łodzi).

W 2022 roku odnotowano 49 998 uszkodzeń drzew, które występowały na 76,8% drzew poddanych obserwacji (o około 0,7 punktu procentowego mniej niż w 2021 r.).

Przeciętna liczba uszkodzeń przypadających na jedno drzewo (gatunki razem) wynosiła 1,21, i była taka sama jak w roku 2021.

Gatunki liściaste były bardziej uszkodzone niż gatunki iglaste. Wśród gatunków liściastych najbardziej uszkodzone były dęby (1,72 uszkodzenia/drzewo), a wśród gatunków iglastych – świerk (1,26 uszkodzenia/drzewo).

3.2. Charakterystyka uszkodzeń pod względem lokalizacji w obrębie drzewa, występujących symptomów i głównych kategorii czynników sprawczych

Na charakter występujących zagrożeń wskazuje zestawienie najczęściej stwierdzanych symptomów i lokalizacji uszkodzeń zarejestrowanych dla danego drzewa oraz związanych z nimi czynników sprawczych w układzie gatunków drzew.

Lokalizacja uszkodzeń w obrębie drzewa

Uwzględniając podział na części morfologiczne drzew (strzała razem z szyją korzeniową, gałęzie wraz z pędami i pączkami oraz igły bądź liście), najczęściej wskazywanym miejscem położenia symptomów zarejestrowanych w 2022 r. była strzała (48,4% wskazanych lokalizacji uszkodzeń), w tym przede wszystkim pień pomiędzy szyją korzeniową i koroną (25,8%), oraz liście bądź igły (32,9%). Udział gałęzi, pędów i pączków jako miejsc występowania uszkodzeń był znacząco mniejszy (18,7% wskazanych lokalizacji uszkodzeń) (tab. 3.4).

Tabela 3.4. Udział procentowy wskazanych lokalizacji występowania uszkodzeń na drzewach wyróżnionych gatunków i grup gatunków w 2022 roku

Lokalizacja uszkodzeń na drzewie	Sosna	Świerk	Jodła	Inne iglaste	Dęby	Buk	Brzoza brod.	Olsza czarna	Inne liściaste	Gatunki łącznie
Liście bądź igły	17,5	25,9	15,5	11,6	56,4	35,4	48,0	59,0	40,3	32,9
Gałęzie, pędy, pączki	21,5	18,7	38,9	24,1	22,6	14,8	12,9	7,9	14,0	18,7
Razem strzała	61,0	55,4	45,6	64,3	21,0	49,8	39,1	33,1	45,7	48,4
Suma udziałów	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Łączna liczba uszkodzeń	22150	2207	1225	568	6115	2484	5822	4506	4921	49998
Udział gatunku w uszkodzeniach łącznie	44,3	4,4	2,5	1,1	12,2	5,0	11,7	9,0	9,8	100,0

Wśród gatunków iglastych oraz u buka i domieszkowych gatunków liściastych najczęściej wskazywaną lokalizacją uszkodzeń była ‘strzała’ (od 49,8% do 64,3% wskazań), zaś u dębów, brzozy i olszy czarnej – ‘liście’ (od 48,0% do 59,0%). U sosny, jodły

i domieszkowych gatunków iglastych drugą pod względem częstości występowania lokalizacją uszkodzenia były ‘gałęzie, pędy i pączki’ (odpowiednio: 21,5%, 38,9% i 24,1% wskazań), trzecią – ‘igły’ (17,5%, 15,5% i 11,6%). U świerka, buka i domieszkowych gatunków liściastych częściej wskazywaną lokalizacją były ‘liście bądź igły’ (odpowiednio: 25,9%, 35,4% i 40,3%), rzadziej – ‘gałęzie, pędy, pączki’ (18,7%, 14,8% i 14,0%). ‘Strzała’ była drugim, po ‘liściach’, pod względem udziału miejscem występowania uszkodzeń u brzozy brodawkowatej i olszy czarnej (39,1% i 33,1% wskazań), zaś trzecim, po ‘liściach’ i ‘gałęziach, pędach, pączkach’ – u dębów (21,0% wskazań) (tab. 3.4).

Symptomy uszkodzeń

Tabela 3.5. Udział wyróżnionych typów symptomów uszkodzenia w łącznej liczbie uszkodzeń drzew poszczególnych gatunków w 2022 roku

Kod	Symptomy uszkodzenia	Sosna	Świerk	Jodła	Inne iglaste	Dęby	Buk	Brzoza brod.	Olsza czarna	Inne liściaste	Gatunki łącznie
1	Ubytek liści/igieł	14,0	20,4	8,5	10,0	35,6	20,3	35,0	56,3	32,7	25,2
2-5	Przebarwienia liści/igieł	3,0	4,3	6,4	1,4	14,8	3,5	10,6	0,2	3,9	5,3
6-7	Nienaturalne rozmiary liści/igieł	0,0	0,8	0,4	0,2	0,1	0,1	0,6	0,2	0,1	0,2
8	Deformacje	28,4	12,4	35,0	22,2	8,8	27,5	14,9	12,1	20,4	21,5
9	Inne symptomy	3,7	0,8	4,9	1,2	0,4	0,7	0,8	0,8	1,4	2,2
10	Oznaki wyst. owadów	0,5	1,0	2,6	1,6	0,4	1,0	0,5	0,1	0,4	0,5
11	Oznaki wyst. grzybów	0,5	0,1	1,0	0,5	5,1	0,6	0,2	0,1	0,8	1,0
12	Inne oznaki	1,1	1,2	2,2	0,0	0,9	4,1	1,0	2,0	1,7	1,4
13	Złamane gałęzie	4,0	3,4	3,5	3,0	1,0	2,1	2,1	0,4	1,3	2,7
14	Martwe/obumierające gałęzie	8,9	6,1	6,9	8,8	14,3	5,8	4,5	4,1	8,6	8,3
15	Zrzucone gałęzie, pędy, pączki	5,8	7,4	6,3	11,3	6,8	6,2	5,7	3,5	3,0	5,6
16	Nekrozy	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3	0,7	0,2	0,1	0,4	0,3
17	Rany	11,8	18,6	16,1	12,1	4,8	15,7	5,1	3,6	7,6	9,6
18	Wycieki żywicy	5,1	18,5	3,0	10,4						3,3
19	Wycieki na drzewach liściastych					0,5	0,1	0,7	0,2	0,2	0,2
20	Zgnilizna	1,9	3,9	2,2	2,1	2,3	7,1	3,6	7,3	7,2	3,5
21	Pochylone	11,0	1,0	0,5	14,8	3,8	4,4	14,6	9,0	10,2	9,3
22	Przewrócone	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Suma udziałów		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Łączna liczba uszkodzeń		22150	2207	1225	568	6115	2484	5822	4506	4921	49998
Udział gatunku w uszkodzeniach łącznie		44,3	4,4	2,5	1,1	12,2	5,0	11,7	9,0	9,8	100,0

W 2022 r. wśród symptomów uszkodzeń największym udziałem (25,2% uszkodzeń) wyróżniał się ‘ubytok igieł/liści’, który dominował u świerka i wszystkich, z wyjątkiem buka, gatunków liściastych (tab. 3.5). Znaczący był również udział ‘deformacji’ (21,5% uszkodzeń), które przeważały u sosny, jodły, domieszkowych gatunków iglastych i buka.

Mniejszymi udziałami cechowały się ‘rany’ (9,6%), których udział był stosunkowo wysoki w przypadku świerka, jodły i buka, następnie ‘drzewa pochylone’ (9,3%), ‘martwe, obumierające gałęzie’ (8,3%), ‘zrzucone gałęzie pędy i pączki’ (5,6%) oraz ‘przebarwienia liści/igieł’ (5,3%). Udział pozostałych symptomów był wyraźnie niższy. Spośród nich warto wspomnieć o ‘wyciekach żywicy’, które dość często występowały u świerka.

Czynniki sprawcze

Wyróżnia się dziewięć kategorii czynników sprawczych powodujących uszkodzenia drzew: kręgowce, owady, grzyby, czynniki abiotyczne, bezpośrednie działanie człowieka, pożary, zanieczyszczenia powietrza, konkurencja i inne czynniki, badane niezidentyfikowane.

W 2022 roku spośród wyróżnionych kategorii czynników sprawczych najwyższy udział, poza kategorią ‘badane niezidentyfikowane’ (32,0% wszystkich przypadków), miały ‘konkurencja i inne czynniki’ oraz ‘owady’ (odpowiednio: 26,5% i 18,6% przypadków uszkodzeń) (tab. 3.6). Znacznie rzadziej wskazywano na ‘czynniki abiotyczne’ (8,8%), ‘grzyby’ (6,8%), ‘bezpośrednie działanie człowieka’ (5,8%) oraz ‘kręgowce’ (1,4%).

Tabela 3.6. Udział wyróżnionych kategorii czynników sprawczych uszkodzeń w łącznej liczbie uszkodzeń drzew poszczególnych gatunków w 2022 r.

Kod	Czynniki sprawcze	Sosna	Świerk	Jodła	Inne iglaste	Dęby	Buk	Brzoza brod.	Olsza czarna	Inne liściaste	Gatunki łącznie
100	Kręgowce	1,2	9,3	2,9	0,4	1,2	1,1	0,3	0,7	0,8	1,4
200	Owady	3,9	8,6	3,0	6,0	33,5	15,5	33,7	53,1	28,5	18,6
300	Grzyby	4,8	2,7	16,0	4,4	16,7	8,8	3,3	5,3	8,2	6,8
400	Czynniki abiotyczne	8,5	5,4	4,2	10,6	4,1	18,0	12,1	7,6	10,8	8,8
500	Bezpośr. działanie człowieka	8,4	7,8	7,7	9,5	2,1	8,5	2,8	1,3	3,5	5,8
600	Pożary	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
700	Zanieczyszczenia powietrza	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
800	Konkurencja i inne czynniki	37,4	18,9	23,4	26,2	13,4	16,1	21,4	14,3	19,8	26,5
999	Badane niezidentyfikowane	35,7	47,2	42,8	43,0	28,9	32,1	26,4	17,7	28,4	32,0
Suma udziałów		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Łączna liczba uszkodzeń		22150	2207	1225	568	6115	2484	5822	4506	4921	49998
Udział gatunku w uszkodzeniach łącznie		44,3	4,4	2,5	1,1	12,2	5,0	11,7	9,0	9,8	100,0

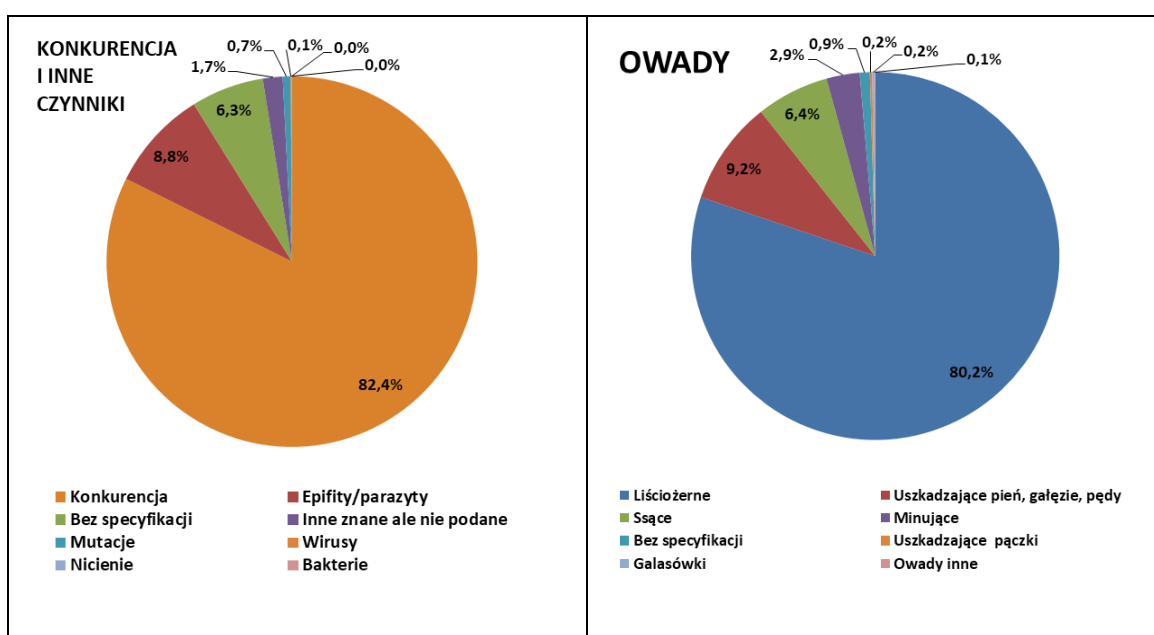
Konkurencja i inne czynniki

‘Konkurencja i inne czynniki’ była, poza ‘badane niezidentyfikowane’, najczęściej wskazywaną grupą czynników sprawczych uszkodzeń drzew na SPO I rz. w 2022 r. – stwierdzono 13 225 uszkodzeń tej kategorii, co stanowiło 26,5% wszystkich uszkodzeń (tab.

3.6). Była to bezwzględnie dominująca grupa czynników sprawczych u sosny (37,4% wszystkich uszkodzeń tego gatunku). Dominowała również u świerka, jodły oraz domieszkowych gatunków iglastych, przy pominięciu ‘badane niezidentyfikowane’ (odpowiednio: 18,9%, 23,4% i 26,2% uszkodzeń).

W tej kategorii czynników sprawczych wyróżnia się siedem podkategorii: ‘konkurencja’, ‘epifity/parazyty’, ‘mutacje’, ‘wirusy’, ‘niciansie’, ‘inne znane, ale nie podane’, ‘bez specyfikacji’.

‘Konkurencja’ charakteryzowała się największym udziałem (82,4%) wśród omawianej kategorii czynników sprawczych i dominowała w przypadku wszystkich wyróżnionych gatunków i grup gatunków drzew. Udziałem powyżej 1% cechowały się ‘epifity/parazyty’ (8,8%) i ‘inne znane, ale niepodane’ (1,7%). Względnie wysoki był również udział uszkodzeń, dla których wskazano ogólną nazwę kategorii, bez dalszej specyfikacji (6,3%).

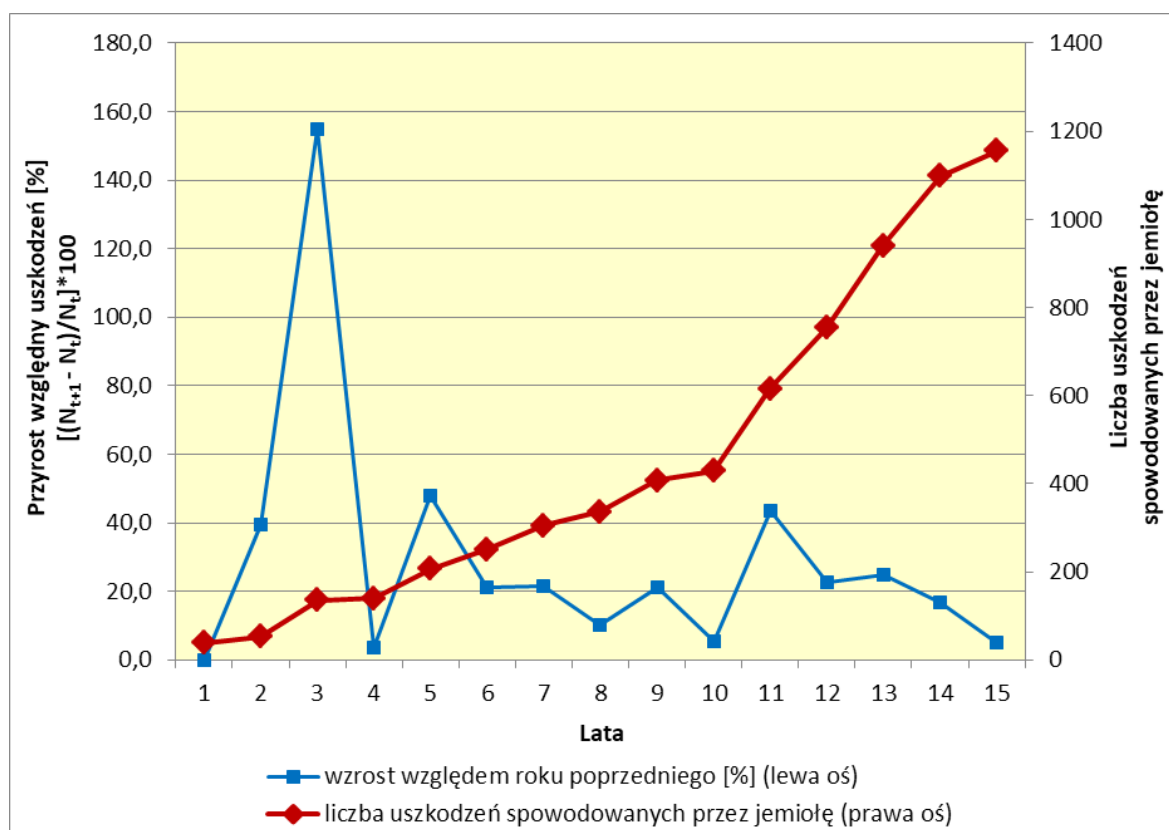


Rycina 3.1. Udział procentowy uszkodzeń drzew spowodowanych przez ‘konkurencję i inne czynniki’ oraz ‘owady’ na SPO I rzędu w 2022 r.

Występowanie uszkodzeń spowodowanych przez jemiolę

W kategorii czynników sprawczych ‘konkurencja i inne czynniki’ na szczególną uwagę zasługuje podkategoria ‘epifity/parazyty’, czyli jemiola.

W ostatnich latach obserwuje się nasilenie występowania jemioli na terenach leśnych. Dlatego też, podobnie jak miało to miejsce w latach poprzednich, przeanalizowano najważniejsze aspekty tego zjawiska, wykorzystując do tego celu wyniki obserwacji monitoringowych i oceny występowania uszkodzeń drzew na SPO I rzędu z lat 2008–2022.



Rycina 3.2. Wzrost liczby uszkodzeń spowodowanych przez jemiolę wyrażony w liczbach bezwzględnych oraz przyrost tych uszkodzeń względem roku poprzedniego [%] w latach 2008–2022.

W 2022 r. udział epifitów/parazytów wśród wyróżnianych czynników sprawczych uszkodzeń był relatywnie niewielki. Była to przyczyna 1 155 uszkodzeń (2,3% wszystkich zarejestrowanych uszkodzeń drzew). Również relatywnie niewielka była przeciętna liczba uszkodzeń tej kategorii przypadająca na jedno drzewo. Dlatego na rycinie (ryc. 4.2) posłużono się wartościami zmodyfikowanymi, pomnożonymi przez 100 (jeżeli wartość wskaźnika równa się 1, to statystycznie jedno uszkodzenie spowodowane przez epifity/parazyty przypadało na 100 ocenionych drzew).

W 2022 r. jemiola występowała łącznie, podobnie jak w kilku poprzednich latach, na 11 gatunkach drzew. Były to: sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.), jodła (*Abies alba* Mill.), brzoza brodawkowata (*Betula pendula* Roth), brzoza omszona (*Betula pubescens* Ehrh.), klon zwyczajny (*Acer platanoides* L.), klon jawor (*Acer pseudoplatanus* L.), wierzba biała (*Salix alba* L.), robinia akacjowa (*Robinia pseudoacacia* L.), topola biała (*Populus alba* L.), topola osika (*Populus tremula* L.) oraz lipa drobnolistna (*Tilia cordata* Mill.). Najczęściej jemiola występowała na jodle i sośnie zwyczajnej (8,1 i 4,2 uszkodzeń/100 drzew), rzadziej – na brzozach oraz domieszkowych gatunkach liściastych (1,5 i 2,0 uszkodzeń/100 drzew). We wszystkich wymienionych powyżej gatunkach i grupach gatunków drzew w 2022 roku odnotowano wzrost nasilenia uszkodzeń powodowanych przez jemiolę w porównaniu do

roku 2021. Gatunkami wolnymi od uszkodzeń spowodowanych przez jemiolę był świerk, domieszkowe gatunki iglaste, buk, rodzime dęby i olsza czarna.

W okresie 2008–2022 występowanie jemioli wykazywało wyraźną tendencję wzrostową. Była ona statystycznie istotna dla wszystkich gatunków i grup gatunków drzew, na których ten pasożyt występował. W 2022 r., w porównaniu z 2021 r., udział uszkodzeń spowodowanych przez jemiolę wzrósł o 5,1 punktu procentowego. Wzrost ten był znacznie mniejszy niż w latach poprzednich (ryc. 5.1), tym nie mniej stwierdzić należy, że jemiola jest w dalszym ciągu przyczyną uszkodzeń o największej dynamice wzrostu spośród wszystkich wyróżnionych. Zaznaczyć tu również należy, że wykonywanie oceny stanu zdrowotnego drzew w okresie największego rozwoju aparatu asymilacyjnego drzew i podszytu utrudnia prawidłowe wykonanie oceny występowania patogenu i prowadzi do uzyskiwanych wskaźników zaniżonych względem rzeczywistych.

Owady

W 2022 roku na SPO I rzędu stwierdzono 9 324 przypadków uszkodzeń spowodowanych przez owady, co stanowiło przyczynę 18,6% wszystkich uszkodzeń (tab. 3.6). Na drzewach gatunków liściastych stwierdzono 8192 uszkodzenia (87,9% uszkodzeń od owadów), a na drzewach gatunków iglastych – 1132 uszkodzenia (12,1% uszkodzeń od owadów). Owady były najczęściej wskazywanym czynnikiem sprawczym uszkodzeń drzew gatunków liściastych, odpowiadały za 53,1% wszystkich uszkodzeń olszy czarnej, 33,7% uszkodzeń brzozy brodawkowatej, 33,5% uszkodzeń dębów, 28,5% uszkodzeń domieszkowych gatunków liściastych oraz 15,5% uszkodzeń buków. W przypadku gatunków iglastych owady nie stanowiły tak dużego zagrożenia, odpowiadały za 8,6% wszystkich uszkodzeń świerka, 6,0% uszkodzeń domieszkowych gatunków iglastych, 3,9% uszkodzeń sosny i 3,0% uszkodzeń jodły.

W kategorii czynników sprawczych ‘owady’ wyróżnia się osiem podkategorii: ‘owady liściożerne’ (‘foliofagi’), ‘owady uszkadzające pień, gałęzie, pędy’ (‘kambiofagi’), ‘owady uszkadzające pączki’, ‘owady ssące’, ‘owady minujące’, ‘galasówki’, ‘owady inne’, ‘bez specyfikacji’ (ryc. 3.1).

Najliczniejszymi wśród owadów sprawcami szkód, podobnie jak w latach poprzednich, były ‘foliofagi’ (80,2% uszkodzeń od owadów). Udział powyżej 2% cechował ponadto ‘kambiofagi’ (9,2%), ‘owady ssące’ (6,4%) oraz ‘owady minujące’ (2,9%) (ryc. 3.1). Udział grup owadów powodujących uszkodzenia w 2022 roku był podobny do tego z lat poprzednich.

Wśród gatunków iglastych: u sosny, świerka oraz gatunków domieszkowych dominującymi grupami owadów powodujących uszkodzenia były kambiofagi, natomiast u jodły – owady ssące. U wszystkich gatunków liściastych dominującą grupą owadów powodującą uszkodzenia były foliofagi. Udział innych grup owadów był wielokrotnie mniejszy.

Pozostałe kategorie czynników sprawczych

Podczas oceny uszkodzenia drzew na powierzchniach monitoringowych znacznie rzadziej niż na ‘konkurencję i inne czynniki’ (26,5%) oraz ‘owady’ (18,6%), wskazywano na ‘czynniki abiotyczne’ (8,8%), ‘grzyby’ (6,8%), ‘bezpośrednie działanie człowieka’ (5,8%) oraz ‘kręgowce’ (1,4%). Na podkreślenie zasługuje fakt całkowitego braku uszkodzeń spowodowanych przez ‘zanieczyszczenia powietrza’ oraz bardzo małej liczby uszkodzeń, których przyczyną były ‘pożary’.

W przypadku dębów i jodły dość częstą przyczyną uszkodzeń drzew były ‘grzyby’ (odpowiednio: 16,7% i 16,0% wszystkich kategorii czynników sprawczych). ‘Czynniki abiotyczne’ najczęściej stanowiły przyczynę uszkodzeń buka (18,0%), ponadto pojawiały się stosunkowo licznie jako przyczyna uszkodzeń brzozy, domieszkowych gatunków liściastych i domieszkowych gatunków iglastych (odpowiednio: 12,1%, 10,8%, 10,6%).

Badane niezidentyfikowane czynniki sprawcze

Tabela 3.7. Trendy zmian identyfikowania czynników sprawczych (udział niezidentyfikowanych) w okresie 2010-2022.

Rok obserwacji	Sosna	Świerk	Jodła	Inne iglaste	Dęby	Buk	Brzoza brod.	Olsza czarna	Inne liściaste	Gatunki łącznie
2022	35,7	47,2	42,8	43,0	28,9	32,1	26,4	17,7	28,4	32,0
2021	38,4	47,2	35,0	47,1	28,8	39,2	27,7	18,5	30,2	33,9
2020	39,4	44,2	38,6	48,1	28,9	34,4	25,4	17,6	31,1	33,9
2019	39,9	39,2	35,6	47,3	26,5	30,9	22,0	16,4	29,8	32,5
2018	36,2	31,9	32,5	40,8	24,8	19,1	21,7	14,3	25,1	28,7
2017	37,3	31,2	31,4	43,1	22,7	20,2	21,1	14,9	23,7	28,6
2016	38,6	32,1	32,8	41,2	27,4	22,2	25,6	17,5	25,6	31,1
2015	39,1	32,7	30,2	41,8	28,2	23,4	26,8	18,3	27,1	32,0
2014	41,7	36,8	31,4	45,9	28,8	28,4	29,0	23,1	27,9	34,5
2013	42,7	36,9	30,2	44,0	35,1	23,5	32,3	19,9	26,6	35,7
2012	42,3	43,1	39,6	46,5	33,4	29,1	37,6	16,8	28,6	36,8
2011	46,7	54,4	45,9	60,4	30,9	27,7	29,4	14,0	30,8	38,4
2010	46,9	57,2	34,4	44,7	37,3	36,8	43,4	13,3	33,4	40,4
Trend wg testu Mann-Kendall'a	SP	N	N	N	SP	N	SP	N	N	SP

SP – spadek; N – brak trendu

W 2022 roku odsetek drzew, dla których pomimo wykonanej oceny nie udało się określić czynnika sprawczego, wynosił 32,0% i był o 1,9 punktu procentowego mniejszy niż w roku 2021. Analiza trendów w okresie 2010–2022 wykazała poprawę identyfikowalności przyczyn uszkodzeń dla trzech gatunków drzew (sosny, dębu i brzozy) oraz wszystkich drzew łącznie i brak statystycznie istotnego trendu dla sześciu gatunków/grup gatunków drzew – świerka, jodły, domieszkowych gatunków iglastych, buka, olszy i domieszkowych gatunków liściastych (tab. 3.7).

Najczęściej uszkodzaną częścią drzewa u gatunków iglastych, buka oraz domieszkowych gatunków liściastych była ‘strzała’, zaś pozostałych gatunków liściastych – ‘liście’.

Najczęściej występującym symptomem uszkodzenia drzew był ‘ubytek liści/igieł’ (dominował u wszystkich, poza bukiem, monitorowanych gatunków liściastych oraz u świerka), częstym – ‘deformacje’ (dominowały u sosny, jodły, domieszkowych gatunków iglastych i buka).

Wśród zidentyfikowanych czynników sprawczych uszkodzenia największym udziałem charakteryzowały się kategorie: ‘konkurencja i inne czynniki’ oraz ‘owady’ (odpowiednio: 26,5% i 18,6% przypadków uszkodzeń).

‘Konkurencja i inne czynniki’ była najczęściej wskazywanym czynnikiem sprawczym wśród gatunków iglastych. ‘Owady’, to przede wszystkim owady liściożerne (foliofagi), uszkadzające w największym stopniu gatunki liściaste, w przypadku sosny, świerka i domieszkowych gatunków iglastych przeważały owady uszkadzające pień, gałęzie i pędy (kambiofagi), zaś u jodły – owady ssące.

Występowanie uszkodzeń powodowanych przez jemiołę zwiększało się w ciągu kolejnych lat badań. W 2022 r. porażonych było łącznie 11 gatunków drzew, najsilniej jodła i sosna. Gatunkami wolnymi od uszkodzeń spowodowanych przez jemiołę był świerk, domieszkowe gatunki iglaste, buk, rodzime dęby i olsza czarna.

4. WARUNKI WODNE GLEB NA TERENACH LEŚNYCH POLSKI W 2022 R.

I ICH WPŁYW NA STAN ZDROWOTNY LASÓW – ANDRZEJ BOCZOŃ,

ROBERT HILDEBRAND

W ostatnich latach obserwujemy występowanie susz glebowych na terenach leśnych obejmujące duże obszary Polski. Zmiany klimatu i ich wpływ na drzewostany powodują konieczność wyznaczania zasięgu, częstotliwości i nasilenia susz zarówno w skali globalnej jak i w krajowej. Takie działania mogą stanowić podstawę do opracowania strategii łagodzenia skutków suszy (Wang i inni, 2014). W południowej Europie długość i intensywność letnich susz podwoiły się w ciągu ostatnich dziesięcioleci powodując, że susze należą do głównych wyzwań, przed którymi stanie leśnictwo w najbliższej perspektywie średnioterminowej (Albert i inni, 2015).

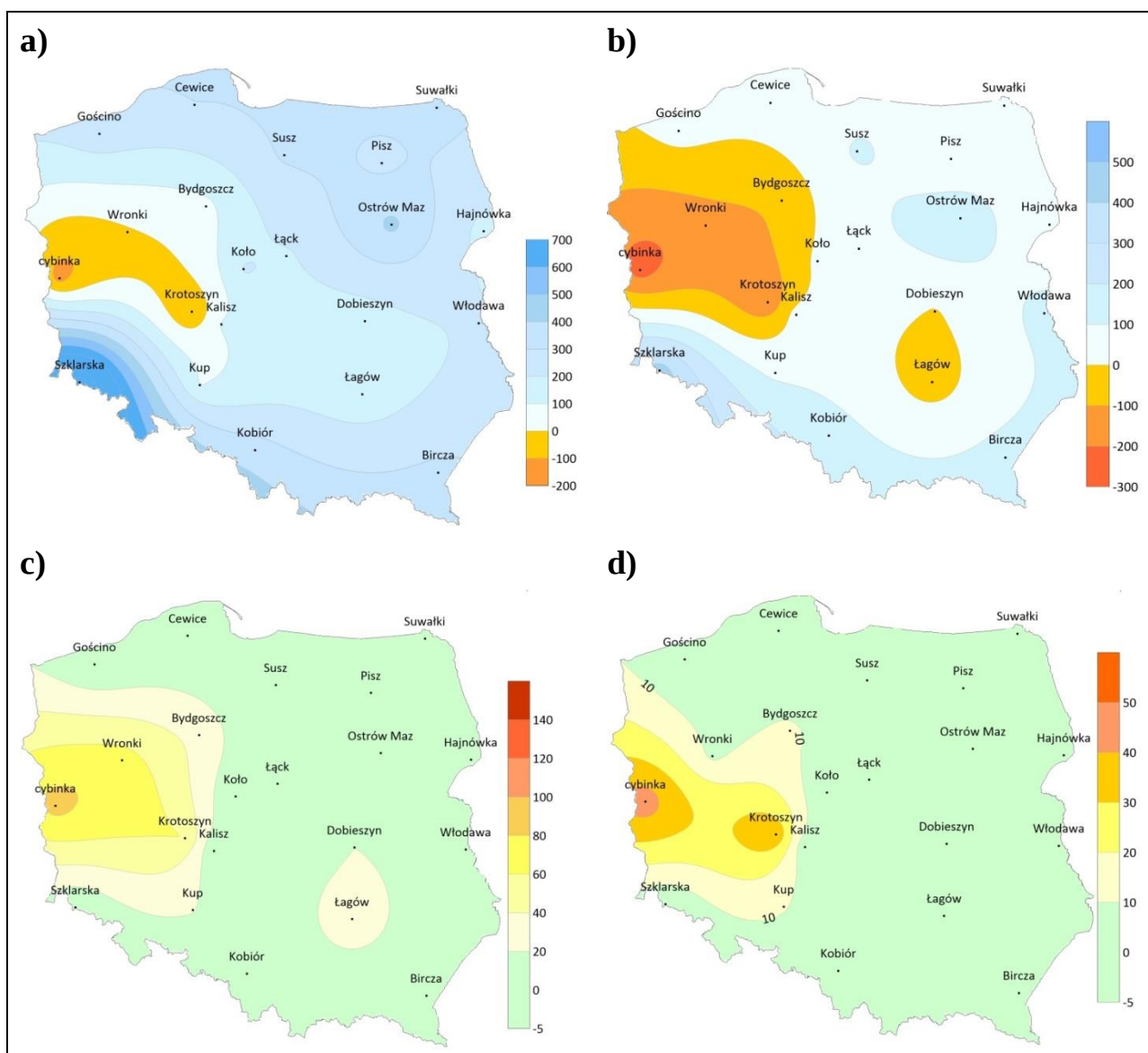
Ostatnio intensywne susze wystąpiły na terenie Europy w latach 2015 i 2018. Przed 2018 r. za suszę tysiąclecia uznawano warunki panujące w 2003 r. Susza ta była sklasyfikowana jako najcięższe wydarzenie w Europie w ciągu ostatnich 500 lat. Badania potwierdzają obecnie, że susza w 2018 roku była klimatycznie bardziej ekstremalna i miała większy wpływ na ekosystemy leśne niż susza w 2003 roku (Schuldt i inni, 2020). Susze w latach 2018-2019 spowodowały zniszczenie lub obumarcie drzewostanów iglastych i liściastych na dużych obszarach Europy (Braun et al. 2020, Schuldt i inni, 2020). Uważa się nawet, że susze w latach 2018-2020 w Europie Środkowej, były prawdopodobnie najgorsze od 2000 lat (Büntgen i inni, 2021).

Wyznaczanie suszy glebowej w skali kraju oparto na określeniu dostępności wody glebowej dla roślin w referencyjnym ekosystemie leśnym, za który uznano najliczniej reprezentowany w lasach Polski średniowiekowy bór sosnowy rosnący na słabych glebach piaszczystych – rdzawych bielcowych. Obliczenia przeprowadzono na podstawie pomiarów na stacjach meteorologicznych Instytutu Badawczego Leśnictwa zlokalizowanych w pięciu nadleśnictwach i PGL Lasy Państwowe zlokalizowanych w szesnastu nadleśnictwach. Opad docierający do gleby w drzewostanie został zmniejszony o intercepcję drzewostanów, którą obliczono, stosując model Liu (1997, 2001). Pojemność wodną koron określono metodą użytą w modelu Kondo (2001) (Smax wg Komatsu i in. 2008). Liczbę dni z deficytem wody glebowej przedstawiono w ujęciu lat kalendarzowych (LDR) i dla okresu kwiecień–lipiec (LDL), w którym następuje największy przyrost drzew.

Określono **klimatyczny bilans wodny (KBW)**, który jest różnicą przychodu wody z opadami i rozchodu wody w procesie ewapotranspiracji (BP-EVT). Wskaźnik został obliczony na podstawie ewapotranspiracji dobowej wzorem Penmana-Monteitha. Obliczono ten wskaźnik dla półrocza letniego (KBWL) i dla całego roku (KBWR).

Wyznaczenie izolinii zasięgu suszy wykonano w programie SURFER 13, z wykorzystaniem warstwy granic Polski udostępnianej przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej:
(<http://www.codgik.gov.pl/index.php/darmowe-dane.html>).

Wpływ suszy na stan drzewostanów określono posługując się różnicą defoliacji poszczególnych drzew między latami 2022 i 2021 na powierzchniach monitoringu lasu, w strefach wystąpienia suszy i zróżnicowania klimatycznego bilansu wodnego.

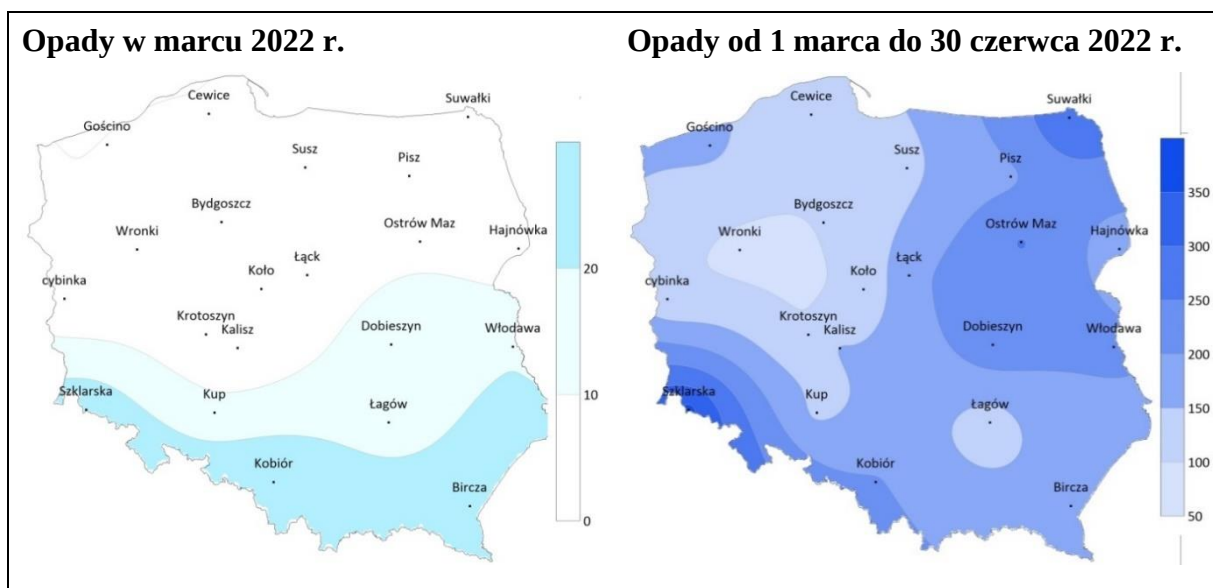


Rycina 4.1. Warunki klimatyczno-wodne w 2022 r.: a) roczny klimatyczny bilans wodny (KBWR), b) klimatyczny bilans wodny półrocza letniego (KBWL), c) liczba dni ograniczonej dostępności wody dla roślinności w roku, d) liczba dni ograniczonej dostępności wody dla roślin w miesiącach kwiecień – lipiec.

Zagrożenie lasów suszą w 2022 r.

W warunkach klimatu umiarkowanego można wyróżnić dwa wyraźne okresy zasilania i odpływu wody z gleby. W półroczu chłodnym mamy do czynienia z dopływem i retencjonowaniem wody w glebie, która jest wykorzystywana przez roślinność w półroczu ciepłym, kiedy to odpływ wody przeważa nad przychodem, co sprzyja powstawaniu okresowych niedoborów wody glebowej. Ocieplenie się klimatu powoduje coraz częściej zaburzenie tej równowagi. Ciepłe zimy, brak pokrywy śnieżnej sprawiają, że już w okresie przedwiośnia coraz częściej występują niedobory wilgoci w glebie. To zwiększa ryzyko wystąpienia suszy długotrwałej w kolejnych miesiącach.

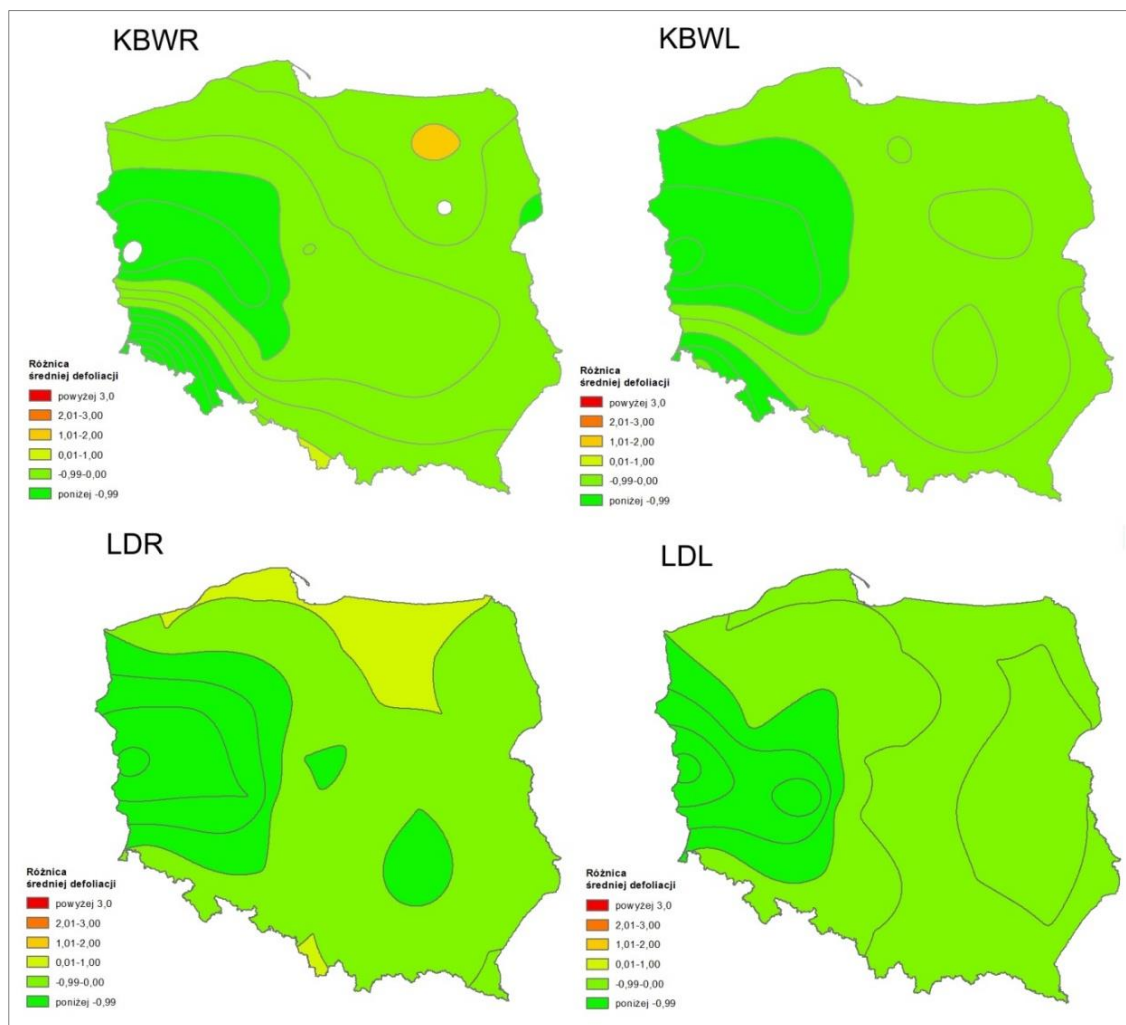
Po bardzo dobrym pod względem warunków wilgotnościowych 2021 roku, w roku 2022 doszło ponownie do wystąpienia susz na znacznych terenach kraju. Klimatyczny bilans wodny wykazał: w całym roku (KBWR) – wystąpienie deficytu wody przekraczającego 100 mm, natomiast w półroczu letnim (KBWL) – wystąpienie niedoboru wilgoci przekraczającego 250 mm (ryc. 4.1a i 4.1b). Podobny efekt pokazują wskaźniki liczby dni z niedoborem wody w glebie zarówno w ujęciu rocznym (LDR) jak i w okresie największego wzrostu drzew (LDL) (ryc. 4.1c i 4.1d). LDR wskazuje, że ograniczenie dostępność wody glebowej dla roślinności mogło występować przez ponad 80 dni, natomiast w okresie najważniejszym dla wzrostu drzewostanów (kwiecień-lipiec) liczba dni suszy glebowej (LDL) przekraczała 40 dni. Zastosowane wskaźniki identyfikacji suszy wskazują na problem deficytu wilgoci w zachodnich rejonach kraju, głównie w województwach lubuskim i wielkopolskim oraz w południowej części województwa zachodniopomorskiego (ryc. 4.1). Najgorsze warunki wilgotnościowe wystąpiły przy granicy państwa między Świeciem a Gubinem. W 2022 r. warunki wilgotnościowe pod względem rozkładu geograficznego były zbliżone do panujących w 2020 r., kiedy to deficyt wilgoci również dotyczył głównie zachodnich rejonów kraju.



Rycina 4.2. Sumy opadów atmosferycznych w marcu i od 1 marca do 30 czerwca – 2022 rok.

W 2022 roku ważną rolę w kształtowaniu warunków wilgotnościowych odgrywały bardzo niskie opady marca. We wszystkich rozpatrywanych stacjach meteorologicznych opady tego miesiąca nie przekroczyły 30 mm, a na ponad połowie terenu kraju – nie przekroczyły 10 mm (ryc. 4.2). Pomimo, że warunki meteorologiczne panujące w marcu warunkują niewielki rozchód wody na parowanie terenowe, to niskie opady tego miesiąca doprowadziły do zmniejszenia zasobów wody dostępnej dla roślin. Opady występujące

w kolejnych miesiącach poprawiły warunki wilgotnościowe północnowschodniej Polski jednak na zachodzie nadal były niewystarczające aby pokryć rozchód wody, co było główną przyczyną wystąpienia niedoboru wody na tych terenach (ryc. 4.2).



Rycina 4.3. Zmiany defoliacji drzewostanów w 2022 r. w strefach zagrożenia wystąpienia suszy: KBWR – roczny klimatyczny bilans wodny, KBWL – klimatyczny bilans wodny półrocza letniego, LDR – liczba dni zagrożenia suszą glebową w roku, LDL – liczba dni zagrożenia suszą w miesiącach największego wzrostu drzew LDL.

Zmiana ulistnienia drzewostanów między latami 2022 i 2021

Zmiany ulistnienia drzew występujące między latami 2022 i 2021 determinowane były dobrymi warunkami wilgotnościowymi panującymi na terenie kraju w 2021 r. Sytuacja ta doprowadziła do zmniejszenia defoliacji drzew w 2022 r. we wszystkich strefach zróżnicowania warunków wilgotnościowych. Także w tych, w których wskaźniki suszy wskazały na zagrożenie niedoborem wody dostępnej w glebie (ryc. 4.3). Jedynie na niewielkim obszarze odnotowano zwiększenie defoliacji co może być spowodowane uwarunkowaniami lokalnymi. Podobnie, jak w latach poprzednich, efekt susz powinien zostać odnotowany w kolejnym roku po wystąpieniu zjawiska suszy, czyli zwiększona defoliacja drzew w zachodnich rejonach kraju powinna się ujawnić w 2023 r.

W 2022 r. zagrożenie suszą występowało na znacznym obszarze Polski. Dotyczyło to w największym stopniu zachodniej części kraju, głównie województw lubuskiego, wielkopolskiego oraz południowej części województwa zachodniopomorskiego.

Klimatyczny bilans wodny całego roku wskazuje na wystąpienie deficytu wody przekraczającego 100 mm, natomiast klimatyczny bilans wodny półrocza letniego na niedobór wilgoci przekraczający 250 mm.

W porównaniu z rokiem 2021 warunki wodne w 2022 r. były mniej korzystniejsze dla wzrostu drzew, biorąc pod uwagę zarówno cały rok, jak i okres wegetacyjny. Wydaje się, że zmniejszenie się defoliacji drzew w roku 2022 względem lat wcześniejszych było efektem relatywnie wysokiej dostępności wody dla drzew w roku 2021.

5. STAŁE POWIERZCHNIE OBSERWACYJNE MONITORINGU LASÓW NA OBSZARACH NATURA 2000 – ROBERT HILDEBRAND

Sieć Natura 2000 obejmuje Unię Europejską i składa się z obszarów ochrony środowiska wyznaczonych w poszczególnych krajach wspólnoty, na podstawie dwóch dyrektyw Komisji Europejskiej:

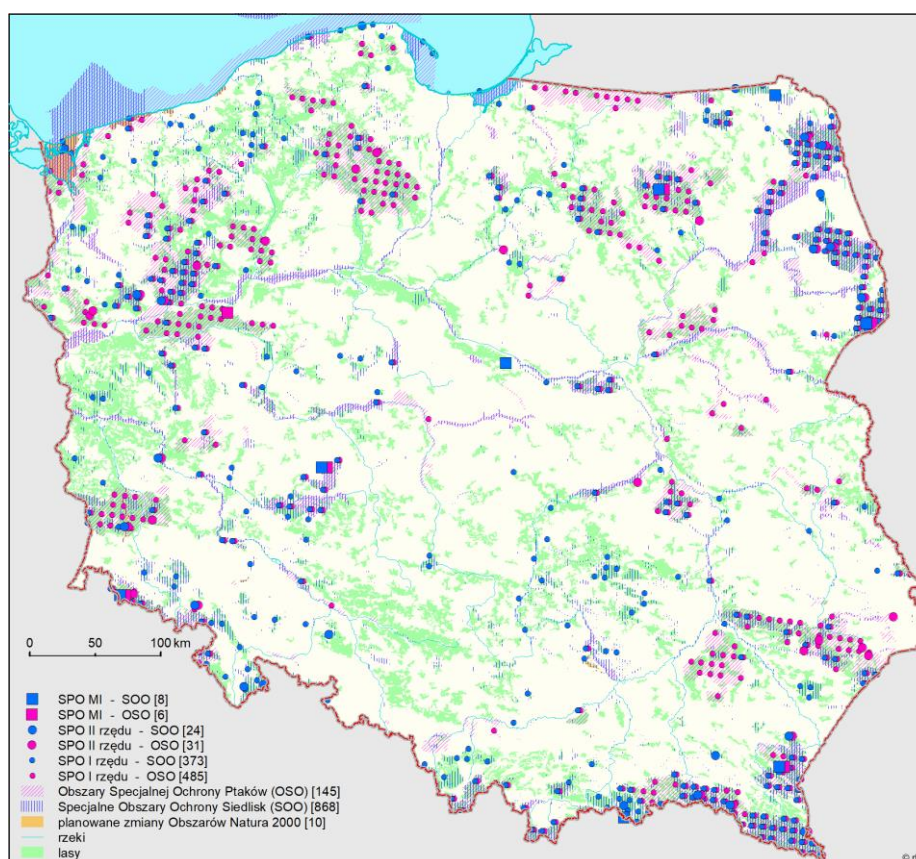
- obszarów specjalnej ochrony ptaków (OSO) [SPECIAL PROTECTION AREAS (SPAs)], wyznaczonych na podstawie Dyrektywy Ptasiej (wersja skonsolidowana 2009/147/EC z 30.11.2009) o ochronie dziko żyjących ptaków (*Directive on the conservation of wild birds*).
- obszarów specjalnej ochrony siedlisk (SOO) [SITES OF COMMUNITY IMPORTANCE (SCIs)], wyznaczonych na podstawie Dyrektywy Siedliskowej (Habitatowej) (wersja skonsolidowana 2013/17/EU z 13.05.2013) w sprawie ochrony siedlisk naturalnych oraz dzikiej fauny i flory (*Directive on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora*).

Sieć Natura 2000 została utworzona dla zapewnienia przetrwania najcenniejszych i najbardziej zagrożonych europejskich gatunków i siedlisk. Jest to jeden z podstawowych elementów systemu ochrony przyrody i bioróżnorodności w Unii Europejskiej. Tworzy ona system uzupełniający i wzbogacający wcześniejsze, funkcjonujące dotychczas w państwach europejskich, systemy obszarów ochrony przyrody w postaci ustawowo przyjętych form ochrony przyrody, takich jak: parki narodowe, rezerваты przyrody, parki krajobrazowe, obszary chronionego krajobrazu, pomniki przyrody itp.

Na gruncie prawa krajowego podstawą funkcjonowania Sieci Natura 2000 jest Ustawa o ochronie przyrody z dnia 16 kwietnia 2004 r. oraz towarzyszący jej szereg aktualizujących rozporządzeń.

Według bazy <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps> (którą prowadzi Europejska Agencja Środowiska Komisji Europejskiej), zaktualizowanej na koniec listopada 2022 roku, liczba obszarów sieci Natura 2000 w Polsce nie zmieniła się od poprzedniego roku i wynosi 1002. Na koniec 2022 roku łączna powierzchnia zajmowana przez obszary Natura 2000 wynosiła 68 471,4 km², co jest równe obecnie 19,5% powierzchni kraju.

W ostatnich latach proces wyznaczania nowych obszarów Natura 2000 uległ zahamowaniu, następuje natomiast ciągły proces modyfikacji przebiegu granic istniejących już obszarów 2000.



Rycina 5.1. Rozmieszczenie SPO I i II rzędu oraz powierzchni Monitoringu Intensywnego na obszarach Natura 2000, stan na koniec 2022 r.

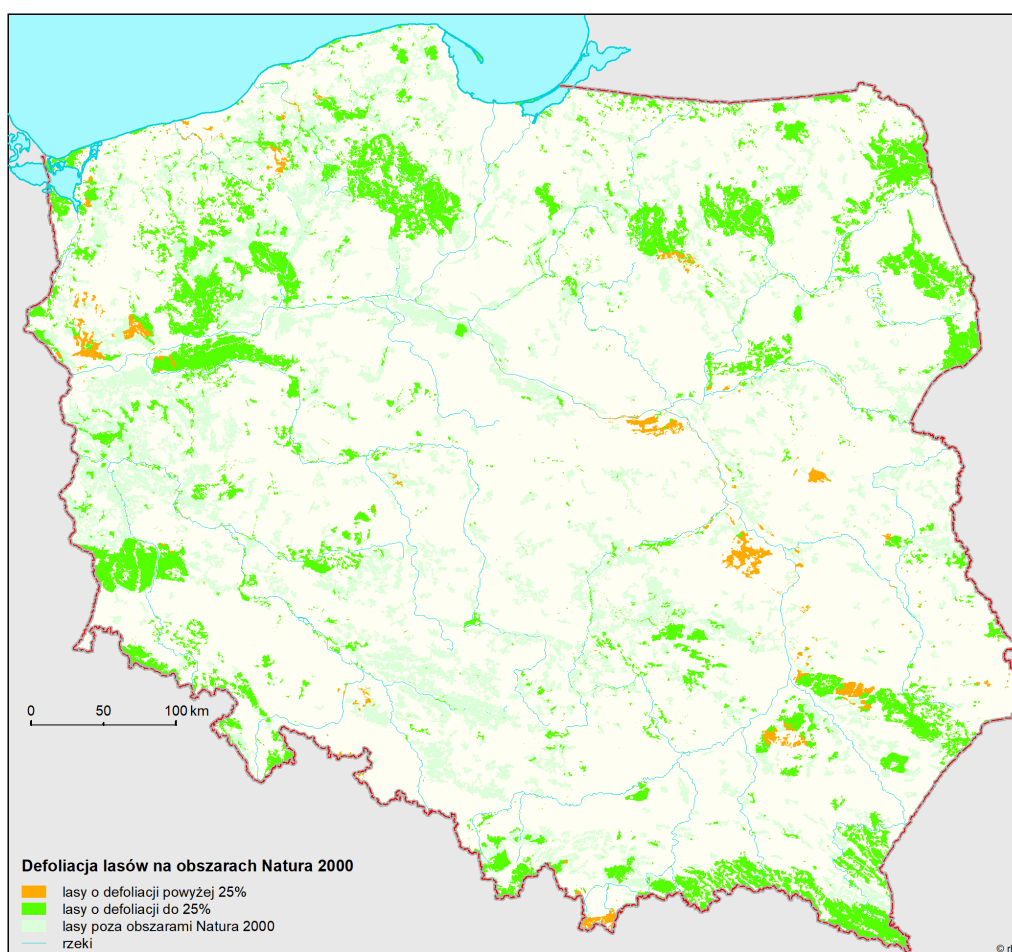
W 2022 r. na obszarach Sieci Natura 2000 znalazło się 676 czynnych (na których wykonywane były obserwacje i pomiary) powierzchni obserwacyjnych monitoringu leśnego. Stanowi to około 30,7% wszystkich aktywnych SPO (ryc. 5.1).

145 lądowych obszarów specjalnej ochrony ptaków (OSO) zajmuje 48 443 km², z czego lasy zajmują około 2,469 miliona hektarów. Znalazło się na nich 6 czynnych SPO Monitoringu Intensywnego, 31 czynnych SPO II rzędu oraz 485 czynnych SPO I rzędu.

868 lądowych specjalnych obszarów ochrony siedlisk (SOO) zajmuje 34 306 km², z czego lasy zajmują około 1,916 miliona hektarów. Znalazło się na nich 8 czynnych SPO Monitoringu Intensywnego, 24 czynne SPO II rzędu i 373 czynne SPO I rzędu.

Niektóre obszary OSO i SOO zachodzą na siebie, co oznacza, że liczba obszarów Natura 2000 oraz powierzchnia wyrażona w hektarach nie sumuje się, jak również nie sumuje się liczba powierzchni monitoringowych.

Defoliacja drzew na 485 SPO I rzędu zlokalizowanych na 86 obszarach OSO w 92% przyjmowała wartości z klasy 1 (lekkiej def., 11-25% defoliacji), w 8% – wartości z klasy 2 (średniej def., 26-60% defoliacji). Średnia wartość defoliacji drzew na tych powierzchniach wynosiła 21,3%, o 0,6 punktu procentowego mniej niż w 2021 roku.



Rycina 5.2. Poziom defoliacji lasów na obszarach Natura 2000 na podstawie oceny defoliacji na stałych powierzchniach obserwacyjnych (stan na 2022 rok)

Defoliacja drzew na 373 SPO I rzędu zlokalizowanych na 171 obszarach SOO w 90% przyjmowała wartości z klasy 1, w 10% – wartości z klasy 2 (ryc. 5.2). Średnia defoliacja drzew wynosiła 21,3%, o 0,4 punktu procentowego mniej niż w 2021 roku.

Większość zmian kondycji zdrowotnej drzew na obszarach OSO i SOO związana jest ze zmniejszeniem się poziomu defoliacji w południowej i południowo-zachodniej Polsce.

W 2022 r. na obszarach Sieci Natura 2000 znajdowało się 676 (około 30,7% z ogólnej liczby) czynnych (na których wykonywane były obserwacje i pomiary) powierzchni obserwacyjnych monitoringu leśnego (SPO I rzędu i SPO II rzędu, w tym powierzchni monitoringu intensywnego).

Na lądowych obszarach specjalnej ochrony ptaków (OSO) znalazło się 6 powierzchni monitoringu intensywnego, 31 SPO II rzędu oraz 485 SPO I rzędu. Natomiast na lądowych specjalnych obszarach ochrony siedlisk (SOO) znalazło się 8 SPO monitoringu intensywnego, 24 SPO II rzędu i 373 SPO I rzędu.

Uśrednione wartości defoliacji w lasach znajdujących na obszarach ochrony siedlisk (SOO) i obszarach ochrony ptaków (OSO) wynoszą około 21,3% i mieszczą się w klasie 1 (lekkiej defoliacji).

CZĘŚĆ III BADANIA NA STAŁYCH POWIERZCHNIACH OBSERWACYJNYCH II RZĘDU

W 1994 r. założono 122 stałe powierzchnie obserwacyjne II rzędu (SPO II rzędu) w drzewostanach iglastych (w 100 sosnowych i w 22 świerkowych), w 1996 r. założono 26 takich powierzchni w drzewostanach liściastych (w 15 dębowych i w 11 bukowych). Wszystkie powierzchnie zlokalizowane są w lasach będących w zarządzie Lasów Państwowych. W latach 2008–2019 z 15 powierzchni usunięto drzewostan i od tej pory nie przeprowadza się na nich pomiarów i obserwacji odnoszących się do drzewostanu.

Na SPO II rzędu, poza corocznymi obserwacjami stanu zdrowotnego drzew oraz symptomów i przyczyn uszkodzeń, cyklicznie co 5-6 lat realizowany jest rozszerzony zakres badań. Do tej pory przeprowadzono:

- 7 cykli badań chemizmu igliwia i liści (w latach: 1997, 2001/2002, 2005, 2009, 2013, 2017 i 2021)
- 5 cykli badań glebowych (w latach: 1995/1996, 1999, 2004, 2008 i 2017)
- 5 cykli badań roślinności runa i odnowień naturalnych (w latach: 1998/1999, 2003, 2008, 2013 i 2019)
- 6 cykli pomiarów dendrometrycznych (w latach: 1994, 1999, 2005, 2009, 2014, 2019)

6. STAN ODŻYWIENIA MINERALNEGO DRZEW SOSNY, ŚWIERKA, DĘBU I BUKA W ROKU 2021 ORAZ ZACHODZĄCYCH W NIM ZMIAN W OKRESIE 1997-2021 – ANNA KOWALSKA

O stanie odżywienia drzew można wnioskować na podstawie zawartości składników pokarmowych w organach asymilacyjnych. W tym celu, w wielu krajach, dla poszczególnych gatunków drzew leśnych, opracowano graniczne zawartości tych składników, przy których poziom odżywienia drzew jest niedostateczny, optymalny lub nadmierny. Przy ocenie stanu odżywienia drzew niezmiernie ważne są również wzajemne proporcje między zawartością poszczególnych składników pokarmowych w organach asymilacyjnych. Odchylenia od tych proporcji świadczą o nieprawidłowościach w odżywianiu roślin i prowadzą do ograniczenia ich wzrostu i rozwoju (Hanschel i in. 1988, Huttel i Wisniewski 1987).

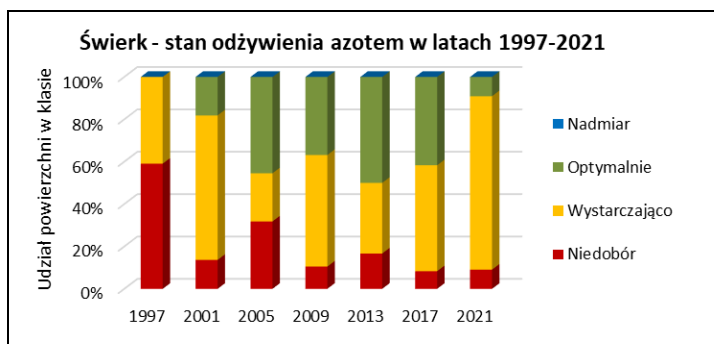
W niniejszym opracowaniu ocenę stanu odżywienia drzewostanów sosnowych oparto na klasyfikacji obowiązującej w Dolnej Saksonii (Minutes..., 1995), natomiast drzewostanów bukowych, dębowych i świerkowych – na klasyfikacji austriackiej (Burg 1985 i 1990, Bergmann 1993). Optymalne proporcje między zawartością poszczególnych składników pokarmowych w organach asymilacyjnych drzew określono dla świerka zgodnie z opracowaniem Hüttla z 1985 r. (normy obowiązujące w Austrii), dla sosny, buka i dębu – zgodnie z opracowaniem Biino i Tazziego z 1998 r. (normy obowiązujące we Włoszech).

Drzewostany świerkowe

Wobec zamierania drzewostanów świerkowych – szczególnie tych zlokalizowanych w Krainie Karpackiej – w kolejnych cyklach liczba powierzchni, z których pobierane są próbki igliwia jest coraz mniejsza. Do 2009 r. próbki pobierano z 22 powierzchni, w 2013 r. – z 18, w 2017 r., – z 12 powierzchni, natomiast w 2021 r. – z 11 powierzchni.

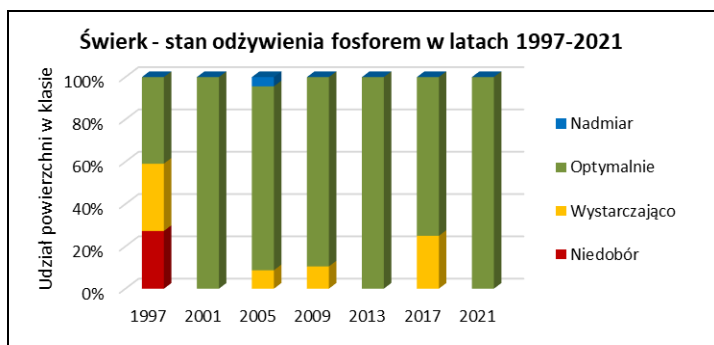
Zawartość składników pokarmowych w organach asymilacyjnych świerków

Od 1997 r. nastąpił stopniowy wzrost zawartości **azotu** w igłach świerka, jednakże w żadnym drzewostanie nie odnotowano przekroczenia wartości określonej jako nadmierna, czyli 22 g/kg suchej masy (ryc. 6.1). Większość wyników plasowała się na poziomie kilkunastu g/kg, co odpowiadało odżywieniu w stopniu wystarczającym. W 1997 r. blisko 60% drzewostanów świerkowych cierpiało na niedobór azotu. Były to drzewostany w nadleśnictwach: Suwałki (Kraina Mazursko-Podlaska), Wisła, Węgierska



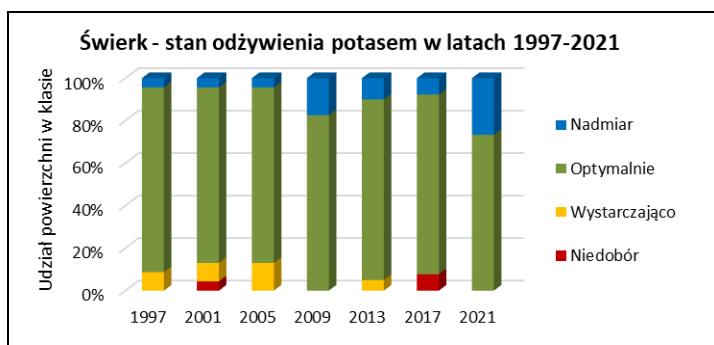
Rycina 6.1. Stan odżywienia drzewostanów świerkowych azotem w latach 1997-2021.

jest w stopniu nie-wystarczającym zaopatrzone w azot, zaś pięć drzewostanów z nadleśnictw: Wisła, Węgierska Górka, Stuposiany, Choczewo i Resko zamarły na przestrzeni ostatnich dwóch cykli badań. Jedynie jeden z badanych drzewostanów w Nadleśnictwie Szklarska Poręba był w 2021 roku zaopatrzone w azot w stopniu optymalnym.



Rycina 6.2. Stan odżywienia drzewostanów świerkowych fosforem w latach 1997-2021.

zaopatrzeniu drzew w ten makroskładnik. Problem z zaopatrzeniem drzew w fosfor nie występował w 2021 roku na badanych powierzchniach. (ryc. 6.2).



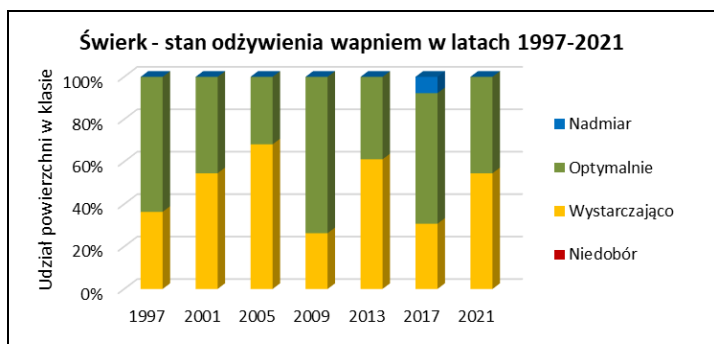
Rycina 6.3. Stan odżywienia drzewostanów świerkowych potasem w latach 1997-2021.

drzewostanie w Nadleśnictwie Łądek Zdrój. W 2021 r. jego stężenie w igłach wskazywało na przeważnie optymalne zaopatrzenie drzew w K, a w czterech przypadkach (nadm.: Stuposiany, Szklarska Poręba, Bystrzyca Kłodzka i Piwniczna) nawet na nadmierne.

Górka, Piwniczna, Stuposiany (Kraina Karpacka), Bystrzyca Kłodzka, Międzyzlesie, Łądek Zdrój, Szklarska Poręba (Kraina Sudecka) oraz Resko i Choczewo (Kraina Bałtycka). Obecnie jeden z tych drzewostanów z Nadl. Suwałki

W pierwszym cyklu badań 59% drzewostanów charakteryzowało się niedoborem **fosforu**, w kolejnych latach (2001-2021) nie stwierdzono niedoboru tego pierwiastka, a jego zawartość w igłach świadczyła o wystarczającym bądź optymalnym zaopatrzeniu drzew w ten makroskładnik.

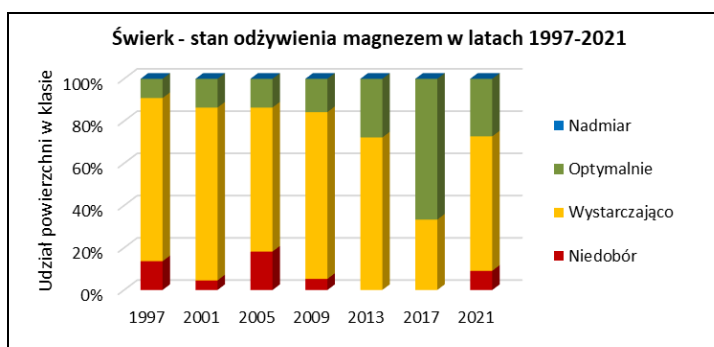
Drzewostany świerkowe w całym cyklu pomiarowym były relatywnie dobrze zaopatrzone w **potas** (ryc. 6.3). W 2001 roku niedobór tego pierwiastka odnotowano jedynie w dwóch nadleśnictwach: Suwałki i Łądek Zdrój, zaś w 2017 r. w jednym



Rycina 6.4. Stan odżywienia drzewostanów świerkowych wapniem w latach 1997-2021.

Stan odżywienia świerków **wapniem** od 1997 r. jest wystarczający lub optymalny (ryc. 6.4). Najwięcej wapnia zawierają drzewostany z nadleśnictw: Suwałki, Piwniczna i Stuposiany.

Zawartość magnezu w całym okresie badań plasowała się głównie w dwóch dolnych klasach zasobności – niedobór i zawartość wystarczająca, jedynie na trzech powierzchniach Mg występował w igłach w stężeniu optymalnym (ryc. 6.5). Niedobory magnezu stwierdzano od 1997 do 2009 roku w kilku drzewostanach.



Rycina 6.5. Stan odżywienia drzewostanów świerkowych magnezem w latach 1997-2021.

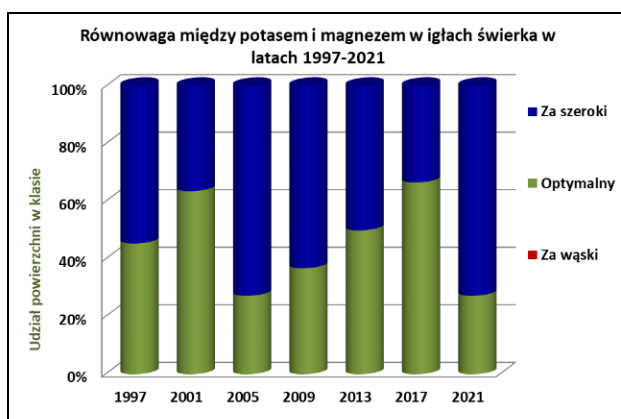
W dwóch cyklach w latach 2013 i 2017 nie zaobserwowano drzewostanów w klasie niedoboru co było spowodowane wymarciem znacznej ilości drzewostanów z krainy Karpackiej. W 2021 roku niedobór magnezu na granicy

stężenia wystarczającego odnotowano w jednym drzewostanie z krainy Sudeckiej (Nadleśnictwo Międzylesie).

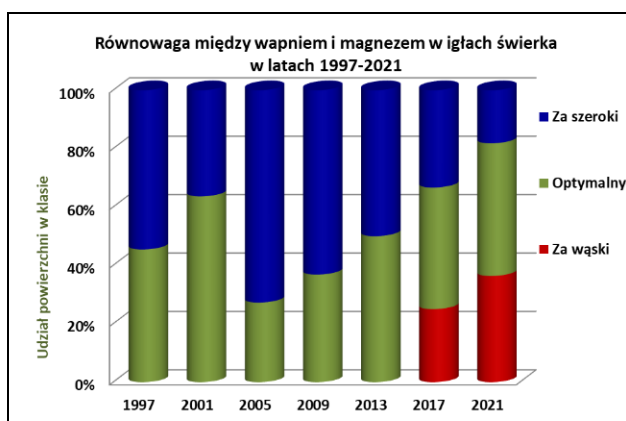
Proporcje między zawartością poszczególnych makroelementów w organach asymilacyjnych świerków

Zdecydowana większość drzewostanów świerkowych charakteryzowała się optymalnym stosunkiem **azotu do wapnia** oraz **azotu do potasu**. Jedynie w 2001 r. w dziewięciu nadleśnictwach odnotowano zbyt szeroki stosunek **azotu do potasu**, spowodowany małą zawartością potasu w organach asymilacyjnych tych drzewostanów. W pozostałych latach na jednej lub dwóch powierzchniach odnotowywano zachwianie stosunku **azotu do potasu**, a w 2021 r. był on optymalny we wszystkich objętych badaniami drzewostanach. Stosunek **azotu do fosforu** jest obecnie zbyt szeroki w dwóch drzewostanach w RDLP we Wrocławiu. Stosunek **azotu do magnezu** jest przeważnie optymalny z wyjątkiem 3 drzewostanów w RDLP we Wrocławiu, w których jest zbyt szeroki. Znacznie gorzej przedstawia się stosunek **potasu do magnezu** oraz **wapnia**

do magnezu (ryc. 6.6. i ryc. 6.7.). W każdym z tych przypadków obserwowano zachwianie stosunków tych makroelementów względem siebie, spowodowane głównie zbyt dużą ilością



Rycina 6.6. Równowaga między potasem i magnezem w igłach świerka w latach 1997-2021.



Rycina 6.7. Równowaga między wapniem i magnezem w igłach świerka w latach 1997-2021.

potasu do magnezu oraz zbyt wysoką lub zbyt niską zawartością **wapnia do magnezu**. W całym okresie badań stosunek **potasu do magnezu** był za duży w 33-73% drzewostanów. Podobnie przedstawiał się stosunek **wapnia do magnezu**, którego wartości były bardzo zróżnicowane na przestrzeni ponad dwudziestu lat badań. Szczególnie niekorzystnymi relacjami **azotu do**

magnezu, potasu do magnezu oraz **wapnia do magnezu** charakteryzowały się drzewostany Krainy Karpackiej (nadleśnictwa: Bielsko, Węgierska Górka, Limanowa i Myślenice) oraz Sudeckiej (nadleśnictwa: Zdroje i Szklarska Poręba). Zakłócenia te przyczyniły się do pogorszenia kondycji drzew i były jednym z powodów

zamierania drzewostanów świerkowych w tej części Polski.

Od 1997 roku następował stopniowy wzrost zawartości azotu w igłach świerka, jednakże w żadnym drzewostanie nie odnotowano przekroczenia wartości określonej jako nadmierna, a większość wyników plasowała się w klasie wartości wystarczających. W 2021 roku jeden drzewostan (Nadl. Suwałki) był zaopatrzony w azot w stopniu niewystarczającym, a jeden (Nadl. Szklarska Poręba) – w stopniu optymalnym.

Świerczyny są dobrze zaopatrzone w fosfor, potas i wapń, ale wykazują niższą niż optymalna zasobność w magnez (niedobór tego pierwiastka wystąpił na powierzchni Nadl. Międzylesie).

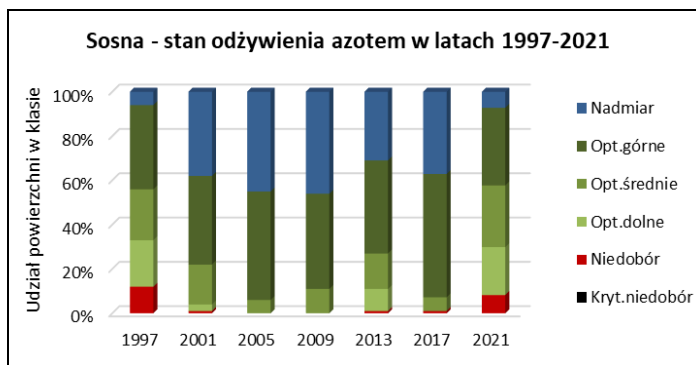
Zakłócenia w stanie odżywienia makroelementami drzewostanów świerkowych powodują rozchwianie wzajemnych proporcji między nimi, i o ile obecnie występują poprawne stosunki N:K, to sporadycznie notowane są zachwiania stosunków N:Ca, N:P, N:Mg, a szczególnie K:Mg i Ca:Mg.

Problemy z odżywieniem drzewostanów świerkowych dotyczyły przeważnie wybranych nadleśnictw krainy Karpackiej i Sudeckiej, przyczyniając się wraz z innymi czynnikami do zamierania świerczyn w tych rejonach.

Drzewostany sosnowe

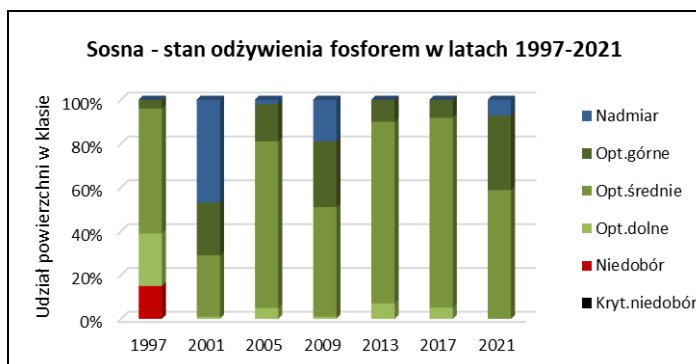
Do 2013 r. próbki igliwia sosnowego pobierano ze 100 powierzchni, natomiast w latach 2017 i 2021 – z 97 powierzchni.

Zawartość składników pokarmowych w organach asymilacyjnych sosen

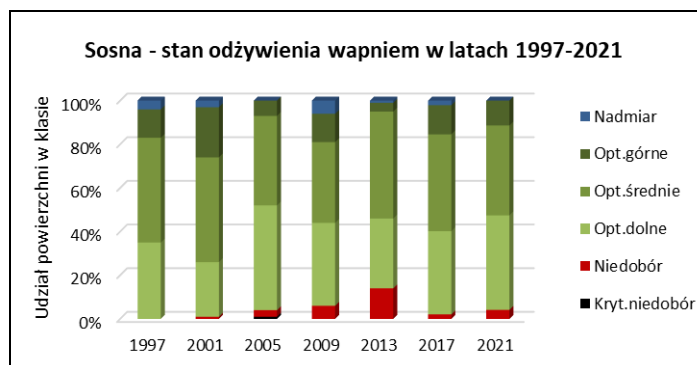


Rycina 6.8. Stan odżywienia drzewostanów sosnowych azotem w latach 1997-2021.

Dojlidy. W 2021 roku jedynie siedem drzewostanów wykazywało nadmiar azotu (6 w roku 1997, 31-46 w latach 2001-2017), a osiem drzewostanów cierpiało na niedobór azotu. Były to drzewostany zlokalizowane w rdLP w Pile, Szczecinku, Szczecinie, Toruniu i Radomiu. Zdecydowaną większość drzewostanów plasuje się w klasie optimum od dolnego do górnego, czyli zawiera ponad 13 g/kg suchej masy azotu (ryc. 6.8).



Rycina 6.9. Stan odżywienia drzewostanów sosnowych fosforem w latach 1997-2021.



Rycina 6.10. Stan odżywienia drzewostanów sosnowych wapniem w latach 1997-2021.

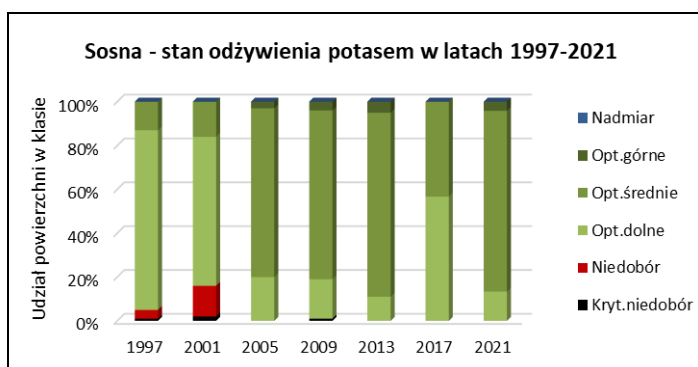
Od początku cyklu badań aż do roku 2017 obserwowano stały wzrost zawartości **azotu** w organach asymilacyjnych sosny. W 1997 roku na niedobór azotu cierpiało około 10 drzewostanów sosnowych, a w 2017 był to jeden drzewostan w Nadleśnictwie

Drzewostany sosnowe są dobrze zaopatrzone w **fosfor**. W 2001 roku 50% drzewostanów zawierała nadmierną ilość tego pierwiastka, ale w kolejnych latach jego zawartość spadała. Obecnie większość drzewostanów charakteryzuje się zawartością fosforu

w igłach na poziomie optymalnym, a jedynie w siedmiu drzewostanach występuje jego nadmiar (ryc. 6.9).

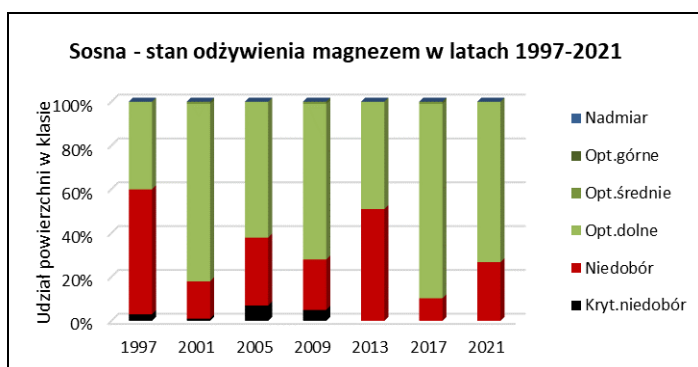
W latach 2001-2021 w kilku drzewostanach odnotowano niedobór **wapnia**, poza tym stan odżywienia

wapniem określono jako optymalny, z zaledwie kilkoma przypadkami nadmiaru. W 2021 r. niedoborem Ca charakteryzowały się drzewostany z terenów nadl.: Rokita, Lubniewice (RDLP Szczecin), Kaliska (RDLP Gdańsk) oraz Trzebielino (RDLP Szczecinek) (ryc. 6.10). Nadmiaru wapnia w igliwiu nie stwierdzono.



Rycina 6.11. Stan odżywienia drzewostanów sosnowych potasem w latach 1997-2021.

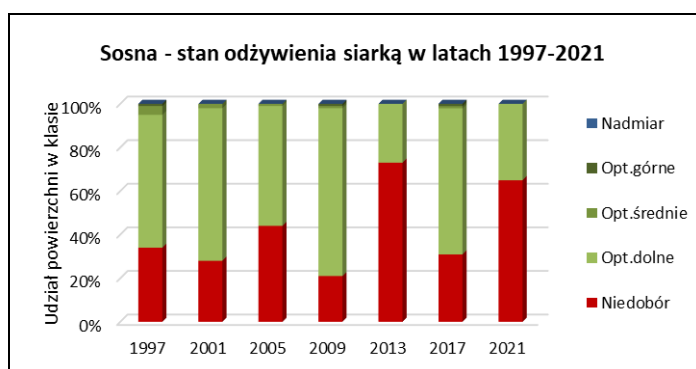
pomiarowych coraz więcej drzewostanów plasowało się w klasie optimum średniego pod względem zawartości potasu w igłach (ryc. 6.11).



Rycina 6.12. Stan odżywienia drzewostanów sosnowych magnezem w latach 1997-2021.

Stan zaopatrzenia drzewostanów sosnowych w **potas** uległ poprawie na przestrzeni ponad dwudziestu lat prowadzenia badań. Niedobory potasu stwierdzano w początkowym okresie badań, w latach 1997 i 2001. W następnych cyklach

Drzewostany sosnowe charakteryzują się nagminnym niedoborem **magnezu**, obecnie 27% drzewostanów zawiera niewystarczającą ilość tego pierwiastka, a 73% drzewostanów mieści się w klasie optimum dolnego (ryc. 6.12).



Rycina 6.13. Stan odżywienia drzewostanów sosnowych siarką w latach 1997-2021.

a pozostałe mieściły się w klasie optimum dolnego (ryc. 6.13).

Od 1997 r. następuje spadek zawartości **siarki** w organach asymilacyjnych sosny spowodowany ograniczeniem emisji związków siarki, których źródłem w ekosystemach leśnych jest atmosfera. W ostatnim cyklu pomiarowym niedobór siarki wykazywało 65% drzewostanów,

Proporcje między zawartością poszczególnych makroelementów w organach asymilacyjnych sosen

Drzewostany sosnowe, które rosną z reguły na glebach bielicoziemnych, charakteryzują się niedoborem potasu i magnezu oraz optymalnym zaopatrzeniem w azot i fosfor, co może powodować zakłócenia proporcji między makroelementami. Jednakże zarówno w pierwszym roku badań jak i ostatnim nie obserwuje się zachwiania równowagi między azotem i potasem oraz azotem i magnezem. Jedynie stosunek między azotem i wapniem oraz potasem i wapniem w kilku drzewostanach jest zbyt wąski. Zagadnienie równowagi między makroelementami w drzewostanach sosnowych w aspekcie weryfikacji liczb granicznych wymaga dalszych badań.

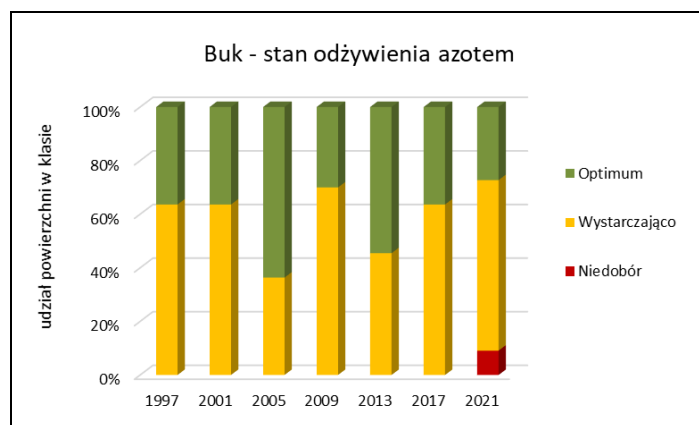
W 2021 roku drzewostany sosnowe są zazwyczaj dobrze zaopatrzone w azot różnego pochodzenia (7 drzewostanów cierpiało na jego nadmiar, 8 – na niedobór, a pozostałe mieściły się w klasie optimum), przy równoczesnym nagminnym braku magnezu (27% drzewostanów wykazuje niedobór magnezu, natomiast pozostałe 73% znajduje się w dolnej klasie optimum) oraz siarki (65% drzewostanów cierpi na niedobór tego pierwiastka). Obecnie drzewostany sosnowe są dobrze zaopatrzone w potas, wapń i fosfor. Na ogół obserwuje się równowagę między makroelementami.

Drzewostany bukowe

Stan odżywienia drzewostanów bukowych określono na podstawie analizy makroelementów w próbkach liści pobranych z 11 powierzchni.

Zawartość składników pokarmowych w organach asymilacyjnych buków

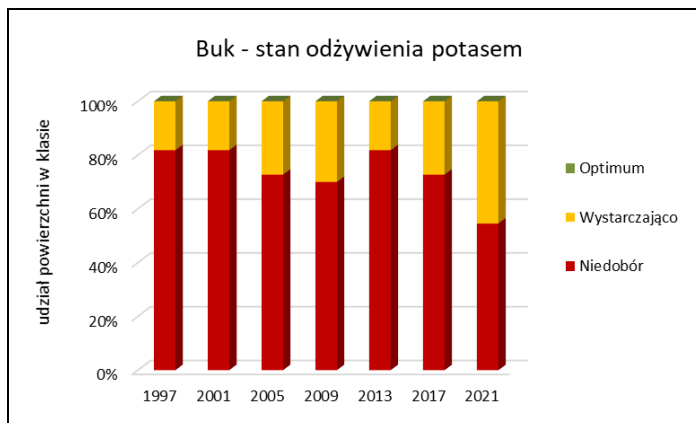
Zawartość **azotu** w drzewostanach bukowych wynosiła ponad 20 g/kg we wszystkich cyklach pomiarowych, z wyjątkiem roku 2021, gdy na powierzchni w Nadl. Gdańsk



Rycina 6.14. Stan odżywienia drzewostanów bukowych azotem w latach 1997-2021.

zawartość tego pierwiastka wyniosła średnio 17,9 g/kg s.m. igieł. Obecnie najlepiej zaopatrzone w azot są drzewostany w nadl.: Bogdaniec, Tomaszów oraz Wałbrzych; stężenie azotu w liściach przekracza 25-26 g/kg co odpowiada zawartości optymalnej według klasyfikacji austriackiej (ryc. 6.14).

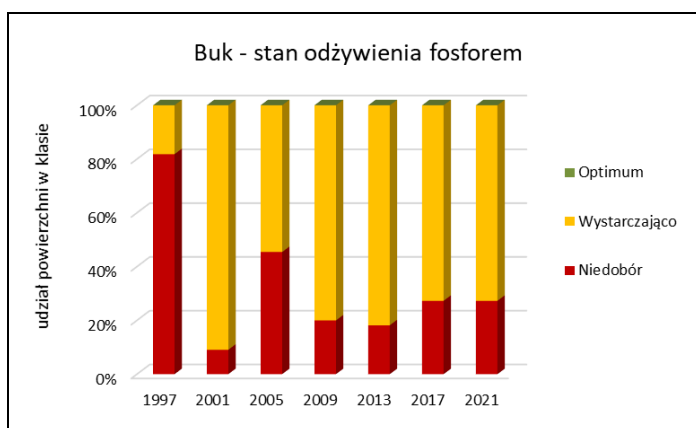
Spośród pozostałych makro-elementów, liście buka zawierają najwięcej potasu i wapnia (średnio 10,1 g/kg potasu, 9,1 g/kg wapnia) oraz fosfor, magnez i siarkę w znacznie niższych stężeniach (poniżej 2-3 g/kg).



Rycina 6.15. Stan odżywienia drzewostanów bukowych potasem w latach 1997-2021.

wystarczający. Drzewostany z pozostałych sześciu nadleśnictw charakteryzowały się niedoborem tego pierwiastka, z czego w trzech nadleśnictwach oznaczono zawartość potasu w liściach buka na poziomie niższym niż 9 g/kg. Od 1997 roku większość badanych drzewostanów bukowych cierpiała na niedobór potasu, z tendencją do zwiększania udziału powierzchni zaopatrzonych w potas w stopniu wystarczającym, szczególnie w ostatnim cyklu badań (ryc. 6.15).

Znacznie lepiej przedstawia się stan odżywienia drzewostanów wapniem. Wszystkie drzewostany są zaopatrzone w **wapń** w stopniu wystarczającym. W 2021 roku najwięcej wapnia oznaczono w próbkach liści buka pobranych z nadleśnictwa Lesko (ponad 10 g/kg).

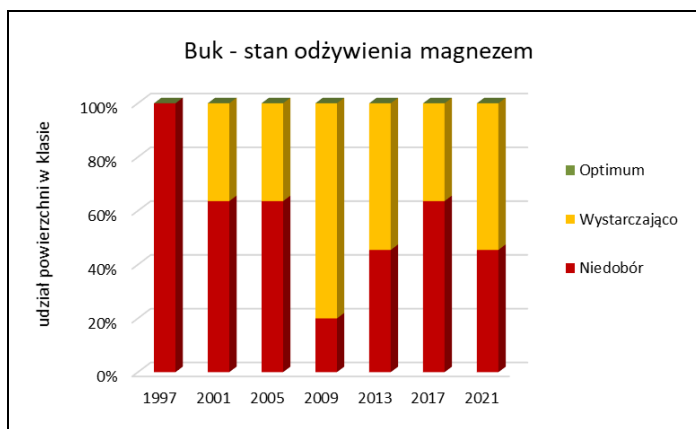


Rycina 6.16. Stan odżywienia drzewostanów bukowych fosforem w latach 1997-2021.

występuje jedynie w nadleśnictwach: Wałbrzych, Rudziniec i Bircza.

W 2021 roku najwięcej **potasu** zawierały drzewostany bukowe z terenów nadleśnictw: Bogdaniec, Tomaszów, Dobrocin, Bircza oraz Opole. Według klasyfikacji austriackiej (Burg, 1985 i 1990; Bergman, 1993) poziom zaopatrzenia tych drzewostanów w potas był

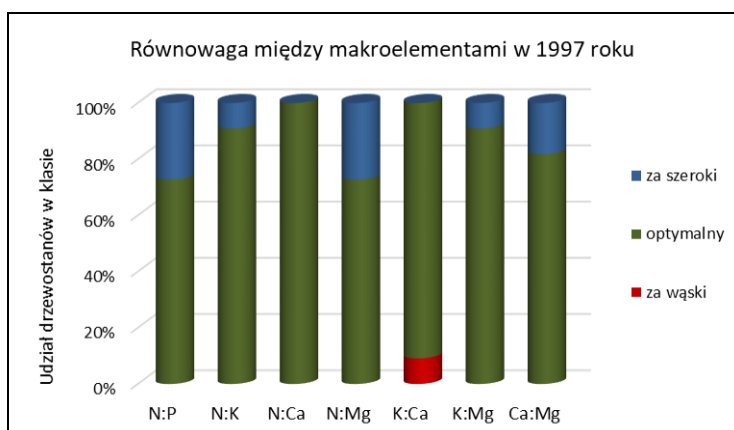
Zaopatrzenie drzewostanów bukowych w **fosfor** ulegało poprawie w kolejnych cyklach badań. W 1997 roku na niedobór fosforu cierpiało 75% drzewostanów, podczas gdy w 2021 roku przeważająca większość drzewostanów charakteryzuje się wystarczającą zawartością tego pierwiastka (ryc. 6.16), a niedobór



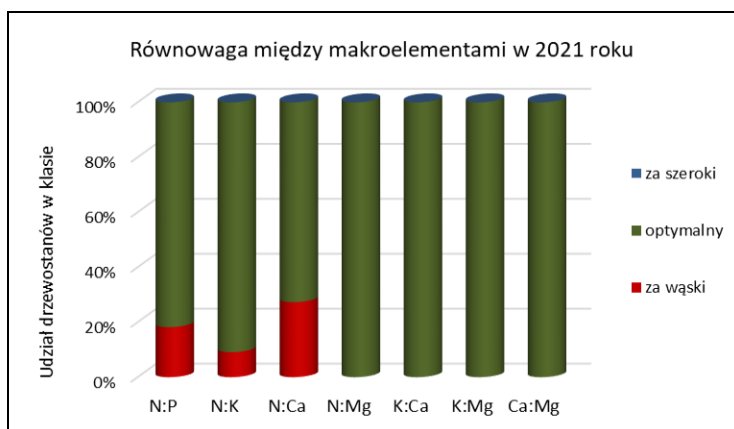
Rycina 6.17. Stan odżywienia drzewostanów bukowych magnezem w latach 1997-2021.

Proporcje między zawartością poszczególnych makroelementów w organach asymilacyjnych buków

W pierwszym cyklu badań, czyli w roku 1997, zbyt szerokim stosunkiem azotu do fosforu oraz azotu do magnezu charakteryzowały się trzy z jedenastu drzewostanów. W tym samym okresie odnotowano również zbyt szerokie stosunki pomiędzy azotem



Rycina 6.18. Równowaga między makroelementami w liściach buka w 1997 roku.



Rycina 6.19. Równowaga między makroelementami w liściach buka w 2021 roku.

W ciągu dwudziestu lat badań nastąpiła poprawa zaopatrzenia drzewostanów bukowych w **magnez**, jednak nadal pięć z jedenastu drzewostanów cierpi na niedobór tego składnika pokarmowego (ryc. 6.17).

i potasem, azotem i magnezem, potasem i magnezem oraz wapniem i magnezem w pojedynczych drzewostanach, a także zbyt wąski stosunek między potasem i wapniem w jednym nadleśnictwie (ryc. 6.18). W 2021 roku stan odżywienia drzewostanów uległ poprawie,

a co za tym idzie, poprawie uległy również proporcje między składnikami pokarmowymi.

Na pojedynczych powierzchniach uległy zawężeniu stosunki między azotem i fosforem, azotem i potasem oraz azotem i wapniem w porównaniu

z początkowym okresem badań. Badane drzewostany bukowe charakteryzują się optymalnym stosunkiem azotu do magnezu, potasu do wapnia, potasu do magnezu i wapnia do magnezu (ryc. 6.19).

Buki są wystarczająco zaopatrzone w azot, choć w 2021 roku jedynie w trzech badanych drzewostanach jego zawartość jest optymalna, a na powierzchni w Nadleśnictwie Gdańsk wystąpił niedobór. Zaopatrzenie w fosfor i wapń jest na ogół wystarczające. Znaczny niedobór potasu utrzymujący się na podobnym poziomie od 1997 r. stwierdzono w sześciu z jedenastu drzewostanów. Od 1997 r. nastąpiła poprawa zaopatrzenia buków w magnez, jednakże nadal pięć z jedenastu drzewostanów cierpi na niedobór tego pierwiastka.

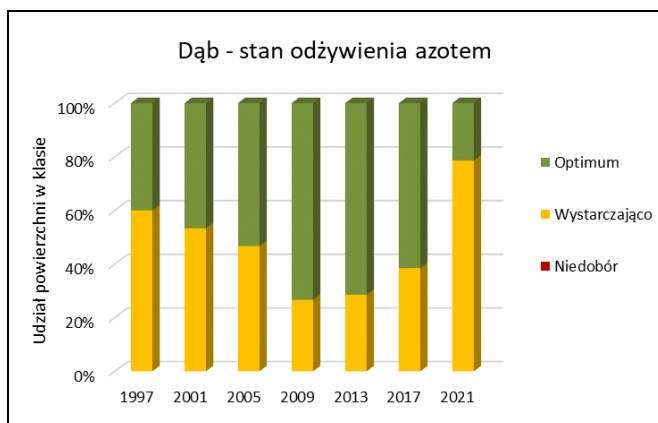
Obecnie drzewostany bukowe charakteryzują się równowagą między składnikami pokarmowymi, jedynie w nielicznych drzewostanach zaobserwowano zbyt wąski stosunek azotu do wapnia, azotu do fosforu oraz azotu do potasu.

Drzewostany dębowe

Do 2013 roku próbki liści dębu pobierano z 15 powierzchni, w 2017 roku – z 13 powierzchni (próbek nie pobrano z dwóch drzewostanów w nadleśnictwach: Międzyrzec i Radomsko), w 2021 roku – z 14 powierzchni.

Zawartość składników pokarmowych w organach asymilacyjnych dębów

Podobnie jak w drzewostanach bukowych, w drzewostanach dębowych **azot** jest głównym makroelementem i występuje w największych stężeniach. W ciągu ponad dwudziestoletniego okresu badań wszystkie drzewostany dębowe charakteryzowały się



Rycina 6.20. Stan odżywienia drzewostanów dębowych azotem w latach 1997-2021.

wystarczającą i optymalną zawartością tego pierwiastka. W 2009 r. stan odżywienia azotem był najlepszy, jedenaście drzewostanów mieściło się w optymalnej klasie odżywienia (ryc. 6.20). Obecnie najmniej azotu zawierają dęby z nadleśnictw: Smolarz i Strzebielino (Karania Bałtycka), Łąck (Kraina Mazowiecko-Podlaska), Strzebielino,

Kańczuga (Kraina Karpacka), Radomsko (Kraina Małopolska) i Węgliniec (Kraina Śląska). Należy jednak podkreślić, że nawet najbardziej ubogie w azot drzewostany zawierają wystarczającą ilość tego składnika pokarmowego.

Stan odżywienia drzewostanów dębowych **fosforem** uległ poprawie. Od 2009 roku wszystkie dęby zawierają wystraczającą ilość tego pierwiastka, mimo że nie mieszczą się w klasie optymalnego zaopatrzenia w fosfor.

Podobnie jest w przypadku **potasu, wapnia i magnezu** z tym, że w przypadku potasu w ostatnich cyklach rośnie udział dąbrów zaopatrzonych w ten składnik w stopniu optymalnym.

Proporcje między zawartością poszczególnych makroelementów w organach asymilacyjnych dębów

Dobry stan odżywienia drzewostanów dębowych makroelementami powoduje, że wzajemne proporcje między zawartością poszczególnych pierwiastków w organach asymilacyjnych są również optymalne. W 2021 roku tylko w jednym nadleśnictwie (Prudnik) stosunek azotu do potasu był nieco za wąski. W 1997 roku drzewostany w nadleśnictwach Strzebielino (Kraina Bałtycka) oraz Olsztyn (Kraina Mazursko-Podlaska) cierpiały na okresowy niedobór magnezu, stąd też stosunek azotu, potasu i wapnia do magnezu był w tych drzewostanach za szeroki. W następnych latach badań wzajemne relacje między azotem i magnezem oraz potasem i wapniem a magnezem uległy zawężeniu i nie budziły zastrzeżeń. Opisanemu wzrostowi zawartości azotu w liściach towarzyszył wzrost zawartości magnezu, w związku z czym stosunek pomiędzy tymi pierwiastkami w latach 2009–2021 nie uległ znaczącym zmianom.

W pierwszym cyklu badań (1997 rok) drzewostany dębowe wykazywały niewielkie niedobory magnezu i fosforu, obecnie są wystarczająco lub dobrze zaopatrzone w azot, fosfor, magnez, potas i wapń. Dobry stan odżywienia drzewostanów dębowych makroelementami powoduje, że wzajemne proporcje między zawartością poszczególnych pierwiastków w organach asymilacyjnych są również optymalne.

CZEŚĆ IV BADANIA NA STAŁYCH POWIERZCHNIACH

OBSERWACYJNYCH MONITORINGU INTENSYWNEGO (SPO MI)

W programie monitoringu lasu od 2009 r. funkcjonuje 12 stałych powierzchni obserwacyjnych monitoringu intensywnego (SPO MI), wybranych spośród SPO II rzędu. SPO MI zlokalizowane są w siedmiu krainach przyrodniczo-leśnych: Bałtyckiej (Nadleśnictwo Gdańsk), Mazursko-Podlaskiej (nadleśnictwa: Suwałki, Strzałowo, Białowieża), Wielkopolsko-Pomorskiej (nadleśnictwa: Krucz, Krotoszyn i Łąck), Mazowiecko-Podlaskiej (Nadleśnictwo Chojnów), Śląskiej (Nadleśnictwo Zawadzkie),

Sudeckiej (Nadleśnictwo Szklarska Poręba) oraz Karpackiej (nadleśnictwa: Piwniczna i Bircza) (ryc. 1.1).

Na pięciu powierzchniach gatunkiem panującym w drzewostanie jest sosna (Strzałowo, Białowieża, Krucz, Chojnów, Zawadzkie), na trzech – świerk (Suwałki, Szklarska Poręba, Piwniczna), na dwóch – dąb (Łąck, Krotoszyn) oraz na dwóch – buk (Gdańsk, Bircza).

Na SPO MI od 2009 r. prowadzone są pomiary depozycji na otwartej przestrzeni, jakości powietrza metodą pasywną, opadów podkoronowych i roztworów glebowych. W pobliżu tych powierzchni uruchomiono również automatyczne stacje pomiarowe, w sposób ciągły rejestrujące parametry meteorologiczne.

7. WARUNKI POGODOWE NA POWIERZCHNIACH SPO MI W 2022 ROKU – LESZEK KLUZIŃSKI

Pod względem termicznym rok 2022 odbiegał od średniej okresu referencyjnego 1991-2020. Według klasyfikacji termicznej (Miętus i in. 2002) został sklasyfikowany jako *ciepły* lub *bardzo ciepły* na większości obszaru kraju. Ponadto na przestrzeni roku występowały naprzemiennie okresy znacznie cieplejsze, jak i zdecydowanie chłodniejsze w porównaniu do wartości normatywnych. Szczególnie ciepłym miesiącem był luty, a znaczące dodatnie odchylenia od normy wieloletniej odnotowano również w styczniu, czerwcu, sierpniu i październiku. Chłodniejszy od okresu referencyjnego był kwiecień i wrzesień.

Pod względem opadowym rok 2022, zgodnie z klasyfikacją Z. Kaczorowskiej (1962), został oznaczony jako suchy. Średnia roczna suma opadów w Polsce stanowiła 86% normy wieloletniej z lat 1991-2020. Rozkład przestrzenny opadów był zróżnicowany, najniższe sumy opadów rocznych odnotowano w okolicach Gdańska, Kętrzyna, Poznania i Słubic, najwyższe wartości wystąpiły w Tatrach, w Bielsku Białej i Opolu. Rozkład opadów w czasie był również zróżnicowany. Stosując cytowaną klasyfikację Kaczorowskiej najbardziej ubogimi w opady miesiącami był bardzo suchy maj, październik i listopad oraz skrajnie suchy marzec. Z kolei najobfitszymi w opady miesiącami był wilgotny kwiecień, bardzo wilgotny grudzień i skrajnie wilgotny luty. Znaczący udział w sumie opadów miały gwałtowne ulewy tzw. deszcze nawałne występujące lokalnie na obszarze całego kraju (Rocznik Meteorologiczny IMGW 2022).

Średnia roczna **temperatura powietrza** ze wszystkich stacji na SPO MI wyniosła +8,5°C i była o 0,8°C wyższa niż w 2021 r. Najchłodniejszym miesiącem roku był grudzień

($-0,5^{\circ}\text{C}$), najcieplejszym – sierpień ($19,6^{\circ}\text{C}$) (tab. 7.1). Najwyższą średnią temperaturę okresu wegetacyjnego (od kwietnia do września) wykazała stacja w Krotoszynie ($16,1^{\circ}\text{C}$), najniższą – stacja w Szklarskiej Porębie ($10,5^{\circ}\text{C}$).

Tabela 7.1. Średnie wartości miesięczne temperatury powietrza na SPO MI w 2022 r.

Stacja	Miesiąc											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	Temp. +2 m [$^{\circ}\text{C}$]											
Białowieża-Czerlonka	-0,6	1,5	1,4	5,4	12,2	18,9	18,3	19,9	10,1	9,4	2,4	-1,6
Piwniczna-Andrzejówka	-2,8	0,6	1,5	4,8	13,0	17,8	17,4	18,4	10,7	9,2	2,5	-1,6
Bircza-Łodzinka	-1,3	1,8	2,3	5,8	14,0	18,9	19,1	19,6	11,8	11,3	3,6	0,2
Chojnów-Dobiesz	0,6	2,7	2,4	6,7	13,4	18,8	18,5	20,3	11,3	10,1	3,7	0,0
Gdańsk-Wyspowo	1,0	2,9	2,7	5,8	11,5	17,0	17,6	20,0	11,2	10,9	4,7	-0,1
Krotoszyn-Roszki	1,4	3,6	4,1	7,6	14,9	20,1	19,8	21,2	12,7	11,6	4,0	1,2
Krucz-Kruczlas	1,5	3,8	2,9	7,1	13,5	18,4	18,8	20,6	12,2	10,6	4,2	0,7
Łąck-Podgórze	0,8	2,9	2,7	7,0	13,4	18,5	18,5	20,3	11,4	10,4	3,9	0,3
Strzałowo-Krutyn	-0,2	1,5	1,8	6,0	11,6	17,5	18,0	20,3	10,4	9,4	2,8	-1,4
Suwałki-Hańcza	-0,5	1,1	1,5	5,5	10,9	17,5	17,7	19,9	10,3	9,8	2,8	-1,6
Sz. Poręba-Jakuszyce	-2,4	-0,9	-1,1	1,6	9,5	14,5	14,1	15,1	8,2	8,1	1,2	-2,6
Zawadzkie	0,7	3,4	2,8	6,2	14,7	19,2	19,3	19,7	12,2	11,3	4,1	0,8
Średnia	-0,1	2,1	2,1	5,8	12,7	18,1	18,1	19,6	11,0	10,2	3,3	-0,5

Najbardziej zróżnicowane pod względem temperatur były kwiecień i sierpień, kiedy to maksymalna różnica średnich temperatur pomiędzy stacjami wyniosła $6,1^{\circ}\text{C}$. Natomiast najbardziej wyrównany temperaturowo był październik, w którym różnica średnich temperatur powietrza pomiędzy stacjami nie przekraczała $3,5^{\circ}\text{C}$.

Roczne sumy opadów wynosiły od 421,5 mm w Kruczu do 1171,5 mm na stacji w Szklarskiej Porębie, średnia roczna ze stacji była równa 648,3 mm. Oprócz stacji w Gdańsku, gdzie odnotowano wyższą sumę opadów niż w 2021 r. na pozostałych stacjach była ona niższa i stanowiła od 62% (w Chojnowie) do 97% (w Białowieży) sumy opadów roku poprzedniego. Sumy opadów w sezonie wegetacyjnym wynosiły od 236,5 mm w Kruczu do 592,3 mm na stacji w Szklarskiej Porębie, średnia roczna ze stacji była równa 387,8 mm. Podobnie jak w okresie całego roku, oprócz stacji w Gdańsku, wszystkie pozostałe stacje wykazały niższą sumę opadów w sezonie wegetacyjnym w porównaniu do roku 2021. Na okres letni przypadło przeciętnie 60,6% rocznej sumy opadów, od 50,6% na stacji w Szklarskiej Porębie do 69,1% na stacji w Białowieży.

Ogółem średnia miesięczna suma opadu na stację wyniosła 54,0 mm i była o 9,1 mm niższa niż w 2021 r. W sezonie wegetacyjnym było to 64,6 mm (o 19,1 mm mniej niż w 2021 r.), zaś w pozostałym okresie – 43,4 mm (o 0,8 mm więcej niż w 2021 r.). Średnia miesięczna suma opadów w układzie miesięcy była najwyższa w lipcu (87,0 mm), a najniższa – w marcu (12,6 mm). (tab. 7.2). Porównując poszczególne stacje: miesięczne sumy opadów zawierały

się w przedziale od 0,0 mm w marcu na stacji w Kruczu do 223,8 mm w lutym na stacji w Szklarskiej Porębie.

Tabela 7.2. Miesięczne sumy opadów na SPO MI w 2022 r.

Stacja	Miesiąc											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	Suma opadów [mm]											
Białowieża-Czerlonka	45,9	44,0	6,8	50,8	55,3	68,6	197,7	2,2	89,6	50,8	16,4	43,3
Piwniczna-Andrzejówka	61,3	86,1	51,0	58,5	30,7	42,6	90,5	41,8	125,4	20,5	47,3	69,1
Bircza-Łodzinka	46,4	36,9	24,9	54,3	15,1	82,5	79,2	47,3	162,7	43,8	31,1	75,5
Chojnów-Dobiesz	54,1	51,9	3,7	73,6	45,6	39,4	57,0	49,1	52,5	32,5	16,9	34,1
Gdańsk-Wyspowo	70,7	97,2	2,3	32,5	48,4	59,4	69,0	89,2	107,9	34,7	45,0	57,9
Krotoszyn-Roszki	23,5	72,0	1,5	45,3	21,5	12,7	75,8	94,4	44,3	21,8	15,6	31,1
Krucz-Kruczlas	42,4	67,2	0,0	34,6	23,6	58,5	44,3	52,2	23,3	24,2	16,8	34,4
Łąck-Podgórze	31,4	37,0	0,8	26,1	42,2	68,8	123,4	35,9	24,6	24,6	9,2	54,7
Strzałowo-Krutyń	66,9	71,8	5,4	48,5	61,7	100,7	62,4	29,3	40,5	40,3	16,3	79,5
Suwałki-Hańcza	73,2	78,1	3,9	41,7	105,3	101,7	123,9	64,6	27,8	13,6	12,8	59,0
Sz. Poręba-Jakuszyce	132,4	223,8	28,6	159,6	61,2	79,0	57,6	102,0	133,0	56,6	55,6	82,1
Zawadzkie	40,7	48,8	21,8	44,5	39,2	87,8	63,3	76,0	73,1	16,5	10,9	76,9
Średnia	57,4	76,2	12,6	55,8	45,8	66,8	87,0	57,0	75,4	31,7	24,5	58,1

Tabela 7.3. Średnie wartości miesięczne wilgotności na SPO MI 2022 r.

Stacja	Miesiąc											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	Wilgotność pow. +2 m [%]											
Białowieża-Czerlonka	85,6	81,9	61,6	76,6	63,9	68,8	75,0	73,7	82,5	88,1	92,1	91,0
Piwniczna-Andrzejówka	94,7	80,9	61,7	75,9	66,7	67,0	73,2	77,2	87,7	86,5	95,0	94,6
Bircza-Łodzinka	86,0	76,7	60,9	76,5	62,2	69,4	71,0	77,5	85,2	80,3	91,7	89,6
Chojnów-Dobiesz	91,0	84,7	63,8	74,4	65,9	74,9	77,7	81,9	85,5	92,4	94,9	95,8
Gdańsk-Wyspowo	94,4	89,4	70,5	74,0	73,9	74,9	79,8	81,1	90,2	93,3	97,2	98,7
Krotoszyn-Roszki	92,2	82,1	58,7	66,7	58,4	59,5	61,1	70,6	79,1	88,7	90,5	89,4
Krucz-Kruczlas	94,4	86,7	68,3	69,9	67,1	70,6	69,1	75,8	81,5	91,4	93,1	96,3
Łąck-Podgórze	95,6	90,2	68,7	74,4	73,6	81,8	81,8	85,9	86,9	93,3	95,1	97,4
Strzałowo-Krutyń	94,7	91,1	65,6	72,3	73,0	80,6	82,6	79,5	92,2	97,4	95,1	97,0
Suwałki-Hańcza	95,1	92,6	72,1	74,1	75,3	82,3	83,1	80,3	85,7	92,0	97,4	97,7
Sz. Poręba-Jakuszyce	98,2	90,3	70,9	86,9	79,1	79,0	79,3	85,4	92,8	92,2	96,5	97,6
Zawadzkie	89,9	80,2	61,2	76,0	63,0	71,6	71,8	79,7	87,2	86,3	92,7	92,6
Średnia	92,7	85,6	65,3	74,8	68,5	73,4	75,5	79,1	86,4	90,1	94,3	94,8

W sezonie wegetacyjnym ponad dwutygodniowe okresy bez opadów wystąpiły w Białowieży (33 dni w sierpniu), w Birczy (14 dni w czerwcu), w Krotoszynie (24 dni na przełomie kwietnia i maja), w Strzałowie (16 dni na przełomie czerwca i lipca) i w Zawadzkim (15 dni na przełomie maja i czerwca).

Średnia wilgotność względna powietrza z całego roku wynosiła 81,7%, w sezonie wegetacyjnym było to 76,3%, w pozostałym okresie – 81,7%. Średnia roczna dla stacji zawierała się w przedziale od 74,8% w Krotoszynie do 87,4% w Szklarskiej Porębie. Średnie

miesięczne wartości tego parametru ze wszystkich stacji oscylowały od 65,3% w marcu do 94,8% w grudniu (tab. 7.3).

Tabela 7.4. Średnie wartości miesięczne promieniowania na SPO MI 2022 r.

Stacja	Miesiąc											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	Promieniowanie [W/m ²]											
Białowieża-Czerlonka	11,5	39,1	120,0	111,2	202,7	241,1	203,0	185,2	99,6	54,8	10,0	2,8
Piwniczna-Andrzejówka	7,3	47,9	116,3	115,1	202,6	225,2	194,9	168,6	93,7	83,2	23,6	5,4
Bircza-Łodzinka	19,9	42,6	92,8	88,8	173,5	199,9	176,3	133,9	68,1	61,0	19,0	9,9
Chojnów-Dobiesz	5,1	7,9	23,6	42,1	60,2	65,0	44,8	58,7	27,8	8,7	2,6	0,9
Gdańsk-Wyspowo	17,9	25,5	87,2	126,2	151,3	179,5	160,0	139,8	77,5	40,3	10,3	3,4
Krotoszyn-Roszki	12,3	32,2	104,5	147,5	223,9	250,1	223,9	186,6	115,4	55,6	16,5	8,8
Krucz-Kruczlas	16,2	43,9	109,1	119,3	156,8	176,3	168,6	144,1	91,6	56,2	19,2	8,1
Łąck-Podgórze	12,7	45,9	79,3	83,1	210,9	245,1	211,8	195,2	128,6	65,8	18,8	7,6
Strzałowo-Krutyń	4,5	10,4	56,0	114,0	168,7	251,5	207,7	129,0	78,6	39,6	12,9	4,6
Suwałki-Hańcza	18,4	48,7	113,9	136,7	191,9	231,9	211,9	187,9	101,0	52,4	27,8	2,5
Sz. Poręba-Jakuszyce	2,1	18,9	95,8	97,0	168,8	195,8	192,5	151,9	74,1	48,8	19,5	4,7
Zawadzkie	13,4	40,4	124,1	129,8	199,1	227,3	197,8	158,9	104,3	64,9	21,1	7,0
Średnia	11,8	33,6	93,6	109,2	175,9	207,4	182,8	153,3	88,3	52,6	16,8	5,5

Średnie promieniowanie całkowite z całego okresu pomiarowego zawierało się w przedziale od 28,9 W/m² na stacji w Chojnowie do 114,8 W/m² w Krotoszynie. Miesiącem o najsilniejszym średnim promieniowaniu był czerwiec (207,4 W/m²), zaś najmniejsze promieniowanie występowało w grudniu (5,5 W/m²) (tab. 7.4). Średnia ze wszystkich stacji dla sezonu wegetacyjnego wyniosła 152,8 W/m², a dla pozostałej części roku 35,6 W/m².

Tabela 7.5. Udział pomiarów z wiatrem – stacje meteorologiczne na SPO MI –2022 r.

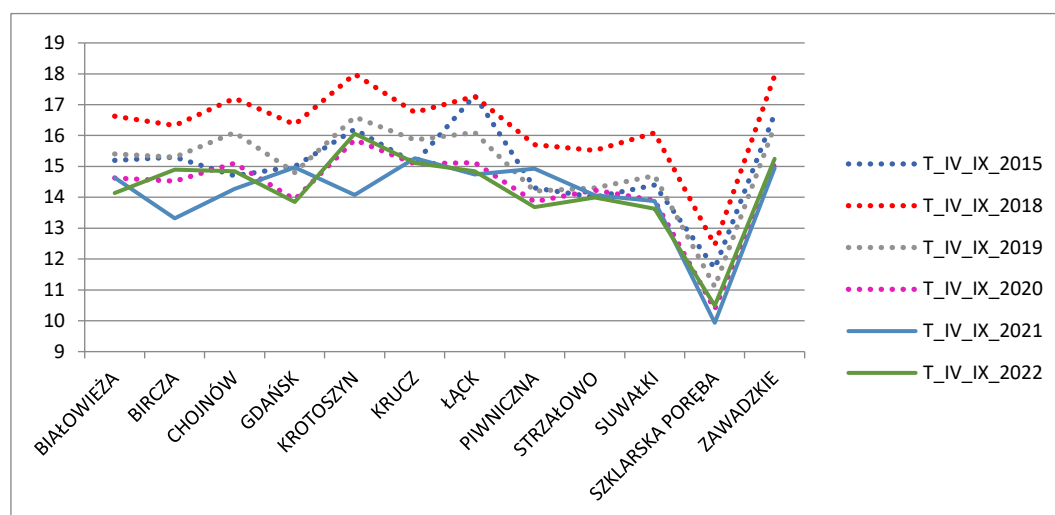
Stacja	Pomiary z wiatrem		Dominujące kierunki wiatrów
	liczba	%	
Białowieża - Czerlonka	26901	51,1	NNE (6,2) S-SSW (5,6)
Piwniczna - Andrzejówka	35710	67,9	NE (23,6) SW (20,8)
Bircza-Łodzinka	51053	97,1	NW-NNW (28,6) SSW (18,5)
Chojnów-Dobiesz	26320	50,1	WNW(23,7) W-WNW (23,9)
Gdańsk-Wyspowo	42503	80,7	NW (12,6)
Krotoszyn-Roszki	33905	64,5	W-WSW (43,7) WSW (38,9)
Krucz-Kruczlas	39720	75,6	SW (9,2) SW-WSW (9,1)
Łąck-Podgórze	30138	57,3	ESE-SE (18,2)
Strzałowo-Krutyń	39286	74,7	ESE (14,4) WNW (11,8)
Suwałki-Hańcza	45442	86,5	NW (28,6)
Szkl. Poręba-Jakuszyce	37620	71,6	SW-SSW (26,5)
Zawadzkie	29531	56,2	W-WNW (14,7) W-WSW (13,2)

Prędkość i kierunek wiatru. Pogodę z wiatrem notowano najrzadziej na stacji w Chojnowie (50,1% wszystkich pomiarów), a najczęściej na stacji w Birczy (97,1%). Wiatry z kierunków zachodnich dominowały w Chojnowie, Krotoszynie i Zawadzkim; wiatry południowe – przeważały w Szklarskiej Porębie; wiatry wschodnie – w Łącku

i Strzałowie. Na pozostałych stacjach dominowały wiatry z południowego zachodu, z północnego wschodu i z północnego zachodu (tab. 7.5).

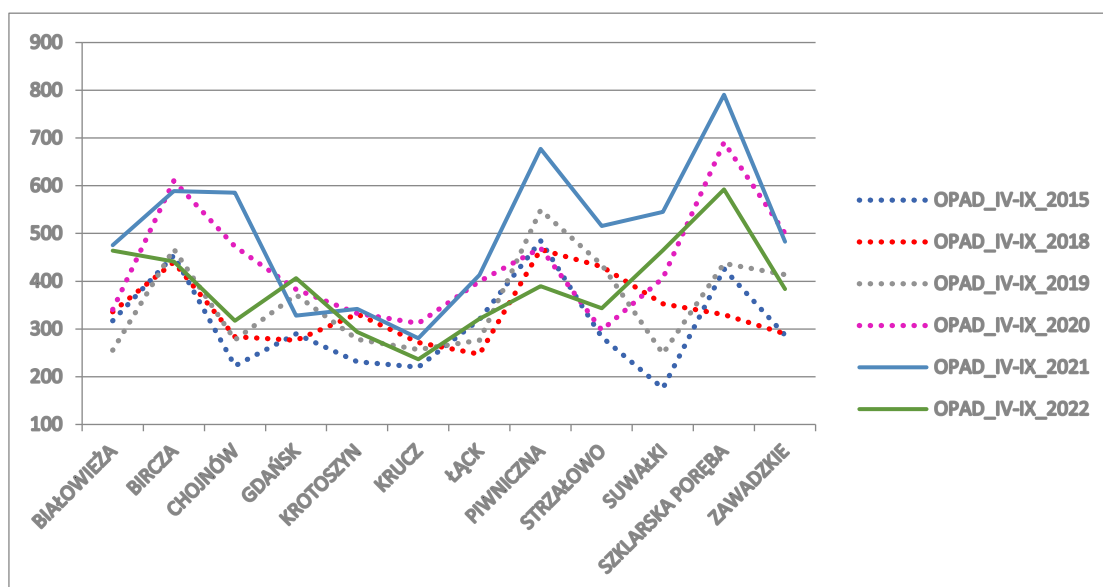
Porównanie warunków termicznych i opadowych między latami 2015, 2018 - 2022.

Porównano warunki termiczne i opadowe 2022 roku z danymi z lat: 2015 i 2018-2021. Rok 2015 był najcieplejszy od początku pomiarów na stacjach meteorologicznych Monitoringu Intensywnego, z kolei rok 2021 był najchłodniejszy w badanym okresie.



Rycina 7.1. Temperatury średnie okresu wegetacyjnego na SPO MI w latach 2015, 2018-2022

Najwyższe wartości średnich temperatur okresu wegetacyjnego dla stacji w latach 2015, 2018-2022 wystąpiły w roku 2018, zaś temperatury roku 2022 były istotnie niższe i zbliżone do tych z roku 2020 (ryc. 7.1).



Rycina 7.2. Sumy opadów okresu wegetacyjnego na SPO MI w latach 2015, 2018-2022

Rok 2022 pod względem opadów przedstawia się korzystniej w porównaniu z sumą opadów na większości stacji w latach 2015 i 2020, lecz jest uboższy w opady w porównaniu z latami 2018 i 2021. Na większości stacji wyższą sumą opadów charakteryzował się sezon wegetacyjny roku 2021, zaś oprócz stacji w Białowieży i Gdańsku opad sezonu wegetacyjnego na pozostałych stacjach w roku 2022 był niższy, a sumy dla poszczególnych stacji cechowały się znaczną zmiennością w porównaniu do pozostałych lat badanego okresu (ryc. 7.2).

Zarówno sumy opadów, jak i średnie temperatury powietrza na powierzchniach monitoringu intensywnego w roku 2022 wskazują na przeciętne warunki pogodowe na tle analizowanego pięciolecia.

Rozkład średnich miesięcznych temperatur w roku 2022 potwierdza zachodzące od kilku lat w Polsce zmiany termiczne, charakteryzujące się ciepłą zimą, chłodnym początkiem wiosny oraz gorącym latem i wczesną jesienią (Rocznik Meteorologiczny IMGW 2022).

8. POZIOM STĘŻENIA NO₂ I SO₂ W POWIETRZU NA TERENACH LEŚNYCH – ANNA KOWALSKA

W zakres badań jakości powietrza na SPO MI wchodzi oznaczenia stężeń głównych zanieczyszczeń gazowych: dwutlenku siarki i dwutlenku azotu metodą pasywną z użyciem próbników dyfuzyjnych typu Amaya, z trietanolaminą jako substancją aktywną (Krochmal i Kalina 1997a, 1997b).

8.1. Dwutlenek siarki

Niskie średnie roczne stężenia dwutlenku siarki (poniżej $0,8 \mu\text{g m}^{-3}$) występowały, podobnie jak w latach ubiegłych, na powierzchniach zlokalizowanych w północno-wschodniej Polsce (w Strzałowie, Białowieży, Suwałkach i Gdańsku). W Chojnowie, Kruczu, Piwnicznej, Szklarskiej Porębie i Krotoszynie stężenia mieściły się w zakresie od $1,0$ do $1,4 \mu\text{g m}^{-3}$. Wyższe średnie roczne stężenia notowano na powierzchniach w Łącku, Birczy i Zawadzkiem (odpowiednio: $1,5 \mu\text{g m}^{-3}$, $1,5 \mu\text{g m}^{-3}$ i $2,0 \mu\text{g m}^{-3}$). Stężenia na tych powierzchniach były istotnie wyższe niż na powierzchniach, gdzie notowano najniższe poziomy SO₂, tj. w Suwałkach, Strzałowie i Białowieży ($p \leq 0,05$, test Kruskala-Wallisa z wielokrotnym porównaniem średnich rang).

Niskie stężenia SO₂ na powierzchniach Polski północno-wschodniej wynikają m.in. z warunków demograficznych i stopnia uprzemysłowienia regionów. Województwa: podlaskie i warmińsko-mazurskie mają najniższą w kraju gęstość zaludnienia oraz niską emisję gazowych zanieczyszczeń powietrza z zakładów szczególnie uciążliwych dla jakości

powietrza (Rocznik Statystyczny Województw 2022), co przekłada się na jakość powietrza w lasach.

Średnie miesięczne stężenia SO_2 mieściły się w zakresie od 0,1 do $5,4 \mu\text{g m}^{-3}$. Rozkład stężeń w kolejnych miesiącach roku wykazuje niewielkie różnice między miesiącami okresu zimowego (w szczególności: październik, listopad, styczeń) a letniego (od kwietnia do września), wynikające z różnic temperatury i użycia paliw grzewczych emitujących związki siarki w chłodnej porze roku. W okresie zimowym podwyższone stężenia SO_2 występowały przeważnie w marcu i grudniu (mediana odpowiednio: $1,8 \mu\text{g m}^{-3}$ i $1,5 \mu\text{g m}^{-3}$). W miesiącach letnich, od kwietnia do września, wartości miesięczne minimalne wynosiły $0,4 \mu\text{g m}^{-3}$, maksymalne $2,4 \mu\text{g m}^{-3}$, a mediana dla okresu $0,9 \mu\text{g m}^{-3}$. Mediany stężeń miesięcznych okresów w sezonach letnich i zimowych nie różniły się dla poszczególnych powierzchni. Wzorem lat poprzednich, z wyjątkiem roku 2019, zaobserwowano zależność między stężeniami SO_2 a średnią temperaturą powietrza.

Podobnie jak w latach ubiegłych niskie średnie roczne stężenia SO_2 (poniżej $0,8 \mu\text{g m}^{-3}$) występowały na powierzchniach północno-wschodniej Polski (w Strzałowie, Białowieży, Suwałkach i Gdańsku), najwyższe ($2,0 \mu\text{g m}^{-3}$) – zanotowano w Zawadzkiem.

W 2022 r. średnie roczne stężenia SO_2 stanowiły od 63% do 108% wartości notowanych w roku 2021. Spadki stężeń zanotowano na dziewięciu z dwunastu powierzchni, największe w Gdańsku, duże – w Białowieży, Łącku i Suwałkach (stężenie spadło o odpowiednio: 37%, 18%, 14% i 12%). Wzrosty stężeń wystąpiły na dwóch powierzchniach. W Zawadzkiem poziom stężenia SO_2 nie uległ znaczącej zmianie.

Obwieszczenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 12 kwietnia 2021 r. (Dz. U. z dn. 5 maja 2021 r., poz. 845) ustala poziom dopuszczalny SO_2 ze względu na ochronę roślin dla roku kalendarzowego i pory zimowej (okres od 1 października do 31 marca) na poziomie $20 \mu\text{g m}^{-3}$. Średnie roczne stężenia SO_2 na SPO MI zawierały się w granicach 0,63 – $1,96 \mu\text{g m}^{-3}$, co stanowiło od 3 do 10% wartości dopuszczalnej. W porze zimowej zakres stężeń wynosił 0,60 – $2,27 \mu\text{g m}^{-3}$, tj. od 3 do 11% wartości dopuszczalnej. Nie stwierdzono zatem stężeń stwarzających bezpośrednie zagrożenie dla ochrony roślin.

8.2. Dwutlenek azotu

Średnie roczne stężenia NO_2 , podobnie jak w poprzednich latach badań, były niskie na powierzchniach Polski północnej i północno-wschodniej (w Białowieży, Strzałowie, Suwałkach i Gdańsku), a także w rejonach podgórskich i górskich (w Piwnicznej, Birczy i Szklarskiej Porębie) (od 3,2 do $3,9 \mu\text{g m}^{-3}$). Wysokie stężenia notowano w rejonach Polski centralnej (w Chojnowie i Łącku), na zachodzie kraju (w Krotoszynie) oraz na południu (w Zawadzkiem) (odpowiednio: 10,4, 7,6, 7,1 i $6,7 \mu\text{g m}^{-3} \text{ rok}^{-1}$).

Wyższy poziom stężeń NO_2 na powierzchniach jest związany z ich lokalizacją w pobliżu źródeł zanieczyszczeń. Punkt pomiarowy w Chojnowie jest zlokalizowany

w pobliżu dużych arterii komunikacyjnych, w odległości około 20 km na południe od aglomeracji warszawskiej; powierzchnia w Łącku – położona blisko ruchliwej drogi krajowej, w odległości 5 km na południowy zachód od Płocka, dużego ośrodka przemysłu rafineryjnego; powierzchnia w Zawadzkiem na Górnym Śląsku – w regionie o największej w skali kraju gęstości zaludnienia oraz wysokiej urbanizacji i uprzemysłowieniu, natomiast powierzchnia w Krotoszynie w Wielkopolsce – w regionie o najwyższym w Polsce zużyciu mineralnych nawozów azotowych w przeliczeniu na hektar (emisja NO_x z gleb oraz amoniak pochodzenia rolniczego w powietrzu) (Rocznik Statystyczny Rolnictwa GUS 2022).

Średnie miesięczne stężenia dwutlenku azotu wahały się w granicach od 1,2 do 13,1 $\mu\text{g m}^{-3}$ i wykazywały sezonowość. Na większości powierzchni obserwowano istotną ($p \leq 0,05$) ujemną zależność stężenia NO_2 i temperatury: ze spadkiem temperatury wzrastało średnie miesięczne stężenie NO_2 . Stężenia średnie dla okresu zimowego (styczeń-marzec i październik-grudzień) były od 1,2 do 2,3 razy wyższe niż dla okresu letniego.

Najwyższe miesięczne stężenie NO_2 zanotowano w grudniu w Chojnowie (13,1 $\mu\text{g m}^{-3}$ m-c) i nieco niższe w Zawadzkiem, Łącku i Krotoszynie (od 11,8 do 12,5 $\mu\text{g m}^{-3}$ m-c). Stężenia niższe niż 3 $\mu\text{g m}^{-3}$ m-c występowały przeważnie między kwietniem a sierpniem w Strzałowie i Białowieży (w Polsce północno-wschodniej) oraz w Piwnicznej, Birczy i Szklarskiej Porębie (w rejonach górskich). Istotne różnice między medianami miesięcznych stężeń dla okresów letnich i zimowych wystąpiły na niemal wszystkich powierzchniach, z wyjątkiem Krotoszyna i Chojnowa.

Podobnie jak w latach ubiegłych, wysokie średnie roczne stężenia dwutlenku azotu notowano w rejonach Polski centralnej (w Chojnowie i Łącku), na zachodzie (w Krotoszynie) oraz na południu kraju (w Zawadzkiem) (odpowiednio: 10,4, 7,6, 7,1 i 6,7 $\mu\text{g m}^{-3}$). W pozostałych lokalizacjach średnie roczne stężenia NO_2 były niższe (od 3,2 do 3,9 $\mu\text{g m}^{-3}$).

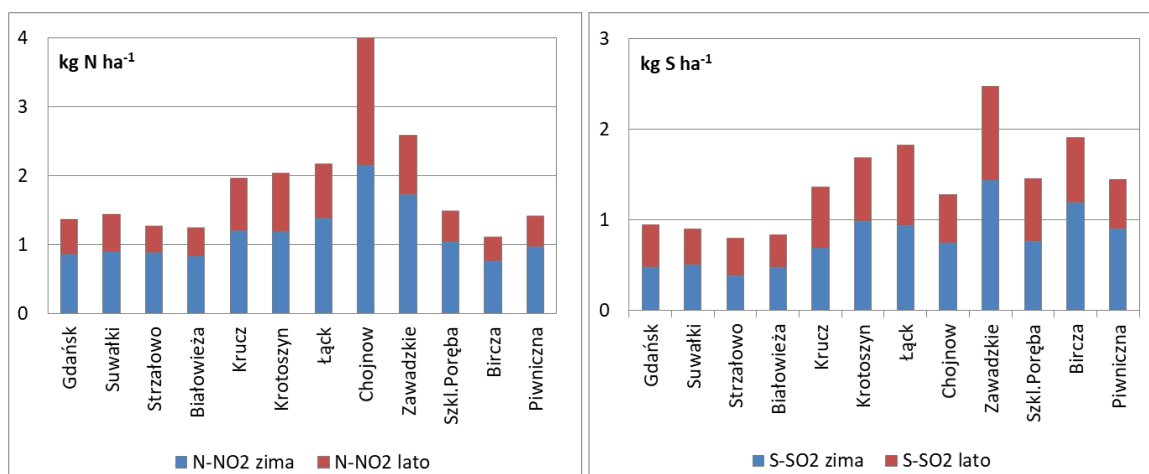
W 2022 r. średnie roczne stężenia NO_2 stanowiły od 86% do 115% wartości z roku 2021. Na trzech powierzchniach (w Białowieży, Szklarskiej Porębie i Piwnicznej) nastąpił wzrost stężeń (od 4% do 15%), na pięciu powierzchniach (w Suwałkach, Kruczu, Łącku, Chojnowie i Zawadzkiem) – zanotowano niewielki spadek stężeń (od 3% do 14%), natomiast na czterech pozostałych – nie nastąpiły istotne zmiany.

Obwieszczenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 12 kwietnia 2021 r. (Dz. U. z dn. 5 maja 2021 r., poz. 845) ustala poziom dopuszczalny tlenków azotu ze względu na ochronę roślin dla roku kalendarzowego na poziomie 30 $\mu\text{g m}^{-3}$. Średnie roczne stężenia NO_2 na SPO MI zawierały się w granicach 3,2 – 10,4 $\mu\text{g m}^{-3}$, co stanowiło od 11 do 35% wartości dopuszczalnej. Nie stwierdzono zatem, podobnie jak w przypadku dwutlenku siarki, stężeń stwarzających bezpośrednie zagrożenie dla ochrony roślin.

8.3. Depozycja gazowych związków siarki i azotu

Na podstawie średnich stężeń rocznych i sezonowych oszacowano ładunek N i S (w kg ha^{-1}), jaki był deponowany na SPO MI w 2022 r. (ryc. 8.1). Obliczenia wykonano przyjmując za Thimonier i in. (2005), że prędkość osadzania SO_2 dla powierzchni leśnych wynosi 8 mm s^{-1} , zaś za Rihm (1996), że prędkość osadzania NO_2 wynosi 3 mm s^{-1} dla drzewostanów liściastych oraz 4 mm s^{-1} dla drzewostanów iglastych.

Gazowa roczna depozycja siarki była najniższa (od $0,8$ do $1,0 \text{ kg S ha}^{-1}$) na powierzchniach Polski północno-wschodniej (w Strzałowie, Białowieży, Suwałkach i Gdańsku). W Polsce centralnej (w Chojnowie) oraz w Wielkopolsce (w Kruczu) wynosiła od $1,3$ do $1,4 \text{ kg S ha}^{-1}$, w Sudetach (w Szklarskiej Porębie) i w Beskidzie (w Piwnicznej): od $1,4$ do $1,6 \text{ kg S ha}^{-1}$, w Wielkopolsce (w Krotoszynie), na Mazowszu (w Łącku) i na Podkarpaciu (w Birczy): od $1,7$ do $1,9 \text{ kg S ha}^{-1}$. Najwyższą roczną depozycję siarki odnotowano w Zawadzkiem ($2,5 \text{ kg S ha}^{-1}$) (ryc. 8.1).



Rycina 8.1. Szacunkowy roczny depozyt azotu w formie NO_2 i siarki w formie SO_2 na powierzchniach monitoringu intensywnego w 2022 r.

Najmniejszą roczną depozycję azotu (około $1,1 - 1,2 \text{ kg N ha}^{-1}$) odnotowano w Birczy, w rejonie podkarpackim oraz w Białowieży w Polsce północno-wschodniej. Niskie ilości (od $1,3$ do $1,5 \text{ kg N ha}^{-1}$) zostały zdeponowane w Strzałowie, Suwałkach i Gdańsku (północna i północno-wschodnia część kraju), w Piwnicznej (w Karpatach) oraz w Szklarskiej Porębie (w Sudetach). Pośrednie ilości (od $2,0$ do $2,2 \text{ kg N ha}^{-1}$) – otrzymały powierzchnie w Kruczu, Krotoszynie i Łącku. Wysoką depozycję odnotowano w Zawadzkiem ($2,6 \text{ kg N ha}^{-1}$), a najwyższą – w Chojnowie ($4,0 \text{ kg N ha}^{-1}$) (ryc. 8.1).

Na badanych powierzchniach od 54% do 70% depozycji azotu oraz od 48% do 62% depozycji siarki przypadało na okres zimowy.

Wśród powierzchni monitoringowych można wyodrębnić trzy grupy różniące się sumarycznym obciążeniem zanieczyszczeniami gazowymi ($\text{N-NO}_2 + \text{S-SO}_2$). W 2022 roku również te różnice zostały odnotowane:

1) Na powierzchniach Polski północnej i północno-wschodniej (w Białowieży, Gdańsku, Strzałowie i Suwałkach) łączna depozycja siarki i azotu z atmosfery była niska (od 2,1 do 2,3 $\text{kg N+S ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$). Powierzchnie zlokalizowane w górach i na pogórzu (w Szklarskiej Porębie, Piwnicznej i Birczy) wyróżniały się nieco wyższymi, ale wciąż dość niskimi wartościami sumarycznej depozycji (od 2,8 do 3,0 $\text{kg N+S ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$).

2) W Wielkopolsce (w Kruczu i Krotoszynie) obciążenie sumarycznym ładunkiem zanieczyszczeń gazowych było pośrednie (odpowiednio: 3,3 i 3,7 kg N+S ha^{-1}). W Łącku na Mazowszu depozycja wynosiła 4,0 $\text{kg N+S ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$.

3) Najbardziej obciążone zanieczyszczeniami atmosferycznymi były, podobnie jak w latach ubiegłych, powierzchnie w Chojnowie i Zawadzkiem, w 2022 r. depozycja wynosiła tam odpowiednio: 5,0 i 5,3 kg N+S ha^{-1} .

Na większości powierzchni depozycja gazowa pozostała na zbliżonym poziomie jak w roku 2021, z wyjątkiem Gdańska i Suwałk, gdzie zmalała odpowiednio o 19% i 13% oraz Birczy, gdzie wzrosła o 5%.

Niska depozycja siarki i azotu na powierzchniach Polski północnej i północno-wschodniej wynika z niskiej emisji związków siarki i azotu z zakładów szczególnie uciążliwych zlokalizowanych w województwach podlaskim i warmińsko-mazurskim (Rocznik Statystyczny Województw GUS 2022). Antropopresja wywoływana głównie przez źródła rolnicze i rozproszone lokalne nie jest tak dużym obciążeniem dla ekosystemów leśnych jak w innych rejonach kraju. W województwie pomorskim, pomimo względnej bliskości aglomeracji trójmiejskiej wpływ urbanizacji na stan powietrza na powierzchni w Nadleśnictwie Gdańsk jest umiarkowany. Wyniki prac modelowych prowadzonych w ramach CLRTAP (Slootweg i in. 2014) wskazują, że narażenie północnych rejonów Polski na przekroczenia ładunków krytycznych kwasowości i eutrofizacji jest niewielkie.

Powierzchnie zlokalizowane w górach i na pogórzu: w Szklarskiej Porębie, Piwnicznej i Birczy wyróżniają się dość niskimi wartościami sumarycznej depozycji. W województwie podkarpackim, na terenie którego położona jest powierzchnia w Birczy, ogólna emisja SO_2 i NO_x z zakładów szczególnie uciążliwych jest co najmniej kilkakrotnie niższa niż w województwach mazowieckim, wielkopolskim i opolskim, gdzie zlokalizowane są powierzchnie z grupy o wyższym poziomie zanieczyszczeń (Rocznik statystyczny województw 2022). Stosunkowo wysokiej na tle innych powierzchni depozycji SO_2 w Birczy towarzyszyła szczególnie niska depozycja NO_2 . Wysoka lesistość (powyżej 60%), małe zaludnienie i niski współczynnik urbanizacji na Podkarpaciu są prawdopodobnymi przyczynami ogólnie niskiego sumarycznego poziomu zanieczyszczeń gazowych, co było obserwowane na powierzchni w Birczy również w latach poprzednich.

W Chojnowie za wysoki depozyt gazowy odpowiadają głównie zanieczyszczenia azotowe. Przyczyną wysokich stężeń zanieczyszczeń gazowych jest najpewniej komunikacja samochodowa i sąsiedztwo Warszawy, miasta o dużym zagrożeniu środowiska emisjami. Powierzchnia w Zawadzkim jest zlokalizowana na granicy opolskiego i śląskiego, w najgęściej zaludnionej części kraju, o wysokim wskaźniku urbanizacji i uprzemysłowieniu. Poziomy emisji według danych GUS należą na Śląsku do najwyższych w Polsce, ponadto są w skali kraju w niewielkim stopniu zatrzymywane w urządzeniach do redukcji zanieczyszczeń, tj. 29,5% zatrzymanych zanieczyszczeń gazowych w 2021 roku w zestawieniu ze średnią dla Polski 73,5% (Rocznik statystyczny województw 2022).

Do rejonów Polski centralnej, na których depozycja gazowych zanieczyszczeń była pośrednia i wysoka, należą nadleśnictwa: Chojnów, Zawadzkie, Łąck, Krotoszyn i Krucz. Pokrywają się z obszarami, na których istnieje ryzyko przekroczeń ładunków krytycznych eutrofizacji i zakwaszenia. Przekroczenia ładunków oszacowane dla roku 2020 wskazują, że w tych rejonach kraju zagrożenie dla ekosystemów ze strony zanieczyszczeń powietrza siarką i azotem utrzymuje się nawet po wdrożeniu ustaleń zrewidowanego Protokołu z Göteborga (Slootweg i in. 2014, Geupel i in. 2022). Według scenariuszy dla roku 2030 przekroczenia ładunków krytycznych kwasowości nadal będą dotyczyć niektórych zachodnich i centralnych rejonów Polski (1-3% obszarów ekosystemów), natomiast zagrożenie eutrofizacją na dużym obszarze kraju nie zniknie nawet do 2050 roku, obejmując od 10% do 49% obszarów ekosystemów (Geupel i in. 2022).

Prognozy wskazują, że w Polsce centralnej, w rejonach o wysokiej i średniej depozycji gazowych zanieczyszczeń powietrza, zagrożenie dla ekosystemów ze strony SO_2 i NO_2 będzie się utrzymywać, nawet po wdrożeniu ustaleń zrewidowanego Protokołu z Göteborga (Slootweg i in. 2014).

9. WIELKOŚĆ DEPOZYTU WNOSZONEGO Z OPADAMI ATMOSFERYCZNYMI NA TERENACH LEŚNYCH – ANNA KOWALSKA

Badania składu chemicznego opadów na terenach leśnych Polski prowadzone są w ramach monitoringu intensywnego w dwunastu punktach pomiarowych, zlokalizowanych w pobliżu SPO MI poza zasięgiem koron drzew, z reguły w sąsiedztwie stacji meteorologicznych (ryc. 9.1).

Na skład chemiczny opadów wpływa szereg czynników, na które składają się m.in. bliskość źródeł zanieczyszczeń oraz ich rozprzestrzenianie, warunki meteorologiczne (wiek i kierunek mas powietrza, temperatura, wiatr) oraz warunki topograficzne.

Przewodność elektrolityczna właściwa (EC), charakteryzuje chemizm opadów, pośrednio jest miarą ogólnej zawartości zdysocjowanych soli. W 2022 roku przewodność opadów osiągała średnio rocznie od 8,7 do 19,0 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Miesięczne wahania wynosiły od 5,0 $\mu\text{S cm}^{-1}$ do 75,8 $\mu\text{S cm}^{-1}$, najniższą wartość odnotowano w Białowieży w lipcu (opad 133 mm) a maksymalną w marcu w Strzałowie (opad 0,7 mm). Wzorem lat poprzednich obserwowano tendencję do występowania wyższych wartości przewodności w okresach większych sum opadów.

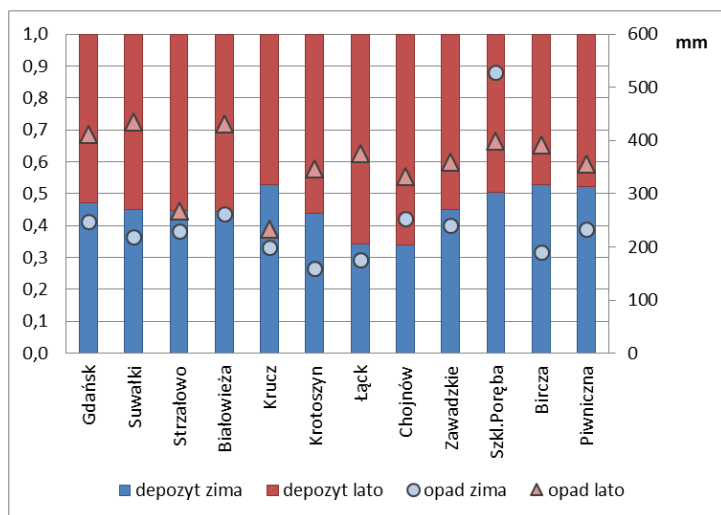
Tabela 9.1. Depozyt roczny [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$] (bez RWO) wniesiony z opadami na SPO MI w 2022 roku.

Nadleśnictwo	Strzałowo	Białowieża	Krucz	Chojnów	Zawadzkie	Suwałki	Szklarska Poręba	Piwniczna	Krotoszyn	Łąck	Gdańsk	Bircza
Gatunek panujący	Sosna					Świerk			Dąb		Buk	
Opad [mm]	496	693	432	585	599	652	877	588	507	551	658	581
H ⁺	0,016	0,013	0,012	0,008	0,041	0,008	0,039	0,029	0,011	0,012	0,021	0,029
Cl ⁻	3,72	2,57	4,92	3,64	3,43	4,60	5,39	2,57	3,40	3,39	9,07	2,37
N-NO ₃ ⁻	2,22	1,78	2,70	2,24	3,66	2,61	2,52	1,49	2,95	1,92	3,65	1,43
S-SO ₄ ²⁻	1,64	1,55	1,79	2,41	2,58	1,92	2,94	2,17	2,21	2,43	2,12	2,24
N-NH ₄ ⁺	2,30	1,95	3,32	4,49	3,13	3,36	4,68	2,23	4,12	3,55	4,01	1,53
Ca	3,78	3,81	4,27	5,86	4,02	5,17	3,96	2,98	3,22	4,26	5,36	4,58
Mg	0,69	0,60	0,69	0,87	0,58	0,92	0,61	0,47	0,60	0,61	1,10	0,49
Na	2,17	1,51	2,83	1,84	1,80	2,79	3,31	1,45	2,12	1,56	5,17	1,43
K	1,91	1,26	1,35	3,46	1,25	1,23	1,25	1,49	1,54	1,44	3,04	0,86
Fe	0,014	0,025	0,020	0,029	0,028	0,016	0,031	0,028	0,027	0,020	0,026	0,027
Al	0,018	0,027	0,024	0,033	0,032	0,014	0,028	0,024	0,028	0,016	0,038	0,021
Mn	0,024	0,041	0,066	0,034	0,084	0,034	0,030	0,046	0,028	0,076	0,072	0,035
Cd	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0008	0,0005	0,0006	0,0004	0,0003	0,0002	0,0003	0,0004
Cu	0,020	0,032	0,017	0,041	0,028	0,027	0,020	0,026	0,022	0,037	0,033	0,027
Pb	0,003	0,005	0,003	0,003	0,006	0,005	0,007	0,003	0,003	0,003	0,005	0,004
Zn	0,078	0,131	0,097	0,126	0,131	0,117	0,144	0,109	0,093	0,093	0,125	0,111
RWO	7,6	10,1	6,0	10,6	8,6	7,3	9,6	8,6	8,2	8,0	8,5	7,8
N _{tot}	5,5	4,7	6,9	8,3	7,9	7,0	9,1	4,5	8,6	6,3	8,6	3,9
Depozyt całkowity	19,5	16,3	23,0	26,6	22,0	23,9	26,9	15,9	21,9	20,3	34,8	16,1

RWO – rozpuszczony węgiel organiczny, N_{tot} – azot całkowity

Depozycja roczna. Roczny depozyt jonów: azotu całkowitego, jonów wodorowych, chlorków, siarki w formie siarczanu (VI), wapnia, sodu, potasu, magnezu, żelaza, glinu, manganu i metali ciężkich mieścił się w granicach od 15,9 do 34,8 kg ha^{-1} (tab. 9.1). Niską ilość jonów zdeponowały opady na powierzchniach w Białowieży, Piwnicznej i Birczy (od 15,9 do 16,3 $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$). W Gdańsku, Szklarskiej Porębie i Chojnowie depozyt był wysoki i wynosił odpowiednio 34,8, 26,9 oraz 26,6 $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$. Suma rocznej depozycji na pozostałych powierzchniach wynosiła od 19,5 do 23,9 $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$.

Na wysoką depozycję w Gdańsku i Szklarskiej Porębie, wynikającą głównie z dużej sumy rocznej opadów i z cyrkulacji mas powietrza, składały się przede wszystkim jony Cl^- i Na (w Gdańsku – głównie pochodzenia morskiego). Sumaryczna depozycja jonów chlorkowych i sodu była w Szklarskiej Porębie i Gdańsku wyższa niż na pozostałych powierzchniach.



Rycina 9.1. Suma opadu bezpośredniego [mm] (prawa oś) oraz udział depozytu w sezonie letnim (V-X) i zimowym (I-IV, XI-XII) na SPO MI w 2022 roku

Suma depozycji w okresie zimowym stanowiła od 34 do 53% depozycji rocznej (ryc. 9.1), jednak na większości powierzchni depozycja latem była wyższa niż w okresie zimowym. Po części przewaga depozytu okresu letniego wynikała z wyższej sumy opadów, na miesiące letnie przypadało od 54% do 68% sumy rocznej opadu. Wyjątek

stanowiła powierzchnia w Szklarskiej Porębie, gdzie suma opadów letnich wynosiła 43% opadów rocznych.

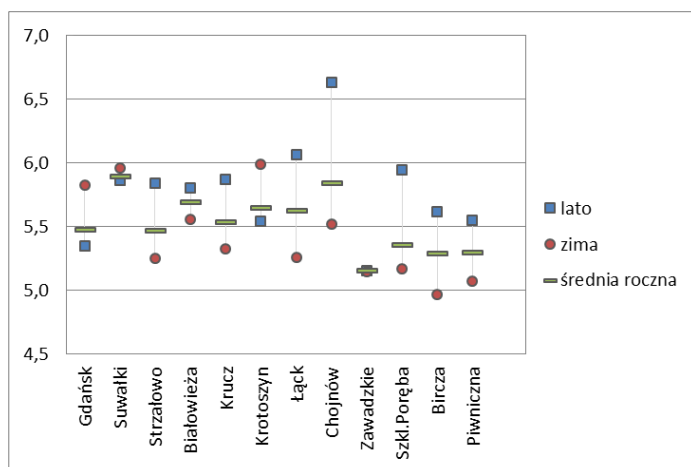
Depozycja w Kruczu oraz w Strzałowie i Gdańsku była wyższa niż w 2021 roku (wzrost o odpowiednio: 32% i 14-15%). Duży spadek depozycji zanotowano w Białowieży oraz na powierzchniach obszarów górskich (w Birczy, Szklarskiej Porębie i Piwnicznej) (o 26-22%), jak również w Łącku i Suwałkach (odpowiednio: o 15% i 10%). Na pozostałych powierzchniach (w Chojnowie, Krotoszynie i Zawadzkim) depozycja zmieniła się o 1% do 6% w stosunku do roku 2021. Do wzrostu depozycji w Kruczu przyczynił się napływ jonów sodu i chlorkowych (VII) prawdopodobnie pochodzenia morskiego oraz wapnia i magnezu.

Sumaryczny depozyt pierwiastków śladowych (żelaza, manganu, glinu oraz metali ciężkich: cynku, miedzi, kadmu i ołowiu) wyrażony w kg ha^{-1} wynosił od 0,8% do 1,6% depozytu rocznego wszystkich składników. Na metale ciężkie, wśród których ilościowo dominował cynk, przypadło od 0,5% do 1,0% depozytu rocznego (od 0,10 do 0,17 $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$). Największe ilości metali ciężkich zanotowano na powierzchniach w Szklarskiej Porębie, Chojnowie, Zawadzkim i Białowieży (0,17 $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$).

Wyniki depozycji metali ciężkich obarczone są stosunkowo dużą niepewnością, wynikającą po pierwsze z problemów analitycznych oznaczeń na poziomie stężeń

śladowych, po drugie, zapewne najważniejsze, ze stosowanej metodyki pobierania próbek. W przypadku SPO MI można z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że oszacowana depozycja metali śladowych jest zaniżona.

Właściwości kwasowo-zasadowe wód opadowych. Średnie miesięczne pH opadów mieściło się w granicach od 5,1 do 5,9. Minimalną wartość osiągnęło w listopadzie w Birczy, a maksymalną w maju w Chojnowie.



Rycina 9.2. Średnie pH roczne, sezonu letniego (V-X) i zimowego (I-IV i XI-XII) na SPO MI w 2022 r. w opadach na otwartej przestrzeni

Gdańska i Krotoszyna. W Suwałkach i Zawadzkim różnica odczynu opadów zimą i latem była niewielka.

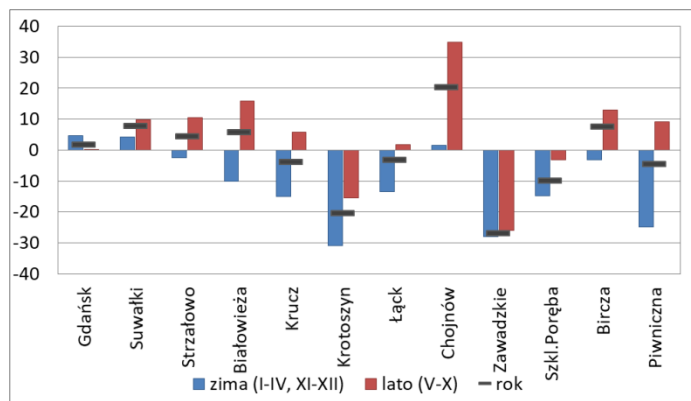
Najwyższa kwasowość opadów mierzona średnią roczną wartością pH wystąpiła na Śląsku w Zawadzkim (pH 5,2), wysoka – na powierzchniach w rejonach górskich, w Piwnicznej, Birczy (pH 5,3) i Szklarskiej Porębie (pH 5,4) (ryc. 9.2). Niewiele wyższe średnie pH opadów odnotowano w Gdańsku, Strzałowie i Kruczu (pH 5,5). W Łącku i Krotoszynie średnie pH opadów wynosiło 5,6, w Białowieży 5,7, w Chojnowie 5,8. Najniższa kwasowość opadów występowała w Suwałkach (pH 5,9).

Pojemność zobojętniania kwasów (ANC [$\mu\text{eq dm}^{-3}$]) jest miarą zdolności roztworów do zobojętniania mocnych kwasów. Dokładność wyznaczenia ANC jest zatem w znacznym stopniu zależna od dokładności oznaczenia stężeń jonów mocnych kwasów i mocnych zasad w próbkach opadów. W porównaniu do pH pojemność zobojętniania kwasów nie jest zależna od wymiany CO_2 z powietrzem, od reakcji z jonami glinu czy obecności jonów organicznych (Neal i in. 1999), co czyni ten wskaźnik szczególnie użytecznym w ocenie zakwaszenia środowiska (Neal i in. 1999, Chapman i in. 2008).

Ujemne wartości ANC są wskaźnikiem nadmiarowej ilości jonów mocnych kwasów w opadach, zaś dodatnie – nadmiarowej ilości mocnych zasad. Na SPO MI 56%

Udział miesięcznych opadów o pH niższym od 5,0 wyniósł 9% i z ponad dziesięcioletnich pomiarów wynika, że udział ten sukcesywnie spada. Niezmiennie od lat, opady o pH niższym od 5,0 przeważały w miesiącach zimowych. Średnio w okresie zimowym na większości powierzchni pH opadów było niższe niż w okresie letnim (ryc. 9.2), z wyjątkiem

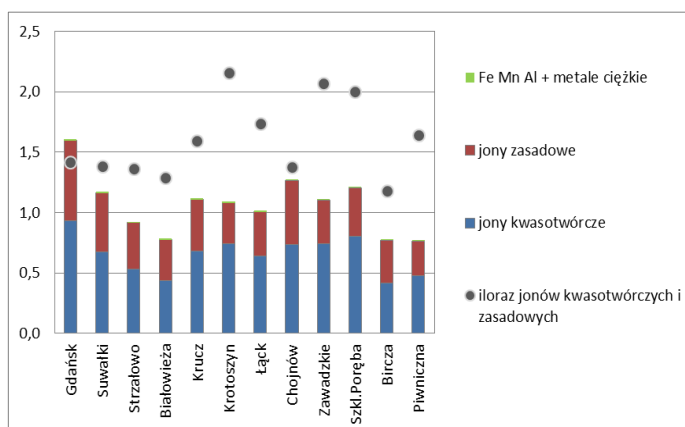
miesięcznych opadów przyjmowało ujemne wartości ANC, z czego nieco więcej przypadało na okres zimowy (37% próbek pobranych w ciągu roku) niż letni (19% próbek pobranych w ciągu roku).



Rycina 9.3. Pojemność zobojętniania kwasów (ANC) [$\mu\text{eq} \cdot \text{dm}^{-3}$] w opadach na otwartej przestrzeni na SPO MI średnio od stycznia do grudnia, średnio w okresie zimowym (miesiące I-IV i XI-XII) i letnim (V-X) w 2022 r.

w Zawadzkiem, Krotoszynie i Szklarskiej Porębie (odpowiednio -26,7, -20,2 i -9,8 $\mu\text{eq} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{rok}^{-1}$).

Stosunek depozytu jonów kwasotwórczych do zasadowych. Udział jonów o charakterze zakwaszającym (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- i NH_4^+) w depozycie wyrażonym sumą ładunku molarnego (H^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Ca, Na, K, Mg, Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Cd i



Rycina 9.4. Ładunek jonów [$\text{kmol} \cdot \text{c} \cdot \text{ha}^{-1}$] oraz stosunek depozytu jonów kwasotwórczych do zasadowych w opadach na otwartej przestrzeni na SPO MI w 2022 r.

38%). Niższy udział depozycji jonów o charakterze zakwaszającym występował w Birczy, Białowieży, Chojnowie i Suwałkach (54% – 58%), przy jednocześnie wysokim udziale jonów o charakterze zasadowym (45% - 42%).

ANC półrocza zimowego było z reguły niższe niż w półroczu letnim, z wyjątkiem Suwałk (ryc. 9.3). Średnio rocznie ANC osiągnęło wartość dodatnią w Chojnowie, Suwałkach, Gdańsku, Strzałowie, Białowieży i Birczy, na pozostałych powierzchniach przyjmowało wartości ujemne, szczególnie niskie wartości wystąpiły

Pb) wynosił od 54 do 68% (ryc. 9.4). Powierzchnia w Krotoszynie miała najwyższy udział jonów o charakterze zakwaszającym wynoszący 68%, w Zawadzkiem, Szklarskiej Porębie, Łącku, Piwnicznej i Kruczu udział ten przekraczał 61%, a zjawisku temu towarzyszył niski udział jonów o charakterze zasadowym (poniżej

W 2022 r. roczny depozyt jonów w opadach na SPO MI mieścił się w zakresie od 15,9 do 34,8 kg ha⁻¹. Niską ilość jonów zdeponowały opady na powierzchniach w Białowieży, Piwnicznej i Birczy (15,9 – 16,3 kg ha⁻¹ rok⁻¹), wysoką – w Gdańsku, Szklarskiej Porębie i Chojnowie (odpowiednio: 34,8, 26,9 oraz 26,6 kg ha⁻¹ rok⁻¹).

Suma depozycji w okresie zimowym stanowiła od 34 do 53% depozycji rocznej, na większości powierzchni depozycja latem była wyższa niż w okresie zimowym.

Depozycja w Kruczu oraz w Strzałowie i Gdańsku była wyższa niż w 2021 r. (wzrost o odpowiednio: 32% i 14-15%). Duży spadek depozycji zanotowano w Białowieży oraz na powierzchniach obszarów górskich (w Birczy, Szklarskiej Porębie i Piwnicznej) (o 26-22%), jak również w Łącku i Suwałkach (odpowiednio: o 15% i 10%). Na pozostałych powierzchniach (Chojnów, Krotoszyn i Zawadzkie) depozycja zmieniła się o 1% do 6% w stosunku do roku 2021.

Średnie miesięczne pH opadów mieściło się w granicach od 5,1 do 5,9. Minimalną wartość osiągnęło w listopadzie w Birczy, a maksymalną w maju w Chojnowie. Udział miesięcznych opadów o pH niższym od 5,0 wyniósł 9% i z ponad dziesięcioletnich pomiarów wynika, że udział ten sukcesywnie spada. Niezmiennie od lat, opady o pH niższym od 5,0 przeważały w miesiącach zimowych.

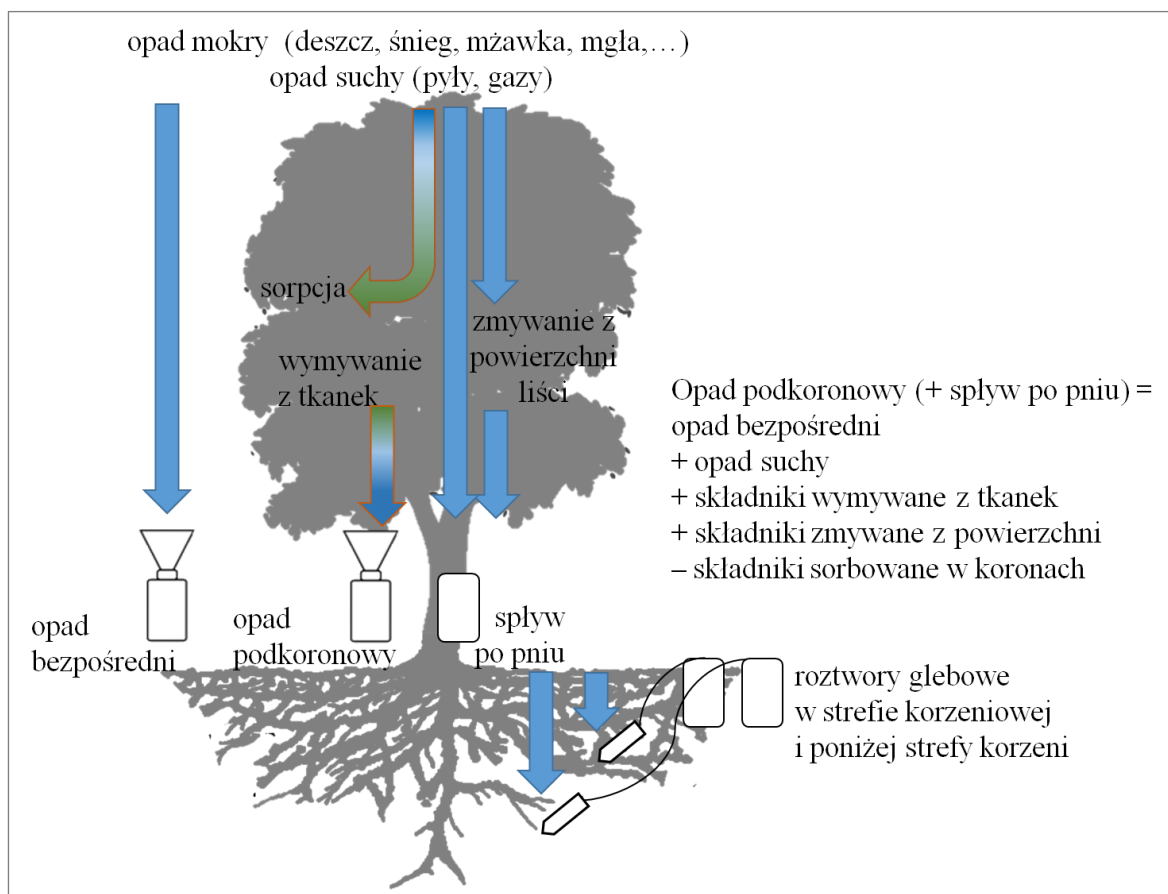
56% miesięcznych opadów przyjmowało ujemne wartości ANC, z czego nieco więcej przypadało na okres zimowy (37% próbek pobranych w ciągu roku) niż letni (19% próbek pobranych w ciągu roku).

Udział jonów o charakterze zakwaszającym (SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻ i NH₄⁺) w depozycie wyrażonym sumą ładunku molarnego (H⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, Ca, Na, K, Mg, Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Cd i Pb) wynosił od 54% do 68%.

Na każdej powierzchni w depozycie rocznym 2022 r., podobnie jak w roku poprzednim, dominowały jony kwasotwórcze, a ich przewaga nad jonami zasad była ponad dwukrotna w Krotoszynie, Zawadzkim i Szklarskiej Porębie.

10. OPADY PODKORONOWE ORAZ SPŁYW PO PNIE – ANNA KOWALSKA

Substancje transportowane przez opady atmosferyczne są dostarczane do dna lasu w formie opadów podkoronowych. Dodatkowo trafia do gleby pewna pula pierwiastków, których źródłem są procesy interakcji opadów z koronami drzew. Opady są wzbogacane poprzez wymywanie części składników z tkanek roślinnych i zmywanie z powierzchni aparatu asymilacyjnego suchej depozycji. Równocześnie pierwiastki są pobierane z opadów przez tkanki roślinne bądź sorbowane na powierzchniach roślin, zwłaszcza na korze pni i gałęzi (ryc. 10.1). Opady podkoronowe różnią się od opadów atmosferycznych zarówno pod względem ilości, jak i składu chemicznego. Ich badanie dostarcza istotnych informacji o obiegu pierwiastków w środowisku leśnym.



Rycina 10.1. Schemat koncepcyjny badań depozytu i przepływu składników w środowisku leśnym na SPO MI.

10.1. Opady podkoronowe

Średnia przewodność elektrolityczna właściwa będąca pośrednio miarą ogólnej zawartości jonów w wodach w 2022 roku przyjmowała miesięcznie wartości od 11,9 do 291 $\mu\text{S cm}^{-1}$. W opadach podkoronowych w niemal wszystkich przypadkach wartości przewodności były wyższe niż w opadach docierających do koron. Wartości przewodności były zależne od ilości opadów w badanym okresie. Dla okresów z sumą opadów poniżej 20,0 mm m-c⁻¹ mediana przewodności wynosiła 70,6 $\mu\text{S cm}^{-1}$, podczas gdy w okresach z sumą opadów powyżej 47,8 mm m-c⁻¹ przewodność była o wiele niższa (mediana równa 27,3 $\mu\text{S cm}^{-1}$). W okresach niskich opadów zanieczyszczenia dostarczane z wodą opadową i spłukiwane oraz wymywane z liści były obecne w próbkach w dużych stężeniach, zaś wysokim opadom towarzyszył tzw. efekt rozcieńczenia.

Roczny depozyt podkoronowy wyliczono jako sumę depozycji azotu całkowitego (N_{tot}), jonów wodorowych, chlorków, siarczanów (VI), jonów wapnia, sodu, potasu, magnezu, żelaza, glinu, manganu i metali ciężkich.

W 2022 r. do gleby wpłynął ładunek substancji od 1,7 do 4,2 razy większy niż z opadem na otwartej przestrzeni. Stosunkowo niskie wzbogacenie pod okapem miało miejsce w drzewostanach sosnowych w Kruczu i Chojnowie oraz buczynie w Gdańsku (1,7-krotnie), w świerczynie w Szklarskiej Porębie i w drzewostanie sosnowym w Strzałowie (2,1-krotnie), w dąbrowie w Łącku, w buczynie w Birczy, w drzewostanie sosnowym w Zawadzkiem (od 2,3 do 2,5-krotnie). Opady podkoronowe były bardziej wzbogacone w stosunku do opadów bezpośrednich (od 3,0 do 3,7-krotnie) w drzewostanach: świerkowym w Piwnicznej i Suwałkach i sosnowym w Białowieży oraz aż 4,2-krotnie w dąbrowie w Krotoszynie.

Depozyt podkoronowy mieścił się w zakresie od 38,9 do 90,8 kg ha⁻¹ rok⁻¹ (tab. 10.1). Był wysoki na powierzchniach w Krotoszynie i Suwałkach (odpowiednio: 90,8 i 76,0 kg ha⁻¹ rok⁻¹). W Gdańsku, Białowieży, Zawadzkiem i Szklarskiej Porębie – przekraczał 50 kg ha⁻¹ rok⁻¹, w Strzałowie i w Birczy – był bliski 41 kg ha⁻¹ rok⁻¹. w Kruczu był najniższy i wynosił 38,9 kg ha⁻¹ rok⁻¹. W pozostałych drzewostanach osiągał wartości z zakresu 46 – 49 kg ha⁻¹ rok⁻¹.

W opadach podkoronowych występowało więcej istotnych różnic pomiędzy SPO MI niż w opadach na otwartej przestrzeni. Różnice dotyczyły nieco innych składników niż w opadach na otwartej przestrzeni, uwidaczniając wpływ koron na skład depozycji. Powierzchnie, gdzie opady podkoronowe charakteryzowały się największą kwasowością (Szklarska Poręba, Zawadzkie), różniły się istotnie od powierzchni Polski północno-wschodniej (Białowieża, Suwałki i Strzałowo) pod względem depozycji co najmniej jednego ze składników, które wskazują na zakwaszenie opadów: ANC lub S-SO₄²⁻. Wyniki wskazują na ogólnie mniejsze obciążenie związkami o charakterze zakwaszającym w lasach Polski północno-wschodniej i centralnej w porównaniu z lasami Śląska i Sudetów.

Tabela 10.1. Depozyt roczny [kg·ha⁻¹] wniesiony z opadami w drzewostanach na SPO MI w 2022 r. (bez RWO).

Nadleśnictwo	Strzałowo	Białowieża	Krucz	Chojnów	Zawadzkie	Suwałki	Szklarska Poręba	Piwniczna	Krotoszyn	Łąck	Gdańsk	Birca		
Gatunek panujący/ mierzony parametr	Sosna					Świerk			Dąb		Buk			
	PK										PK	PP	PK	PP
Opad [mm]	352	459	304	424	445	615	893	390	485	435	444	20	502	28
H ⁺	0,011	0,011	0,014	0,016	0,057	0,004	0,049	0,020	0,017	0,007	0,015	0,000	0,021	0,000
Cl ⁻	5,46	6,59	8,03	6,43	8,52	12,77	10,50	7,84	7,74	5,22	14,39	0,47	3,56	0,27
N-NO ₃ ⁻	4,47	4,72	3,53	2,74	6,71	5,24	3,77	3,30	7,13	2,00	3,96	0,02	4,25	0,12
S-SO ₄ ²⁻	1,65	1,93	1,81	3,08	5,10	2,98	4,45	2,69	3,60	3,39	2,55	0,09	2,98	0,24
N-NH ₄ ⁺	2,29	2,11	5,06	5,14	6,45	3,18	4,99	2,41	7,48	7,10	2,94	0,11	2,49	0,25

Ca	5,45	14,97	4,14	7,00	8,03	10,98	6,09	4,76	7,60	6,41	5,65	0,15	5,28	0,26
Mg	1,83	3,07	1,14	1,87	1,72	4,52	1,42	1,33	3,32	1,67	1,61	0,03	0,97	0,04
Na	2,71	2,96	4,17	2,54	3,41	6,06	4,61	2,08	2,92	2,27	6,95	0,29	1,62	0,10
K	15,00	19,19	8,32	14,44	12,26	26,49	16,28	21,29	45,81	15,71	19,30	1,64	17,04	1,59
Fe	0,054	0,090	0,074	0,081	0,100	0,076	0,143	0,091	0,202	0,106	0,052	0,007	0,048	0,010
Al	0,081	0,206	0,161	0,167	0,236	0,075	0,154	0,117	0,163	0,104	0,057	0,006	0,053	0,009
Mn	0,208	0,678	0,388	0,443	0,525	0,340	0,149	0,469	0,944	0,807	0,661	0,019	0,201	0,017
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,021	0,047	0,026	0,044	0,029	0,032	0,039	0,030	0,047	0,056	0,024	0,001	0,025	0,002
Pb	0,003	0,004	0,002	0,005	0,009	0,005	0,008	0,005	0,007	0,005	0,003	0,000	0,004	0,001
Zn	0,083	0,152	0,098	0,137	0,181	0,155	0,161	0,124	0,146	0,110	0,111	0,005	0,110	0,004
RWO	36,3	105,4	51,8	64,6	68,3	47,8	66,9	62,4	85,8	39,7	22,9	4,1	21,0	4,1
N _{tot}	8,4	9,9	10,5	10,1	15,2	11,5	11,7	7,7	18,3	11,3	8,8	0,4	8,2	0,6
Depozyt w drzewostanie	41,0	59,8	38,9	46,4	55,4	76,0	55,7	48,6	90,8	47,2	60,2	3,1	40,1	3,1

RWO – rozpuszczony węgiel organiczny, N_{tot} – azot całkowity, PK – depozyt podkoronowy, PP – depozyt wniesiony ze spływem po pniu

Wpływy depozycji morskiej zauważane w opadach na otwartej przestrzeni w rejonach nadmorskich (Gdańsk) oraz w Sudetach (Szkłarska Poręba) zaznaczają się także pod okapem drzewostanów w istotnie wyższej depozycji Cl⁻ i Na niż na obszarach Podkarpacia (Bircza). Znaczny wzrost depozycji soli pochodzenia morskiego odnotowano również pod okapem w Suwałkach w stosunku do roku 2021.

W opadach w drzewostanach bukowych: w Gdańsku, a szczególnie w Birczy występowały istotnie mniejsze depozyty rozpuszczonego węgla organicznego (RWO) niż w drzewostanach sosnowych w Białowieży, Krotoszynie i Zawadzkiem i świerkowym w Szkłarskiej Porębie. Różnice w depozycji podkoronowej RWO między drzewostanem liściastym i iglastym są opisane przez Le Mellec i in. (2010), którzy odnotowali mniejsze stężenia i depozyty RWO w opadach w drzewostanie bukowym niż w świerkowym.

Nie odnotowano istotnych różnic w depozycji podkoronowej związków eutrofizujących: N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ i N_{tot} poza drzewostanem sosnowym w Zawadzkiem i dąbrowie w Łącku, które różniły się pod względem wielkości depozycji N-NO₃⁻.

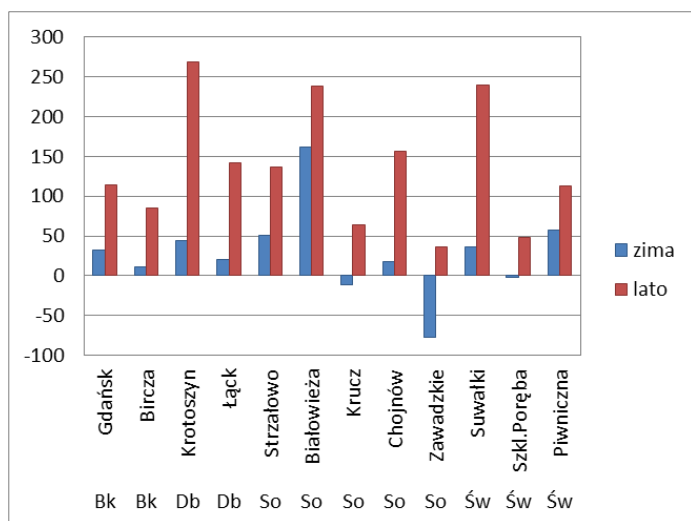
Depozyt pierwiastków śladowych i metali ciężkich: żelaza, manganu, glinu, cynku, miedzi, kadmu i ołowiu wynosił od 0,44 do 1,51 kg ha⁻¹ rok⁻¹, co odpowiadało od 0,9 do 2,5% całkowitej rocznej depozycji podokapowej. Najwyższy udział omawianych metali w depozycie ogólnym stwierdzono w Łącku, przy czym w depozycie metali ponad połowę udziału miał Mn. Udział samych metali ciężkich (Zn, Cu, Pb, i Cd) stanowił w sumie rocznego depozytu od 0,2 do 0,4%. Na poszczególnych powierzchniach depozyt metali ciężkich wyniósł od 0,11 do 0,22 kg ha⁻¹ rok⁻¹, z czego od 64 do 82% stanowił cynk.

Właściwości kwasowo-zasadowe opadów podkoronowych. Obniżone pH (niższe niż 5,0) występowało na przestrzeni roku w 15% miesięcznych próbek opadów. Opady o takim pH występowały dwukrotnie częściej w okresie zimowym niż letnim, a szczególnie w styczniu (na czterech powierzchniach), lutym (na trzech powierzchniach) i grudniu (na czterech powierzchniach).

Powierzchnie zlokalizowane w Polsce północno-wschodniej (Suwałki, Białowieża, Strzałowo) oraz centralnej (Łąck) charakteryzowały się wyższym średnim rocznym pH (5,5–6,2) niż w pozostałych rejonach Polski, a średnio w roku najbardziej kwaśne opady docierały do gleby w drzewostanie zlokalizowanym na Śląsku (Zawadzkie, pH 4,9). Odczyn opadów nie różnił się więcej niż o 0,2 jednostki pH w stosunku do roku poprzedniego. Średnio rocznie odczyn był bardziej kwaśny niż w roku 2021 w Strzałowie i Kruczu (o 0,2 jednostki pH), natomiast mniej kwaśny – w Suwałkach, Kroto-szynie i Gdańsku (o 0,2 jednostki pH). Na pozostałych powierzch-niach pH opadów przyjmowało wartości zbliżone do tych, które wystąpiły w roku 2021.

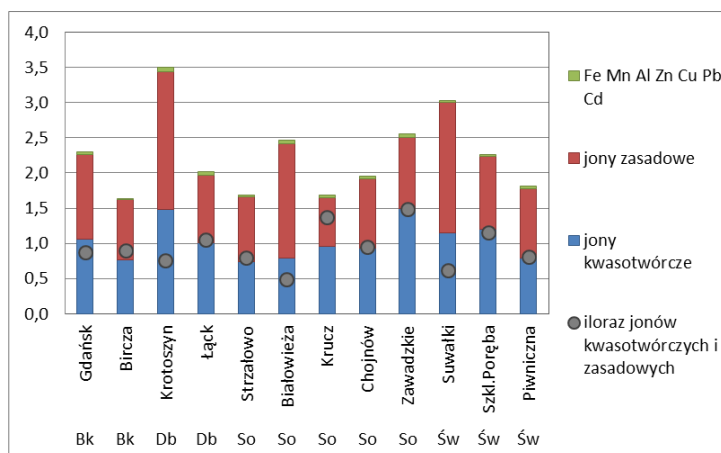
Pojemność zobojętniania kwasów (ANC), obliczona jako różnica stężeń kationów mocnych zasad (Ca, Mg, Na, K) i anionów mocnych kwasów (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-) w opadach, mierzona w $\mu\text{eq dm}^{-3}$, jest wskaźnikiem pozwalającym ocenić, czy w wodach występuje nadmiar wolnych mocnych kwasów ($\text{ANC} < 0$), czy zasad ($\text{ANC} > 0$). Inaczej mówiąc, ANC charakteryzuje zdolność wody do zobojętniania kwasów.

W porównaniu z wodami opadowymi, opady podkoronowe z ujemnymi wartościami ANC występowały rzadziej, bo w około 1/5 przypadków. Ujemne wartości ANC związane z przewagą jonów wolnych kwasów występowały przeważnie w okresie zimowym, co można przypisać zmniejszonej aktywności biologicznej drzew i mniejszej wymianie jonowej niż w okresie wegetacyjnym, ale także wzmożonym emisjom zanieczyszczeń w sezonie grzewczym. Na wszystkich powierzchniach obserwacyjnych ANC półroczna zimowego było niższe niż w półroczu letnim.



Rycina 10.2. Pojemność zobojętniania kwasów (ANC) [$\mu\text{eq}\cdot\text{dm}^{-3}$] w opadach podkoronowych na SPO MI w 2022 r. Średnie dla okresu zimowego (miesiące I-IV, XI i XII) i letniego (V-X)

213, 206, 153 i $105 \mu\text{eq dm}^{-3} \text{ rok}^{-1}$), natomiast w pozostałych drzewostanach ANC przyjmowało wartość od 21,9 do $99 \mu\text{eq dm}^{-3} \text{ rok}^{-1}$ (ryc. 10.2).



Rycina 10.3. Ładunek jonów [$\text{kmol}_c\cdot\text{ha}^{-1}$] oraz stosunek depozytu jonów kwasotwórczych do zasadowych w opadach podkoronowych na SPO MI w 2022 roku.

jonów o charakterze zakwaszającym (57%) stwierdzono, podobnie jak w poprzednich latach, w Zawadzkiem. Udział ten przekraczał połowę całkowitej depozycji podkapowej również w Kruczu (56%) i Szklarskiej Porębie (52%), a sięgał niemal połowy depozycji w Łącku (drzewostan dębowy) i Chojnowie (drzewostan sosnowy) oraz Gdańsku i Birczy (drzewostany bukowe). Najniższy był w Białowieży i Suwałkach (32 – 38%), tam też depozyt molowy jonów o charakterze zasadowym (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} i Na^+) znacznie przewyższał depozyt jonów zakwaszających (ryc.10.3).

Średnio rocznie dodatnią wartość ANC (przewagę wolnych zasad) w opadach podkoronowych odnotowano we wszystkich badanych drzewostanach z wyjątkiem sosnowego na obszarze Śląska w Zawadzkiem, gdzie występowała przewaga wolnych kwasów, a ANC osiągnęło wartość $-7,5 \mu\text{eq dm}^{-3} \text{ rok}^{-1}$. Wysoką przewagę wolnych zasad odnotowano w opadach w Białowieży, Krotoszynie, Suwałkach i Łącku (odpowiednio

Jony o zakwaszającym oddziaływaniu na środowisko (SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Cl^-) stanowiły od 32 do 57% rocznego molowego depozytu (sumy azotu mineralnego, chlorków, siarczanów (VI), kationów zasadowych, żelaza, glinu, manganu i metali ciężkich oraz wodoru wyrażonej w $\text{mol}_c \text{ ha}^{-1}$). Najwyższy udział

Roczny depozyt podkoronowy był od 1,7 do 4,2 większy niż ten, który wpłynął z opadem na otwartej przestrzeni i mieścił się w zakresie od 38,9 kg ha⁻¹ (na powierzchni w Kruczu) do 90,8 kg ha⁻¹ (na powierzchni w Krotoszynie).

W opadach w drzewostanach bukowych: w Gdańsku, a szczególnie w Birczy występowały istotnie mniejsze depozyty rozpuszczonego węgla organicznego (RWO) niż w drzewostanach sosnowych w Białowieży, Krotoszynie i Zawadzkiem i świerkowym w Szklarskiej Porębie.

Depozyt pierwiastków śladowych i metali ciężkich: żelaza, manganu, glinu, cynku, miedzi, kadmu i ołowiu wynosił od 0,44 do 1,51 kg ha⁻¹ rok⁻¹, co odpowiadało od 0,9 do 2,5% całkowitej rocznej depozycji podokapowej. Udział samych metali ciężkich (Zn, Cu, Pb, i Cd) stanowił w sumie rocznego depozytu od 0,2 do 0,4%. Na poszczególnych powierzchniach depozyt metali ciężkich wyniósł od 0,11 do 0,22 kg ha⁻¹ rok⁻¹, z czego od 64 do 82% stanowił cynk.

Udział próbek opadów podkoronowych z ujemnymi wartościami ANC wynosił 21% i był niższy w porównaniu z opadami na otwartej przestrzeni. Ujemne wartości ANC związane z przewagą jonów wolnych kwasów występowały przeważnie w okresie zimowym. Na wszystkich powierzchniach obserwacyjnych ANC półrocza zimowego było niższe niż w półroczu letnim.

Przewagę jonów wolnych kwasów odnotowano w opadach w drzewostanie sosnowym na Śląsku (Zawadzkie; ANC -7,5 $\mu\text{eq dm}^{-3} \text{ rok}^{-1}$). Na pozostałych SPO MI odnotowano dodatnią wartość średniej rocznej ANC (przewagę jonów wolnych zasad). Wysoką przewagę wolnych zasad odnotowano w opadach w Białowieży, Krotoszynie, Suwałkach i Łącku (odpowiednio 213, 206, 153 i 105 $\mu\text{eq dm}^{-3} \text{ rok}^{-1}$).

Jony o zakwaszającym oddziaływaniu na środowisko (SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Cl^-) stanowiły od 32% (w Białowieży) do 57% (w Zawadzkiem) rocznego molowego depozytu.

10.2. Spływ po pniu w drzewostanach bukowych

Depozycja składników z opadami w drzewostanach byłaby znacząco niedoszacowana, gdyby pominięto jedną ze ścieżek dopływu wód opadowych do gleb leśnych, czyli wody spływające po pniach drzew. W ramach programu monitoringu lasów ta frakcja wód opadowych badana jest jedynie w drzewostanach bukowych (powierzchnie w Gdańsku i Birczy). Architektura koron buka, typ i ułożenie liści oraz struktura kory w większym stopniu sprzyja odprowadzaniu opadu po pniach, niż u innych gatunków drzew. W buczynach spływ po pniu stanowi istotną formę transportu wody, substancji pokarmowych oraz zanieczyszczeń zawartych w opadach, modyfikując warunki glebowe w strefach wokół pni (Chang i Matzner 2000). Wokół korzeni buków tworzą się korytarze, sprzyjające preferencyjnemu odpływowi wody wraz z rozpuszczonymi substancjami, oddziałujące w istotnym stopniu na wielkość przepływów hydrologicznych i odpływ substancji ze strefy korzeniowej (Johnson i Lehmann 2006, Schwärzel i in. 2012).

Pobór próbek przeprowadzano w okresie bezmroźnym, od kwietnia do listopada. Zimą, w okresie gdy nie prowadzono pomiarów, pewna ilość wody również mogła być odprowadzona po pniach, roczna suma spływu po pniu prawdopodobnie przekraczała więc ilość oszacowaną dla badanych miesięcy.

Szacuje się, że w okresie badań na powierzchni w Gdańsku ilość spływu po pniu przekroczyła 20 mm, a na powierzchni w Birczy – 28 mm. W próbkach miesięcznych spływ po pniu stanowił od 1 do 6% opadu bezpośredniego (na otwartej przestrzeni) w Gdańsku oraz od 2 do 8% w Birczy, co odpowiada wartościom przytaczanym w literaturze (Chang i Matzner 2000, Johnson i Lehmann 2006).

W składzie chemicznym spływu po pniu na powierzchni w Gdańsku zauważalny był wpływ aerozoli morskich, średnie stężenia jonów chlorkowych i sodu były większe niż w Birczy. Na obu powierzchniach w większości miesięcznych pomiarów pojemność zobojętniania kwasów (ANC) była większa niż w opadach podkoronowych i na otwartej przestrzeni.

Depozyt składników wniesiony ze spływem po pniu w buczynach wyniósł w okresie badań $3,1 \text{ kg ha}^{-1}$ w obu drzewostanach. Stanowiło to 5% depozytu podkoronowego w Gdańsku i 8% w Birczy.

Mimo że suma opadu odprowadzonego po pniach stanowiła średnio zaledwie 5–6% opadu podkoronowego, depozyt rozpuszczonego węgla organicznego w spływie po pniu wynosił około 18–20% depozycji podokapowej RWO. Zjawisko to tłumaczy się tym, że woda opadowa wzbogaca się w związki organiczne w większym stopniu spływając po pniach niż przepływając przez warstwę koron (Van Stan i Stubbins 2018).

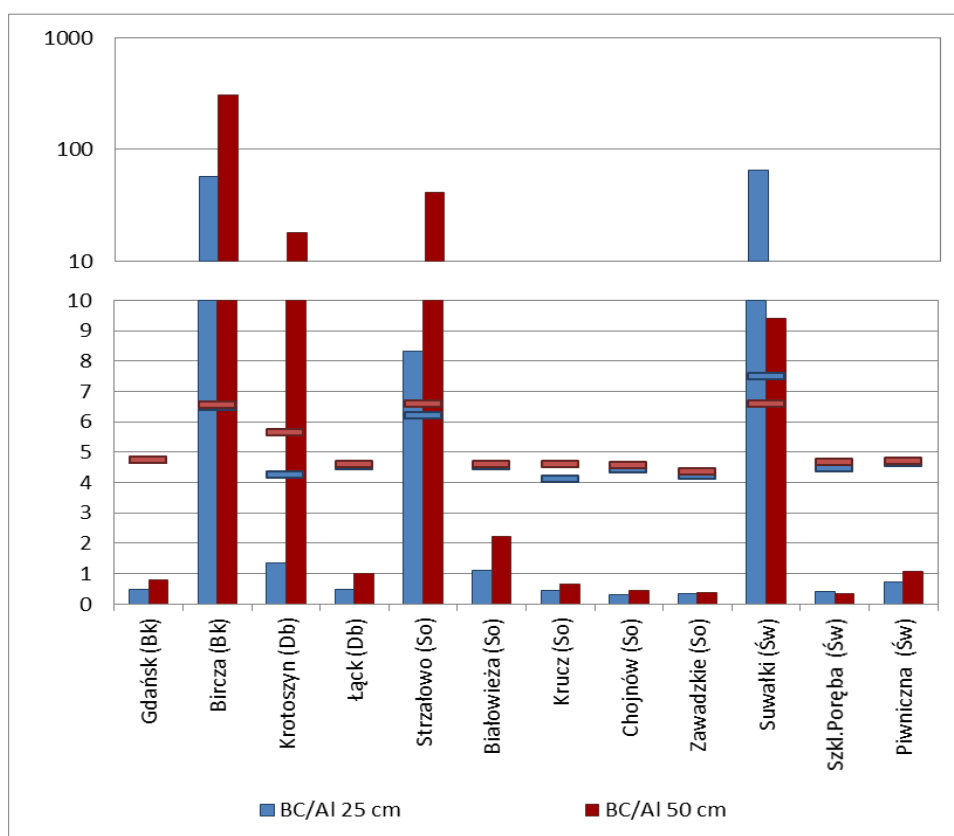
11.ROZTWORY GLEBOWE – ANNA KOWALSKA

Roztwory glebowe stanowią drogę transportu składników odżywczych i substancji toksycznych między fazą stałą gleby a korzeniami roślin. Ich skład chemiczny jest więc źródłem informacji istotnych dla oceny wpływu zanieczyszczeń powietrza oraz innych czynników stresowych na ekosystemy leśne (Nieminen 2011).

Na powierzchniach monitoringu intensywnego roztwory glebowe pobierano z miesięczną częstotliwością, stosując kwarcowo-teflonowe podciśnieniowe lizymetry PRENART. Na każdej powierzchni funkcjonowało po 10 lizymetrów na dwóch głębokościach gleby: 25 cm i 50 cm od powierzchni. Jedynie w Szklarskiej Porębie lizymetry zainstalowano na głębokości 20 i 40 cm z uwagi na małą miąższość gleby i kamieniste podłoże.

W 2022 roku występowały miesiące, gdy wskutek niskich opadów na niektórych powierzchniach woda glebowa nie była dostępna i nie było możliwe pobieranie wystarczających ilości próbek do badań. Taka sytuacja miała miejsce w Suwałkach między sierpniem a listopadem, w czerwcu i lipcu w Krotoszynie, od czerwca do sierpnia w Birczy, od września do listopada w Strzałowie i sporadycznie w innych miesiącach na pozostałych powierzchniach. Na większości obszaru badań w niektórych miesiącach od wczesnej wiosny aż do końca roku z powodu małej objętości łączono próbki do analiz, uzyskując po jednej próbce z każdej głębokości lub w ogóle nie było możliwe wykonanie pełnego zestawu analiz chemicznych.

W 2022 roku średnie pH w badanych roztworach glebowych wynosiło od 4,1 do 7,5 na głębokości 25 cm oraz od 4,4 do 6,6 na głębokości 50 cm (ryc. 11.1). Zmiany większe niż $\pm 0,2$ jednostki pH, w porównaniu z rokiem poprzednim, wystąpiły w kilku przypadkach (w Birczy i Krotoszynie) i mogły być spowodowane niewystarczającą dostępnością wody glebowej, szczególnie w suchszych okresach roku. Pozyskane w takich warunkach próbki łączone mogą być nie w pełni reprezentatywne.

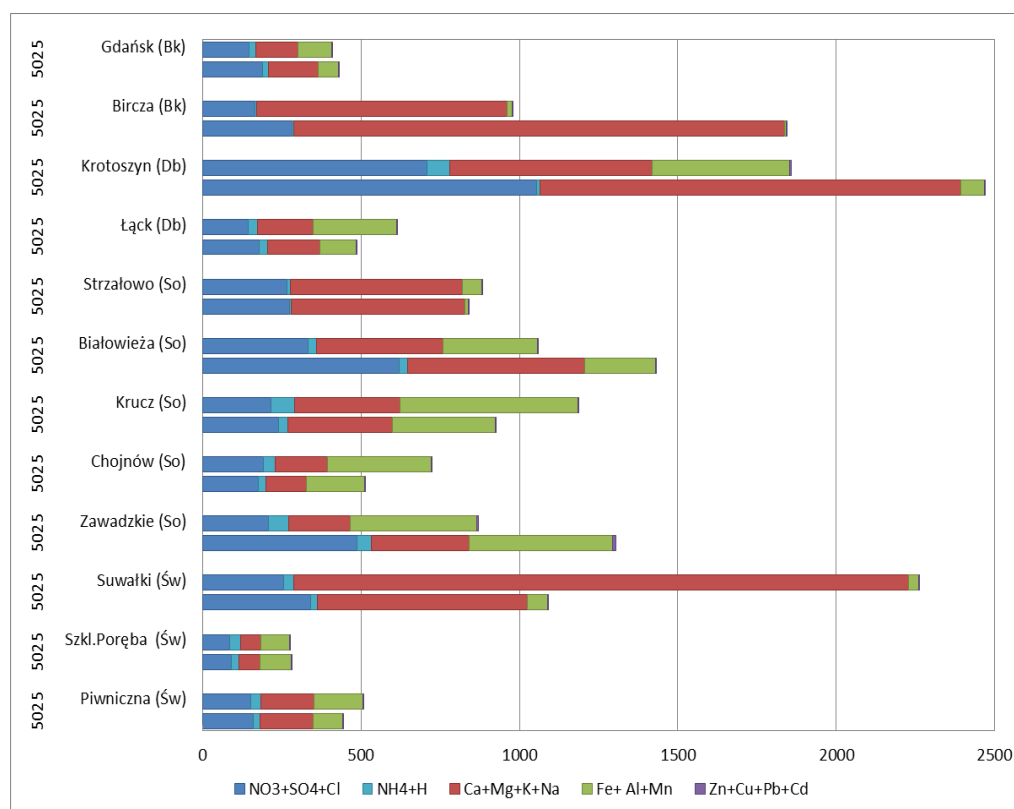


Rycina 11.1. Stosunek molowy kationów zasadowych do glinu (BC/Al) w roztworach glebowych na SPO MI w 2020 r. Poziomymi kreskami zaznaczono średnią roczną wartość pH na głębokości 25 cm (kolor niebieski) i 50 cm (kolor czerwony).

Kwaśne roztwory występowały w drzewostanach sosnowych w Zawadzkiem, Kruczu, Chojnowie i Białowieży (pH od 4,1 do 4,6). W dąbrowie w Krotoszynie w płytszym

poziomie gleby pH również było niskie (pH 4,3). W świerczynach w Szklarskiej Porębie i Piwnicznej, w drzewostanie dębowym w Łącku, oraz bukowym w Gdańsku pH roztworów glebowych na obu głębokościach mieściło się w zakresie 4,5 – 4,8. W Strzałowie (sosna), Birczy (buk) i w Suwałkach (świerk) pH osiągało średnie wartości w zakresie 6,2 – 7,5. Z reguły w górnej części profilu glebowego występowało nieznaczne zakwaszenie roztworów w stosunku do głębszych poziomów, szczególnie widoczne w dąbrowie w Krotoszynie, w buczynie w Birczy i w borze w Strzałowie, gdzie różnica między pH na głębokości 25 i 50 cm wynosiła odpowiednio: 0,9, 0,5 i 0,5 jednostki pH.

W składzie roztworów glebowych znaczący udział miały kationy o charakterze zasadowym: Ca, Mg i K, które stanowiły co najmniej 50% sumy jonów na obu głębokościach w Birczy, Strzałowie oraz Suwałkach (ryc. 11.2). Udział kationów o charakterze zasadowym w sumie jonów był niski (22–25%) na powierzchniach w Szklarskiej Porębie, Chojnowie i Zawadzkiem. Na powierzchniach w Białowieży, Kruczu, Łącku, Gdańsku i w Piwnicznej był nieco wyższy i wynosił od 28 do 39%.



Rycina 11.2. Suma stężeń jonów [$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$] w roztworach glebowych na głębokości 25 i 50 cm (oznaczenie z lewej strony pionowej osi wykresu) na SPO MI w 2022 r.

Stosunek molowy jonów o charakterze zasadowym (Ca, Mg i K) do glinu (BC/Al) stosowany jest jako wskaźnik stopnia zagrożenia gleby przez czynniki zakwaszające. Wskaźnik ten był również stosowany jako podstawa wyznaczania ładunku krytycznego

kwasowej depozycji dla gleb leśnych (np. Semenov i in. 2001, Akselsson i in. 2004). Przyjmuje się, że przy wartościach $(Ca+Mg+K)/Al \geq 1$ korzenie drzew są chronione przed skutkami zakwaszania gleb.

Wskaźnik ten przyjął znacznie niższe od jedności wartości, mieszczące się w zakresie od 0,3 do 0,6 w roztworach glebowych na obu głębokościach na powierzchniach w Szklarskiej Porębie, Chojnowie, Zawadzkim i Kruczu (ryc. 11.1). W Gdańsku mieścił się w granicach 0,5–0,8. W Łącku i w Piwnicznej wynosił odpowiednio 0,5 i 0,7 na głębokości 25 cm i wzrastał do 1,0–1,1 w głębszym poziomie gleby. Na pozostałych powierzchniach przekraczał, niekiedy znacznie, przyjętą wartość krytyczną, wskazując na brak zagrożenia korzeni ze strony toksycznych form glinu.

Obecność azotanów w roztworach glebowych z reguły stanowi wskaźnik tzw. wysycenia ekosystemu azotem, czyli sytuacji, gdy podaż azotu przekracza zapotrzebowanie roślin i mikroorganizmów (np. Aber i in. 1989, Gundersen i Rasmussen 1995, Kristensen i in. 2004). Zakładając, że woda zawarta w glebie na głębokości 50 cm znajduje się poza główną strefą wzrostu korzeni drzew i w sprzyjających warunkach hydrometeorologicznych opuszcza tę strefę wraz z rozpuszczonymi substancjami, przyjmuje się, że obecność mineralnych form azotu w roztworach glebowych na 50 cm głębokości może wskazywać na nadmierną dostawę azotu i ryzyko wymywania azotu z tych gleb.

W okresie badań jony NO_3^- występowały w roztworach glebowych poniżej głównej strefy korzeniowej roślin (na głębokości 50 cm) na powierzchniach: w Białowieży – w stężeniu od 1,8 do 10,3 mg N dm⁻³ od marca do września oraz w Suwałkach – od 0,7 do 3,1 mg N dm⁻³ przez cały okres pobierania próbek poza lipcem.

Na powierzchni w Białowieży w ostatnich latach wystąpiły wiatrowały i inne uszkodzenia od wiatru, co może wskazywać na gorszą kondycję drzew, punktowe odsłonięcie gleby sprzyjające przyspieszonej mineralizacji i uwalnianiu azotanów do roztworów glebowych. Drugą potencjalną przyczyną osłabienia drzew jest obecność opieńki. Z kolei w Suwałkach obecność azotanów w roku 2022 można wiązać z uszkodzeniem drzewostanu i powolnym rozpadem, związanym z obecnością kornika i chorobami grzybowymi, w wyniku czego część powierzchni badawczej została pozbawiona drzew.

Zaburzenie wywołane cięciami pielęgnacyjnymi w Zawadzkim, które doprowadziło do zmian w strukturze drzewostanu i spowodowało w 2020 roku podwyższenie stężeń jonów azotanów (V), nie przyniosło podobnych skutków dla składu roztworów glebowych w 2021 i 2022 roku. Przejściowe przyspieszenie mineralizacji ściółki

wskutek przerzedzenia okapu miało efekt na tyle krótkotrwały, że w kolejnych latach stężenia jonów NO_3^- w roztworach glebowych pozostawały na niskim poziomie. W Krotoszynie cięcia sanitarne w drzewostanie przeprowadzono w 2017 roku, czego następstwem było wzmożone uwalnianie N-NO_3^- do roztworów glebowych w ubiegłych latach wskutek zwiększonej mineralizacji materii organicznej. Dodatkowo zamierające w drzewostanie drzewa powiększały powierzchnię gleby nieosłoniętą okapem, co mogło przyspieszać tempo mineralizacji w glebie. Wydaje się, że podobnie jak w Zawadzkiem, efekt dawnych cięć sanitarnych przeminął i w 2022 roku azotany (V) pojawiały się w roztworach glebowych sporadycznie i na niższym poziomie niż w latach poprzednich. Opis tego typu procesów można znaleźć w literaturze (Rasmussen 1998).

Obecność jonów amonowych w roztworach glebowych w Suwałkach, Piwnicznej i Krotoszynie (ryc. 11.2) może świadczyć zarówno o nadmiernym dopływie azotu z depozycją atmosferyczną, jak i o wysokim tempie mineralizacji materii organicznej, będącym następstwem np. odsłonięcia gleby wskutek obumarcia drzew, wiatrowałów lub przeprowadzonych cięć sanitarnych.

Średnie pH roztworów glebowych wynosiło od 4,1 do 7,5 na głębokości 25 cm oraz od 4,4 do 6,6 na głębokości 50 cm.

W składzie roztworów glebowych znaczący udział miały kationy o charakterze zasadowym: Ca, Mg i K, które stanowiły co najmniej 50% sumy jonów na obu głębokościach (25 i 50 cm) w Birczy, Strzałowie i Suwałkach, natomiast ich udział był dość niski w Szklarskiej Porębie, Chojnowie i Zawadzkiem.

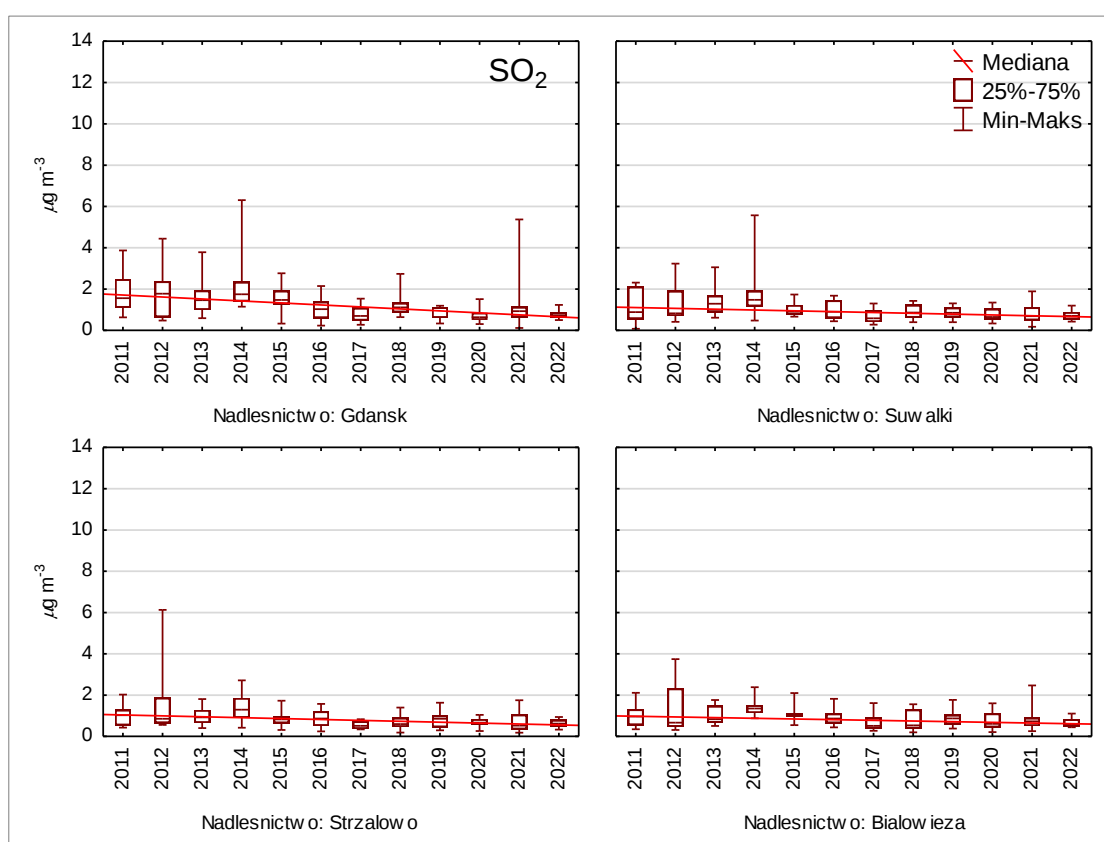
Stosunek molowy jonów zasadowych (Ca, Mg i K) do glinu (BC/Al) w roztworach glebowych przyjął znacznie niższe od jedności wartości, mieszczące się w zakresie od 0,3 do 0,6 w roztworach glebowych na obu głębokościach na powierzchniach: w Szklarskiej Porębie (świerk), Chojnowie (sosna), Zawadzkiem (sosna) i w Kruczu (sosna). W Gdańsku (buk) mieścił się w granicach 0,5–0,8. W Łącku (dąb) i w Piwnicznej (świerk) wynosił odpowiednio 0,5 i 0,7 na głębokości 25 cm i wzrastał do 1,0 – 1,1 w głębszym poziomie gleby. Na pozostałych powierzchniach: w Strzałowie i Białowieży (sosna), Birczy (buk), Krotoszynie (dąb) i Suwałkach (świerk) przekraczał – niekiedy znacznie – przyjętą wartość krytyczną, wskazując na brak zagrożenia korzeni ze strony toksycznych form glinu.

12. ZMIANY STĘŻEŃ ZANIECZYSZCZEŃ GAZOWYCH, DEPOZYCJI ORAZ SKŁADU ROZTWORÓW GLEBOWYCH PO ROKU 2010 – ANNA KOWALSKA

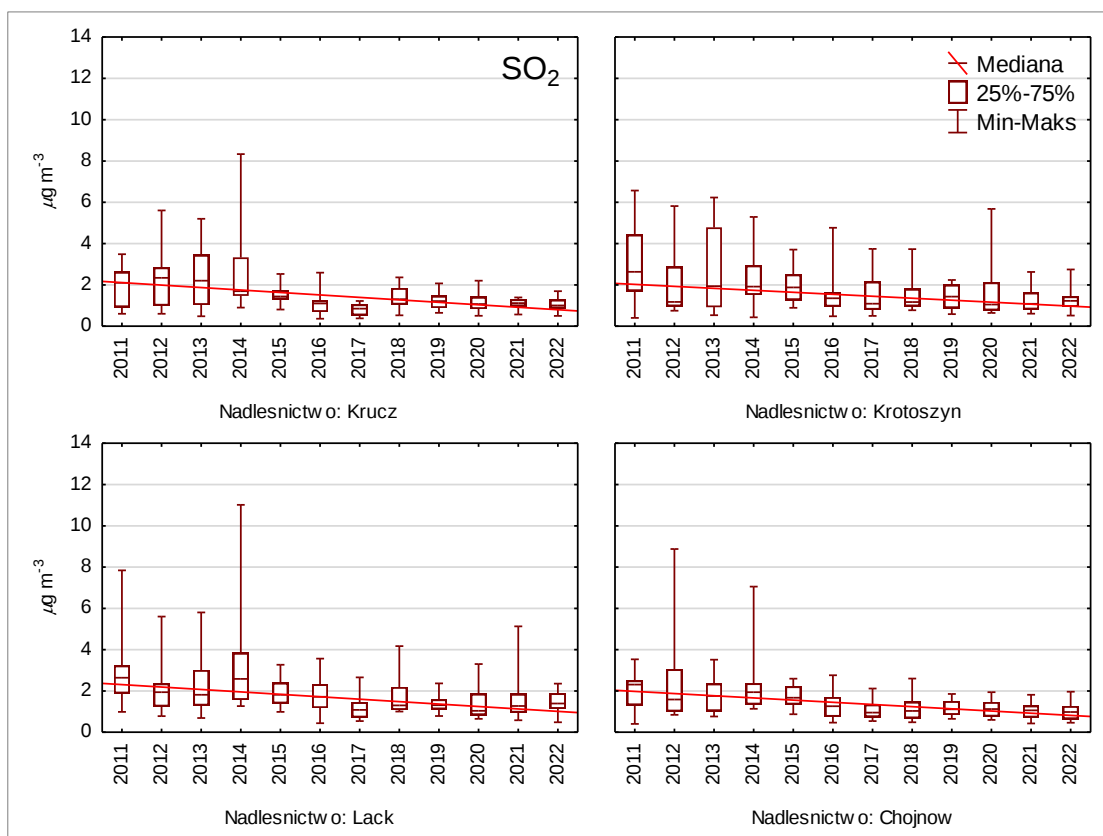
Na każdej z badanych SPO MI w ostatnich latach zanotowano istotny spadek stężenia dwutlenku siarki. Największe spadki wystąpiły w rejonach górskich: w Birczy i Szklarskiej Porębie. W rejonach o ogólnie niższym poziomie zanieczyszczeń gazowych (Polska północno-wschodnia): w Suwałkach, Strzałowie i Białowieży spadek stężenia SO_2 nie był tak wyraźnie zaznaczony, choć testy wskazują na jego istotność.

Stężenia dwutlenku azotu w powietrzu w badanym okresie również wykazywały trendy spadkowe na wszystkich powierzchniach. Najslabiej zaznaczony spadek stężeń NO_2 miał miejsce w Suwałkach, Strzałowie i Białowieży (Polska północno-wschodnia) oraz Birczy (Polska południowa, rejon podkarpacki), gdzie od lat stężenia dwutlenku azotu w powietrzu utrzymują się na niskim poziomie w porównaniu z pozostałymi SPO MI. Największy spadek stężenia NO_2 wystąpił w Chojnowie, gdzie obserwowane są najwyższe stężenia NO_2 spośród powierzchni monitoringu lasów. Poza tym duży spadek zaobserwowano również w Łącku i Zawadzkiem.

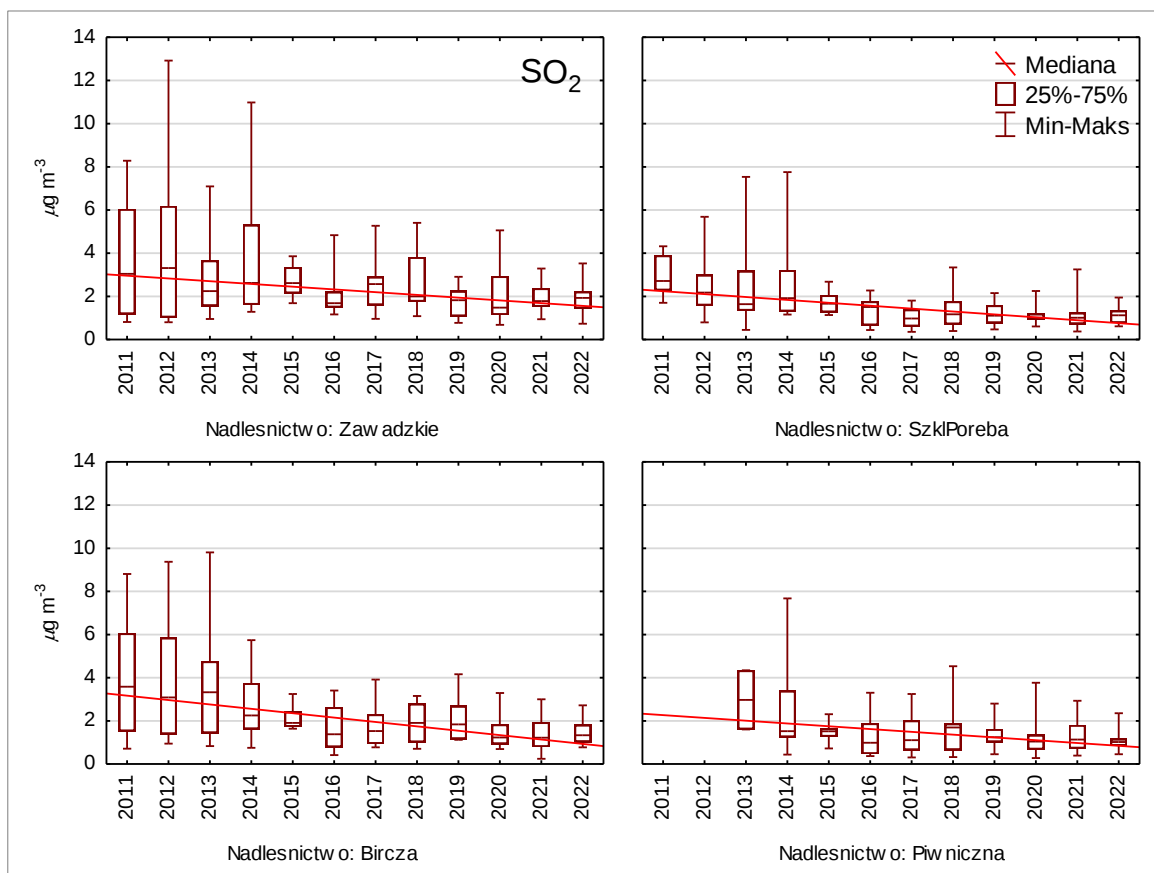
Stężenia gazowych zanieczyszczeń powietrza w latach 2011–2022 przedstawiono na rycinach 12.1–12.6, czerwona linia ilustruje tendencje zmian stężeń.



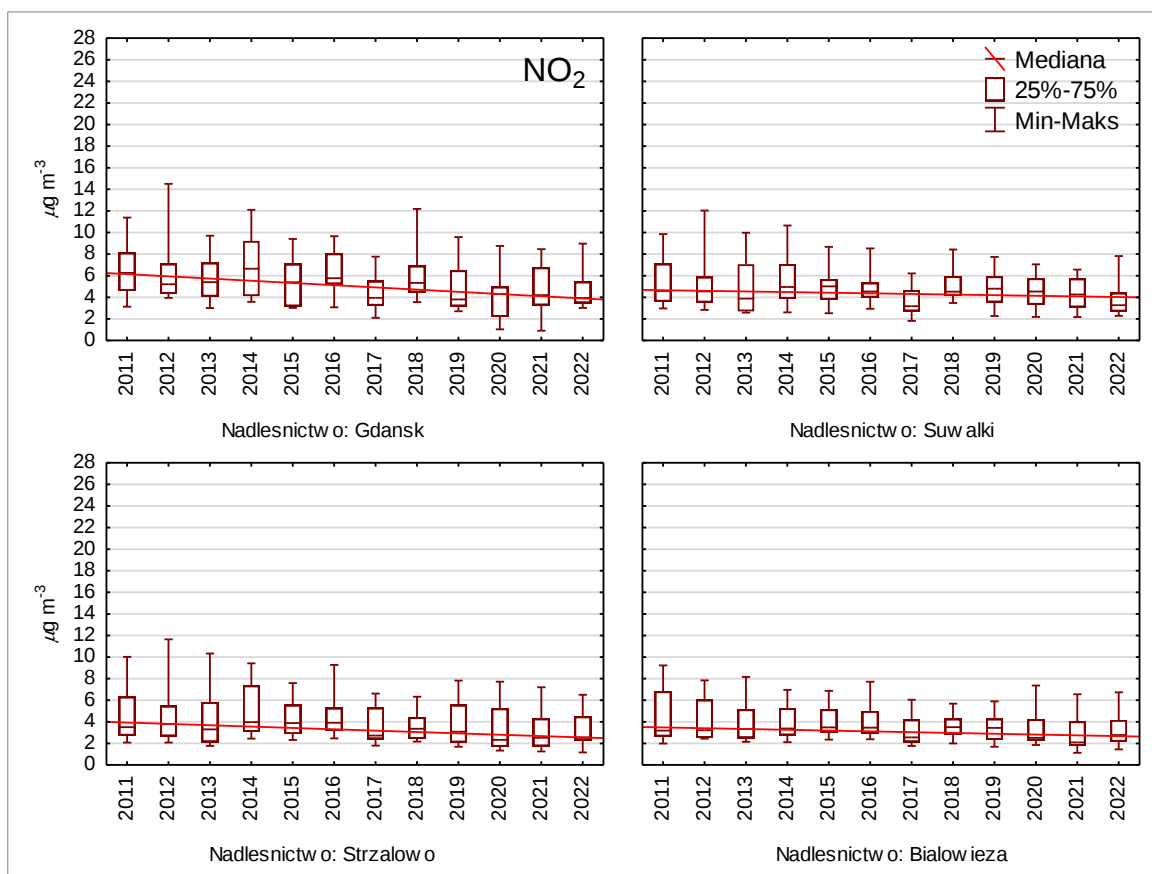
Rycina 12.1. Stężenia dwutlenku siarki w Polsce północnej i północno-wschodniej – lata 2011–2022



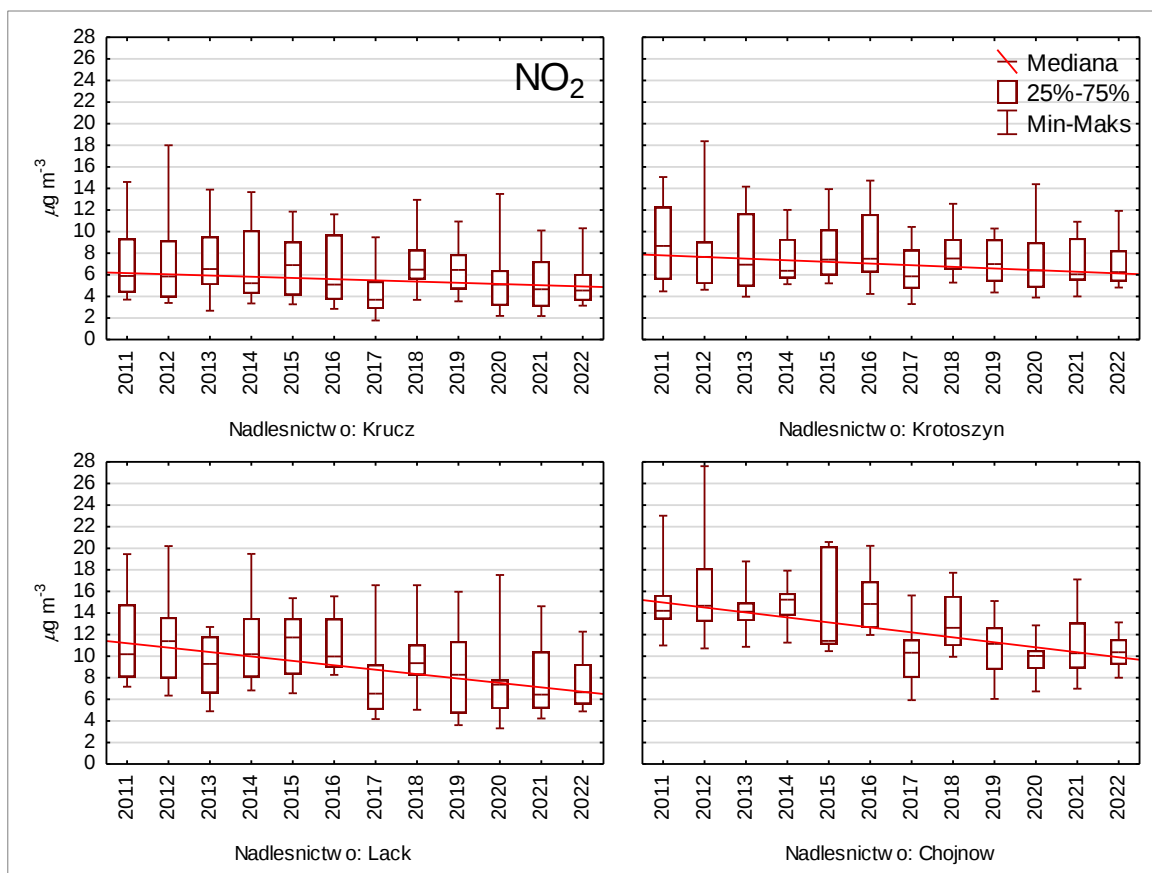
Rycina 12.2. Stężenia dwutlenku siarki w Polsce centralnej w latach 2011–2022



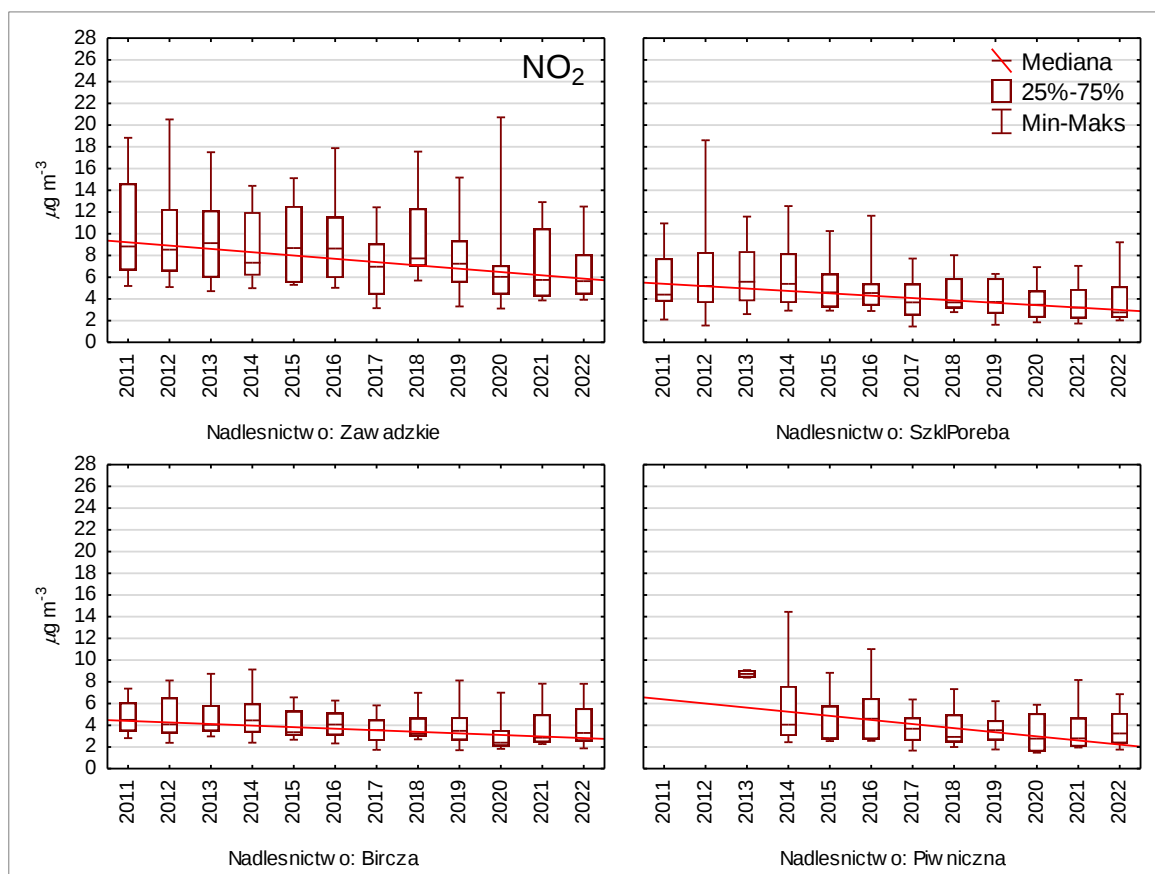
Rycina 12.3. Stężenia dwutlenku siarki w Polsce południowej w latach 2011–2022



Rycina 12.4. Stężenia dwutlenku azotu w Polsce północnej i północno-wschodniej – lata 2011–2022



Rycina 12.5. Stężenia dwutlenku azotu w Polsce centralnej w latach 2011–2022



Rycina 12.6. Stężenia dwutlenku azotu w Polsce południowej w latach 2011–2022

W latach 2010–2022 nie występowały istotne trendy wielkości opadów na powierzchniach badawczych, z wyjątkiem Krotoszyna i Szklarskiej Poręby, gdzie zaobserwowano spadek ilości opadów. Na otwartej przestrzeni lub w drzewostanach na większości powierzchni pH opadów wykazywało istotny ($p \leq 0,05$) trend rosnący, co można uznać za zjawisko pozytywne. Jedynie na powierzchniach w Piwnicznej, Suwałkach, Zawadzkim i Białowieży nie zaobserwowano trendu.

Wzrostowi pH opadów towarzyszyło zmniejszanie się depozycji siarki w formie siarczanów (VI): depozycja $S-SO_4^{2-}$ na wszystkich SPO MI na otwartej przestrzeni oraz pod okapem wykazywała tendencję malejącą. Depozycja mineralnych związków azotu w znacznie mniejszym stopniu niż $S-SO_4^{2-}$ podlegała trendom i trudno jest wskazać jednolity kierunek zmian na terenie Polski.

Warunki w glebie w badanym okresie pozostawały na większości SPO przeważnie stabilne; wszelkie trendy wielkości depozycji na przestrzeni ostatnich lat w niewielkim stopniu znajdowały odzwierciedlenie w zmianach składu chemicznego roztworów glebowych.

W ostatnich latach na każdej powierzchni notowano istotny spadek stężenia dwutlenku siarki. Największe spadki wystąpiły w rejonach górskich: w Birczy i Szklarskiej Porębie.

Stężenia dwutlenku azotu w powietrzu w badanym okresie wykazywały trendy spadkowe na wszystkich powierzchniach, przy czym w Suwałkach na granicy istotności. Największy spadek stężenia NO_2 wystąpił w Chojnowie, gdzie obserwowane są najwyższe stężenia NO_2 spośród powierzchni monitoringu lasów. Duże spadki zaobserwowano również w Łącku i Zawadzkiem.

Na większości powierzchni, zarówno na otwartej przestrzeni, jak i pod okapem drzewostanów, pH opadów wykazywało istotny ($p \leq 0,05$) trend rosnący, co można uznać za zjawisko pozytywne. Jedynie na powierzchniach w Piwnicznej, Suwałkach, Zawadzkiem i Białowieży takiego trendu nie zaobserwowano. Wzrostowi pH opadów towarzyszyło zmniejszanie się depozycji siarki w formie siarczanów: depozycja S-SO_4^{2-} na wszystkich SPO MI na otwartej przestrzeni oraz pod okapem wykazywała tendencję malejącą.

Depozycja mineralnych związków azotu w znacznie mniejszym stopniu niż S-SO_4^{2-} podlegała trendom i trudno jest wskazać jednakowy kierunek zmian na terenie Polski. W okresie 2010-2022 trendy wzrostu depozycji N-NO_3^- w drzewostanach wykryto pod okapem w Białowieży i Piwnicznej, zaś trendy spadkowe w obu typach opadów w Łącku i Szklarskiej Porębie oraz w opadach docierających do koron drzew w Birczy, Krotoszynie, Strzałowie, Kruczu, Chojnowie i Piwnicznej. Depozycja formy zredukowanej azotu (N-NH_4^+) istotnie malała na licznych powierzchniach, szczególnie w buczynach w Gdańsku i w Birczy oraz w drzewostanach iglastych w Suwałkach, Szklarskiej Porębie i Zawadzkiem.

U podstaw stworzenia sieci dwunastu powierzchni obserwacyjnych monitoringu intensywnego leżało założenie, że powierzchnie te stanowią reprezentatywną bazę do badań stanu i zagrożeń drzewostanów różnych regionów Polski. Różnorodność warunków (fizjogeograficznych, zasobności siedlisk i poziomu antropopresji) na powierzchniach znalazła odbicie w mierzonych parametrach jakości powietrza, opadów bezpośrednich, opadów podkoronowych i roztworów glebowych. Prowadzone pomiary mają przede wszystkim umożliwić wyciągnięcie wniosków co do stopnia antropogenicznego zagrożenia ekosystemów zakwaszeniem i eutrofizacją. Podstawowe zagrożenie niosą związki siarki (dwutlenek siarki w powietrzu atmosferycznym i siarczany (VI) w opadach) o działaniu zakwaszającym oraz związki azotu (dwutlenek azotu i inne gazowe formy azotu w powietrzu, jony amonowe, azotany (V) oraz organiczne związki azotu w opadach), działające zarówno zakwaszająco, jak i eutrofizująco.

O występowaniu RYZYKA EUTROFIZACJI świadczą zaobserwowane przekroczenia ładunku krytycznego azotu. Na terenach Polski dla głównych typów lasu (według klasyfikacji EUNIS G1 – lasy liściaste, G3 – lasy iglaste, G4 – lasy mieszane) określono wielkość doświadczalnych ładunków krytycznych azotu na poziomie minimalnym 10 kg N ha^{-1} , maksymalnym 21 kg N ha^{-1} , ze średnią $12,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ i medianą

12,3 kg N ha⁻¹ (Pecka i Mill 2011). Rozkład przestrzenny ładunków na obszarze Polski wykazuje powiązanie z dostępnością wody glebowej, wynikającą między innymi z sumy opadów. Pas o kierunku równoleżnikowym na obszarze Polski centralnej charakteryzuje się najniższymi ładunkami krytycznymi (około 7–13 kg N ha⁻¹), zaś na obszarach północnych i południowych wielkość ładunków krytycznych jest wyższa, przekraczająca 14 kg N ha⁻¹ (ibid.).

Dopływ azotu (N_{tot}) do gleb pod okapem w 2022 roku był niższy niż 10 kg N ha⁻¹ w Piwnicznej, Strzałowie, Birczy, Gdańsku i Białowieży. W pozostałych drzewostanach przyjmował wartości od około 10–12 kg N ha⁻¹ (w Chojnowie, Kruczu, Łącku, Suwałkach i Szklarskiej Porębie), po 15–18 kg N ha⁻¹ (w Zawadzkiem i Krotoszynie). W puli azotu całkowitego (N_{tot}) od 69 do 86% stanowiły formy mineralne ($N-NH_4^+$ i $N-NO_3^-$). Wielkość całkowitej depozycji azotu do ekosystemu jest trudna do określenia. Gazowe formy azotu są pobierane przez rośliny z powietrza, podobnie część azotu z opadów jest sorbowana w warstwie koron i za pośrednictwem roślin trafia do ekosystemu. Te wielkości nie są możliwe do określenia bezpośrednio na drodze pomiarów, natomiast można je oszacować z użyciem modeli bilansu koronowego. Wyniki badań modelowych wskazują, że w 2022 roku w Krotoszynie całkowita depozycja mineralnych związków azotu mogła przekroczyć nawet 36 kg N ha⁻¹, w Suwałkach 20 kg N ha⁻¹, w Birczy, Zawadzkiem i Białowieży wyniosła więcej niż 15 kg N ha⁻¹, a jedynie w Kruczu i Chojnowie spadła poniżej 10 kg N ha⁻¹. Wnioskowanie na podstawie wielkości depozycji pod okapem powoduje niedoszacowanie całkowitej ilości azotu, wnoszonego do ekosystemów leśnych (Hansen i Nielsen 1998, Neiryneck i in. 2007). Zakładając zatem, że całkowita depozycja azotu może być większa, niż wskazują na to wyniki depozycji podkoronowej, na większości badanych powierzchni monitoringu intensywnego jest prawdopodobna nadmierna podaż azotu. Całkowita depozycja azotu na każdej badanej powierzchni przekracza w drzewostanach ładunek krytyczny ustalony empirycznie na poziomie 3-5 kg N rocznie. Wskutek przekroczenia ładunku można spodziewać się niekorzystnych skutków dla życia i funkcjonowania porostów nadrzewnych oraz stymulacji wzrostu glonów wolnożyjących.

13.LITERATURA

- Aber J.D., Nadelhoffer K.J., Steudler P., Melillo J.M., (1989). Nitrogen saturation in northern forest ecosystems. *BioScience* 39: 378–386.
- Akselsson C., Ardö J., Sverdrup H. (2004). Critical loads of acidity for forest soils and relationship to forest decline in the northern Czech Republic. *Environmental Monitoring and Assessment* 98: 363–379.

- Albert M., Hansen J., Nagel J., Schmidt M., Spellmann H., 2015: Assessing risks and uncertainties in forest dynamics under different management scenarios and climate change *Forest Ecosystems* 2:14, 2015. DOI 10.1186/s40663-015-0036-5
- Bergmann, W. 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag Stuttgart. 614S.
- Biino, U. Tazzi, C. 1998: Analisi nutrizionale delle foglie. In: A. Ballarin Denti, S. M. Cocucci, F. Sartori (Eds), Monitoraggio delle foreste sotto stress ambientale. Fondazione Lombardia per l'Ambiente: 173-179
- Braun S, de Witte LC, Hopf SE (2020) Auswirkungen des Trockensommers 2018 auf Flächen der Interkantonalen Walddauerbeobachtung. *Schweiz Z Forstwes* 171:270–280
- Büntgen, U., Urban, O., Krusic, P.J. *et al.* Recent European drought extremes beyond Common Era background variability. *Nat. Geosci.* 14, 190–196 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00698-0>
- Burg, J. van den 1985: Foliar analysis for determination of tree nutrient status - A compilation of literature data. Rijksinstituut voor onderzoek in de bos - en landschapsbouw "De Dorschkamp" Wageningen Rapport nr. 414, 615.
- Burg, J. Van den 1990: Foliar analysis for determination of tree nutrient status - a compilation of literature data. 2. Literature 1985-1989. „De Dorschkamp”, Institute for Forestry and Urban Ecology. Wageningen, The Netherlands. Rapport nr. 591. 220.
- Chang S.-C. & Matzner E., (2000). The effect of beech stemflow on spatial patterns of soil solution chemistry and seepage fluxes in a mixed beech/oak stand. *Hydrological Processes*, 14, 135-144.
- Chapman, P. J., Clark, J. M., Reynolds, B & Adamson, J. K., (2008). The influence of organic acids in relation to acid deposition in controlling the acidity of soil and stream waters on a seasonal basis. *Environmental Pollution*, 152, 110-120.
- Directive on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. Dyrektywa Siedliskowa z 1 lipca 2013, wersja skonsolidowana dyrektywy 92/43/EEC z 21 maja 1992.
- Directive on the conservation of wild birds. Dyrektywa o ochronie dzikiego ptactwa 2009/147/EC z 30 listopada 2009, wersja skonsolidowana dyrektywy EWG 79/409/EWG z 2 kwietnia 1979.
- Geupel, M., Loran, C., Scheuschner, T., Wohlgemuth, L. (2022) CCE Status Report 2022. Coordination Centre for Effects (CCE), German Environment Agency, Dessau, Germany.
- Gundersen, P., & Rasmussen, L. (1995). Nitrogen mobility in a nitrogen limited forest at Klosterhede, Denmark, examined by NH_4NO_3 addition. *Forest Ecology and Management*, 71, 75–88.
- Hanschel, R., Kaupenjohann, M., Horn, R., Zech, W. 1988: Acid rain studies in the Fichtelgebirge (NE-Bavaria, [w:] Mathy, P. (red.) *Air pollution and ecosystems*. Riedel, Dordrecht, 881-886.
- Hansen, B., & Nielsen, K. E. (1998). Comparison of acidic deposition to semi-natural ecosystems in Denmark—coastal heath, inland heath and oak wood. *Atmospheric Environment*, 32(6), 1075–1086.
- Hüttl, R. 1985: “Neuartige” Waldschäden und Nährelementversorgung. Freiburg im Breisgau, Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre: 195.
- Huttl, R.F., Wisniewski, J. 1987: Fertilization as a tool to mitigate forest decline associated with nutrient deficiencies. *Water, Air and Soil Pollution* 32, 265-276.
- Johnson, M. S., & Lehmann, J. (2006). Double-funneling of trees: Stemflow and root-induced preferential flow. *Écoscience*, 13(3), 324–333.

- Kaczorowska Z., 1962. Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. Przegląd Geograficzny IG PAN. Nr 33. ss. 112.
- Komatsu, H., Shinohara, Y., Kume, T., Otsuki, K., 2008. Relationship between annual rainfall and interception ratio for forests across Japan. *Journal of Hydrology* 256, 1189-1197.
- Kondo, J., Nakazono, M., Watanabe, T., 1992. Hydrological climate in Japan (2): forest rainfall interception. *J. Jpn. Soc. Hydrol. Water Resour.* 5 (2), 29–36 (in Japanese with English summary).
- Kristensen H. L., Gundersen P., Callesen I., Reinds G. J., (2004). Throughfall nitrogen deposition has different impacts on soil solution nitrate concentration in European coniferous and deciduous forests. *Ecosystems*, 7: 180–192
- Krochmal, D. & Kalina A. (1997a). Technical note. A method of nitrogen dioxide and sulphur dioxide determination in ambient air by use of passive samplers and ion chromatography. *Atmospheric Environment* 31(20): 3473–3479
- Krochmal, D. & Kalina, A. (1997b). Measurements of nitrogen dioxide and sulphur dioxide concentrations in urban and rural areas of Poland using a passive sampling method. *Environmental Pollution* 96(3): 401-7.
- Le Mellec A., Meesenburg H., Michalzik B., (2010). The importance of canopy-derived dissolved and particulate organic matter (DOM and POM) – comparing throughfall solution from broadleaved and coniferous forests. *Ann. For. Sci.*, 67: 411
- Liu, S., 1997. A new model for the prediction of rainfall interception in forest canopies. *Ecological Modelling* 99, 151–159.
- Liu, S., 2001. Evaluation of the Liu model for predicting rainfall interception in forests world-wide. *Hydrological Processes*, 15, 2341-2360. Kondo (2001) (Smax wg Komatsu et al., 2008).
- Miętus M., Owczarek M., Filipiak J., 2002, Warunki termiczne na obszarze Wybrzeża i Pomorza w świetle wybranych klasyfikacji. *Mat. Bad. IMGW*, 36.
- Minutes of the 3rd Forest Foliar Expert Panel Meeting. Vienna, 7-8 November 1995.
- Neal, C., Reynolds, B. & Robson, A. J., (1999). Acid neutralising capacity measurements within natural waters: towards a standardised approach. *The Science of the Total Environment*, 243/244, 233-241.
- Neirynek, J., Kowalski, A. S., Carrara, A., Genouw, G., Berghmans, P., & Ceulemans, R. (2007). Fluxes of oxidised and reduced nitrogen above a mixed coniferous forest exposed to various nitrogen emission sources. *Environmental Pollution*, 149, 31–43.
- Nieminen, T., (2011). Soil Solution Collection and Analysis. Manual Part XI, 30 pp. In: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE, ICP Forests, Hamburg. ISBN: 978-3-926301-03-1.
- Obwieszczenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 12 kwietnia 2021 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dziennik Ustaw z dn. 5 maja 2021 r., poz. 845).
- Pecka, T. & Mill, W. (2011). Doświadczalne ładunki krytyczne azotu dla ekosystemów lądowych – adaptacja metody CCE do warunków środowiskowych Polski. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 47, 121-132.
- Rasmussen, L. (1998). Effects of afforestation and deforestation on the deposition, cycling and leaching of elements. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 67, 153–159.
- Rihm, B. (1996). Critical Loads of Nitrogen and their Exceedances. Eutrophying Atmospheric Deposition. Report on mapping critical loads of nutrient nitrogen for

- Switzerland, produced within the work programme under the Convention on Long- Range Transboundary Air Pollution of the United Nations Economic Commission for Europe (UN/ECE). Federal Office of Environment, Forests and Landscape (FOEFL), Berne, pp. 74.
- Rocznik Meteorologiczny 2022 Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badawczy.
- Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2022, Główny Urząd Statystyczny, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2022 [dostęp: 31 maja 2023]
https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5515/6/16/1/rocznik_statystyczny_rolnictwa_2022.pdf
- Rocznik Statystyczny Województw 2022, Główny Urząd Statystyczny, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2022 [dostęp: 31 maja 2023]
https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5515/4/17/1/rocznik_statystyczny_wojewodztw_2022.pdf
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 17 lutego 2010 r. w sprawie sporządzania projektu planu zadań ochronnych dla obszaru natura 2000. Dz. U. 2010 nr 34 poz. 186.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 marca 2010 r. w sprawie sporządzania projektu planu ochrony dla obszaru Natura 2000. Dz. U. 2010 nr 64 poz. 401.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 kwietnia 2010 r. w sprawie siedlisk przyrodniczych oraz gatunków będących przedmiotem zainteresowania Wspólnoty, a także kryteriów wyboru obszarów kwalifikujących się do uznania lub wyznaczenia jako obszary Natura 2000. Dz. U. 2010 nr 77, poz. 510.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 stycznia 2011 r. w sprawie obszarów specjalnej ochrony ptaków. Dz. U. 2011 nr 25, poz. 133.
- Schuldt B, Buras A, Arend M, Vitasse Y, Beierkuhnlein C, Damm A, Gharun M, Grams TEE, Hauck M, Hajek P, Hartmann H, Hilbrunner E, Hoch G, Holloway-Phillips M, Körner H, Larysch E, Lübke T, Nelson DB, Rammig A, Rigling A, Rose L, Ruehr NK, Schumann K, Weiser F, Werner Ch, Wohlgemuth T, Zang ChS, Kahmen A (2020) A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests, Basic and Applied Ecology DOI: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.04.003>
- Schwärzel, K., Ebermann, S., & Schalling, N. (2012). Evidence of double-funneling effect of beech trees by visualization of flow pathways using dye tracer. *Journal of Hydrology*, 470-471, 184–192.
- Semenov M., Bashkin V., Sverdrup H. (2001). Critical loads of acidity for forest ecosystems of North Asia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 130: 1193-1198.
- Slootweg, J., Posch, M., Hettelingh, J.-P., & Mathijssen, L. (Eds.) (2014). *Modelling and Mapping impacts of atmospheric deposition on plant species diversity in Europe: CCE Status Report 2014*, Coordination Centre for Effects, www.wge-cce.org
- Thimonier, A., Schmitt, M., Waldner, P., & Rihm, B. (2005). Atmospheric Deposition on Swiss Long-Term Forest Ecosystem Research (LWF) Plots. *Environmental Monitoring and Assessment*, 104(1-3), 81–118.
- Ustawa o ochronie przyrody z dnia 16 kwietnia 2004 r. Dz. U. 2004 nr 92 poz. 880.
- Van Stan, J.T., Stubbins, A. (2018) Tree-DOM: Dissolved organic matter in throughfall and stemflow. *Limnology and Oceanography Letters*, 3: 199-214.
- Wang Q., Wu J., Lei T., He B., Wu Z, Liu M, Mo X., Geng G., Li X., Zhou H., Liu D., 2014. Temporal-spatial characteristics of severe drought events and their impact on agriculture on a global scale. *Quaternary International* 349, 10-21.

