

**INSTYTUT BADAWCZY
LEŚNICTWA**



**STAN ZDROWOTNY
LASÓW POLSKI W 2018
ROKU**

Sękocin Stary, 2019





INSTYTUT BADAWCZY LEŚNICTWA

ZAKŁAD ZARZĄDZANIA ZASOBAMI LEŚNYMI

Symbole : UKD 630* - 4
PKT 60.29.00
LKO 122;416.16

Tytuł sprawozdania : Stan zdrowotny lasów Polski w 2018 roku.

Synteza.

Rodzaj sprawozdania : etapowe

Zlecniodawca : GIOŚ, DGLP

Nr tematu : 540 218, 500 438

Nr umowy : 6/2018/F , OR.271.3.4.2016

Tytuł tematu : Monitoring i ocena stanu zdrowotnego lasów w latach 2018-2020

(GIOŚ), Monitoring Lasu – ocena stanu lasów w Polsce (DGLP)



**SFINANSOWANO ZE ŚRODKÓW
NARODOWEGO FUNDUSZU
OCHRONY ŚRODOWISKA
I GOSPODARKI WODNEJ**

Kierownik projektu: Jerzy Wawrzoniak

**Wykonawcy: Andrzej Boczoń, Robert Hildebrand, Anna Kowalska, Paweł Lech,
Jadwiga Małachowska, Jerzy Wawrzoniak, Grzegorz Zajączkowski**

Kierownik Zakładu :

Dyrektor Instytutu:

Sękocin Stary, 31 października 2019

Monitoring lasu jest finansowany przez Ministerstwo Środowiska, Dyрекję Generalną Lasów Państwowych, Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oraz Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

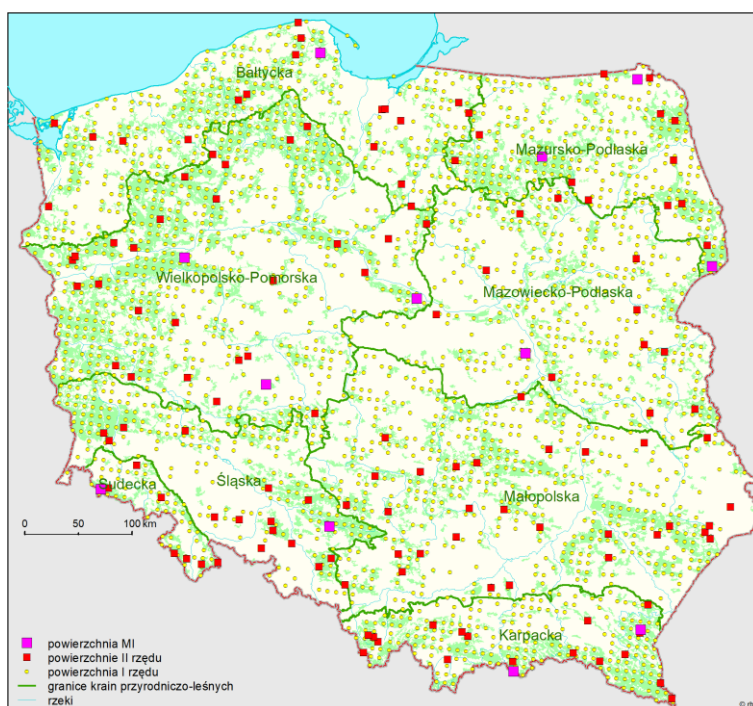
Korekta tekstu : Joanna Szewczykiewicz, Magda Stasiak.

SPIS TREŚCI

INSTYTUT BADAWCZY LEŚNICTWA	3
Wstęp – <i>Jerzy Wawrzoniak</i>	2
Część I. Program monitoringu lasów i metodyka przeprowadzonych badań	4
1. Program monitoringu lasów w 2018 roku – <i>Jerzy Wawrzoniak</i>	4
Część II. Monitoring lasów na stałych powierzchniach obserwacyjnych I rzędu	6
2. Ocena poziomu zdrowotnego monitorowanych gatunków drzew w 2018 r. oraz w pięcioleciu 2014–2018 – <i>Jadwiga Małachowska</i>	6
3. Ocena przyczyn i symptomów uszkodzeń drzew w 2018 r. – <i>Paweł Lech</i>	15
4. Wpływ warunków pogodowych na zdrowotność drzewostanów w latach 2014–2018 – <i>Jadwiga Małachowska</i>	23
5. Warunki wodne panujące w glebach na terenie Polski – <i>Andrzej Boczoń,</i> <i>Robert Hildebrand</i>	25
6. Stałe powierzchnie obserwacyjne monitoringu lasów na obszarach Natura 2000 – <i>Robert Hildebrand</i>	30
Część III. Monitoring lasów na stałych powierzchniach obserwacyjnych II rzędu	31
7. Stan odżywienia drzewostanów w latach 1997–2017 na podstawie wyników monitoringu organów asymilacyjnych drzew – <i>Paulina Drózd</i>	31
8. Właściwości fizyko-chemiczne gleb leśnych i ich zmiany w latach 2007–2017 – <i>Krzysztof</i> <i>Sztabkowski</i>	40
Część IV. Badania na stałych powierzchniach obserwacyjnych monitoringu intensywnego (SPO MI)	47
9. Wielkość depozytu wnoszonego z opadami atmosferycznymi na terenach leśnych – <i>Anna</i> <i>Kowalska</i>	48
9.1. Skład chemiczny opadów – przewodność i stężenia składników	48
9.2. Depozycja roczna	49
9.3. Właściwości kwasowo-zasadowe opadów na otwartej przestrzeni	50
10. Poziom stężenia NO ₂ i SO ₂ w powietrzu na terenach leśnych – <i>Anna Kowalska</i>	52
10.1. Dwutlenek siarki	53
10.2. Dwutlenek azotu	54
10.3. Depozycja gazowych związków siarki i azotu	55
11. Opady podkoronowe oraz roztwory glebowe na terenach leśnych – <i>Anna Kowalska</i>	56
11.1. Opady podkoronowe	56
11.2. Spływ po pniu w drzewostanach bukowych	60
11.3. Roztwory glebowe	61
12. LITERATURA	64

W okresie ostatnich czterdziestu lat funkcjonowania monitoringu lasu zachodziły mniej lub bardziej znaczące zmiany w polskich lasach. W pierwszym okresie, kiedy poziom zanieczyszczeń powietrza w Polsce i w całej Europie był wysoki, powierzchniowe zróżnicowanie uszkodzeń drzewostanów było bardzo wyraźne. Drzewostany południowej Polski, a szczególnie południowo-zachodniej Polski, były uszkodzone w znacznie wyższym stopniu niż drzewostany północnej Polski, które wykazywały minimalne uszkodzenia.

Wysoki poziom emisji zanieczyszczeń, pochodzących z przemysłu hutniczego i energetycznego, zlokalizowanego w południowej części Polski, miał wpływ na rozkład powierzchniowy uszkodzeń drzewostanów.



Rycina 1. Rozmieszczenie stałych powierzchni obserwacyjnych I i II rzędu oraz powierzchni monitoringu intensywnego (MI) w krainach przyrodniczo-leśnych (2018 rok)

Po transformacji ustrojowej i recesji gospodarczej wiele zakładów zamknięto, a pozostałe pozyskały nowe technologie i nowocześniejsze urządzenia wychwytyjące emisje gazów i pyłów. Wraz ze zmniejszaniem się emisji zanieczyszczeń, zróżnicowanie uszkodzeń w południowej i północnej Polsce stopniowo zanikało. Charakterystyczna była, zaobserwowana w punktach pomiarowych

zanieczyszczenia powietrza monitoringu lasów, zamiana dominującej wysokości stężenia dwutlenku siarki z tlenkami azotu, których stężenia przewyższyły poziom stężeń dwutlenku siarki. W następnych dekadach przestrzenny rozkład uszkodzeń drzewostanów determinowały czynniki pogodowe. Najwyższy poziom uszkodzeń drzewostanów zaczął występować już nie na południu, a w środkowych i środkowo-zachodnich częściach Polski. Niskie opady w sezonie wegetacyjnym, które występowały w nieregularnych okresach, były szczególnie dotkliwe na ubogich, piaszczystych terenach borów Puszczy

Noteckiej, Borów Tucholskich oraz w całym regionie Wielkopolski, łódzkim i mazowieckim. W ostatnim dziesięcioleciu obszary, gdzie występowały silnie uszkodzone drzewostany, najczęściej pokrywały się z obszarami suszy w danym roku.

Znaczne zmiany odnotowano w poziomie uszkodzenia poszczególnych monitorowanych gatunków drzew w omawianym okresie. W latach dziewięćdziesiątych najwyższy poziom uszkodzenia wykazywały drzewostany iglaste, drzewostany liściaste charakteryzowały się wyraźnie niższym poziomem uszkodzenia. Szczególnie wysoki poziom uszkodzenia wykazywały drzewostany jodłowe. Wielu specjalistów mówiło o zamieraniu jodły i obawiało się zniknięcia tego gatunku z lasów Europy. Jednak w późniejszym okresie nastąpił spektakularny wzrost witalności jodły. Po dwutysięcznym roku jodła poprawiała swoją zdrowotność, osiągając jeden z najniższych poziomów uszkodzenia wśród badanych gatunków, porównywalny z bukiem. Świerk, który w latach dziewięćdziesiątych był drugim po jodle najbardziej uszkodzonym gatunkiem, w kolejnym dziesięcioleciu poprawił swoją kondycję, ale wśród gatunków iglastych wykazuje najwyższy poziom uszkodzenia. Cechą charakterystyczną drzewostanów świerkowych jest regionalne zróżnicowanie ich zdrowotności. Południowa Polska wykazuje wyższy poziom uszkodzenia drzewostanów świerkowych w porównaniu z północną Polską. Gatunki liściaste, które w latach dziewięćdziesiątych były w znacznie lepszej kondycji w porównaniu do iglastych, w późniejszym okresie zrównały się poziomem zdrowotności z gatunkami iglastymi, z wyjątkiem drzewostanów bukowych, które w całym okresie obserwacji wykazują najwyższą zdrowotność. Drzewostany dębowe wykazują obecnie niski poziom zdrowotności, porównywalny z drzewostanami świerkowymi. Drzewostany brzozy i olchowe, o wyraźnie lepszej kondycji niż dębowe, wykazują znaczne wahania w poziomie zdrowotności w zależności od warunków pogodowych w okresie wegetacyjnym.

W ostatnim dziesięcioleciu monitorowane gatunki wykazują powolny wzrost defoliacji o różnym nasileniu. Wzrost średniej defoliacji najwyraźniej występuje u jodły, której poziom defoliacji pozostaje niski. Wyraźny trend wzrostu średniej defoliacji odnotowano u brzozy i świerka, nieco mniejszy u dębu, olszy i sosny, a najniższy u buka.

W ostatnim dziesięcioleciu wszystkie monitorowane gatunki wykazują trend wzrostu defoliacji o różnej intensywności. Największy trend wzrostu defoliacji wykazuje jodła i brzoza i kolejno świerk, dąb, olsza, sosna i buk. Tendencje wzrostu defoliacji u wszystkich monitorowanych gatunków prawdopodobnie są wynikiem procesu adaptacji

drzewostanów do zmian klimatu. Szczególnie nieregularnie występujące susze silnie oddziałują na kształtowanie się zdrowotności drzewostanów.

CZEŚĆ I. PROGRAM MONITORINGU LASÓW I METODYKA PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

1. PROGRAM MONITORINGU LASÓW W 2018 ROKU – *JERZY WAWRZONIAK*

Program monitoringu lasów ma na celu określenie zmienności powierzchniowej i czasowej poziomu uszkodzenia lasów oraz tendencji i dynamiki zmian zachodzących w ekosystemach leśnych Polski.

W 2018 roku kontynuowano realizację długookresowych celów monitoringu lasów, takich jak: określenie przestrzennego rozkładu poziomu uszkodzenia drzewostanów, porównanie poziomu uszkodzenia lasów pomiędzy różnymi kategoriami własności lasów, analiza związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy zdrowotnością lasów a czynnikami środowiska, identyfikacja głównych symptomów i przyczyn (biotycznych i abiotycznych) uszkodzeń drzew, określenie trendu zmian uszkodzenia drzewostanów w czasie, tworzenie krótkoterminowych prognoz stanu zdrowotnego lasu.

W ramach programu monitoringu lasów przeprowadza się obserwacje stanu uszkodzenia drzewostanów oraz symptomów i przyczyn uszkodzeń na wszystkich dostępnych stałych powierzchniach obserwacyjnych I rzędu (sieć powierzchni 8 x 8 km, w drzewostanach w wieku powyżej 20 lat). Rozszerzony zakres badań i pomiarów wykonuje się na stałych powierzchniach obserwacyjnych II rzędu (w 2018 r. były to analizy chemiczne pobranych rok wcześniej próbek igliwia i liści oraz gleb) oraz na stałych powierzchniach monitoringu intensywnego (pomiarów meteorologicznych, wielkość oraz skład chemiczny opadów na otwartej przestrzeni i pod koronami drzew, depozycja gazowych związków siarki i azotu w powietrzu, skład chemiczny roztworów glebowych).

W 2018 roku wykonano następujące prace, pomiary i obserwacje:

1. Monitoring uszkodzeń drzewostanów – przeprowadzony na 2023 SPO I rzędu oraz na 135 SPO II rzędu. 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 – przeprowadzono zarówno na 2023 SPO I rzędu, jak i na 135 SPO II rzędu, określając następujące parametry na 20 drzewach próbnych: miejsce uszkodzenia na drzewie, lokalizację uszkodzenia w obrębie korony, symptomy uszkodzenia, specyfikację symptomów, kategorię i klasę czynnika sprawczego, rozmiar uszkodzenia.

3. Monitoring chemizmu igliwia i liści – przeprowadzono analizy chemiczne próbek igliwia sosny i świerka oraz liści dębu i buka, oznaczając zawartości: N (metodą Kiejdahla) oraz P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Al, Cd, Pb (metodą ICP-OES). Próbki igliwia i liści były pobrane w 2017 r. ze 135 czynnych SPO II rzędu.

4. Monitoring gleb – obejmował analizę chemiczną zawartości: P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mn, Fe, Na, Pb i Al w próbkach glebowych pochodzących z 5 poziomów gleby mineralnej (0–5 cm, 5–10 cm, 10–20 cm, 20–40 cm, 40–80 cm) i poziomu organicznego. Próbki glebowe były pobrane w 2017 r. ze 148 SPO II rzędu (w tym 135 powierzchni czynnych i 13 powierzchni oczekujących).

5. Monitoring depozytu zanieczyszczeń – przeprowadzono na 12 SPO MI. Określono pH oraz skład chemiczny opadów atmosferycznych: zawartość Ca, K, Mg, Na, NH_4 , Cl, NO_3 , SO_4 , Al, Mn, Fe oraz metali ciężkich (Cd, Pb, Cu, Zn).

6. Monitoring jakości powietrza atmosferycznego – przeprowadzono na 12 SPO MI. Obejmował on pomiar koncentracji SO_2 , NO_2 metodą pasywną.

7. Monitoring opadów podkoronowych i roztworów glebowych – obejmował pomiary na 12 SPO MI. Wykonano pobór próbek i analizy chemiczne z 15 chwytników podkoronowych i 20 tensometrów do pobierania roztworów glebowych na dwóch głębokościach (po 10 na każdej głębokości) oraz 2 chwytników na otwartej przestrzeni w cyklu miesięcznym. Na dwóch SPO MI w drzewostanach bukowych pobrano próbki i wykonano analizy chemiczne spływu po pniu. Analizy obejmowały: pH, Ca, Mg, K, Na, NH_4 , Fe, Mn, Al, NO_3 , SO_4 , Cl, Cd, Cu, Pb, Zn.

8. Monitoring parametrów meteorologicznych – obejmował pomiary w pobliżu 12 SPO MI następujących parametrów: temperatury powietrza [$^{\circ}\text{C}$] na wysokości 2 m i 0,5 m oraz przy gruncie (na wysokości 5 cm), temperatury gleby [$^{\circ}\text{C}$] na głębokości 5 cm, 10 cm, 20 cm i 50 cm, wilgotności względnej powietrza [%] na wysokości 2 m, wilgotności gleby [dm^3/m^3], promieniowania [W/m^2] (całkowitego i UVB), prędkości wiatru [m/s], kierunku wiatru [$^{\circ}$] oraz opadu atmosferycznego [mm]. Pomiary były wykonywane przez automatyczne stacje meteorologiczne w cyklu ciągłym.

CZĘŚĆ II. MONITORING LASÓW NA STAŁYCH POWIERZCHNIACH OBSERWACYJNYCH I RZĘDU

Liczba stałych powierzchni obserwacyjnych I rzędu poddanych obserwacjom w 2018 roku wynosiła 2023: 1398 powierzchni znajduje się w lasach będących w zarządzie Lasów Państwowych, 523 powierzchnie – w lasach będących własnością osób fizycznych, 34 powierzchnie – w granicach parków narodowych, 68 powierzchni – w lasach pozostałych form własności.

Liczba powierzchni w lasach wszystkich form własności zawiera się w przedziale: 1) w układzie krain przyrodniczo-leśnych od 41 w Krainie Sudeckiej do 485 w Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej, 2) w układzie rdLP od 66 w RDLP w Pile do 178 w RDLP w Białymstoku, 3) w układzie województw od 42 w województwie opolskim do 208 w województwie mazowieckim.

Liczbę powierzchni wg gatunku panującego w drzewostanie wynoszą: powierzchnie z dominacją sosny – 1217, świerka – 81, jodły – 47, innych iglastych – 21, buka – 77, dębu – 140, brzozy – 193, olszy – 141 oraz innych liściastych – 106. (tab. 1).

Tabela 1. Liczba SPO I rzędu w lasach wszystkich form własności, zestawienie według gatunków w układzie krain przyrodniczo-leśnych w 2018 r.

Kraina przyrodniczo-leśna	Sosna	Świerk	Jodła	Inne iglaste	Iglaste razem	Buk	Dąb	Brzoza	Olsza	Inne liściaste	Liściaste razem	Gatunki razem
Bałtycka	147	10	0	4	161	25	22	32	25	8	112	273
Mazursko-Podlaska	117	15	0	0	132	0	8	29	35	9	81	213
Wielkopolsko-Pom.	389	3	0	4	396	7	24	24	21	13	89	485
Mazowiecko-Podl.	195	1	0	0	196	0	14	53	26	5	98	294
Śląska	84	3	0	3	90	3	24	15	6	15	63	153
Małopolska	257	3	9	3	272	9	37	32	17	16	111	383
Sudecka	1	19	0	0	20	1	7	3	1	9	21	41
Karpacka	27	27	38	7	99	32	4	5	10	31	82	181
Razem	1217	81	47	21	1366	77	140	193	141	106	657	2023

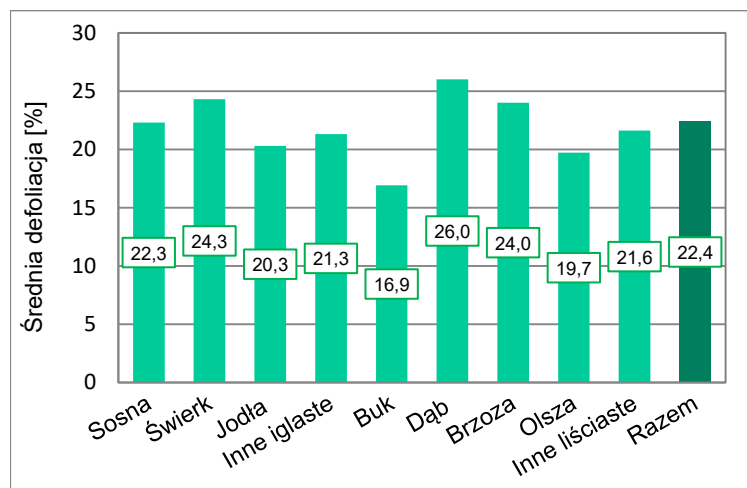
2. OCENA POZIOMU ZDROWOTNEGO MONITOROWANYCH GATUNKÓW DRZEW W 2018 R. ORAZ W PIĘCIOLECIU 2014–2018 – JADWIGA MAŁACHOWSKA

Parametrami oceny kondycji drzew są następujące charakterystyki: procentowy udział drzew zdrowych (klasa 0, defoliacja 0–10%), procentowy udział drzew uszkodzonych (klasy 2 do 4, defoliacja > 25% i drzewa martwe) oraz średnia defoliacja. Klasa ostrzegawcza (klasa 1, drzewa lekko uszkodzone, 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.

Zróżnicowanie kondycji zdrowotnej monitorowanych gatunków drzew

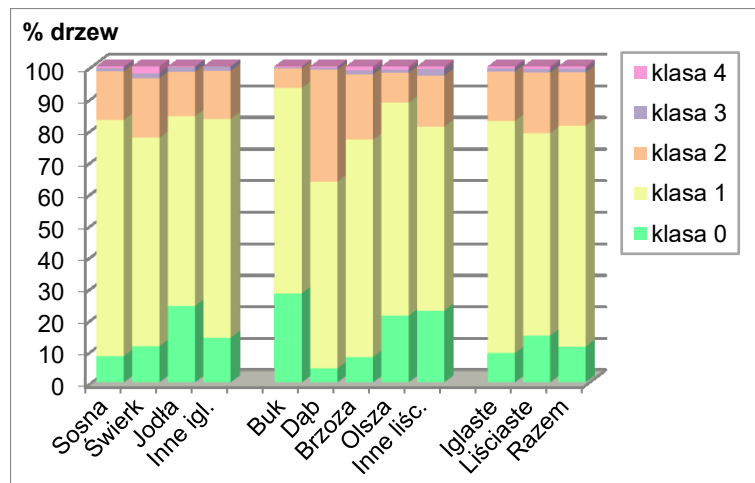
W 2018 r. średnia defoliacja wszystkich gatunków razem wynosiła 22,4% (ryc. 2), iglastych – 22,4%, liściastych – również 22,4%. Udział drzew zdrowych (do 10% defoliacji) gatunków razem wynosił 11,3%, udział drzew uszkodzonych (powyżej 25%



Rycina 2. Porównanie wartości średniej defoliacji pomiędzy gatunkami drzew w kraju – 2018 r.

defoliacji) – 18,6%. Gatunki liściaste charakteryzowały się wyższym udziałem drzew zdrowych (14,8%) oraz wyższym udziałem drzew uszkodzonych (21,1%) niż gatunki iglaste (odpowiednio: 9,3% i 17,2%). Udział drzew w klasie ostrzegawczej (drzewa lekko uszkodzone, od 11% do 25%

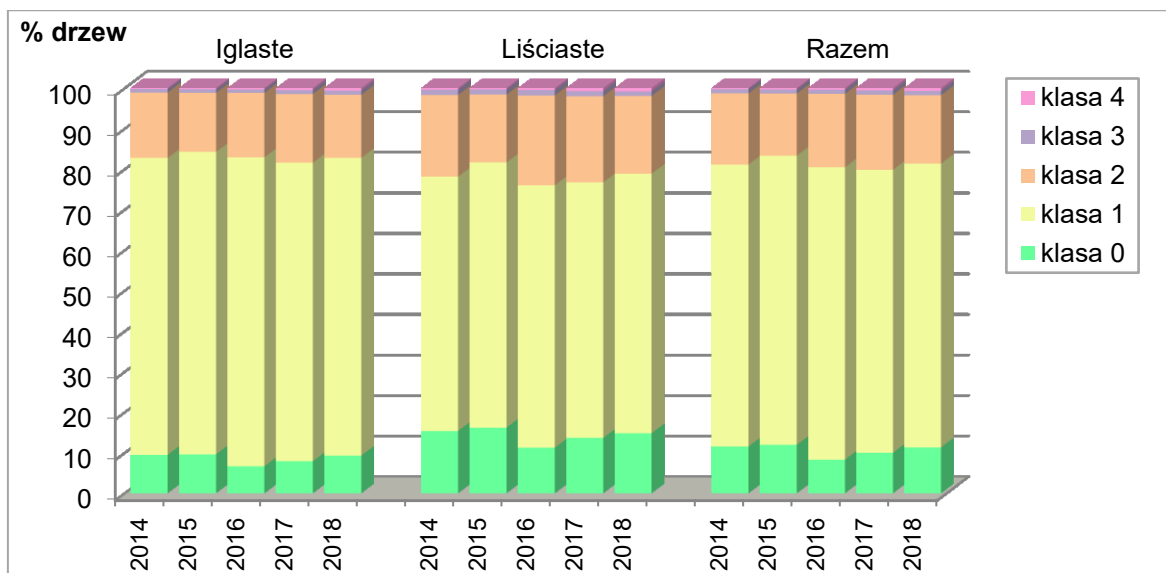
defoliacji) wynosił: gatunków razem – 70,0%, gatunków iglastych – 73,5%, a gatunków liściastych – 64,1% (ryc. 3).



Rycina 3. Udział drzew monitorowanych gatunków w klasach defoliacji w 2018 roku. Wszystkie formy własności

W kolejnych latach pięciolecia 2014–2018 dla gatunków iglastych średnia defoliacja wynosiła: 21,8%, 21,6%, 22,4%, 22,7% i 22,4%; udział drzew zdrowych: 9,5%, 9,6%, 6,7%, 7,9% i 9,3%; a udział drzew uszkodzonych: 17,2%, 15,8%, 17,1%, 18,4% i 17,2%. Dla gatunków

liściastych średnia defoliacja wynosiła: 22,2%, 21,4%, 23,2%, 22,9% i 22,4%; udział drzew zdrowych: 15,4%, 16,2%, 11,2%, 13,7% i 14,8%; udział drzew uszkodzonych: 21,9%, 18,4%, 24,0%, 23,3% i 21,1%.



Rycina 4. Udział drzew monitorowanych gatunków razem w klasach defoliacji w latach 2014-2018. Wiek powyżej 20 lat. Wszystkie formy własności.

Porównanie zmienności kondycji zdrowotnej gatunków iglastych łącznie i liściastych łącznie w pięcioleciu (ryc. 4) wykazało:

- W 2015 r. kondycja gatunków iglastych nie zmieniła się, natomiast kondycja gatunków liściastych poprawiła się, nastąpił spadek udziałów drzew uszkodzonych (o 3,5 punktu procentowego).
- W 2016 r. nastąpiło niewielkie pogorszenie kondycji gatunków iglastych oraz wyraźne pogorszenie kondycji gatunków liściastych (spadek udziału drzew zdrowych o 5 punktów procentowych oraz wzrost udziału drzew uszkodzonych o 5,6 punktu procentowego).
- W latach 2017 i 2018 następowała stopniowa niewielka poprawa kondycji gatunków liściastych.

W 2018 r. kolejność gatunków od najzdrowszych do najbardziej uszkodzonych, ustalona na podstawie analizy trzech parametrów określających zdrowotność: średniej defoliacji, udziału drzew zdrowych (do 10% defoliacji) i udziału drzew uszkodzonych (powyżej 25% defoliacji), jest następująca: buk << olsza, jodła < inne liściaste < inne iglaste < sosna < świerk, brzoza << dąb.

W ciągu pięciolecia 2014–2018 poziom zdrowotności lasów był zróżnicowany. W 2015 r. w porównaniu z 2014 r. nastąpiła niewielka poprawa kondycji lasów. W 2016 r. odnotowano jej pogorszenie (spadek udziału drzew zdrowych o 3,6 punktu procentowego oraz wzrost udziału drzew uszkodzonych o 2,8 punktu procentowego) na skutek suszy obejmującej niemal cały kraj w 2015 r. W latach 2017, 2018 stan zdrowotny lasów ogółem w skali kraju nie zmienił się w sposób istotny.

Średnia defoliacja gatunków razem wynosiła w kolejnych latach: 21,9%, 21,5%, 22,7%, 22,8% i 22,4%; udział drzew zdrowych wynosił: 11,6%, 11,9%, 8,3%, 10,0% i 11,3%; udział drzew uszkodzonych: 18,9%, 16,7%, 19,5%, 20,2% i 18,6%.

Przez cały okres pięciolecia wśród gatunków iglastych najzdrowsza była jodła, a najbardziej uszkodzony był świerk, natomiast wśród gatunków liściastych najzdrowszy był buk, a najbardziej uszkodzony – dąb. Sosna charakteryzowała najbardziej stabilną kondycją zdrowotną.

Prognoza: Stan zdrowotny lasów wyrażony poziomem defoliacji wykazuje okresową i lokalną zmienność z nieznacznym trendem wzrostu defoliacji w ostatnich latach i trend ten będzie prawdopodobnie utrzymany. Wydaje się, że jest to efekt długotrwałej adaptacji drzewostanów do zmian klimatycznych. Należy się spodziewać występowania trudno przewidywalnych ekstremalnych warunków pogodowych mogących powodować zjawiska klęskowe na ograniczonej powierzchni.

Kondycja zdrowotna drzew (gatunki razem) według form własności lasu w 2018 r.

Tabela 2. Średnia defoliacja monitorowanych gatunków ogółem oraz według form własności – 2018 r.

Gatunek drzewa	W zarządzie Lasów Państwowych	Osób fizycznych	W zarządzie parków narodowych	Pozostałe własności	Własności razem
Sosna	21,7	24,1	25,5	22,8	22,3
Świerk	23,3	27,9	28,1	20,0	24,3
Jodła	21,2	16,2	27,3	20,5	20,3
Inne iglaste	21,0	22,5	23,6	21,7	21,3
Gat. iglaste	21,8	23,9	26,5	22,4	22,4
Buk	16,6	17,0	18,9	17,2	16,9
Dąb	26,0	24,2	32,5	30,1	26,0
Brzoza	23,7	23,8	29,3	29,2	24,0
Olsza	20,1	18,8	24,2	18,4	19,7
Inne liściaste	22,6	20,9	20,7	19,7	21,6
Gat. liściaste	22,5	21,6	23,3	23,9	22,4
Gat. razem	22,0	23,0	25,0	23,1	22,4

*) wyniki oznaczone niebieskim kolorem mogą być obarczone błędem ze względu na małą liczebność próby (ocenie poddano co najwyżej 30 drzew)

Porównanie poziomu zdrowotności monitorowanych gatunków wykonano w układzie czterech form własności: lasy w zarządzie Lasów Państwowych, lasy będące własnością osób fizycznych, lasy w granicach parków narodowych¹ oraz lasy innych form własności razem (tab. 2).

Dla gatunków razem największe uszkodzenia drzew występowały w lasach parków narodowych. Zarejestrowano tam najmniej (7,5%) drzew zdrowych, najwięcej drzew uszkodzonych (26,8%), najwyższa była też średnia defoliacja (25,0%) w porównaniu do

¹ Na potrzeby opracowań monitoringu lasów utworzono grupę powierzchni zlokalizowanych w lasach parków narodowych, na którą składają się powierzchnie ‘w zarządzie parków narodowych’ (18 pow.) oraz powierzchnie położone w granicach parków narodowych mające inną formę własności (16 pow.): 12 pow. – ‘inne Skarbu Państwa’, 2 pow. – ‘wspólnot gruntowych’ i 2 pow. – ‘osób fizycznych’.

stanu lasów pozostałych form własności. Najmniej uszkodzone były drzewa w Lasach Państwowych. Było tam 11,6% drzew zdrowych, najmniej drzew uszkodzonych (17,7%), średnia defoliacja była również najniższa (22,0%).

Porównanie kondycji drzew w układzie krain przyrodniczo-leśnych wykazało wyjątki od powyższej zależności: w Krainie Małopolskiej najmniej uszkodzone były drzewa w lasach parków narodowych, w Krainie Sudeckiej – najbardziej uszkodzone były drzewa w lasach państwowych.

Ogółem w kraju największe uszkodzenia drzew występowały w lasach parków narodowych, natomiast najmniejsze – w lasach państwowych.

Przeciętnie wyższy poziom defoliacji drzew w lasach parków narodowych, w porównaniu z lasami innymi form własności, związany jest z tym, że w tych lasach nie prowadzi się działalności gospodarczej, polegającej na wykonywaniu trzebieży i cięć sanitarnych, podczas których usuwa się drzewa uszkodzone i o obniżonej zdrowotności.

Kondycja zdrowotna monitorowanych gatunków drzew w zależności od wieku – 2018 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).

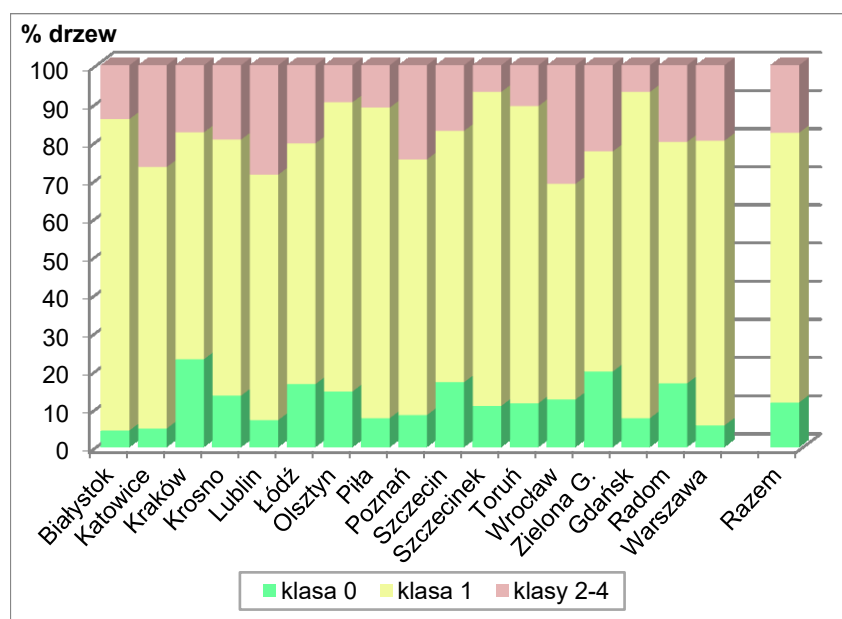
Ogółem dla wszystkich drzew objętych obserwacjami udział drzew zdrowych (do 10% defoliacji) wynosił 11,3%, udział drzew uszkodzonych (powyżej 25% defoliacji) – 18,6%, a średnia defoliacja – 22,4%. Wśród drzew młodszych zanotowano 12,0% drzew zdrowych, 17,3% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja wynosiła 22,0%. Wśród drzew starszych udział drzew zdrowych był niższy i wynosił 10,9%, udział drzew uszkodzonych był wyższy i wynosił 19,6%, średnia defoliacja również była wyższa – 22,6%.

Taki układ udziału drzew zdrowych i uszkodzonych oraz średniej defoliacji w grupach wiekowych wskazuje na niewielkie obniżanie się kondycji drzew w zestawieniu ‘gatunki razem’ wraz ze wzrostem wieku drzew. Powyższa zależność nie została stwierdzona w odniesieniu do gatunków ‘iglastych razem’, natomiast jest silniejsza w przypadku gatunków ‘liściastych razem’. Udział drzew zdrowych, drzew uszkodzonych oraz średnia defoliacja wynosił odpowiednio dla gatunków ‘iglastych razem’: 8,4%, 17,7%, 22,7% u drzew młodszych i 9,9%, 16,9%, 22,2% u drzew starszych oraz dla gatunków ‘liściastych razem’: 17,4%, 16,7%, 21,1% u drzew młodszych i 12,8%, 24,6%, 23,4% u drzew starszych. Obserwowana w 2018 r. zależność kondycji drzew ‘gatunki razem’ i ‘liściaste razem’ od wieku była również opisywana w latach 2006–2010 i 2012–2017. W 2011 r. nie odnotowano takiej zależności.

Wśród gatunków iglastych znaczny spadek kondycji związany z wiekiem zaobserwowano dla gatunków 'inne iglaste', a dużo słabszy u jodły i świerka. Nie stwierdzono różnic w poziomie defoliacji pomiędzy drzewami młodszymi i starszymi u sosny. Wśród gatunków liściastych największy spadek kondycji związany z wiekiem zaobserwowano u dębu, duży – u brzozy, średni – u olszy i buka, niewielki – u gatunków z kategorii 'inne liściaste'.

Kondycja zdrowotna drzew (gatunki razem) w układzie regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych w 2018 r.

Dobłą kondycją zdrowotną charakteryzowały się drzewa w lasach w rdLP w Szczecinku, Krakowie, Olsztynie i Gdańsku (odpowiednio: 10,7%, 22,9%, 14,5% i 7,5% drzew zdrowych, 7,0%, 17,6%, 9,7% i 7,0% drzew uszkodzonych, 18,7%, 20,6%, 20,3% i 19,7% średniej defoliacji).



Rycina 5. Udział drzew monitorowanych gatunków łącznie w klasach defoliacji w układzie regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych (lasy w zarządzie LP) w 2018 r.

Regionalne dyrekcje LP w Toruniu, Szczecinie, Zielonej Górze, Pile, Radomiu i Łodzi zaliczone zostały do grupy rdLP o średnim poziomie uszkodzenia drzew, średnia defoliacja w tych rdLP zawierała się w przedziale od 20,7% do 22,4%. W rdLP w Pile i Toruniu zarówno udziały drzew zdrowych (7,5% i 11,4%), jak i udziały drzew uszkodzonych (11,1% i 10,7%) były niskie. W RDLP w Szczecinie udział drzew zdrowych (16,9%) i udział drzew uszkodzonych (17,2%) utrzymywały się na wyrównanym średnim poziomie. W rdLP w Zielonej Górze, Radomiu i Łodzi zarówno udziały drzew zdrowych (19,7%, 16,6% i 16,4%), jak i udziały drzew uszkodzonych (22,6%, 20,1% i 20,5%) były dość wysokie.

Lasy w rdLP w Krośnie, Białymstoku, Warszawie i Poznaniu charakteryzowały się wysokim poziomem uszkodzenia drzew. Udział drzew zdrowych zawierał się w przedziale od 4,3% (RDLP w Białymstoku) do 13,4% (RDLP w Krośnie). Udział drzew uszkodzonych zawierał się w przedziale od 14,1% (RDLP w Białymstoku) do 24,7%

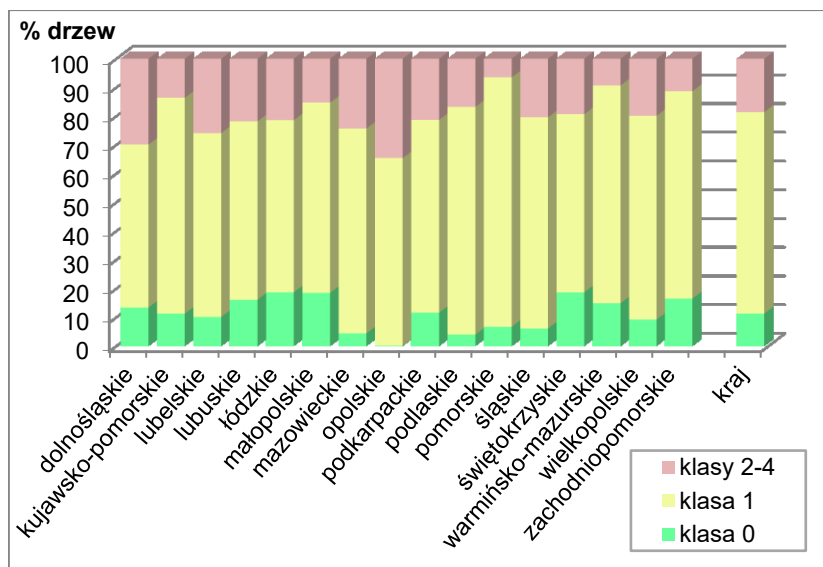
(RDLP w Poznaniu), a średnia defoliacja – w przedziale od 22,6% (RDLP w Krośnie) do 23,8% (RDLP w Poznaniu).

W lasach rdLP w Katowicach, Lublinie i Wrocławiu uszkodzenie drzew było bardzo duże. W RDLP we Wrocławiu udział drzew zdrowych był stosunkowo wysoki (12,4%), natomiast udział drzew uszkodzonych (31,1%) oraz średnia defoliacja (25,1%) – najwyższe w porównaniu z innymi rdLP. W rdLP w Katowicach i Lublinie udział drzew zdrowych był bardzo niski (4,8% i 7,0%), udział drzew uszkodzonych (26,7% i 28,7%) oraz średnia defoliacja (24,7% i 24,8%) – bardzo wysokie (ryc. 5).

Regionalne dyrekcje LP uszeregowane grupami, według kondycji drzew w lasach (2018 r.), od najzdrowszych do najbardziej uszkodzonych: Szczecinek, Kraków, Olsztyn, Gdańsk < Toruń, Szczecin, Zielona Góra, Piła, Radom, Łódź < Krosno < Białystok < Warszawa < Poznań << Wrocław, Katowice, Lublin.

Kondycja zdrowotna drzew (gatunki razem) w układzie województw w 2018 r.

Dobłą kondycją charakteryzowały się drzewa (gatunki razem) w lasach województw: zachodniopomorskiego, warmińsko-mazurskiego, małopolskiego i pomorskiego (od 6,7% do 18,5% drzew zdrowych, od 6,5% do 15,3% drzew uszkodzonych oraz od 19,4% do 20,7% średniej defoliacji) (ryc. 6).



Rycina 6. Udział drzew monitorowanych gatunków łącznie w klasach defoliacji w układzie województw) w 2018 r.

13,6% do 21,8%, a średnia defoliacja – od 21,7% do 22,4%.

Lasy w województwach: podkarpackim, wielkopolskim, śląskim, podlaskim, lubelskim, dolnośląskim i mazowieckim charakteryzowały się wysokim poziomem uszkodzenia drzew. Udział drzew zdrowych zawierał się w przedziale od 4,0% do 13,4%,

Województwa: świętokrzyskie, kujawsko-pomorskie, łódzkie i lubuskie można zaliczyć do grupy województw o średnim poziomie uszkodzenia drzew. Udział drzew zdrowych zawierał się w przedziale od 11,3% do 18,7%, udział drzew uszkodzonych – od

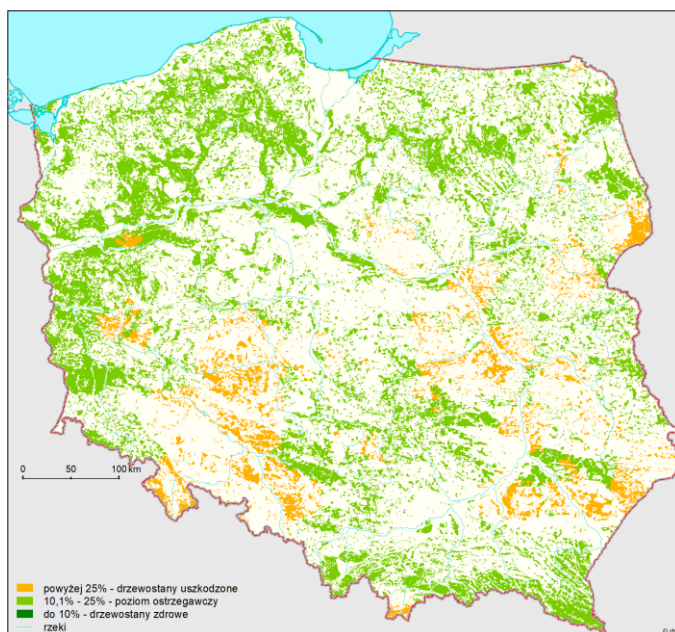
udział drzew uszkodzonych – od 16,8% do 29,9%, średnia defoliacja – od 22,6% do 24,7%.

Najbardziej uszkodzone były drzewa w lasach województwa opolskiego (najniższy udział drzew zdrowych – 0,2%, najwyższy udział drzew uszkodzonych – 34,6% i najwyższa średnia defoliacja – 28,0%).

Województwa uszeregowane grupami według kondycji drzew w lasach (2018 r.) od najzdrowszych do najbardziej uszkodzonych: zachodniopomorskie, warmińsko-mazurskie, małopolskie, pomorskie < świętokrzyskie, kujawsko-pomorskie, łódzkie, lubuskie < podkarpackie, wielkopolskie < śląskie, podlaskie < lubelskie, dolnośląskie, mazowieckie < opolskie.

Kondycja zdrowotna drzew (gatunki razem) w układzie krain przyrodniczo-leśnych w 2018 r. oraz w pięcioleciu 2014-2018

W 2018 r. najzdrowsze okazały się drzewa w lasach Krainy Bałtyckiej (ryc. 7): zanotowano wysoki w porównaniu z innymi krainami udział drzew zdrowych (14,6%), najniższy udział drzew uszkodzonych (9,2%) i najniższą średnią defoliację (19,3%).



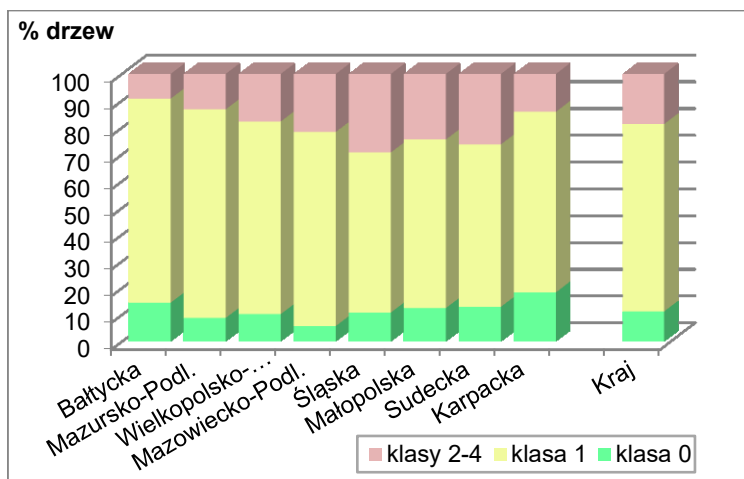
Rycina 7. Poziom uszkodzenia lasów w 2018 r. na podstawie oceny defoliacji na stałych powierzchniach obserwacyjnych z wyróżnieniem 3 klas defoliacji

Niewiele gorszą kondycją charakteryzowały się drzewa w Krainie Karpackiej: najwyższy wśród krain udział drzew zdrowych (18,5%), niski udział drzew uszkodzonych (14,1%) oraz niska średnia defoliacja (20,4%).

Krainy: Mazursko-Podlaska i Wielkopolsko-Pomorska zaliczone zostały do grupy krain o średnim poziomie uszkodzenia drzew. Zanotowano tu niski udział drzew zdrowych (8,8% i 10,3%) oraz niezbyt wysoki udział drzew

uszkodzonych (13,2% i 17,7%), średnia defoliacja wynosiła 22,2% i 22,0% (ryc. 8).

Lasy krain: Małopolskiej, Sudeckiej i Mazowiecko-Podlaskiej charakteryzowały się podwyższonym poziomem uszkodzenia drzew. W krainach Małopolskiej i Sudeckiej udziały drzew zdrowych (12,5% i 13,0%) i udziały drzew uszkodzonych były wyższe niż w Krainie Mazowiecko-Podlaskiej (5,8% drzew zdrowych i 21,6% drzew uszkodzonych).

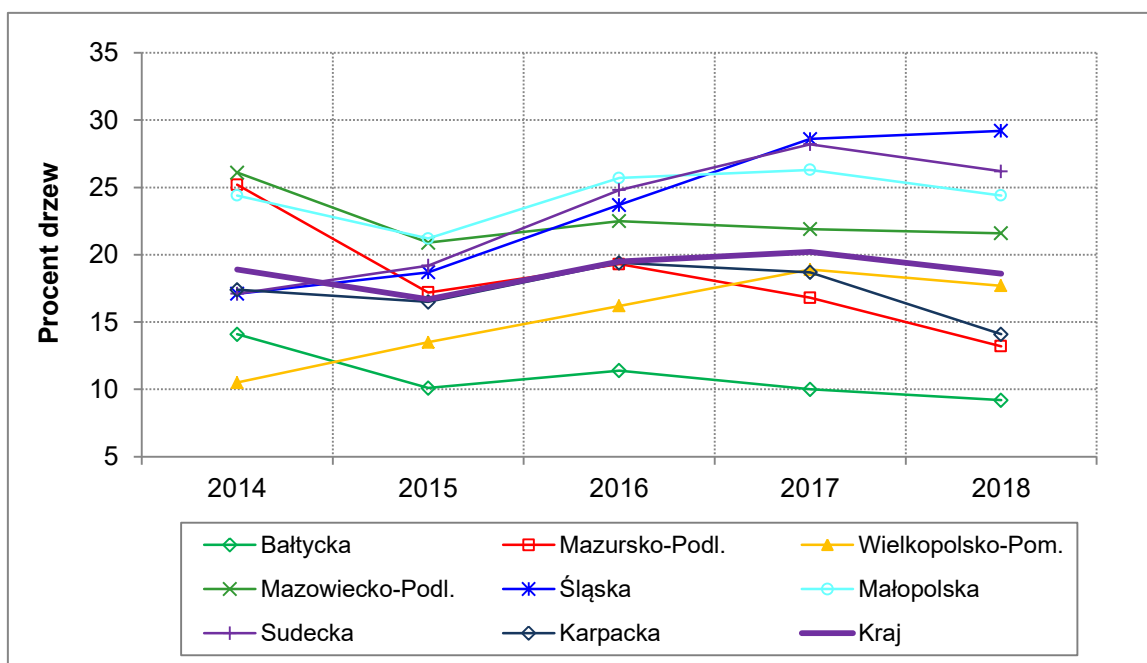


Rycina 8. Udział drzew monitorowanych gatunków łącznie w klasach defoliacji w układzie krain przyrodniczo-leśnych w 2018 r.

Średnia defoliacja drzew w tych krainach była podwyższona, wynosiła od 23,7% do 23,9%.

Najbardziej uszkodzone były drzewa w lasach Krainy Śląskiej: niski udział drzew zdrowych (10,9%), najwyższy w zestawieniu udział drzew uszkodzonych (29,2%) i najwyższa średnia

defoliacja (25,0%).



Rycina 9. Udział drzew monitorowanych gatunków razem w klasach defoliacji 2-4 w krainach przyrodniczo-leśnych w latach 2014-2018. Wiek powyżej 20 lat. Wszystkie formy własności

Zestawiono zmienność kondycji zdrowotnej drzewostanów w układzie krain przyrodniczo-leśnych w pięcioleciu 2014-2018 (ryc. 9). Uszkodzenie drzew rosło: w latach 2014-2017 – w krainie Sudeckiej i Wielkopolsko-Pomorskiej, w latach 2015-2017 – w Krainie Śląskiej, w latach 2015-2016 – w krainach: Karpackiej, Małopolskiej i Mazursko-Podlaskiej. W krainach: Śląskiej i Wielkopolsko-Pomorskiej uszkodzenie drzew wykazywało tendencję rosnącą przez cały okres pięciolecia. Z kolei uszkodzenie drzew malało: w latach 2014-2015 – w krainach: Bałtyckiej, Małopolskiej i Mazowiecko-Podlaskiej, w latach 2017-2018 – w krainach: Karpackiej i Sudeckiej. W Krainie

Mazursko-Podlaskiej uszkodzenie drzew malało w latach 2014-2015 oraz w latach 2016-2018.

Krainy przyrodniczo-leśne uszeregowane grupami według kondycji drzew w lasach (2018 r.) od najzdrowszych do najbardziej uszkodzonych: Bałtycka < Karpacka < Mazursko-Podlaska, Wielkopolsko-Pomorska < Małopolska, Sudecka, Mazowiecko-Podlaska < Śląska.

W pięcioleciu 2014-2018 w krainach: Bałtyckiej i Wielkopolsko-Pomorskiej uszkodzenie drzew przez cały okres pięciolecia utrzymywało się poniżej średniej krajowej. W krainach: Małopolskiej i Mazowiecko-Podlaskiej w omawianym okresie uszkodzenie drzew charakteryzowało się uszkodzeniem wyższym, niż średnio w kraju. W krainach Śląskiej i Sudeckiej uszkodzenie drzew było wyższe niż średnia krajowa w okresie czterolecia 2015-2018.

3. OCENA PRZYCZYN I SYMPTOMÓW USZKODZEŃ DRZEW W 2018 R. – PAWEŁ LECH

W 2018 r. łącznie na SPO I rzędu stwierdzono 45 941 uszkodzeń drzew, które występowały na 30 463 drzewach (75,3% ocenianych drzew, o około 5 punktów procentowych więcej niż w 2017 r.). Na 17 341 drzewach stwierdzono występowanie jednego uszkodzenia, na 10 745 drzewach – dwóch uszkodzeń, a na 2370 drzewach – trzech. Nieuszkodzonych było łącznie 9997 drzew, co stanowiło 24,7% ocenianych drzew (w 2017 r. udział drzew nieuszkodzonych wynosił 29,6%, a w 2016 r. – 33,3%). Wśród gatunków iglastych najwięcej drzew bez uszkodzeń cechowało jodłę (36,22%), niewiele mniej – sosnę (34,34%), znacznie mniej – świerka (19,62%). Spośród gatunków liściastych największym udziałem drzew bez uszkodzeń cechował się buk (21,60%), ponad dwukrotnie mniejszym – brzoza brodawkowata (9,82%), a najmniejszym – rodzime dęby i olsza czarna (odpowiednio 5,90% i 3,86%). Oznacza to, że w 2018 r., w porównaniu do roku poprzedniego, udział drzew nieuszkodzonych wyraźnie zmniejszył się w przypadku wszystkich głównych gatunków lasotwórczych.

Wykonane analizy potwierdziły dodatnią korelację pomiędzy przeciętną dla powierzchni defoliacją drzew a liczbą drzew z uszkodzeniami występującymi na tej powierzchni. Zależność ta była szczególnie wyraźna dla uszkodzeń o nasileniu przekraczającym 40%.

W 2018 r. średnia wartość liczby uszkodzeń przypadających na 1 drzewo (gatunki razem) wynosiła 1,13 i była większa niż w 2017 r. (1,01), w układzie gatunków – zawierała się w przedziale od 0,80 (dla domieszkowych gatunków iglastych) do 1,69 (dla dębu) (tab. 3). Na drzewach gatunków liściastych na 1 drzewo przypadało powyżej

jednego uszkodzenia. W przypadku gatunków iglastych taka sytuacja miała miejsce dla świerka i jodły, natomiast dla sosny i domieszkowych gatunków iglastych wartość tego parametru była mniejsza od jedności. Przeprowadzona analiza trendów zmian nasilenia występowania uszkodzeń na drzewach w okresie 2011–2018 (test Manna-Kendalla) wykazała brak wyraźnego trendu jedynie w przypadku świerka i domieszkowych gatunków iglastych, zaś w przypadku pozostałych gatunków drzew oraz łącznie dla wszystkich badanych drzew – wzrost nasilenia częstości występowania uszkodzeń (tab. 3).

Tabela 3. Wskaźnik występowania uszkodzeń na drzewach badanych gatunków w klasach wieku (2018 r.) oraz trend zmian wskaźnika występowania uszkodzeń na jednym drzewie w latach 2011-2018 określony za pomocą testu Manna-Kendalla

Gatunek	Średnia liczba uszkodzeń na jednym drzewie w 2018 r. w zależności od wieku drzewa				Średnia liczba uszkodzeń na jednym drzewie w kolejnych latach pięciolecia					Trend
	21-40	41-60	61-80	>80	2014	2015	2016	2017	2018	
Sosna	0,71	0,80	0,89	1,04	0,67	0,71	0,74	0,77	0,89	W
Świerk	1,05	1,19	1,14	1,12	1,01	0,99	1,04	1,03	1,13	PW
Jodła	0,92	0,88	0,74	1,17	0,95	0,97	1,00	0,94	1,01	W
Inne iglaste	0,58	0,76	1,08	0,84	0,56	0,62	0,66	0,69	0,80	N
Dąb	1,63	1,59	1,69	1,76	1,47	1,30	1,37	1,60	1,69	W
Buk	1,28	1,26	1,31	1,30	1,04	1,01	1,20	1,13	1,29	W
Brzoza	1,21	1,43	1,49	1,59	1,13	1,15	1,24	1,31	1,41	W
Olsza	1,36	1,56	1,58	1,62	1,17	1,26	1,33	1,47	1,54	W
Inne liściaste	1,51	1,48	1,58	1,54	1,22	1,32	1,45	1,43	1,53	W
Razem	1,03	1,06	1,14	1,23	0,87	0,91	0,97	1,01	1,13	W

W – wzrost, PW –prawdopodobny wzrost, N – brak trendu

Wraz z wiekiem u sosny, dębów, brzozy, olszy i innych gatunków liściastych następował wzrost średniej liczby uszkodzeń występujących na 1 drzewie. W przypadku pozostałych gatunków drzew brak wyraźnych tendencji tego typu (tab. 3).

Zróznicowanie pomiędzy krainami przyrodniczo-leśnymi pod względem średniej liczby uszkodzeń przypadającej na jedno drzewo w 2018 r. nie było znaczące. Zawierało się w przedziale od 1,03 w Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej do 1,36 w Krainie Karpackiej. Największe różnice pomiędzy krainami przyrodniczo-leśnymi pod względem liczby uszkodzeń na jednym drzewie stwierdzono dla sosny i świerka oraz buka. Najwyższym nasileniem występowania uszkodzeń na drzewach gatunków iglastych cechowały się Kraina Karpacka i Kraina Bałtycka. W przypadku gatunków liściastych dużego zróżnicowania pomiędzy krainami pod względem nasilenia występowania uszkodzeń nie było.

W porównaniu do 2017 r. odnotowano wzrost średniej liczby uszkodzeń przypadających na 1 drzewo w siedmiu krainach przyrodniczo-leśnych. W Krainie Małopolskiej wartość tego wskaźnika nie uległa zmianie. Wykonana analiza trendów dla okresu 2013–2018 wykazała wzrost nasilenia występowania uszkodzeń w 6 krainach, a brak trendu w dwóch (Sudeckiej i Karpackiej).

Średnia liczba uszkodzeń przypadających na jedno drzewo w regionalnych dyrekcjach LP zawierała się w przedziale od 0,80 (RDLP w Toruniu) do 1,55 (RDLP w Krośnie). Mniejsza niż przeciętna dla całej Polski liczba uszkodzeń na 1 drzewie (1,13 uszkodzenia/drzewo) wystąpiła w dziesięciu rdLP (w Katowicach, Lublinie, Łodzi, Olsztynie, Pile, Toruniu, Zielonej Górze, Gdańsku, Radomiu, Warszawie), w pozostałych rdLP oraz w parkach narodowych była wyższa.

Tabela 4. Najczęściej występujące lokalizacje, symptomy i czynniki sprawcze uszkodzeń występujących na drzewach badanych gatunków – 2018 r.

Gatunek	Liczba uszkodzeń	Najczęściej występująca lokalizacja			Najczęściej występujący symptom			Najczęściej występujący czynnik sprawczy		
		Miejsce	Liczba	Udział	Nazwa	Liczba	Udział	Nazwa	Liczba	Udział
Sosna	19843	Pień pomiędzy szyją korz. a koroną	7365	37,1%	Deformacje	6431	32,4%	Badane niezidentyfikowane	7181	36,2%
Świerk	2035	Pień pomiędzy szyją korz. a koroną	1044	51,3%	Wycieki żywicy	537	26,4%	Badane niezidentyfikowane	650	31,9%
Jodła	1051	Pień pomiędzy szyją korz. a koroną	355	33,8%	Deformacje	342	32,5%	Badane niezidentyfikowane	342	32,5%
Inne iglaste	471	Pień pomiędzy szyją korz. a koroną	214	45,4%	Deformacje	110	23,4%	Badane niezidentyfikowane	192	40,8%
Dąb	5474	Liście	3596	65,7%	Ubytek liści	2595	47,4%	Owady	2417	44,2%
Buk	2237	Liście	963	43,0%	Ubytek liści	804	35,9%	Owady	877	39,2%
Brzoza	6188	Liście	3742	60,4%	Ubytek liści	2785	45,0%	Owady	30934	50,0%
Olsza	4316	Liście	2809	65,1%	Ubytek liści	2772	64,2%	Owady	2636	61,1%
Inne liściaste	4326	Liście	2296	53,1%	Ubytek liści	1879	43,4%	Owady	1715	39,6%
Łącznie	45941	Liście	18312	39,9%	Ubytek liści	15157	33,0%	Badane niezidentyfikowane	13197	28,7%

Na charakter występujących zagrożeń wskazuje zestawienie najczęściej stwierdzanych symptomów i lokalizacji uszkodzeń zarejestrowanych dla danego drzewa oraz związanych z nimi czynników sprawczych w układzie poszczególnych gatunków drzew(tab. 4).

Lokalizacja uszkodzeń w obrębie drzewa

Uwzględniając podział na części morfologiczne drzew (korzenie i szyja korzeniowa, strzała, gałęzie, pędy i pączki oraz igły i liście), najczęściej wskazywanym miejscem położenia symptomów była strzała (44,8% wszystkich wskazanych lokalizacji uszkodzeń), w tym przede wszystkim „*pień pomiędzy szyją korzeniową i koroną*” (29,4%) oraz liście bądź igły – 39,9%. Udział gałęzi, pędów i pączków oraz korzeni i szyi korzeniowej, jako miejsc występowania uszkodzeń, był dużo mniejszy (odpowiednio 11,5% i 3,9% wszystkich lokalizacji uszkodzeń).

Wśród gatunków iglastych najczęściej występującą lokalizacją uszkodzeń była strzała, zaś wśród gatunków liściastych – liście. W przypadku sosny, poza strzałą, uszkodzenia występowały licznie na igłach (9,1%) i nieco mniej licznie na gałęziach, pędach i pączkach (6,1%). Podobne proporcje występowały u świerka i iglastych gatunków domieszkowych. Na jodle uszkodzenia występowały liczniej na gałęziach, pędach i pączkach niż na igłach. Strzała była drugim pod względem udziału miejscem występowania uszkodzeń u wszystkich wyróżnionych gatunków liściastych. Najmniejszym udziałem lokalizacji uszkodzeń zarówno na gatunkach iglastych, jak i liściastych cechowały się korzenie i szyja korzeniowa.

Symptomy uszkodzeń

W 2018 r. wśród symptomów uszkodzeń największym udziałem (33,0%) wyróżniał się „*ubytek igieł/liści*”, który dominował u wszystkich gatunków liściastych. Znaczący był również udział „*deformacji*” (21,7% wszystkich uszkodzeń), które przeważały u sosny, jodły i domieszkowych gatunków iglastych (odpowiednio 32,4%, 32,5% i 23,4% wszystkich uszkodzeń). W przypadku gatunków liściastych udział „*deformacji*” zawierał się w przedziale 9,4% (dęby) – 16,7% (buk). Wśród wyróżnionych symptomów uszkodzeń mniejszymi udziałami cechowały się „*rany*” (9,8%), których udział był wysoki w przypadku świerka i buka (odpowiednio 20,6%, 17,5%), następnie „*pochylone*” (7,6%) i „*martwe, obumierające gałęzie*” (5,9% wszystkich uszkodzeń). W przypadku świerka dużym udziałem cechowały się ponadto „*wycieki żywicy*” (26,4% uszkodzeń świerka). Udział pozostałych symptomów był niższy i zawierał się w przedziale od 5,7% do 0,1%.

Czynniki sprawcze

Spośród wyróżnionych kategorii czynników sprawczych uszkodzeń drzew najwyższy udział, poza kategorią „*badano, niezidentyfikowano*” (28,7% wszystkich przypadków), miały „*owady*” i „*konkurencja i inne czynniki*” (w tym przede wszystkim

„konkurencja”) (odpowiednio 28,1% i 21,7%). Znacznie rzadziej wskazywano na „grzyby” (7,9%), „bezpośrednie oddziaływanie człowieka” (6,1%) oraz „czynniki abiotyczne” (6,0%).

„Konkurencja i inne czynniki” odpowiadały za 32,5% wszystkich uszkodzeń sosny, 23,6% uszkodzeń świerka, 22,3% uszkodzeń domieszkowych gatunków iglastych oraz 22,2% uszkodzeń jodły. W odniesieniu do gatunków liściastych udział tego czynnika sprawczego był znacząco mniejszy, najwyższą wartość osiągając dla brzoź – 15,6%. „Owady” stanowiły najczęściej wymienianą kategorię czynników sprawczych w przypadku uszkodzeń olsz (61,1%), brzoź (50,0%), dębów (44,2%), domieszkowych gatunków liściastych (39,6%) i buka (39,2%). „Grzyby” miały znaczny udział jako przyczyna uszkodzeń drzew w przypadku jodły (23,6%), mniejszy – dębów (16,2%), buka (12,6%) oraz domieszkowych gatunków liściastych (10,9%), natomiast „bezpośrednie działanie człowieka” w odniesieniu do domieszkowych gatunków iglastych (11,0%), świerka (10,6%) i buka (10,2%). Pozostałe kategorie czynników sprawczych nie miały znaczącego udziału w powstawaniu uszkodzeń poszczególnych gatunków drzew.

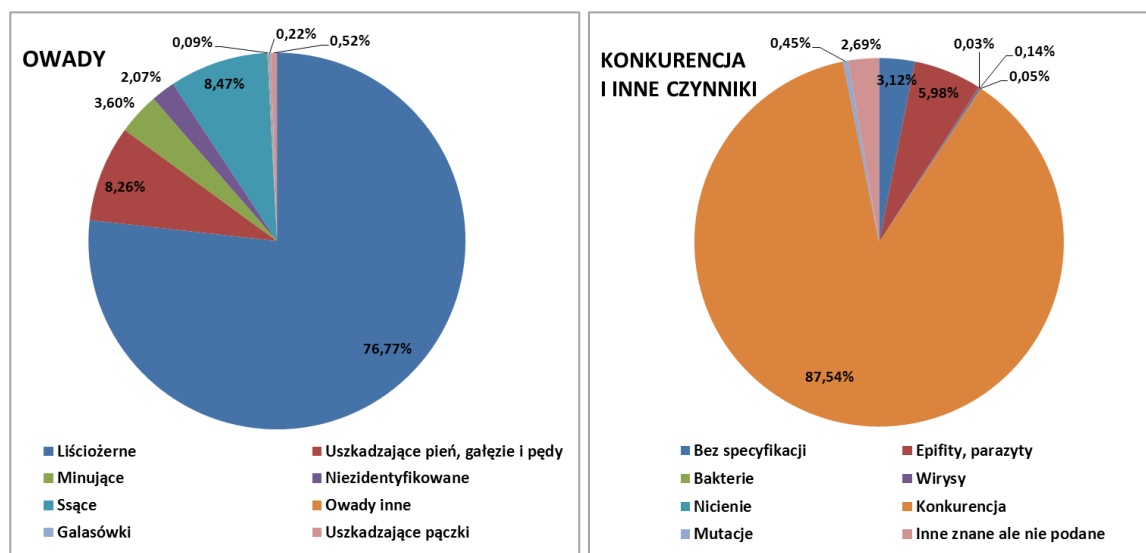
Udział uszkodzeń, dla których nie zidentyfikowano czynnika sprawczego w przypadku gatunków iglastych, zawierał się w przedziale 31,9–40,8%, w przypadku gatunków liściastych był znacząco mniejszy (od 14,3% do 25,1%). Największym udziałem niezidentyfikowanych czynników sprawczych cechowały się domieszkowe gatunki iglaste, najmniejszym zaś – olsze. W latach 2010–2018 następowała poprawa identyfikowania czynników sprawczych uszkodzeń występujących na większości gatunków drzew.

„Owady” oraz „konkurencja i inne czynniki”

W 2018 r. na SPO I rzędu stwierdzono 12 902 przypadki uszkodzeń spowodowanych przez owady, co stanowiło przyczynę 28,1% wszystkich uszkodzeń. Najliczniejszymi wśród owadów sprawcami szkód, podobnie jak w latach poprzednich, były owady liściożerne (foliofagi) – stanowiły one 76,8% wszystkich przypadków uszkodzeń tej kategorii sprawców. Udział powyżej 5% cechował ponadto owady uszkadzające pień, gałęzie i pędy oraz owady ssące (ryc. 10). Udział wyróżnianych grup owadów powodujących uszkodzenia w 2018 r. był podobny do tego z lat poprzednich.

Spośród wszystkich uszkodzeń spowodowanych przez owady na drzewach iglastych występowało łącznie 16,8%, w tym na sośnie 13,0%, świerku – 3,1%, jodle – 0,2% oraz na domieszkowych gatunkach iglastych – 0,4%. Uwzględniając liczbę drzew poszczególnych gatunków, największym udziałem uszkodzeń spowodowanych przez

owady cechował się świerk, następnie iglaste gatunki domieszkowe, jodła, a najmniejszym – sosna. Na gatunkach liściastych występowało łącznie 83,2% uszkodzeń spowodowanych przez owady. U wszystkich wyróżnionych gatunków liściastych dominującą grupą owadów powodującą uszkodzenia były foliofagi. Udział innych grup owadów był wielokrotnie mniejszy.



Rycina 10. Uszkodzenia spowodowane przez „owady” oraz „konkurencję i inne czynniki”

„Konkurencja i inne czynniki” była drugą najczęściej wskazywaną grupą czynników sprawczych uszkodzeń drzew na SPO I rzędu w 2018 r. Stwierdzono 9982 uszkodzenia tej kategorii, co stanowiło 21,7% wszystkich uszkodzeń. Udział uszkodzeń spowodowanych przez tę grupę czynników na drzewach iglastych wynosił 72,59%, a na liściastych – 27,41%.

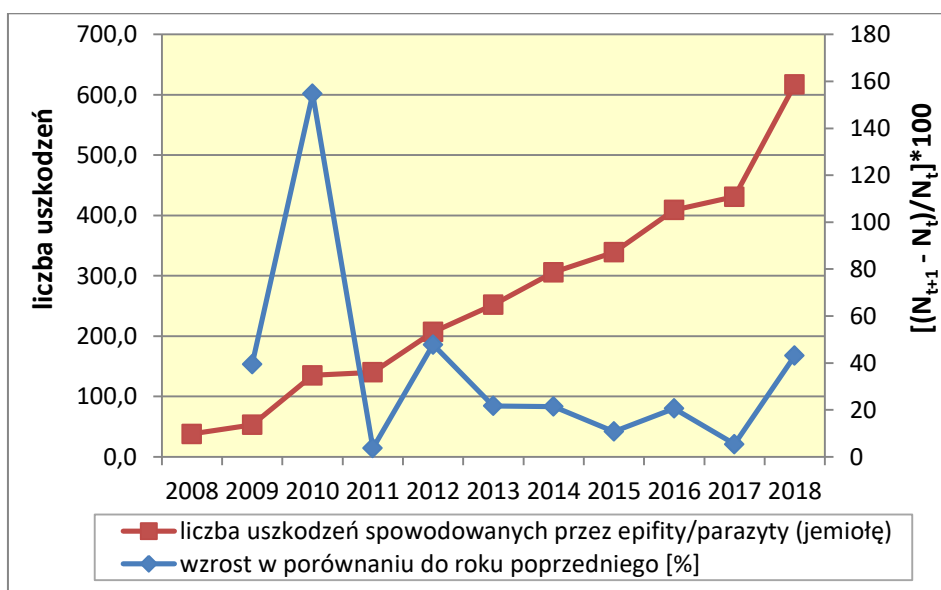
Występowanie uszkodzeń spowodowanych przez epifity/parazyty (głównie jemiółę)

W ostatnich latach obserwuje się nasilenie występowania jemióły na drzewach leśnych. Dlatego też podjęto próbę przeanalizowania tego zjawiska, wykorzystując do tego celu wyniki obserwacji monitoringowych i oceny występowania uszkodzeń drzew na SPO I rzędu z lat 2008–2018.

Udział epifitów/parazytów wśród wyróżnianych czynników sprawczych uszkodzeń w 2018 r. był relatywnie niewielki. Była to przyczyna 617 uszkodzeń, co stanowiło jedynie 1,3% wszystkich zarejestrowanych uszkodzeń drzew.

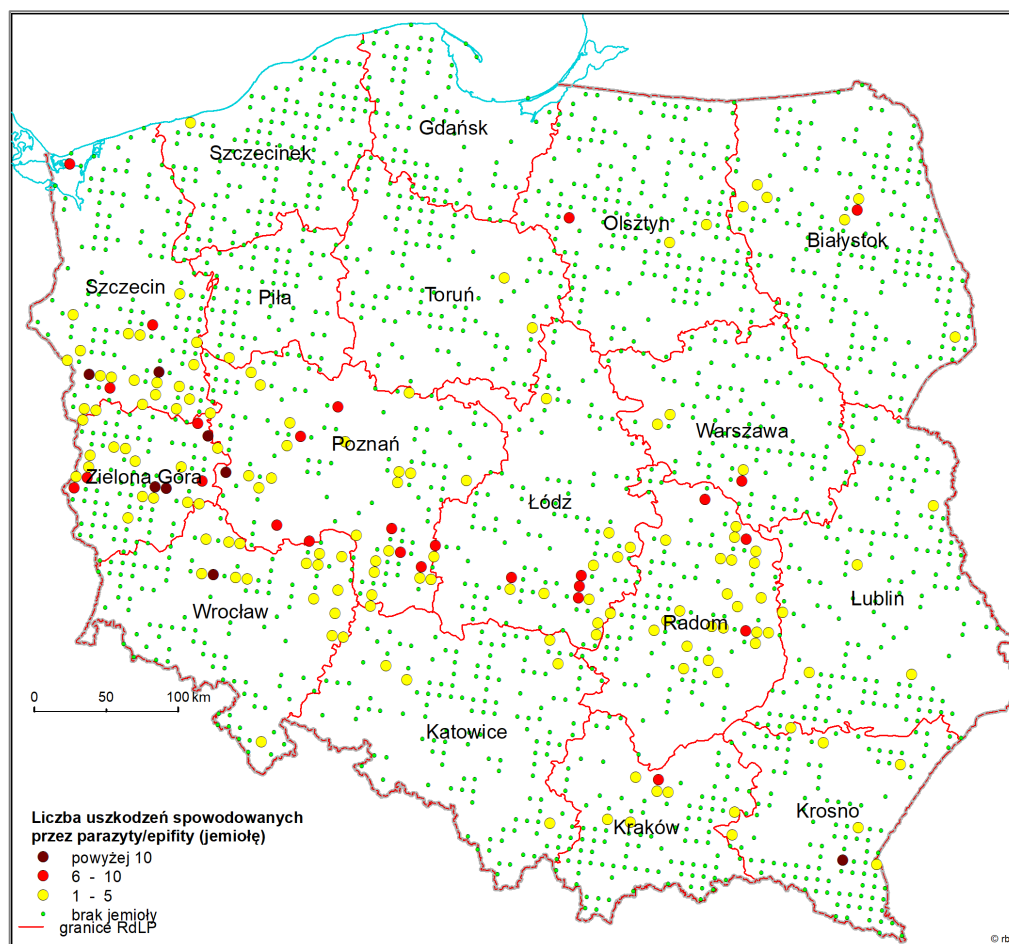
Występowanie uszkodzeń spowodowanych przez epifity/parazyty (jemiółę) w okresie 2008–2018 wykazywało wyraźną tendencję wzrostową. Była ona najsilniejsza w przypadku sosny, jodły i brzozy, nieco mniej (brak potwierdzenia statystycznej istotności za pomocą testu Mann-Kendalla) w przypadku domieszkowych gatunków liściastych. Dla

świerka nie stwierdzono trendu zmian w czasie. Zaznaczyć również należy, że początkowo, w 2008 r. epifity/parazyty zostały zidentyfikowane jako czynnik sprawczy uszkodzeń jedynie sosny i brzoź. W kolejnych latach identyfikowane były również dla innych gatunków drzew – jodły i domieszkowych gatunków iglastych od 2010 r., świerka – od 2013 r. oraz olsz – w latach 2013–2016. Największe przyrosty liczby uszkodzeń spowodowanych przez epifity/parazyty względem roku poprzedniego stwierdzono dla lat 2010, 2012 oraz 2018 (ryc. 11). Biorąc pod uwagę pozytywny związek pomiędzy występowaniem parazytów/epifitów, a zwłaszcza jemioli, z niekorzystnymi dla drzew warunkami pogodowymi (susze) oraz fakt powolnego wzrostu jemioli, należy przyjąć, że wzrost nasilenia występowania tego czynnika sprawczego w ostatnim dziesięcioleciu miał związek z warunkami pogodowymi z początków obecnego stulecia. Natomiast obserwowane w ostatnich latach susze przyczynić się będą mogły do nasilenia występowania rejestrowalnych uszkodzeń powodowanych przez jemiolę dopiero za kilka lat. Należy oczekiwać, że wzrost ten będzie znaczący.



Rycina 11. Wzrost liczby uszkodzeń spowodowanych przez epifity/parazyty (jemiolę) wyrażony w liczbach bezwzględnych oraz przyrost tych uszkodzeń względem roku poprzedniego [%] w latach 2008-2018

Rozkład przestrzenny powierzchni, na których zarejestrowano epifity/parazyty jako czynniki sprawcze uszkodzeń wykazuje wyraźną regionalizację (ryc. 12). Największe ich nasilenie odnotowano w 2018 r. w pasie rozciągającym się od zachodu (pomiędzy Wrocławiem na południu i Gorzowem Wielkopolskim na północy) poprzez Wielkopolskę, Góry Świętokrzyskie i sięgającym na wschodzie po Lubelszczyznę i południowe Mazowsze.



Rycina 12. Występowanie epifitów/parazytów (w tym jemioli) na SPO I rzędu w Polsce w 2018 roku

W 2018 r. odnotowano uszkodzenia na ponad 75% obserwowanych drzew.

Najsilniej uszkodzonymi gatunkami liściastymi były: dęby, olsze, domieszkowe gatunki liściaste, a z gatunków iglastych – świerk.

Najczęściej uszkodzanym organem drzew iglastych był pień od szyi korzeniowej do podstawy korony, zaś gatunków liściastych – liście.

Najczęściej występujące symptomy uszkodzenia to „ubytek liści/igieł”.

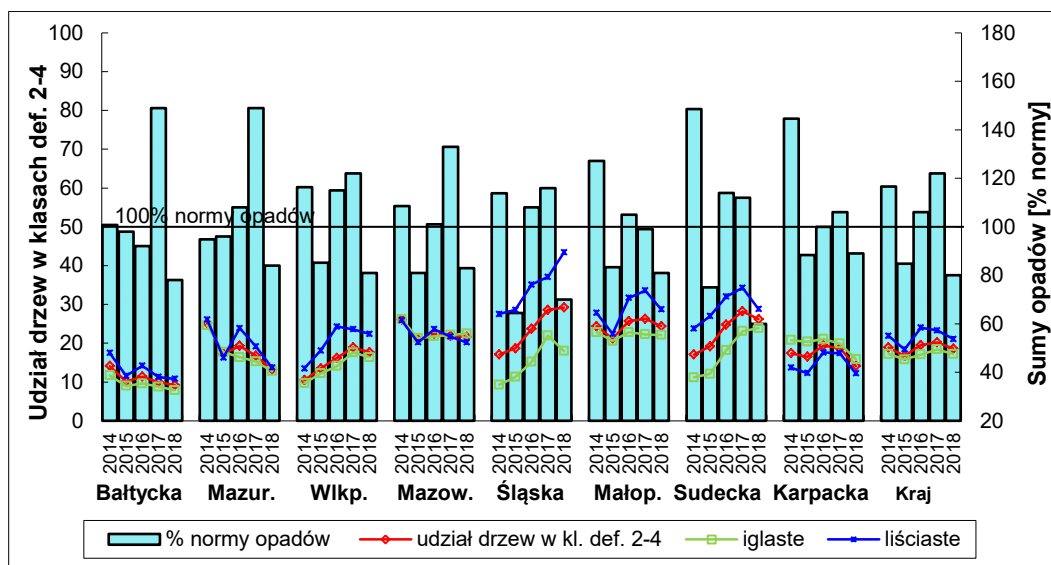
Wśród czynników sprawczych dominowały owady (przede wszystkim owady liściożerne), uszkadzające w największym stopniu gatunki liściaste oraz „konkurencja i inne czynniki” (głównie konkurencja).

W ostatnich 10 latach dynamicznie zwiększało się występowanie uszkodzeń powodowanych przez epifity/parazyty. W 2018 r. takie uszkodzenie przypadało na co 29. jodłę oraz na co 43. sosnę.

Stwierdzono pozytywną zależność pomiędzy nasileniem występowania uszkodzeń i defoliacją drzew.

4. WPŁYW WARUNKÓW POGODOWYCH NA ZDROWOTNOŚĆ DRZEWOSTANÓW W LATACH 2014–2018 – JADWIGA MAŁACHOWSKA

W 2018 r. średnia suma opadów w kraju w okresie od 1 marca do 31 lipca, wyliczona na podstawie wyników z 22 stacji synoptycznych IMGW była niska, zbliżona do wartości notowanej w 2015 r., wynosiła 248 mm, co stanowi 80% wieloletniej normy. Najbardziej obfite opady w pięcioleciu wystąpiły w 2017 r. (343 mm = 122% normy). (Biuletyny IMGW z lat 2014–2018) (ryc. 13).



Rycina 13. Uszkodzenie drzewostanów (gatunki razem, iglaste i liściaste) oraz suma opadów [% normy] od 1 marca do 31 lipca w latach 2014-2018 w krainach przyrodniczo-leśnych (Biuletyny IMGW z lat 2014-2018)

W 2018 r. średnie sumy opadów w żadnej krainie przyrodniczo-leśnej ani w żadnej regionalnej dystrykcie LP nie przekroczyły normy wieloletniej. Najwyższą wartość średniej sumy opadów wyrażoną w procentach normy wieloletniej odnotowano w Krainie Karpackiej (89% normy = 612 mm), w układzie rdLP – w RDLP w Toruniu (97% normy = 246 mm), niewiele niższą – w RDLP w Lublinie (96% normy = 247 mm). Najniższą wartość tego parametru odnotowano w Krainie Sudeckiej (70% normy = 209 mm), w układzie rdLP – w RDLP w Zielonej Górze (59% normy = 144 mm). W czterech krainach (Sudeckiej, Bałtyckiej, Wielkopolsko-Pomorskiej i Mazursko-Podlaskiej) oraz w sześciu rdLP (w Warszawie, Radomiu, Zielonej Górze, Poznaniu, Szczecinku i Białymstoku) suma opadów była najniższa w ciągu ostatniego pięciolecia.

W 2018 r. średnia wartość opadów w kraju wyrażona w procentach wieloletniej normy oraz w milimetrach dla kolejnych miesięcy sezonu wegetacyjnego wynosiła: w marcu 78% – 27 mm, w kwietniu 75% – 29 mm, w maju 66% – 40 mm, w czerwcu 63% – 53 mm, w lipcu 117% – 100 mm, w sierpniu 63% – 44 mm i we wrześniu 76% – 44 mm.

W pięcioleciu średnio w kraju niewielkie ilości opadów deszczu (od 24% do 70% normy wieloletniej) zanotowano w 2015 r. – w kwietniu, czerwcu i sierpniu (alarmująco niskie opady – 24% normy), w 2016 r. – we wrześniu oraz w 2018 r. – w maju, czerwcu i w sierpniu. Opady obfite, osiągające wartość od 125% do 197% normy występowały w 2014 r. – w marcu i w maju, w 2016 r. – w lipcu oraz w 2017 r. – w marcu, kwietniu, lipcu i we wrześniu.

W większości krain w latach 2014 oraz 2016–2017 okresy niedoboru opadów przeplatały się z okresami, kiedy opady były zadowalające lub nawet mocno obfite, co oznacza, że nie było okresów przedłużającej się suszy, która spowodowałaby pogorszenie stanu koron drzew. Wyjątkiem był rok 2015, kiedy to występowały przedłużające się niedobory opadów (trwające od 2 do 4 miesięcy), w szczególności z krytycznym niedoborem wody deszczowej zanotowanym we wszystkich krainach przyrodniczo-leśnych w sierpniu. Odpowiedzią na powyżej opisane niedobory wody deszczowej był obserwowany w 2016 r. wzrost defoliacji drzew odnotowany niemal w całym kraju (ryc. 13). Dodatkowo na wzrost defoliacji mogła wpłynąć bezśnieżna zima 2015/2016 oraz wiosenne przymrozki, które w wielu regionach pojawiły się po rozpoczęciu okresu wegetacji. Obserwowany w 2017 r. wzrost defoliacji w niektórych regionach mógł być kontynuacją tego zjawiska.

Porównanie temperatur sezonu wegetacyjnego w kolejnych latach pięciolecia 2014–2018 uzupełnia charakterystykę pogodową. Zarówno w skali kraju, jak i w poszczególnych krainach przyrodniczo-leśnych marzec 2018 r. okazał się najzimniejszy (0,1°C), a reszta miesięcy okresu wegetacyjnego tego roku – najcieplejsza (kwiecień, maj, czerwiec z temperaturami wynoszącymi odpowiednio: 12,7°C, 16,8°C i 18,2°C) lub ciepła (lipiec, sierpień, wrzesień z temperaturami: 19,9°C, 20,2°C i 15,3°C) w porównaniu z odpowiadającymi im miesiącami wcześniejszych lat pięciolecia.

Średnie temperatury w kolejnych miesiącach sezonu wegetacyjnego 2018 r. w regionach, podobnie jak w ubiegłych latach pięciolecia, były najniższe w Krainie Karpackiej, a najwyższe w Krainie Śląskiej, zawierały się w przedziałach: w marcu od –1,7°C do 1,9°C, w kwietniu od 11,3°C do 14,2°C, w maju od 13,4°C do 17,6°C, w czerwcu od 14,6°C do 19,3°C, w lipcu od 16,2°C do 20,8°C, w sierpniu od 17,3°C do 21,9°C i we wrześniu od 12,3°C do 16,5°C.

W 2018 r. średnia suma opadów w kraju w okresie od 1 marca do 31 lipca była niska, zbliżona do najniższej w pięcioleciu wartości notowanej w 2015 r. (239 mm = 85% normy), wynosiła 248 mm, co stanowi 80% wieloletniej normy. Najbardziej obfite opady w pięcioleciu wystąpiły w 2017 r. (343 mm = 122% normy), (Biuletyny IMGW z lat 2014–2018).

Porównanie średnich temperatur sezonu wegetacyjnego w kolejnych latach pięciolecia w krainach przyrodniczo-leśnych wykazało: niezależnie od roku pomiarowego najzimniej było w Krainie Karpackiej, zimno – w krainach Mazursko-Podlaskiej i Sudeckiej, umiarkowanie ciepło – w Krainie Bałtyckiej, ciepło – w krainach Wielkopolsko-Pomorskiej, Mazowiecko-Podlaskiej i Małopolskiej, natomiast najcieplej – w Krainie Śląskiej.

5. WARUNKI WODNE PANUJĄCE W GLEBACH NA TERENIE POLSKI – *ANDRZEJ BOCZOŃ, ROBERT HILDEBRAND*

W ostatnich latach obserwujemy występowanie susz glebowych na terenach leśnych obejmujących duże obszary Polski. W skali globalnej w okresie 1902–2008 corocznie wzrastał udział powierzchni z suszami (Wang i in. 2014). Od 1970 r. susze zwiększały zasięg, intensywność i czas trwania (Blunden i in. 2011, Burke i in. 2006). Zmiany klimatu i ich wpływ na drzewostany powodują konieczność wyznaczania zasięgu, częstotliwości i nasilenia susz zarówno w skali globalnej, jak i w krajowej. Istnieje potrzeba opracowywania strategii łagodzenia skutków suszy (Wang i in. 2014).

Wyznaczanie suszy glebowej na terenach leśnych w 2018 r. 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 bielicowych.

Obliczenia przeprowadzono na podstawie pomiarów na stacjach meteorologicznych Instytutu Badawczego Leśnictwa zlokalizowanych w nadleśnictwach: Bircza, Hajnówka, Suwałki, Szklarska Poręba; i PGL Lasy Państwowe w nadleśnictwach: Bydgoszcz, Cewice, Chrzanów, Cybinka, Dobieszyn, Gościno, Krotoszyn, Krucz, Kup, Łągów, Parciaki, Płońsk, Poddębice, Rudy, Spychowo, Susz, Włodawa.

Moment wystąpienia suszy glebowej wyznaczono jako całkowite wyczerpanie wody dostępnej dla roślin. Aktualny zapas wody glebowej (SWS) obliczono w ujęciu dobowym, na podstawie bilansu odpływu wody w procesie ewapotranspiracji i przychodu wody z opadami atmosferycznymi. Ewapotranspiracja ekosystemu została obliczona wzorem Penmana-Monteitha. Opad docierający do gleby w drzewostanie został

zmniejszony o intercepcję drzewostanów (w obliczeniach zastosowano model Liu (1997, 2001). Pojemność wodną koron określono metodą użytą w modelu Kondo (2001).

Określono także **klimatyczny bilans wodny (CWB)**, który jest różnicą przychodu wody z opadami i rozchodem wody w procesie ewapotranspiracji. Wskaźnik został obliczony na podstawie ewapotranspiracji dobowej wzorem Penmana-Monteitha.

Wyznaczenie izolinii zasięgu suszy wykonano w programie SURFER 13, z wykorzystaniem warstwy granic Polski udostępnianej przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej.

Wpływ suszy na stan drzewostanów określono, posługując się różnicą defoliacji poszczególnych drzew między latami na powierzchniach monitoringu lasu, w poszczególnych strefach wystąpienia suszy i zróżnicowania klimatycznego bilansu wodnego w miesiącach największego przyrostu drzew, tj. w miesiącach maj–lipiec.

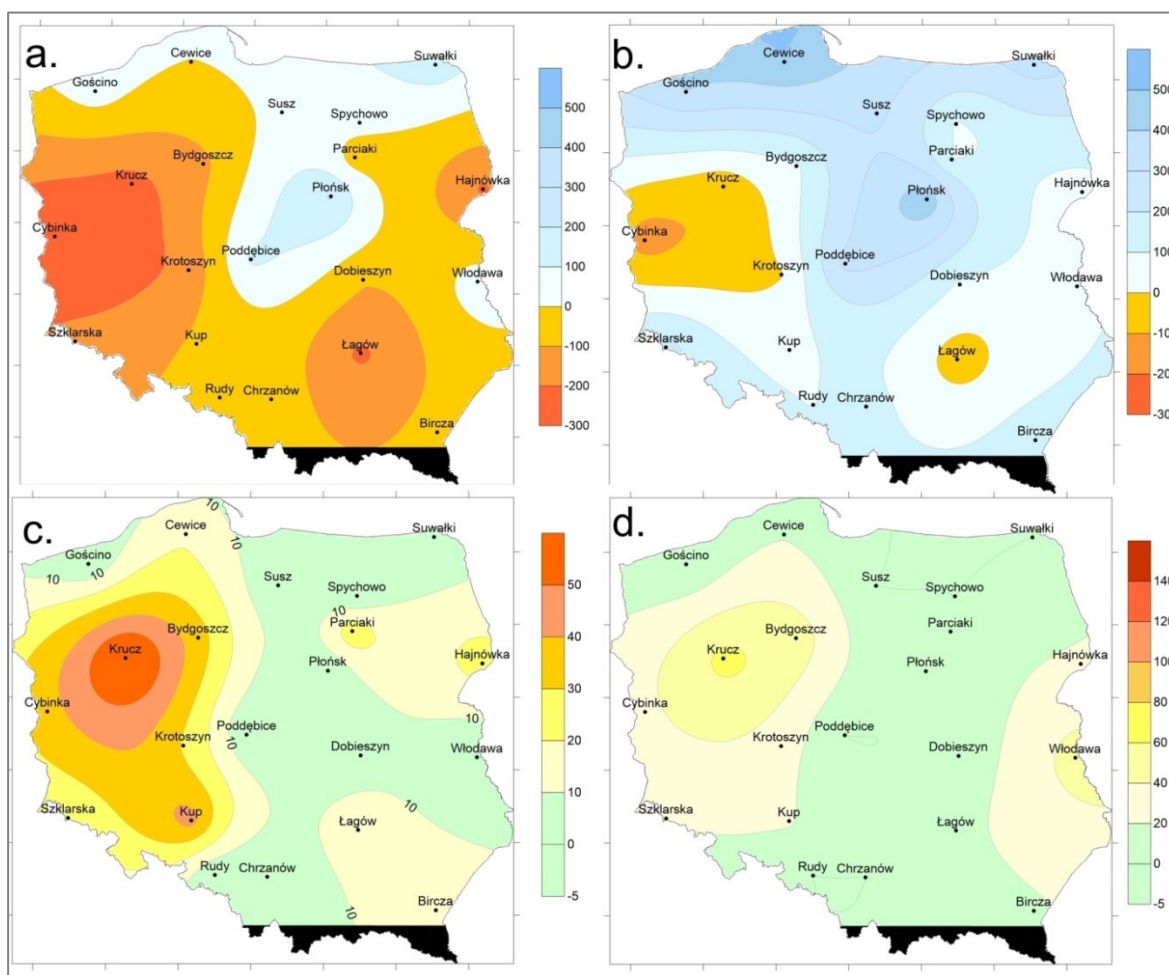
W przypadku zmian defoliacji sosny przeprowadzono analizę wpływu warunków wodnych panujących w glebach na ulistnienie w zależności od wieku drzewostanu i warunków siedliskowych. Uwzględniono wyniki analizy wpływu suszy na defoliację drzewostanów przedstawioną w raporcie z 2018 r. (Wawrzoniak 2018). Analiza została przeprowadzona dla warunków wodnych gleb w 2012 r. oraz dla różnicy defoliacji odnotowanej między latami 2013 i 2012, gdyż w ww. raporcie wykazano silną zależność między warunkami wodnymi a ulistnieniem drzewostanów w tych latach.

Warunki klimatyczno-wodne w 2018 r.

Roczny klimatyczny bilans wodny obszarów leśnych wskazuje na deficyt wilgoci, który wystąpił w 2018 r. na terenach zachodniej Wielkopolski i Ziemi Lubuskiej oraz na Lubelszczyźnie. Deficyt wody w tych rejonach dochodził do 140 mm. W okresie półrocza letniego, w którym rozchód wody przeważa nad przychodem, problem deficytu wody wyraźnie się nasilił i objął swoim zasięgiem większość kraju. Klimatyczny bilans wodny miesięcy od kwietnia do września pokazuje, że w obszarze obejmującym centrum kraju i północne krańce panowały dobre warunki wilgotnościowe, podobnie jak na niewielkim terenie przy wschodniej granicy kraju. Natomiast cała południowa, zachodnia i większość wschodniej części Polski znajdowały się w deficycie wodnym, dochodzącym do 300 mm (ryc. 14).

Liczba dni suszy w 2018 r. wskazuje na wystąpienie najdłuższej suszy glebowej w Wielkopolsce i na Kujawach, gdzie w ciągu roku niedobór wody dostępnej dla roślin występował przez ponad 50 dni. Brak suszy lub susza krótkotrwała (łącznie do 20 dni

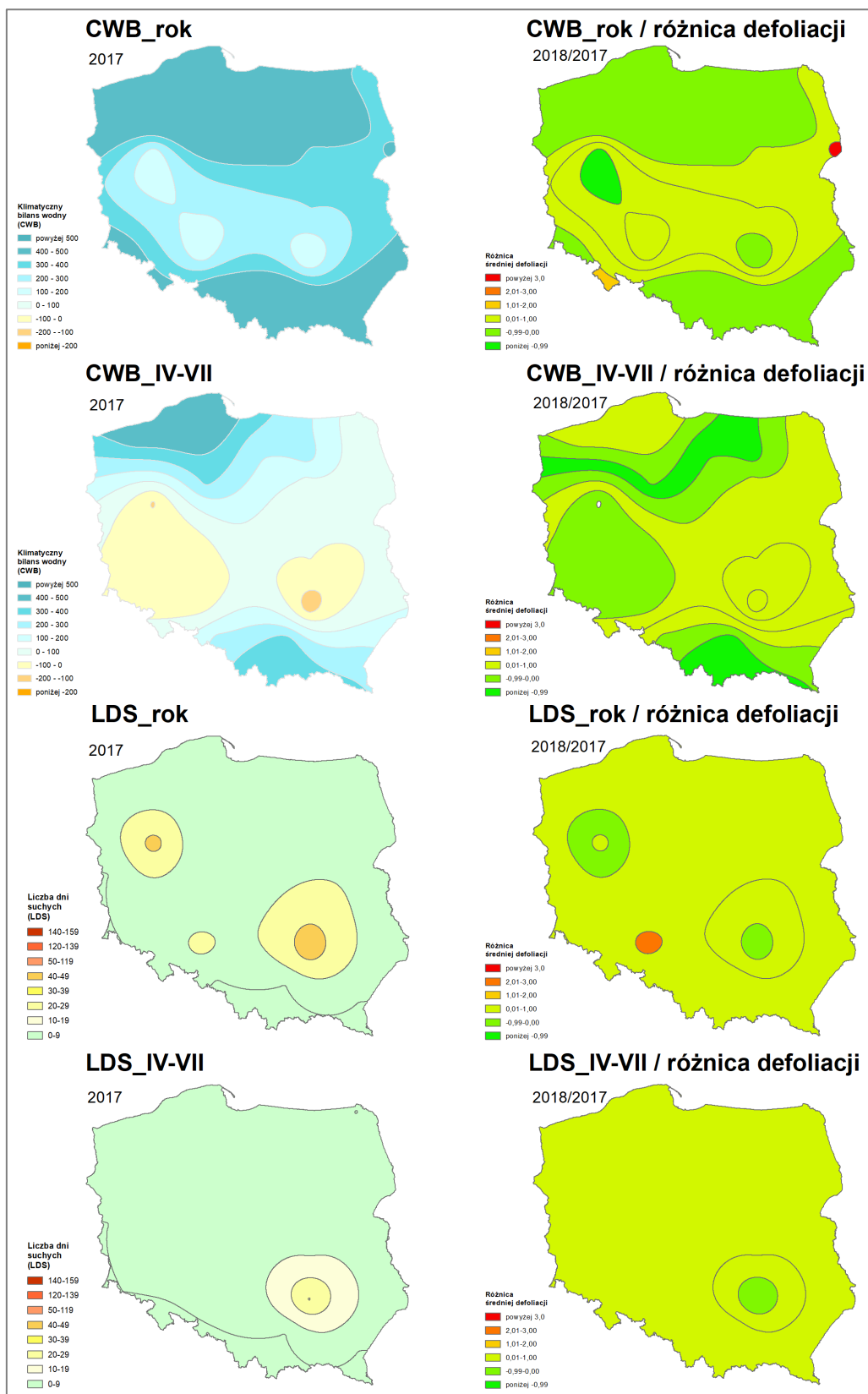
w ciągu roku) miały miejsce na przeważającym obszarze kraju. Bardziej szczegółowa analiza dla okresu półrocza letniego wskazuje także na występowanie suszy glebowej na południowym wschodzie kraju, na Podlasiu, a także w środkowej części terenów nadmorskich. Bardziej szczegółowa analiza dla okresu półrocza letniego wskazuje także na występowanie suszy glebowej na południowym wschodzie kraju, na Podlasiu, a także w środkowej części terenów nadmorskich (ryc. 14).



Rycina 14. Klimatyczny bilans wodny w okresie półrocza letniego (a) i w okresie całego 2018 r. (b) oraz liczba dni suszy w półroczu letnim (c) i w całym 2018 r. (d) na terenie Polski

Warunki wilgotnościowe panujące w 2018 r. wyróżnia wystąpienie suszy na terenach, które w latach poprzednich były wolne od deficytu wody. Susza została odnotowana w rejonie przymorskim, obejmując swoim zasięgiem Pojezierze Kaszubskie oraz strefę nadmorską od Słupska do Jastrzębiej Góry, wystąpiła także w Sudetach oraz na Pogórzu Bieszczadzkim.

Zmiana ulistnienia drzewostanów w 2018 r. jako skutek warunków wilgotnościowych panujących w 2017 r.



Rycina 15. Warunki wodne w 2017 r. i różnica defoliacji drzewostanów między latami 2018 i 2017

Roczny CWB pokazał w 2017 r. nadmiar przychodu wody nad jej rozchodem na terenie całego kraju (ryc. 15). W miesiącach maksymalnego przyrostu drzew (maj–lipiec) jedynie lokalnie występował niewielki deficyt wody. Także wskaźnik suszy glebowej

wskazuje na występującą jedynie lokalnie niewielką liczbę dni niedoboru wody dostępnej dla roślin. Warunki te nie przełożyły się na zależność między warunkami wodnymi a różnicą defoliacji drzew między latami 2018 i 2017. Średnio w skali kraju w 2018 r. defoliacja bardzo nieznacznie zwiększyła się (0,06%). Wyhamowanie tendencji wzrostowej defoliacji drzew w 2018 r. jest wyraźne, jednak warunki wodne panujące w 2017 r. nie były dość dobre, aby całkowicie zniwelować powstałe w latach poprzednich straty w ulistnieniu.

Wpływ warunków wilgotnościowych na ulistnienie drzewostanów sosnowych zróżnicowanych wiekiem i warunkami siedliskowymi

Przeprowadzona analiza wskazała na wyraźny wpływ, jaki wywołały warunki wilgotnościowe panujące w glebach w 2012 r. na zmiany ulistnienia sosen między latami 2013 i 2012. Przykładowo w drzewostanach sosnowych III klasy wieku (41–60 lat) wraz ze zwiększaniem CWBR od -100 mm do +400 mm defoliacja malała średnio o około 5%, a wraz ze zwiększaniem liczby dni suszy do 160 w ciągu roku defoliacja systematycznie rosła o około 4,5%.

Analiza wpływu żyzności siedliska na zmiany ulistnienia sosen wskazuje silny związek obu wskaźników wilgotności w drzewostanach rosnących w borach mieszanych. Klimatyczny bilans wodny wykazał wyraźną zależność także w przypadku sosen rosnących w siedliskach lasów, a liczba dni z suszą – w lasach mieszanych i borach.

Roczny klimatyczny bilans wodny obszarów leśnych wskazuje na deficyt wilgoci, który wystąpił w 2018 r. na terenach zachodniej Wielkopolski i Ziemi Lubuskiej oraz na Lubelszczyźnie. Deficyt wody w tych rejonach dochodził do 140 mm (ryc. 14).

W 2018 r. najdłuższa susza glebowa (ponad 50 dni niedoboru wody dostępnej dla roślin w ciągu roku) występowała w Wielkopolsce i na Kujawach. Na przeważającym obszarze kraju suszy nie było lub była krótkotrwała (łącznie do 20 dni w ciągu roku) (ryc. 14).

Nie wykazano korelacji między warunkami wodnymi panującymi w 2017 r. a zmianą defoliacji w roku 2018 r. w stosunku do 2017 r. Dobre warunki zaopatrzenia drzewostanów w wodę w 2017 r. spowodowały pozytywny efekt odbudowy ulistnienia po dwóch latach (2015 i 2016), w których susza obejmowała duże obszary kraju.

Zarówno roczny klimatyczny bilans wodny (CWBR), jak i liczba dni suszy glebowej (LDSR) wykazały silny związek z defoliacją sosen w III, IV i V klasie wieku (tj. w wieku 41–100 lat). W przypadku drzewostanów najmłodszych nie znaleziono zależności, podobnie zmiana ulistnienia drzewostanów starszych niż 100 lat nie wykazała związku z liczbą dni suszy.

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

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.

Sieć Natura 2000 składa się z obszarów ochrony środowiska wyznaczonych w poszczególnych krajach wspólnoty europejskiej, 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).

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

Według bazy <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps> (prowadzonej przez Europejską Agencję Środowiska Komisji Europejskiej) zaktualizowanej na koniec 2018 r. liczba obszarów Sieci Natura 2000 w Polsce wynosi 984. 145 lądowych obszarów specjalnej ochrony ptaków (OSO) zajmuje 48 388 km² (z czego 2,5 miliona hektarów stanowią lasy), natomiast 849 lądowych obszarów specjalnej ochrony siedlisk (SOO) zajmuje 34 146 km² (w tym 1,9 miliona hektarów lasów). Niektóre obszary OSO i SOO zachodzą na siebie, co oznacza, że liczba obszarów oraz powierzchnia wyrażona w km² nie sumuje się.

W 2018 r. na obszarach Sieci Natura 2000 znalazło się 661 (ponad 30,6% z ogólnej liczby) czynnych (na których wykonywane były obserwacje i pomiary) powierzchni obserwacyjnych monitoringu leśnego. Na lądowych obszarach specjalnej ochrony ptaków (OSO) znalazło się 6 SPO monitoringu intensywnego, 31 SPO II rzędu oraz 470 SPO I rzędu. Z kolei na lądowych specjalnych obszarach ochrony siedlisk (SOO) znalazło się 8 SPO Monitoringu Intensywnego, 24 powierzchnie II rzędu i 358 SPO I rzędu.

Uśrednione wartości defoliacji w lasach znajdujących się na obszarach ochrony siedlisk (SOO) i obszarach ochrony ptaków (OSO) wynoszą około 22% i mieszczą się w klasie 1 (lekkiej defoliacji).

CZĘŚĆ III. MONITORING LASÓW 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). Zostały one zlokalizowane w drzewostanach w wieku 50–90 lat, po 2–3 w każdej dzielnicy przyrodniczo-leśnej. W latach 2008–2017 z 13 SPO II rzędu usunięto drzewostan i od tej pory nie przeprowadza się na tych powierzchniach pomiarów i obserwacji odnoszących się do drzewostanu.

Na SPO II rzędu, poza corocznymi obserwacjami stanu zdrowotnego drzew oraz symptomów i przyczyn uszkodzeń, prowadzone są badania okresowe: glebowe, chemizmu igliwia lub liści, roślinności runa, dendrometryczne. W niniejszym sprawozdaniu zamieszczono omówienie wyników badań glebowych oraz chemizmu igliwia i liści dla których w 2017 r. zebrano próbki terenowe, a w 2018 r. wykonano analizy chemiczne w Laboratorium Chemii Środowiska Przyrodniczego Instytutu Badawczego Leśnictwa.

7. STAN ODŻYWIENIA DRZEWOSTANÓW W LATACH 1997–2017 NA PODSTAWIE WYNIKÓW MONITORINGU ORGANÓW ASYMLACYJNYCH DRZEW – PAULINA DRÓŹDŹ

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, Huttl 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).

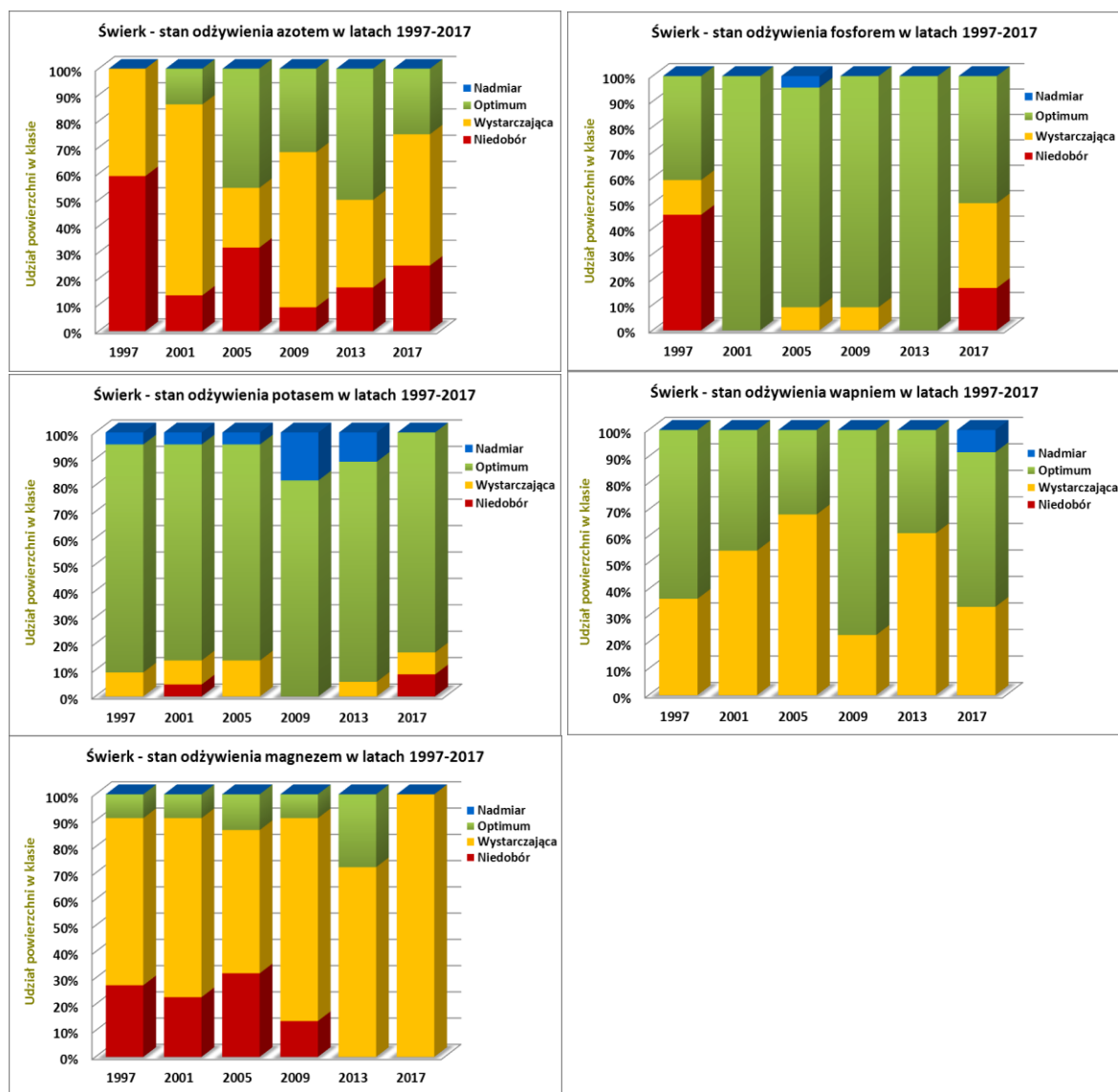
Drzewostany świerkowe

Do 2009 r. próbki igliwia świerkowego pobierano z 22 powierzchni, w 2013 r. – z 18, a w 2017 r., – z 12 powierzchni. W 2013 r. cztery najgorzej odżywione drzewostany świerkowe (z nadleśnictw: Bielsko, Węgierska Górka i Limanowa) zamarły, 2017 r. organy asymilacyjne świerka nie zostały pobrane z sześciu drzewostanów (z nadleśnictw: Wisła, Myślenice, Stuposiany, Prudnik, Henryków i Choczewo).

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. 16). Większość wyników sytuowała 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 Górka, Piwniczna, Stuposiany (Kraina Karpacka), Bystrzyca Kłodzka, Międzylesie, Łądek Zdrój, Szklarska Poręba (Kraina Sudecka) oraz Resko i Choczewo (Kraina Bałtycka). Obecnie dwa z tych drzewostanów (z nadleśnictw Suwałki i Piwniczna) są w stopniu niewystarczającym zaopatrzone w azot, zaś cztery drzewostany z nadleśnictw: Wisła, Węgierska Górka, Stuposiany i Choczewo zamarły. Stan odżywienia azotem drzewostanów świerkowych z Krainy Sudeckiej uległ poprawie.

Niepokojący jest aktualny stan odżywienia świerków **fosforem**, na którego niedobór cierpią dwa drzewostany z Krainy Sudeckiej (z nadleśnictw: Bystrzyca Kłodzka i Szklarska Poręba), a cztery są zaopatrzone w ten makroskładnik w stopniu wystarczającym (nadleśnictwa: Szklarska Poręba, Stuposiany i Piwniczna). W pierwszym

roku badań 59% drzewostanów charakteryzowało się niedoborem fosforu, natomiast w latach 2001–2013 nie stwierdzono niedoboru tego pierwiastka (ryc. 16).



Rycina 16. Stan odżywienia drzewostanów świerkowych azotem, fosforem, potasem, wapniem i magnezem w latach 1997–2017

Drzewostany świerkowe w całym okresie pomiarowym były dobrze zaopatrzone w **potas** (ryc. 16). Jedynie w 2001 r. niedobór tego pierwiastka odnotowano w dwóch nadleśnictwach: Suwałki i Łądek Zdrój, zaś w 2017 r. w jednym drzewostanie w Nadleśnictwie Łądek Zdrój.

Stan odżywienia świerków **wapniem** od 1997 r. jest wystarczający lub optymalny (ryc. 16). Najwięcej wapnia zawierają drzewostany z nadleśnictw: Resko, Bystrzyca Kłodzka, Stuposiany i Piwniczna.

Zawartość **magnezu** w całym okresie badań sytuowała się w dwóch dolnych klasach zasobności – niedobór i zawartość wystarczająca (ryc. 16). Na niedobór magnezu

w 1997 r. cierpiało 25% drzewostanów. Stan ten utrzymywał się do 2009 r. W latach 2013 i 2017 nie zaobserwowano drzewostanów w klasie niedoboru, co było spowodowane wymarciem znacznej liczby drzewostanów z Krainy Karpackiej.

W ocenie stanu odżywienia drzew uwzględniono wzajemne proporcje pomiędzy zawartością poszczególnych składników pokarmowych w organach asymilacyjnych. Zdecydowana większość drzewostanów świerkowych charakteryzowała się optymalnym stosunkiem azotu do wapnia oraz azotu do potasu. Jedynie w 2001 r. w dziewięciu nadleśnictwach i w 2017 r. w czterech nadleśnictwach odnotowano zbyt szeroki stosunek azotu do potasu, spowodowany małą zawartością potasu w organach asymilacyjnych tych drzewostanów. Stosunek azotu do fosforu jest obecnie zbyt szeroki w większości drzewostanów. Znacznie gorzej przedstawiał się stosunek azotu do magnezu, potasu do magnezu oraz wapnia do magnezu. W każdym z tych przypadków obserwowano zbyt szeroki stosunek tych makroelementów względem siebie spowodowany głównie zbyt dużą ilością azotu, potasu i wapnia do magnezu. Szczególnie niekorzystnymi proporcjami zawartości w igłach tych czterech makroelementów charakteryzowały się drzewostany Krainy Karpackiej (nadleśnictwa: Bielsko, Węgierska Górka, Limanowa i Myślenice) oraz Krainy 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.

Drzewostany sosnowe

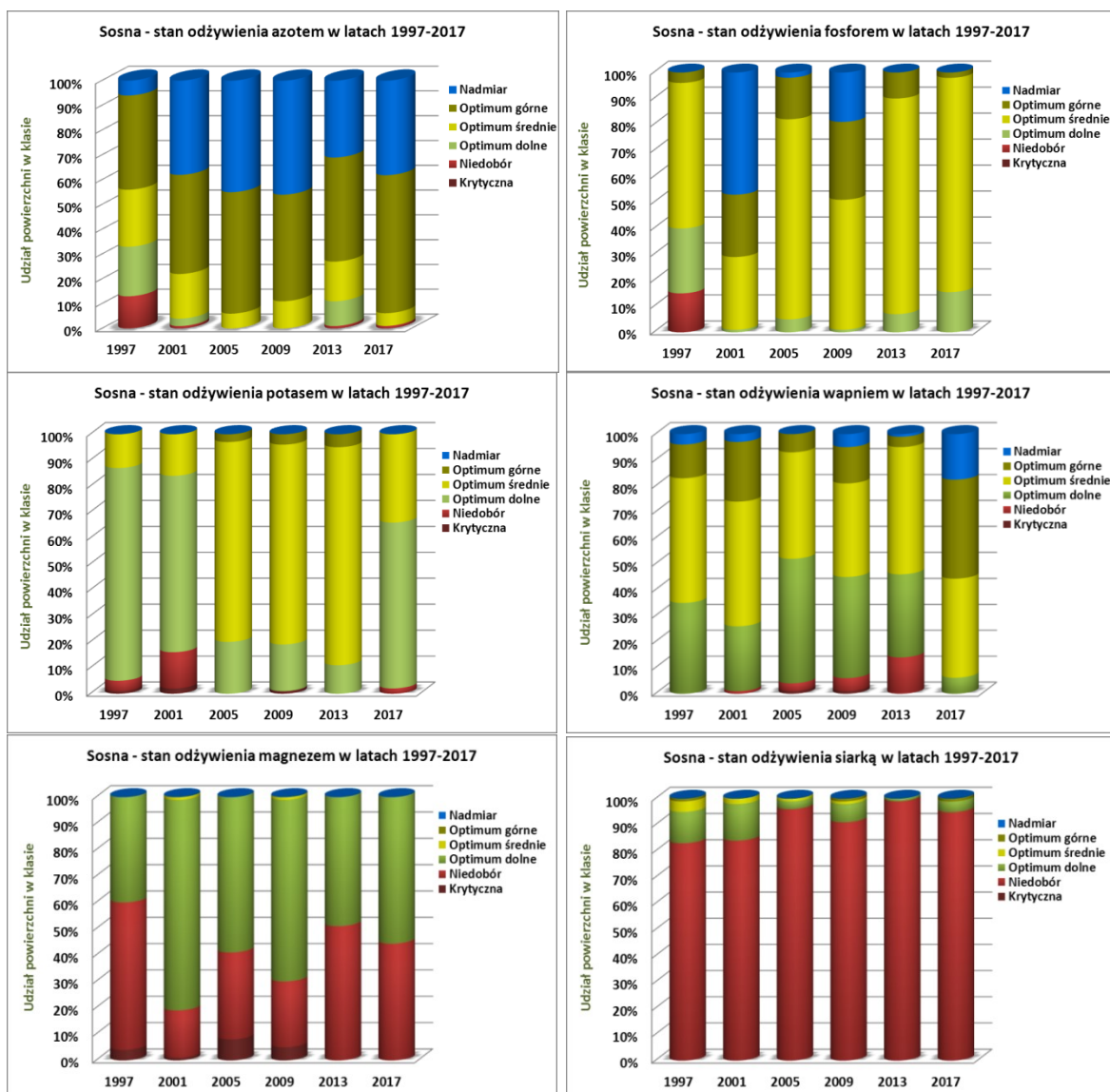
Do 2013 r. próbki igliwia sosnowego pobierano ze 100 powierzchni, natomiast w 2017 r. – z 97 powierzchni.

Od 1997 r. obserwuje się stały wzrost zawartości **azotu** w igłach sosny. W 1997 r. niedobór azotu występował w 10 drzewostanach sosnowych, obecnie – w jednym (w Nadleśnictwie Dojlidy). Zdecydowana większość drzewostanów znajduje się w klasie nadmiaru i optimum górnego, czyli zawiera ponad 15 g/kg suchej masy azotu (ryc. 17).

Drzewostany sosnowe są dobrze zaopatrzone w **fosfor**. W 2001 r. 50% drzewostanów zawierała nadmierną ilość tego pierwiastka, ale w kolejnych latach jego zawartość spadała i obecnie wszystkie drzewostany charakteryzują się zawartością na poziomie optymalnym (ryc. 17).

W latach 2001–2013 w kilku drzewostanach odnotowano niedobór **wapnia**, największy w drzewostanach w nadleśnictwach: Rokita, Czersk, Kaliska, Nowogród

i Jagiełek. Z kolei w 2017 r. po raz pierwszy odnotowano nadmierną zawartość wapnia w 18% drzewostanów (w 17 nadleśnictwach) (ryc. 17).



Rycina 17. Stan odżywienia drzewostanów sosnowych azotem, fosforem, potasem, wapniem, magnezem i siarką w latach 1997–2017

W ciągu dwudziestu lat prowadzonych badań stan zaopatrzenia drzewostanów sosnowych w **potas** uległ poprawie. W 1997 r. 5% drzewostanów znalazło się w klasie niedoboru tego pierwiastka, a 82% drzewostanów na granicy niedoboru. Najgorzej było w 2001 r., kiedy to 16% drzewostanów wykazywało niedobór, a 68% dolne optimum zawartości potasu. W następnych latach coraz więcej drzewostanów plasowało się w klasie optimum średniego (ryc. 17).

Drzewostany sosnowe charakteryzują się nagminnym niedoborem **magnezu**, obecnie 44% drzewostanów zawiera niewystarczającą ilość tego pierwiastka, a 56% – mieści się w klasie optimum dolnego (ryc. 17). Z wyjątkiem drzewostanów

w nadleśnictwach: Złotów i Karczma Borowa zawartość magnezu w igłach w całym okresie badań mieściła się w trzech dolnych klasach zasobności (krytycznie niska, niedobór, optimum dolne).

Od 1997 r. następuje spadek zawartości **siarki** w igłach sosny spowodowany ograniczeniem emisji związków siarki, których źródłem w ekosystemach leśnych jest atmosfera. W ostatnim roku pomiarowym niedobór siarki wykazywało blisko 95% drzewostanów (ryc. 17). Nieorganiczne związki siarki są łatwo wymywane z gleby, co powoduje, że w ostatnich latach nawet w przypadku stosowania nawozów mineralnych zawierających siarkę, obserwuje się jej niedobory w roślinach (Szulc 2008).

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 w 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.

Drzewostany bukowe

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

Zawartość **azotu** w drzewostanach bukowych wynosiła ponad 20 g/kg we wszystkich okresach pomiarowych. Obecnie najlepiej zaopatrzone w azot są drzewostany w nadleśnictwach: Bogdaniec, Tomaszów, Czarnobór, Limanowa oraz Wałbrzych. Stężenie azotu w liściach tych drzew przekracza 25 g/kg, co odpowiada zawartości optymalnej według klasyfikacji austriackiej (ryc. 18).

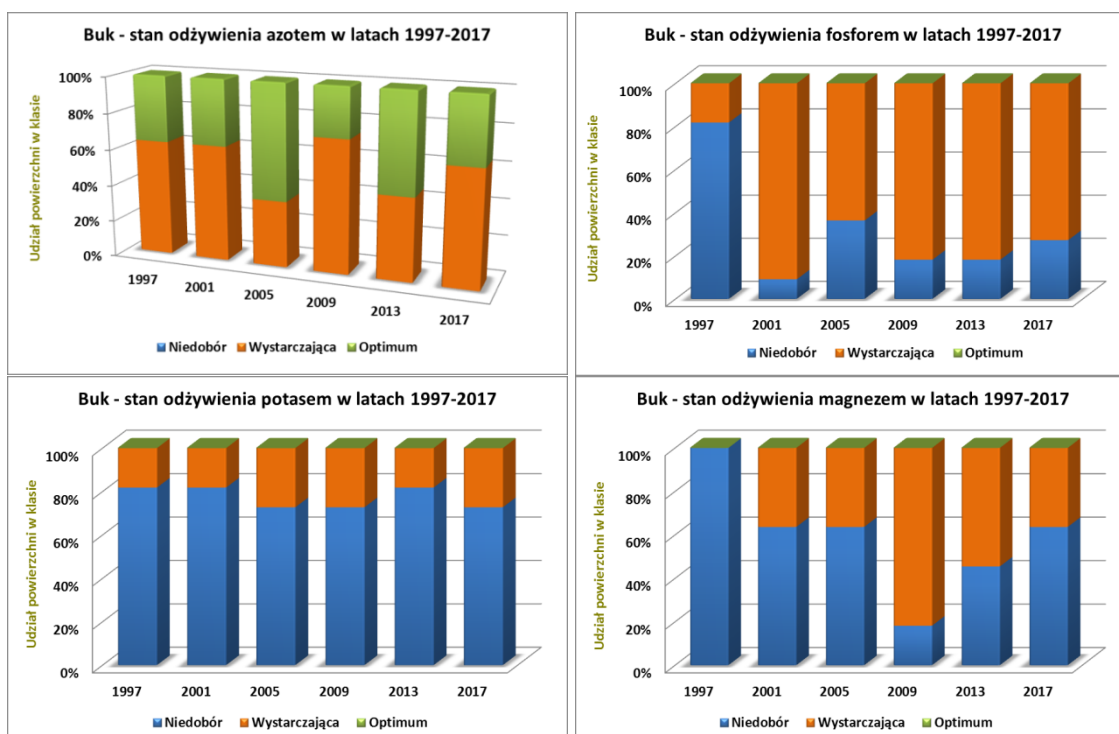
Spośród pozostałych makroelementów, liście buka zawierają najwięcej potasu i wapnia (średnio 9,3 g/kg potasu; 7,8 g/kg wapnia) oraz fosfor, magnez i siarkę w znacznie niższych stężeniach (poniżej 2 g/kg).

W 2017 r. najwięcej **potasu** zawierały drzewostany bukowe z terenów nadleśnictw: Bogdaniec, Tomaszów oraz Opole. Poziom zaopatrzenia tych drzewostanów w potas był wystarczający. Drzewostany z pozostałych ośmiu nadleśnictw charakteryzowały się niedoborem tego pierwiastka, z czego w siedmiu nadleśnictwach oznaczono zawartość

potasu w liściach buka na poziomie niższym niż 9 g/kg. Od 1997 r. ponad 60% badanych drzewostanów bukowych cierpiało na niedobór potasu (ryc. 18).

Znacznie lepiej przedstawia się stan odżywienia drzewostanów wapniem. Wszystkie drzewostany są zaopatrzone w **wapń** w stopniu wystarczającym. W 2017 r. najwięcej wapnia oznaczono w próbkach liści buka pobranych z nadleśnictw: Tomaszów i Lesko (ponad 10 g/kg).

Zaopatrzenie drzewostanów bukowych w **fosfor** uległo poprawie. W 1997 r. na niedobór fosforu cierpiało 75% drzewostanów, podczas gdy w 2017 r. 80% drzewostanów charakteryzuje się wystarczającą zawartością tego pierwiastka (ryc. 18).



Rycina 18. Stan odżywienia drzewostanów bukowych azotem, fosforem, potasem i magnezem w latach 1997–2017

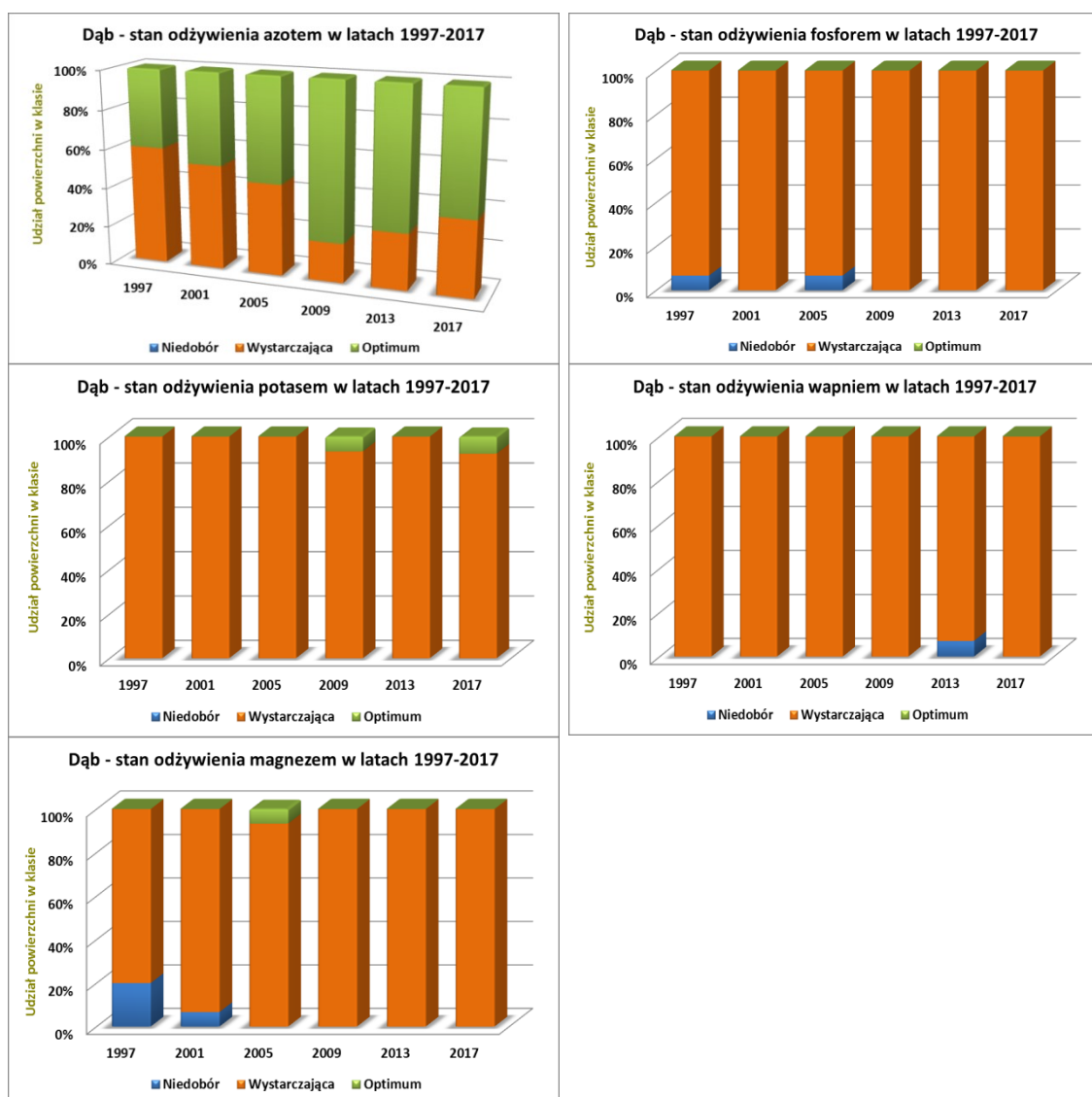
W ciągu dwudziestu lat badań nastąpiła poprawa zaopatrzenia drzewostanów bukowych w **magnez**, jednakże nadal większość drzewostanów (w siedmiu nadleśnictwach) cierpi na niedobór tego składnika pokarmowego (ryc. 18).

W pierwszym cyklu badań, czyli w roku 1997, zbyt szerokim stosunkiem azotu do fosforu oraz azotu do magnezu charakteryzowało się 30% drzewostanów. W tym samym okresie odnotowano również zachwianie równowagi pomiędzy azotem i potasem oraz potasem i wapniem w Nadleśnictwie Czarnobór, potasem i magnezem w Nadleśnictwie Tomaszów oraz wapniem i magnezem w nadleśnictwach: Lesko i Tomaszów. W 2017 r. stan odżywienia drzewostanów uległ poprawie, a co za tym idzie, poprawie uległy również proporcje między składnikami pokarmowymi. Badane drzewostany bukowe charakteryzują

się optymalnym stosunkiem azotu do potasu, azotu do fosforu, potasu do wapnia i potasu do magnezu. Jedynie w Nadleśnictwie Lesko stosunek azotu do wapnia i magnezu oraz w Nadleśnictwie Wałbrzych stosunek wapnia do magnezu są zbyt wąskie.

Drzewostany dębowe

Do 2013 r. próbki liści dębu pobierano z 15 powierzchni, natomiast w 2017 r. – z 13 powierzchni (próbek nie pobrano z 2 drzewostanów w nadleśnictwach: Międzyrzec i Radomsko).



Rycina 19. Stan odżywienia drzewostanów dębowych azotem, fosforem, potasem, wapniem i magnezem w latach 1997–2017

Podobnie jak w drzewostanach bukowych, w drzewostanach dębowych **azot** jest głównym makroelementem i występuje w największych stężeniach. W ciągu dwudziestoletniego cyklu badań wszystkie drzewostany dębowe charakteryzowały się wystarczającą i optymalną zawartością tego pierwiastka. W 2009 r. stan odżywienia azotem był najlepszy, 80% drzewostanów mieściło się w optymalnej klasie odżywienia.

Obecnie najmniej azotu zawierają dęby z nadleśnictw: Łąck, Smolarz, Kańczuga, Prudnik i Czarna Białostocka. 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 r. wszystkie dęby zawierają wystarczającą ilość tego pierwiastka. Podobnie jest w przypadku **potasu, wapnia i magnezu** (ryc. 19). Najmniej magnezu zawierały liście dębu w nadleśnictwach: Złotoryja, Strzebielino, Węgliniec i Olsztyn, najwięcej zaś w nadleśnictwach: Krotoszyn, Łąck i Miechów. Najgorzej odżywionym drzewostanem dębowym jest drzewostan w Nadleśnictwie Złotoryja, w którym odnotowano najwyższą zawartość azotu (29,3 g/kg) przy jednocześnie najniższej zawartości magnezu (1,4 g/kg). W całym okresie badań stosunek azotu do magnezu w tym drzewostanie wynosił ponad 20, a więc mieścił się w górnej granicy wartości uznawanych za optymalne (Biino i Tazzi 1998).

Dobry stan odżywienia drzewostanów dębowych makroelementami powoduje, że wzajemne proporcje między zawartością poszczególnych pierwiastków w organach asymilacyjnych są również optymalne. W 2017 r. tylko w jednym nadleśnictwie (Złotoryja) stosunek azotu do fosforu był za szeroki. W pozostałych nadleśnictwach stosunek ten mieścił się w zakresie 8,9–14,5, czyli bliżej dolnej granicy zakresu. W 1997 r. drzewostany w nadleśnictwach: Strzebielino oraz Olsztyn cierpiały na okresowy niedobór magnezu, stąd też stosunek azotu, potasu i wapnia do magnezu był w tych drzewostanach za szeroki. W następnych latach badania 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 2009–2017 nie uległ znaczącym zmianom.

Drzewostany dębowe charakteryzują się odpowiednim i zrównoważonym zaopatrzeniem w składniki pokarmowe w porównaniu do drzewostanów bukowych.

Drzewostany świerkowe wykazują poprawę w zaopatrzeniu w azot. Jednak obecnie około 20% drzewostanów nadal wykazuje niedobór tego pierwiastka. Niepokojący jest aktualny stan odżywienia świerków fosforem. Drzewostany świerkowe są dobrze zaopatrzone w potas i wapń, ale wykazują niedobory magnezu.

Zakłócenia w stanie odżywienia makroelementami drzewostanów świerkowych powodują rozchwianie wzajemnych proporcji między nimi, np. obecnie odnotowano zbyt szeroki stosunek azotu do fosforu w większości drzewostanów oraz w 20% drzewostanów za wąski stosunek azotu do wapnia. Szczególnie niepokojący jest stan odżywienia drzewostanów tego gatunku w Krainie Karpackiej i częściowo w Krainie Sudeckiej.

Drzewostany sosnowe są zazwyczaj dobrze zaopatrzone w azot różnego pochodzenia, przy równoczesnym nagminnym braku magnezu (40% drzewostanów wykazuje niedobór magnezu, natomiast pozostałe 60% znajduje się w dolnej klasie optimum) oraz siarki (w 80–100% drzewostanów stwierdzono niedobór siarki we wszystkich cyklach pomiarowych).

Drzewostany bukowe są dobrze zaopatrzone w wapń, azot i fosfor. Znaczny niedobór potasu utrzymujący się na podobnym poziomie od 1997 r. stwierdzono w ponad 60% drzewostanów. Od 1997 r. nastąpiła poprawa zaopatrzenia buków w magnez, jednakże nadal ponad połowa drzewostanów cierpi z powodu niedoboru tego pierwiastka.

W pierwszym cyklu pomiarów (1997 r.) drzewostany dębowe wykazywały niewielkie niedobory magnezu i fosforu, obecnie są 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.

8. WŁAŚCIWOŚCI FIZYKO-CHEMICZNE GLEB LEŚNYCH I ICH ZMIANY W LATACH 2007–2017 – KRZYSZTOF SZTABKOWSKI

Odczyn badanych gleb w 2017 r. waha się od pH CaCl_2 2,6 w poziomie organicznym na powierzchni w Nadleśnictwie Rokita do 7,50 w Nadleśnictwie Głębocki Bród na głębokości 40–80 cm. Najniższy odczyn stwierdzono w próchnicy nadkładowej, natomiast wraz ze wzrostem głębokości wartość pH rosła. Największą rozpiętość pH

Tabela 5. Typy siedliskowe lasu na SPO II rzędu

Typ siedliskowy lasu	Skrót nazwy	Liczba pow.	Udział (%)
Bór mieszany górski świeży	BMGśw	3	2
Bór mieszany świeży	BMśw	35	24
Bór mieszany wilgotny	BMw	5	3
Bór mieszany wyżynny świeży	BMwyżśw	1	1
Bór świeży	Bśw	35	24
Las górski świeży	LGśw	9	6
Las łęgowy	Lł	1	1
Las mieszany górski świeży	LMGśw	10	7
Las mieszany świeży	LMśw	24	16
Las mieszany wilgotny	LMw	1	1
Las mieszany wyżynny świeży	LMwyżśw	1	1
Las świeży	Lśw	16	11
Las wyżynny świeży	Lwyżśw	7	5

zanotowano na powierzchni w Nadleśnictwie Wichrowo, gdzie wartość pH w próchnicy nadkładowej wynosiła 4,4, a wartość pH warstwy 40–80 cm była równa 6,3.

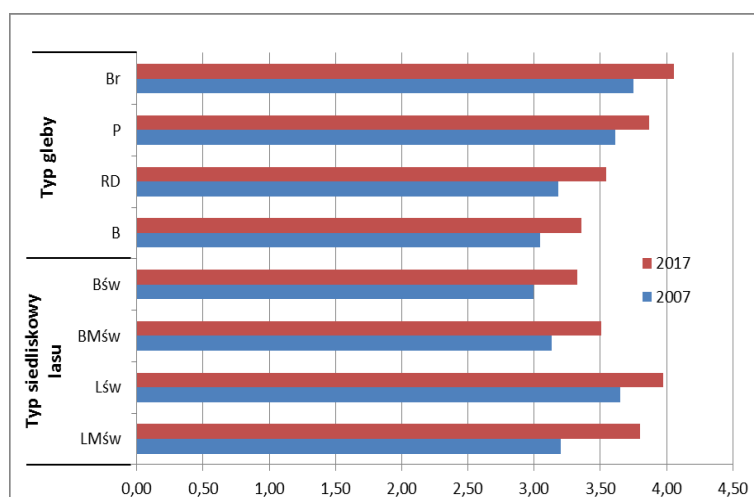
Odczyn próchnic nadkładowych uzależniony był od typu gleby, jaka występuje na danym siedlisku. Typy siedliskowe lasu występujące na SPO II rz. przedstawiono w tabeli 5, natomiast podtypy

Tabela 6. Udział poszczególnych podtypów gleb na SPI II rzędu

Podtypy gleb	Skrót nazwy	Liczba profili	Udział (%)
Gleby bielcowe	B	13	9
Bielice właściwe	BL	5	3
Gleby brunatne wylugowane	BRg	3	2
Gleby brunatne kwaśne	BRKb	3	2
Gleby brunatne kwaśne	BRKg	3	2
Gleby brunatne kwaśne	BRKt	21	14
Gleby brunatne właściwe	BRt	6	4
Gleby brunatne wylugowane	BRwy	9	6
Gleby glejo-bielcowe właściwe	GBw	1	1
Mady rzeczne brunatne	MDbr	1	1
Gleby murszowate właściwe	MRw	1	1
Gleby opadowoglejowe właściwe	Ogw	1	1
Gleby płowe brunatne	Pbr	4	3
Gleby płowe właściwe, brunatne, bielcowe	Pgg	1	1
Gleby płowe opadowoglejowe	Pog	3	2
Gleby płowe właściwe	Pt	3	2
Gleby rdzawe bielcowe	RDb	33	22
Gleby rdzawe brunatne	RDbr	17	11
Gleby rdzawe właściwe	RDw	18	12
Arenosole	SWLw	2	1

gleb - w tabeli 6. Najbardziej kwaśny odczyn miały gleby bielcowe (3,18), mniejszym zakwaszeniem charakteryzowały się gleby rdzawe (3,54) i gleby płowe (3,87), najmniej kwaśne były gleby brunatne (4,05). W ciągu dziesięciu lat obserwuje się zmniejszenie kwasowości ektopróchnic siedlisk świeżych nizinnych. W 2007 r. średni odczyn tych siedlisk wahał się od 2,99 (Bśw) do 3,65 (Lśw), natomiast w 2017 r. na tych samych siedliskach obserwuje się odczyn w przedziale od 3,33

(Bśw) do 3,98 (Lśw). Największy wzrost odczynu w stosunku do 2007 r. odnotowano na glebach bielcowych i rdzawych, odpowiednio o 11% i 10%, najmniejszy na glebach płowych (o 7%) i brunatnych (o 8%) (ryc. 20).



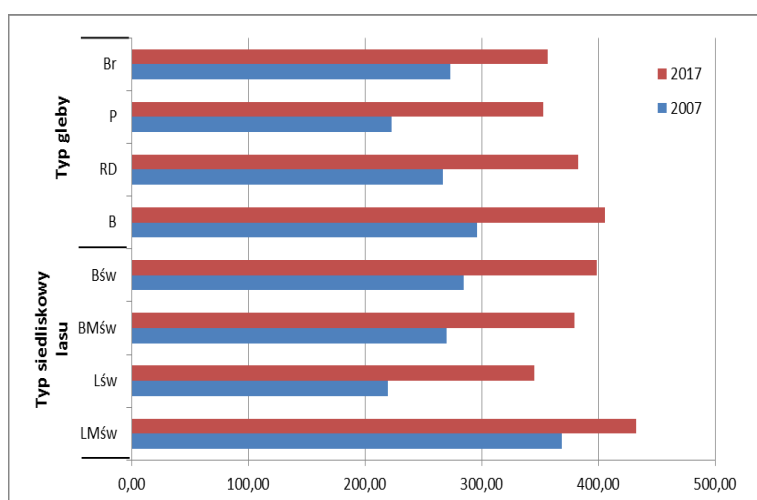
Rycina 20. Zmienność odczynu na przestrzeni 10 lat w zależności od siedliska i typu gleby

Odczyn próchnicy nadkładowej oraz warstw mineralnych zależał również od gatunku panującego w drzewostanie. Najbardziej kwaśne okazały się ektopróchnice gleb spod drzewostanów świerkowych, średnia wartość pH wynosiła 3,70. Średnia wartość pH ektopróchnic spod drzewo-

stanów sosnowych, bukowych i dębowych wynosiła odpowiednio: 3,74, 4,16 i 4,35. Należy podkreślić, że gleby spod drzewostanów liściastych zawierały znikome ilości

próchnicy nadkładowej lub nie zawierały jej wcale. Inny obraz zanotowano w warstwach 0–5 cm i 5–10 cm. W warstwie 0–5 cm uszeregowanie drzewostanów od najbardziej do najmniej zakwaszającego wygląda następująco: sosna (pH 3,35) > świerk (pH 3,43) > buk (pH 3,64) > dąb (pH 3,77). Odczyn spod drzewostanów sosnowych w warstwie 5–10 był równy odczynowi z tej samej warstwy w drzewostanach świerkowych (pH 3,64). W głębszych warstwach (10–20 cm, 20–40 cm i 40–80 cm) najniższe średnie pH zanotowano w glebach spod drzewostanów świerkowych, zadziwiająco wysokie było pH spod drzewostanów sosnowych.

Zawartość węgla organicznego w próchnicach nadkładowych zależała zarówno od typu siedliskowego lasu, jak i typu gleby (ryc. 21). Średnia zawartość C_{org} była



Rycina 21. Zawartość węgla (C) [g/kg] w ektopróchnicach w zależności od typu siedliskowego lasu i typu gleby

najwyższa w glebach lasów mieszanych świeżych (432,40 g/kg), nieco mniej C_{org} obserwowano w borze świeżym (398,41 g/kg), najmniejsze wartości odnotowano na siedlisku boru mieszanego świeżego (379,30 g/kg) i lasu świeżego (344,87 g/kg). Zarówno w próchnicach siedlisk

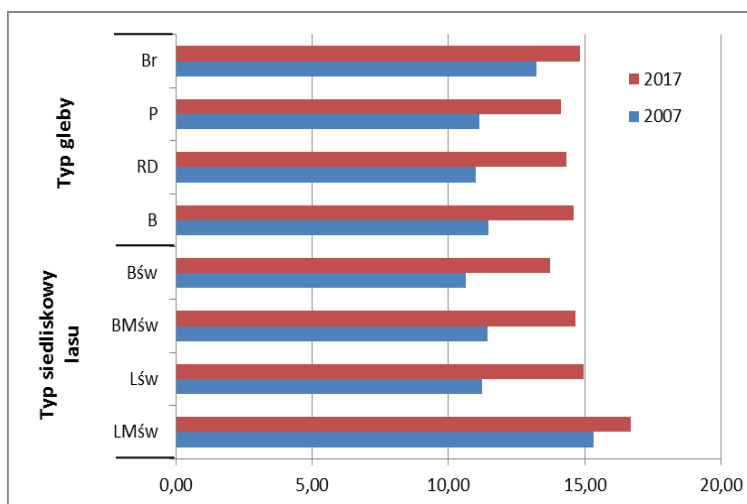
świeżych nizinnych, jak i w typach gleb w porównaniu z 2007 r. zanotowano znaczny wzrost tego pierwiastka. Największy wzrost spośród siedlisk świeżych nizinnych wystąpił w lesie świeżym (o 57%), najmniejszy – odnotowano w lesie mieszanym świeżym (o 17%). Zarówno w borze mieszanym świeżym, jak i w borze świeżym zawartość C_{org} w porównaniu z 2007 r. zwiększyła się o 40%.

Zawartość C_{org} w warstwach mineralnych gleb zmniejszała się wraz ze wzrostem głębokości. Najwięcej tego pierwiastka stwierdzono w warstwach mineralnych gleb spod drzewostanów świerkowych, znacznie mniej w glebach spod drzewostanów bukowych i dębowych, najmniej – w warstwach mineralnych gleb spod drzewostanów sosnowych. Dla warstwy 0–5 cm zawartość ta wynosiła odpowiednio: 58,57, 43,98, 31,70 oraz 30,11 g C na kilogram gleby. Również cechy siedliska związane z siedliskowym typem lasu wywierały wpływ na zawartość węgla organicznego w glebach. W górnej warstwie gleb w Bśw, BMśw, Lśw i LMśw stwierdzono odpowiednio 16, 22, 34 i 26 g C_{org}

na kilogram gleby. Poszczególne typy gleb charakteryzowały się różną zawartością C_{org} , tworząc szereg: $BR > P > RD > B$ (zawartości C_{org} w górnej warstwie wynosiły odpowiednio: 37, 33, 21 i 18 g na kilogram gleby).

Pomiędzy latami 2007–2017 w warstwach mineralnych drzewostanów sosnowych i bukowych nastąpił wzrost C_{org} , w drzewostanach dębowych zaobserwowano spadek, natomiast w drzewostanach świerkowych poziom C_{org} nie zmienił się. Największy wzrost w warstwach mineralnych (o około 40%) zanotowano w drzewostanach bukowych na głębokości 0–5 cm. Największy spadek natomiast (o około 12%) odnotowano w drzewostanach dębowych na głębokości 5–10 cm.

Zawartość azotu ogólnego bez względu na typ siedliska czy typ gleby zawsze zdecydowanie najwyższa była w próchnicach nadkładowych, wraz ze wzrostem głębokości



Rycina 22. Zawartość azotu (N) [g/kg] w ektopróchnicach w zależności od typu siedliskowego lasu i typu gleby

zawartość azotu malała. Zawartość tego pierwiastka w ektopróchnicach waha się od 0,33 g/kg w glebie rdzawej bielkowej z powierzchni w Nadleśnictwie Dobieszyn do 26,79 g/kg w glebie opadowogolejowej właściwej z powierzchni w Nadleśnictwie Krotoszyn.

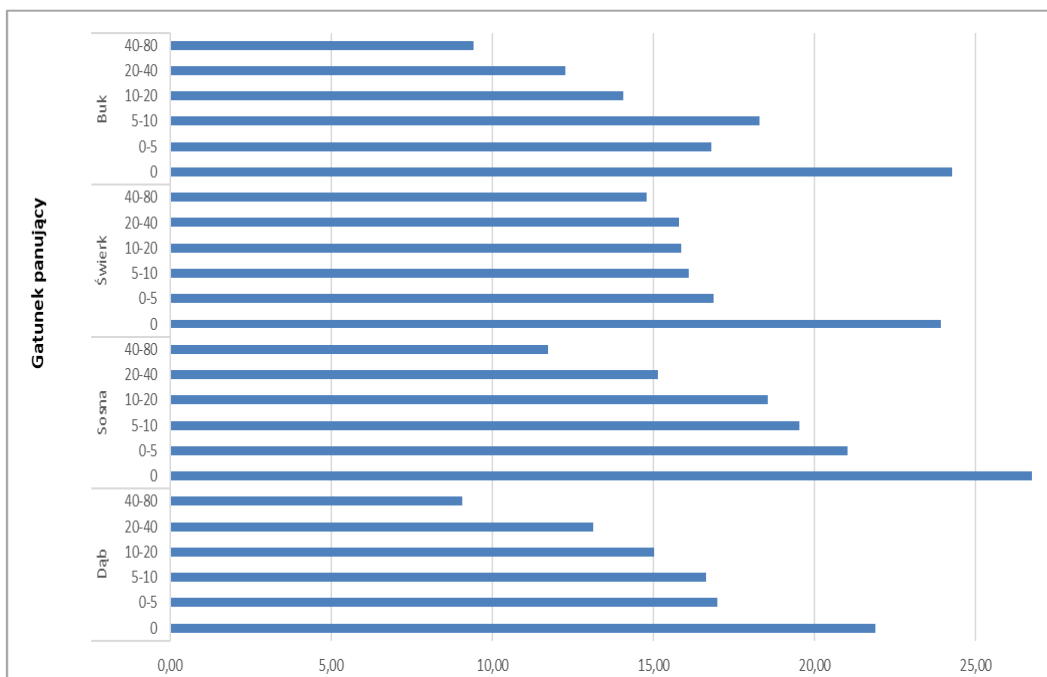
We wszystkich siedliskach nizinnych świeżych w porównaniu z 2007 r. zanotowano znaczny wzrost zawartości azotu ogólnego (ryc. 22).

Niezależnie od analizowanej warstwy najwięcej azotu zawierały gleby spod drzewostanów świerkowych, nieco mniej gleby spod drzewostanów bukowych i dębowych, a zdecydowanie najmniej – gleby spod drzewostanów sosnowych.

Stosunek C:N, czyli ilościowy stosunek węgla organicznego do azotu jest jednym z ważniejszych wskaźników jakości siedliska leśnego. Im jest on mniejszy, tym gleba jest bardziej żyzna.

Stosunek C:N był zawsze najszerszy w nierozłożonej ektopróchnicy, gdzie wahał się od 14,9 w glebie płowej brunatnej z powierzchni w Nadleśnictwie Rudziniec do 39 w glebie rdzawej bielkowej z powierzchni w Nadleśnictwie Bełchatów i zmniejszał się

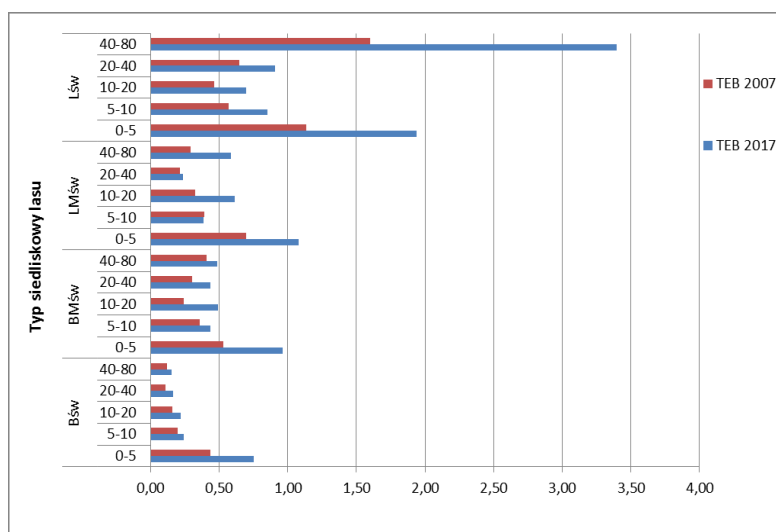
stopniowo w warstwach głębszych, osiągając wartość 4,8 w warstwie 40–80 cm gleb z Nadleśnictwa Elbląg.



Rycina 23. Średni dla gatunku stosunek C:N w glebach

Stosunek C:N był bardzo zróżnicowany w zależności od gatunku panującego w drzewostanie (ryc. 23). Największą rozpiętość stosunku C:N zanotowano w glebach spod drzewostanów sosnowych: w ektopróchnicach wynosił 27:1, a w warstwach mineralnych zawężał się do 12:1 w warstwie 40–80 cm. Gleby spod drzewostanów bukowych, dębowych i świerkowych charakteryzowały się we wszystkich warstwach bardzo zbliżonymi relacjami między węglem i azotem. Średni stosunek C:N dla tych gatunków w próchnicach nadkładowych wynosił 22–27:1, a w warstwie 40–80 cm w drzewostanie dębowym i bukowym 9:1. Tak małe zróżnicowanie średnich wartości stosunku węgla do azotu w glebach spod różnych pod względem gatunku panującego drzewostanów należy tłumaczyć tym, że drzewostany sosnowe, świerkowe oraz dębowe i bukowe występowały w siedliskach o bardzo zróżnicowanej żyzności i wilgotności. Ponieważ wartość C:N jest wskaźnikiem żyzności siedliska, zatem jej uśrednienie dla gleb spod wszystkich drzewostanów danego gatunku panującego, rosnących zarówno w siedliskach bardzo ubogich, jak i bardzo żyznych powoduje, że różnice między glebami spod różnych gatunków zacierają się.

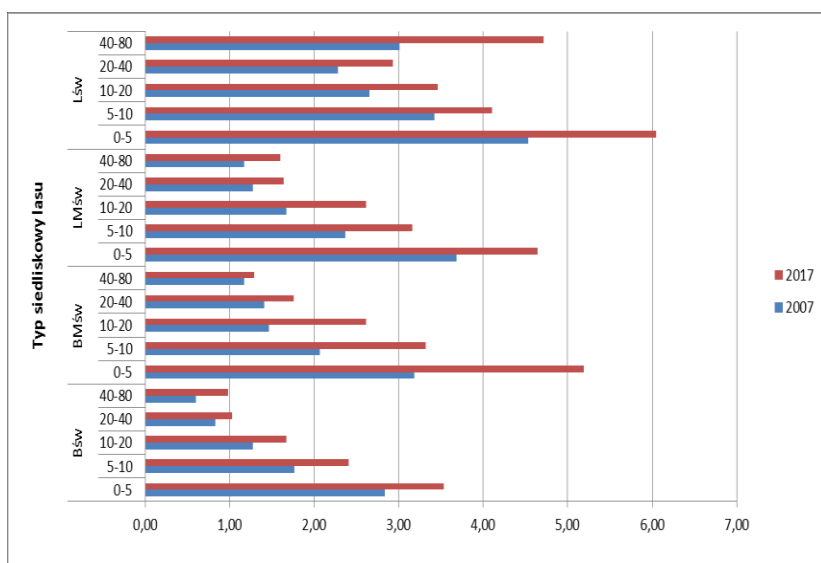
Suma zasad (TEB) jest to łączna zawartość sodu, magnezu, wapnia i potasu. W warstwie mineralnej na głębokości 0–5 cm była ściśle związana z żyznością siedliska.



Rycina 24. Średnie sumy zasad (TEB) [cmol+/kg] w latach 2007–2017

ektopróchnicy występuje w glebach brunatnych, nieco mniej w glebach płowych, natomiast najmniej kolejno w glebach bielcowych i rdzawych.

Pojemność sorpcyjna (CEC) jest to suma zasad powiększona o kwasowość wymienną. Na badanych powierzchniach obserwowany jest spadek pojemności sorpcyjnej



Rycina 25. Średnia zawartość pojemności sorpcyjnej (CEC) [cmol+/kg] w siedliskach świeżych nizinnych

szanego świeżego, a najmniejszą pojemność odnotowano na siedlisku boru świeżego. Przekładając to na drzewostan, największą pojemność sorpcyjną, tak jak w latach ubiegłych, odnotowano w drzewostanie świerkowym, a najmniejszą – w drzewostanie sosnowym. Biorąc pod uwagę typy gleb, największą pojemność sorpcyjną zaobserwowano w glebie brunatnej, najmniejszą w glebie rdzawej.

Na siedlisku lasu świeżego na głębokości 40–80 cm obserwuje się gwałtowny wzrost pojemności sorpcyjnej w porównaniu z poziomami mineralnymi leżącymi na

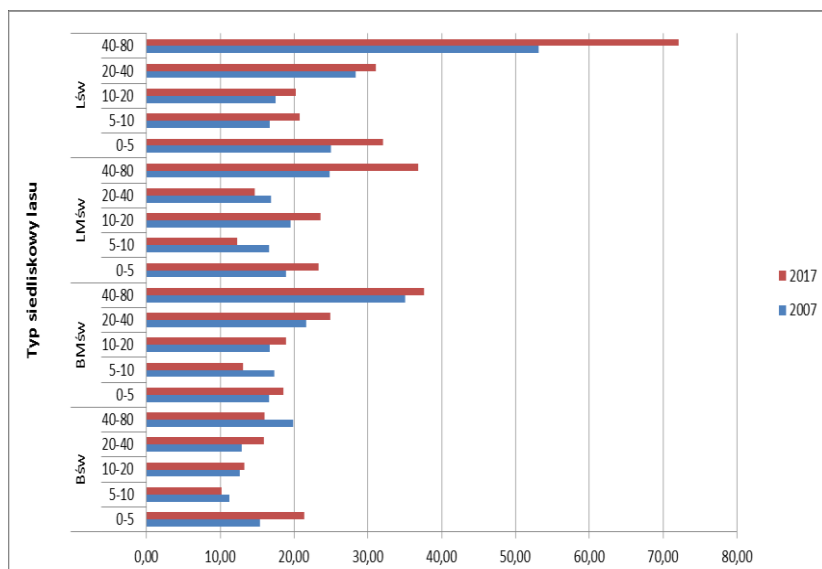
Najwyższą wartość osiągnęła na siedlisku lasu świeżego, najmniejszą natomiast na borze świeżym (ryc. 24). Duże zróżnicowanie sumy zasad wymiennych obserwuje się w zależności od typu gleby. Najwięcej zasad wymienionych w poziomie ekto-

wraz z głębokością (ryc. 25). Największą pojemność sorpcyjną zarówno w poziomie ektopróchnicy, jak i poziomach mineralnych zaobserwowano na siedlisku lasu świeżego, nieco mniejszą na siedlisku boru mieszanego świeżego, następnie lasu mie-

mniej głąbokościach. Powodem takiego zjawiska jest proces ługowania zachodzący w glebach brunatnych wylugowanych, na których głównie występuje siedlisko lasu świeżego. Proces ten charakteryzuje się wylugowaniem kationów o charakterze zasadowym. Wysycenie kationami na głąbokości 0–50 cm wynosi poniżej 50% (zdarzają się przypadki wysycenia na poziomie 30%), natomiast na głąbokości 50–100 wysycenie wynosi 50%, a niekiedy więcej. W kolejności malejącej na glebach brunatnych wylugowanych występują drzewostany: świerkowy, bukowy i dębowy.

Według Lityńskiego mamy 6 klas oceny gleby pod względem zdolności sorpcyjnych: I klasa – słaba (< 3,5), II klasa – mała (3,6–4,5), III klasa – średnia (4,6–6,5), IV klasa – duża (6,6–7,5), V klasa – silna (7,6–9,0), VI klasa – bardzo silna (> 9,0). Na siedliskach świeżych nizinnych głównie występuje I klasa zdolności sorpcyjnej.

Stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego (BS) stanowi procentowy udział sumy zasad wymiennych (TEB) w całkowitej pojemności sorpcyjnej (CEC). Wartości BS



Rycina 26. Średnie wartości stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego (BS) [%] w siedliskach świeżych nizinnych

wahają się od 0 do 100, im mniejszy stopień wysycenia, tym siedlisko jest bardziej zakwaszone. Najbardziej zagrożone zakwaszeniem są gleby, których stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego jest mniejszy niż 25%. Tak niskim stopniem wysycenia

charakteryzowały się gleby występujące w drzewostanach sosnowym i świerkowym, a także na siedlisku boru świeżego, boru mieszanego świeżego oraz lasu mieszanego świeżego (ryc. 26). Stopień wysycenia gleb prezentuje się następująco (od najmniej do najbardziej żyznej): B < RD < P < BR.

Na siedliskach lasu świeżego (Lśw) mamy do czynienia z procesem ługowania. Proces ten jest charakterystyczny dla gleb brunatnych wylugowanych. Stąd też tak wysokie wartości sumy zasad, jak i pojemności sorpcyjnej na głąbokości 40–80 cm we wcześniej wspomnianych siedliskach.

Stosunek węgla do azotu jest ściśle skorelowany z typem siedliskowym lasu, jaki występuje na stałych powierzchniach obserwacyjnych II rzędu.

Porównując dane z roku 2017 z danymi sprzed 10 lat, obserwuje się zmniejszenie zakwaszenia gleb leśnych, przejawiające się wzrostem wartości pH oraz wzrostem stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego. Zmniejszenie się kwasowości gleb obserwuje się niezależnie od gatunku panującego w drzewostanie, typu gleby czy typu siedliskowego lasu. Wzrost wartości odczynu powoduje jednocześnie wzrost żyzności siedlisk.

W latach 2007–2017 nastąpił znaczny wzrost zawartości materii organicznej oraz azotu całkowitego w glebach. Wzrost zawartości azotu całkowitego powoduje wzrost tempa rozkładu materii organicznej. Wraz ze wzrostem zawartości materii organicznej wzrastają zdolności sorpcyjne gleb.

Najwięcej azotu całkowitego, a najmniej C_{org} zaobserwowano w glebach brunatnych wyługowanych. Zjawisko to świadczy o szybkim tempie rozkładu materii organicznej.

CZĘŚĆ IV. BADANIA NA STAŁYCH POWIERZCHNIACH OBSERWACYJNYCH MONITORINGU INTENSYWNEGO (SPO MI)

W programie monitoringu lasu od 2009 r. funkcjonuje 12 SPO MI (stałych powierzchni obserwacyjnych monitoringu intensywnego), wybranych spośród powierzchni SPO II rzędu.

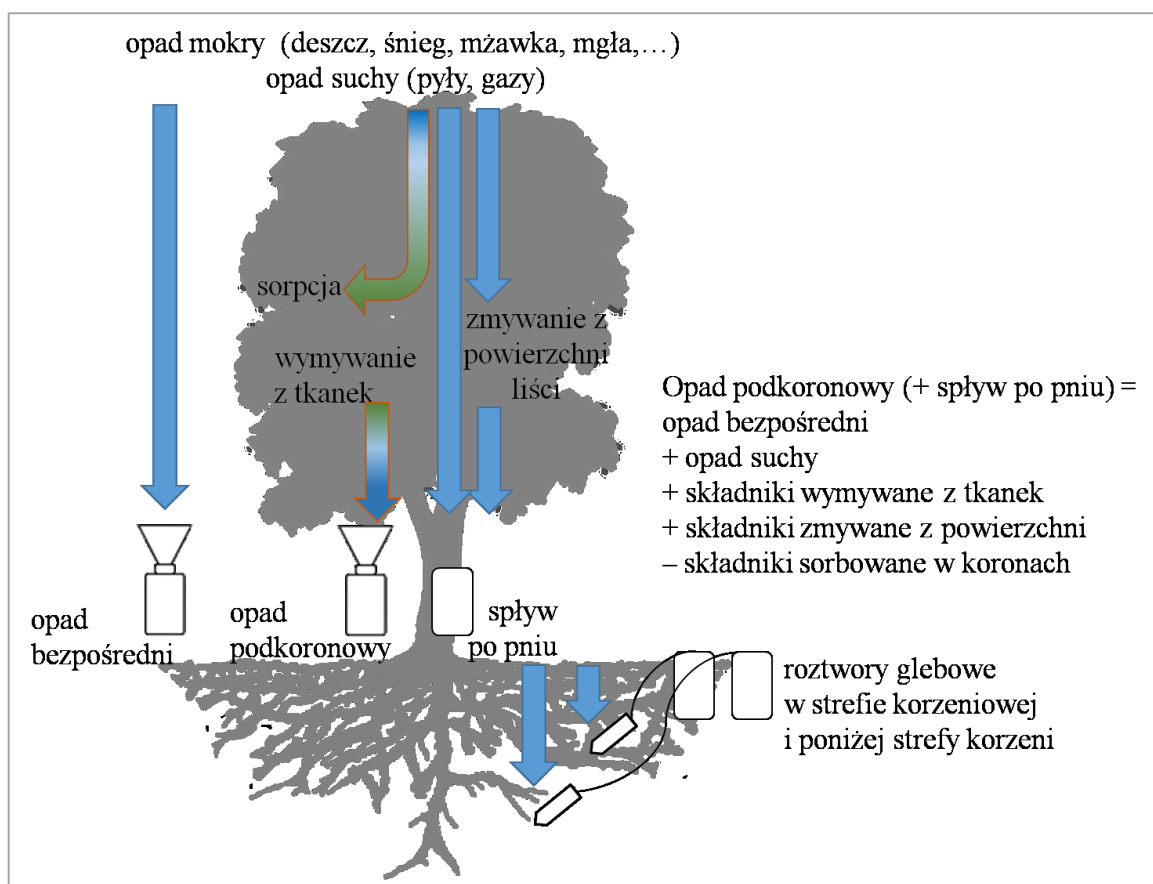
SPO MI są zlokalizowane w siedmiu krainach przyrodniczo-leśnych: Bałtyckiej (Nadleśnictwo Gdańsk), Mazursko-Podlaskiej (nadleśnictwa: Suwałki, Strzałowo, Białowieża), Wielkopolsko-Pomorskiej (nadleśnictwa: Krucz i Krotoszyn), Mazowiecko-Podlaskiej (nadleśnictwa: Łąck i Chojnów), Śląskiej (Nadleśnictwo Zawadzkie), Sudeckiej (Nadleśnictwo Szklarska Poręba) oraz Karpackiej (nadleśnictwa: Piwniczna i Bircza).

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 depozytu całkowitego, jakości powietrza metodą pasywną, opadów podkoronowych i roztworów glebowych. W pobliżu tych powierzchni uruchomiono również automatyczne stacje pomiarowe, w sposób ciągły rejestrujące parametry meteorologiczne.

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. 27).



Rycina 27. Schemat koncepcyjny badań depozytu i przepływu składników w środowisku leśnym na SPO MI

9.1. Skład chemiczny opadów – przewodność i stężenia składników

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.

Cechą charakteryzującą chemizm opadów jest przewodność elektrolityczna właściwa (EC), będąca pośrednio miarą ogólnej zawartości zdysocjowanych soli. W 2018 r. przewodność opadów osiągała średnio rocznie od $12,6 \mu\text{S cm}^{-1}$ do $20,4 \mu\text{S cm}^{-1}$. Wysoka przewodność opadów (powyżej $20 \mu\text{S cm}^{-1}$) występowała średnio rocznie w Wielkopolsce, gdzie opady były niskie: w Krotoszynie i Kruczu. Niską przewodność (poniżej $15 \mu\text{S cm}^{-1}$)

notowano w północno-wschodniej Polsce, gdzie ogólny poziom zanieczyszczeń jest stosunkowo niski: w Strzałowie, Suwałkach i Białowieży oraz w Szklarskiej Porębie, gdzie występowały wysokie opady, powodujące efekt rozcieńczenia.

9.2. 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 w opadach mieścił się w granicach od 16,1 kg ha⁻¹ do 29,3 kg ha⁻¹ (tab. 7). Depozycja na wszystkich powierzchniach była mniejsza niż w 2017 r., najmniejszy spadek (o 5%) zanotowano w Birczy, zaś największy (o 57%) w Białowieży. Na pozostałych powierzchniach depozycja wyniosła od 66% do 85% tej z 2017 roku.

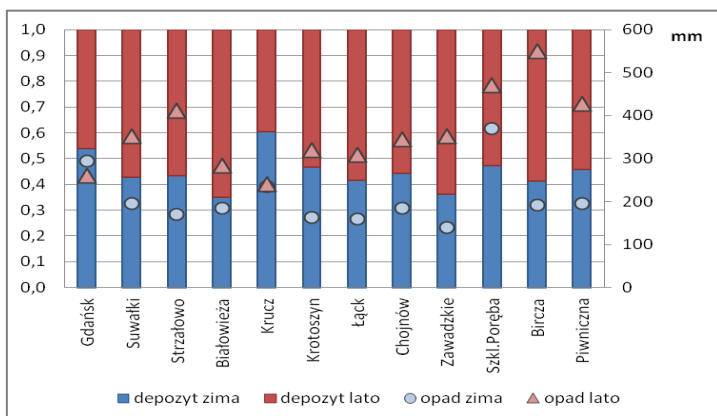
Tabela 7. Depozyt roczny [kg·ha⁻¹] (bez RWO) wniesiony z opadami na SPO MI w 2018 roku.

Nadleśnictwo	Strzałowo	Białowieża	Krucz	Chojnów	Zawadzkie	Suwałki	Szklarska Poręba	Piwniczna	Krotoszyn	Łąck	Gdańsk	Bircza
Gatunek panujący	Sosna					Świerk			Dąb		Buk	
Opad [mm]	582	469	477	530	492	548	839	624	484	468	554	741
H ⁺	0,024	0,015	0,019	0,010	0,054	0,007	0,052	0,054	0,010	0,015	0,028	0,061
Cl ⁻	1,88	1,62	3,03	3,03	2,32	2,51	5,52	2,43	2,90	3,15	7,35	2,24
N-NO ₃ ⁻	2,25	2,51	2,63	2,66	3,64	2,58	3,02	1,91	3,50	2,40	3,94	3,64
S-SO ₄ ²⁻	1,88	1,89	2,52	2,71	2,91	2,24	3,29	2,74	2,88	2,70	2,25	3,98
N-NH ₄ ⁺	3,34	2,71	4,75	4,76	3,27	4,24	3,95	1,58	5,33	3,80	2,92	4,03
Ca	2,28	3,30	4,06	4,86	3,29	4,39	3,17	3,22	3,36	3,87	3,94	4,99
Mg	0,41	0,50	0,60	0,56	0,50	0,69	0,53	0,50	0,56	0,53	0,76	0,62
Na	1,43	1,25	2,01	1,91	1,71	1,67	4,15	1,96	2,35	1,88	4,51	1,69
K	0,96	1,17	1,29	2,16	1,10	1,14	1,76	1,38	1,94	1,65	2,33	1,53
Fe	0,031	0,023	0,021	0,031	0,033	0,027	0,057	0,045	0,030	0,023	0,040	0,056
Al	0,032	0,027	0,028	0,020	0,054	0,019	0,035	0,037	0,027	0,020	0,037	0,044
Mn	0,044	0,043	0,050	0,024	0,063	0,025	0,041	0,066	0,046	0,059	0,079	0,041
Cd	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cu	0,019	0,016	0,017	0,023	0,015	0,021	0,029	0,019	0,018	0,018	0,029	0,029
Pb	0,018	0,011	0,009	0,010	0,016	0,012	0,021	0,024	0,012	0,009	0,014	0,013
Zn	0,093	0,094	0,087	0,087	0,110	0,109	0,147	0,110	0,085	0,078	0,134	0,118
RWO	22,6	9,1	8,5	10,2	8,7	11,1	13,6	10,8	10,6	9,5	10,7	12,2
N _{tot}	7,0	6,2	8,5	8,8	7,9	8,1	9,5	4,8	10,2	7,2	7,8	9,1
Depozyt całkowity	16,1	16,2	22,2	24,2	20,1	21,0	28,3	17,4	24,4	21,2	29,3	24,5

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

Niską ilość jonów zdeponowały opady w nadleśnictwach: Strzałowo, Białowieża i Piwniczna (16,1 kg ha⁻¹ – 17,4 kg ha⁻¹). Suma rocznej depozycji na pozostałych SPO MI, z wyjątkiem Szklarskiej Poręby i Gdańska, wynosiła od 20,1 kg ha⁻¹ rok⁻¹ do 24,5 kg ha⁻¹ rok⁻¹. W Szklarskiej Porębie i Gdańsku depozyt był wysoki i wynosił odpowiednio: 28,3

kg ha⁻¹ i 29,3 kg ha⁻¹. Na tak wysoką depozycję w Gdańsku i Szklarskiej Porębie składały się przede wszystkim jony Cl⁻ i Na (w Gdańsku – głównie pochodzenia morskiego).



Rycina 28. Suma opadu bezpośredniego [mm] (prawa oś) oraz udział depozytu w sezonie letnim (V-X) i zimowym (I-IV, XI-XII) na SPO MI w 2018 roku

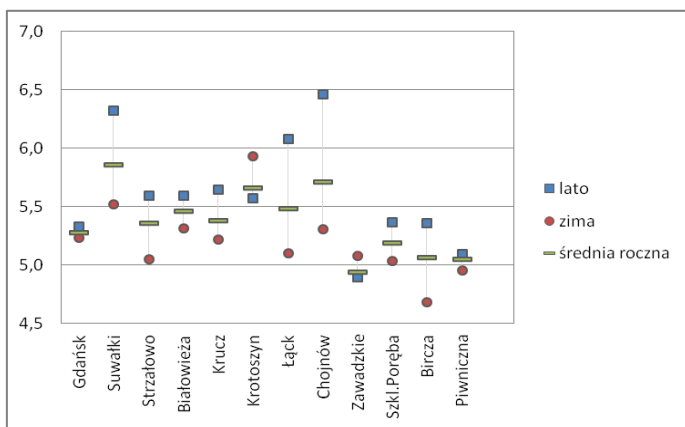
Suma depozycji w okresie zimowym stanowiła od 35% do 47%, a w Gdańsku i Kruczu odpowiednio 54% i 60% depozycji rocznej (ryc. 28). Przewaga depozytu okresu letniego wynikała m. in. z wyższej sumy opadów – na miesiące letnie przypadało od 56% (w Kruczu 51%) do 74%

sumy rocznej opadu. Jedynie w Gdańsku opady w półroczu letnim były niższe niż zimą.

Pomiędzy SPO MI wystąpiły istotne różnice szczególnie w depozycji Na, Cl⁻ i NH₄⁺. Wyniki testów statystycznych potwierdzają zaobserwowane różnice między Gdańskiem i Szklarską Porębą a innymi SPO MI pod względem depozycji składników z aerozoli

9.3. Właściwości kwasowo-zasadowe opadów na otwartej przestrzeni

Średnie miesięczne pH opadów mieściło się w granicach od 4,9 do 5,9. Minimalną wartość osiągnęło w styczniu w Birczy, a maksymalną w czerwcu w Chojnowie.



Rycina. 29. Średnie pH roczne, sezonu letniego (V-X) i zimowego (I-IV i XI-XII) na SPO MI w 2018 r. w opadach na otwartej przestrzeni

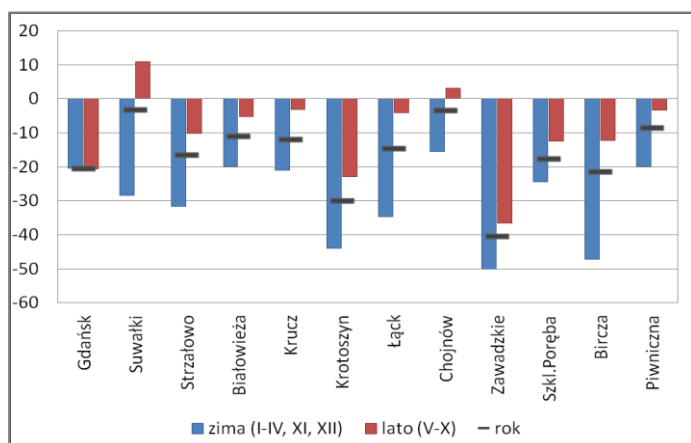
Udział miesięcznych opadów o pH niższym od 5,0 wyniósł 15%, to jest tyle samo, co w 2016 r., lecz mniej niż w 2017 r. (26%) oraz mniej niż w latach poprzednich (42% w 2010 r., 36% w 2011 r., 39% w 2012 r., 43% w 2013 r. i 30% w 2014 r.). Opady o pH niższym od 5,0 przeważały w miesiącach zimowych. Średnio

w okresie zimowym na większości powierzchni pH opadów było niższe niż w okresie letnim (ryc. 29), z wyjątkiem Krotoszyna i Zawadzkiego. W Gdańsku, Zawadzkiem i Piwnicznej różnica odczynu opadów zimą i latem była niewielka.

Najwyższa kwasowość opadów, mierzona średnią roczną wartością pH, wystąpiła na Śląsku w Zawadzkim (pH 4,9), w nadleśnictwach rejonów górskich, tj. w Piwnicznej (pH 5,0), Birczy (pH 5,1) i Szklarskiej Porębie (pH 5,2), a także w Gdańsku (pH 5,3), Strzałowie i Kruczu (pH 5,4) (ryc. 29). Również stosunkowo niskie średnie pH opadów odnotowano w Suwałkach i Strzałowie (pH 5,4). W Białowieży i Łącku pH opadów wynosiło średnio 5,5, w Krotoszynie i Chojnowie 5,7. Niższa 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.

Ujemne wartości ANC są wskaźnikiem nadmierowej ilości jonów mocnych kwasów w opadach, zaś dodatnie – nadmierowej ilości mocnych zasad. Na SPO MI 76% miesięcznych opadów przyjmowało ujemne wartości ANC, z czego nieco więcej przypadało na okres zimowy (41% próbek pobranych w ciągu roku) niż letni (35% próbek pobranych w ciągu roku).



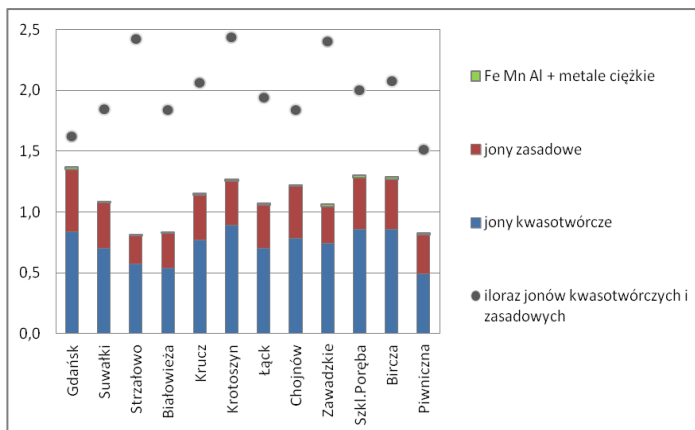
Rycina 30. Pojemność zobojętniania kwasów (ANC) [$\mu\text{eq dm}^{-3}$] w opadach na otwartej przestrzeni na SPO MI średnio od stycznia do grudnia, średnio w okresie zimowym (miesiące I-IV i XI-XII) i letnim (V-X) w 2018 r.

ANC półrocza zimowego było niższe niż w półroczu letnim na wszystkich powierzchniach obserwacyjnych, z wyjątkiem Gdańska, gdzie osiągało zbliżone wartości w obu półroczach (ryc. 30). Średnio rocznie na żadnej z powierzchni ANC nie osiągnęło wartości dodatniej, jedynie średnio w okresie letnim niewysokimi dodatnimi

wartościami ANC charakteryzowały się opady w Suwałkach i Chojnowie. Na pozostałych powierzchniach w obu półroczach ANC było ujemne, a niskie średnie wartości roczne wystąpiły w Zawadzkim, Krotoszynie, Birczy i Gdańsku (odpowiednio -40,5, -30,1, -21,4 i $20,5 \mu\text{eq dm}^{-3} \text{ rok}^{-1}$).

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 Pb) wynosił od 56% do 70%. Udział jonów o charakterze zakwaszającym był najwyższy (70%) w Krotoszynie, natomiast w Strzałowie, Zawadzkim i Kruczu – przekraczał 65%, a zjawisku temu towarzyszył niski udział (28–

32%) jonów o charakterze zasadowym. Z kolei niski udział depozycji jonów o charakterze zakwaszającym występował w Piwnicznej (56%) i Gdańsku (60%), przy jednocześnie wysokim udziale jonów o charakterze zasadowym (37%).



Rycina 31. Ładunek jonów [kmol·c·ha⁻¹] oraz stosunek depozytu jonów kwasotwórczych do zasadowych w opadach na otwartej przestrzeni na SPO MI w 2018 r.

Na każdej powierzchni w depozycie rocznym w 2018 r. dominowały jony kwasotwórcze (ryc. 31), a ich przewaga nad jonami zasad była niemal dwuipółkrotna w Krotoszynie, Zawadzkiem i Strzałowie.

W 2018 r. roczny depozyt jonów w opadach mieścił się w granicach od 16,1 kg ha⁻¹ do 29,3 kg ha⁻¹. Niską ilość jonów zdeponowały opady w nadleśnictwie Strzałowo, Białowieża i Piwniczna (16,1–17,4 kg ha⁻¹).

Depozycja na wszystkich powierzchniach była mniejsza niż w roku 2017, najmniejszy spadek (o 5%) zanotowano w Birczy, zaś największy (o 57%) w Białowieży. Na pozostałych powierzchniach depozycja wyniosła od 66% do 85% tej z roku 2017.

W opadach na SPO MI średnie miesięczne pH mieściło się w granicach od 4,9 do 5,9. Minimalną wartość osiągnęło w styczniu w Birczy, a maksymalną w czerwcu w Chojnowie.

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 56% do 70%.

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

W zakres badań jakości powietrza na stałych powierzchniach obserwacyjnych monitoringu intensywnego 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).

10.1. Dwutlenek siarki

Niskie średnie roczne stężenia dwutlenku siarki (poniżej $1 \mu\text{g m}^{-3}$) występowały w nadleśnictwach zlokalizowanych w północno-wschodniej Polsce (Strzałowo, Białowieża, Suwałki). W Gdańsku w porównaniu do 2017 r. stężenie SO_2 było wyższe o 55% i wyniosło $1,2 \mu\text{g m}^{-3}$. W Chojnowie, Szklarskiej Porębie i Kruczu stężenie SO_2 wynosiło od $1,1 \mu\text{g m}^{-3}$ do $1,4 \mu\text{g m}^{-3}$. W Krotoszynie, Piwnicznej, Łącku i Birczy stężenia mieściły się w zakresie od $1,5 \mu\text{g m}^{-3}$ do $1,9 \mu\text{g m}^{-3}$. Najwyższe średnie roczne stężenie ($2,7 \mu\text{g m}^{-3}$) notowano w Zawadzkiem.

Największy wzrost stężeń, w porównaniu z 2017 r., wystąpił w Kruczu, Gdańsku i Łącku (odpowiednio: 171%, 155% i 149% wartości z roku 2017) – na powierzchniach o stosunkowo niskim stężeniu SO_2 w powietrzu. W Krotoszynie i Zawadzkiem, gdzie od lat stężenia SO_2 są wyższe niż w innych lokalizacjach, wzrost stężeń był w 2018 r. niewielki (odpowiednio: 103% i 106% wartości z 2017 r.).

Niskie stężenia SO_2 w nadleśnictwach północnej i północno-wschodniej Polski wynikają m.in. z warunków demograficznych i stopnia uprzemysłowienia regionów. Województwa podlaskie i warmińsko-mazurskie mają najniższą w kraju gęstość zaludnienia oraz najniższą emisję gazowych zanieczyszczeń powietrza z zakładów szczególnie uciążliwych dla jakości powietrza (Rocznik Statystyczny Województw 2018), co znajduje odzwierciedlenie w jakości powietrza w lasach.

Średnie miesięczne stężenia SO_2 mieściły się w przedziale $0,2\text{--}5,4 \mu\text{g m}^{-3}$. Rozkład stężeń w poszczególnych miesiącach był zasadniczo podobny do obserwowanego w latach poprzednich.

Niskie stężenia (od $0,2 \mu\text{g m}^{-3}$ do $2,0 \mu\text{g m}^{-3}$, mediana równa $0,9 \mu\text{g m}^{-3}$) notowano w miesiącach letnich między majem a wrześniem, a wyższe (od $0,9 \mu\text{g m}^{-3}$ do $5,4 \mu\text{g m}^{-3}$, mediana równa $2,1 \mu\text{g m}^{-3}$) w miesiącach zimowych, szczególnie od stycznia do marca. Stężenia miesięczne wykazują istotną ujemną zależność od temperatur powietrza ($R_s = -0,48$, $p \leq 0,05$). Taki rozkład stężeń wynika z występowania sezonu grzewczego i spalania paliw opałowych, będących podstawowym źródłem emisji SO_2 .

Średnie stężenia sezonu zimowego układały się w porządku malejącym dla nadleśnictw: Zawadzkie > Bircza > Piwniczna, Łąck > Krotoszyn, Szklarska Poręba > Krucz > Chojnów, Gdańsk > Suwałki, Białowieża > Strzałowo.

Średnie stężenia sezonu letniego układały się w porządku malejącym dla nadleśnictw: Zawadzkie > Łąck > Krucz, Krotoszyn, Bircza > Gdańsk, Chojnów, Piwniczna > Szklarska Poręba > Suwałki > Białowieża, Strzałowo.

W 2018 r. na wszystkich powierzchniach średnie roczne stężenia SO₂ były wyższe i stanowiły od 103% do 171% wartości notowanych w 2017 r.

Poziom dopuszczalny dwutlenku siarki w powietrzu określony Rozporządzeniem Ministra Środowiska (Dz.U. z dn. 18 września 2012, poz. 1031) dla roku kalendarzowego i pory zimowej (okres od 1 października do 31 marca) ze względu na ochronę roślin wynosi 30 $\mu\text{g m}^{-3}$. Średnie roczne stężenia SO₂ na badanych powierzchniach zawierały się w granicach od 0,7 $\mu\text{g m}^{-3}$ do 2,7 $\mu\text{g m}^{-3}$, co stanowiło od 3% do 13% wartości dopuszczalnej. W porze zimowej zakres stężeń wynosił od 0,9 $\mu\text{g m}^{-3}$ do 3,4 $\mu\text{g m}^{-3}$, tj. od 5% do 17% wartości dopuszczalnej. Nie stwierdzono zatem stężeń stwarzających bezpośrednie zagrożenie dla ochrony roślin.

Podobnie jak w latach ubiegłych niskie średnie roczne stężenia dwutlenku siarki (poniżej 1 $\mu\text{g m}^{-3}$) występowały w nadleśnictwach zlokalizowanych w północno-wschodniej Polsce (Strzałowo, Białowieża, Suwałki), najwyższe (2,7 $\mu\text{g m}^{-3}$) – zanotowano w Zawadzkiem.

10.2. Dwutlenek azotu

Powierzchnie SPO MI istotnie różniły się pod względem stężeń NO₂ w powietrzu (test Kruskala-Wallisa: $H(11, N = 144) = 92,37, p \leq 0,001$). Szereg istotnych różnic wystąpił pomiędzy stężeniami NO₂ w grupie powierzchni o wysokim zanieczyszczeniu tlenkami azotu: Chojnowie, Łącku, Zawadzkiem i Krotoszynie a stężeniami na powierzchniach zlokalizowanych w rejonach północno-wschodnich (Strzałowo, Białowieża) i w górach (Piwniczna, Bircza), gdzie zanieczyszczenia były niższe.

Wysoki poziom stężeń NO₂ na tych powierzchniach może wynikać z dużego natężenia ruchu drogowego w niewielkiej odległości od powierzchni, usytuowania powierzchni w pobliżu dużych miast i/lub w rejonach o dużej gęstości zaludnienia oraz wysokim uprzemysłowieniu, usytuowania powierzchni w pobliżu przenawożonych terenów rolniczych. Powierzchnia w Chojnowie jest zlokalizowana w odległości 20 km od aglomeracji warszawskiej; powierzchnia w Łącku – w odległości 5 km od Płocka, dużego ośrodka przemysłu rafineryjnego; powierzchnia w Zawadzkiem – na Górnym Śląsku, w rejonie o największej w skali kraju gęstości zaludnienia oraz wysokiej urbanizacji i uprzemysłowieniu, natomiast powierzchnia w Krotoszynie – w Wielkopolsce, regionie o najwyższym zużyciu mineralnych nawozów azotowych w przeliczeniu na hektar (Rocznik Statystyczny Rolnictwa GUS 2018).

Średnie miesięczne stężenia dwutlenku azotu wahały się w granicach od 2,0 $\mu\text{g m}^{-3}$ do 17,7 $\mu\text{g m}^{-3}$ i wykazywały wyraźną sezonowość. Na licznych powierzchniach obserwowano istotną ($p \leq 0,05$) ujemną zależność stężenia NO₂ i temperatury: ze spadkiem temperatury wzrastało średnie miesięczne stężenie NO₂.

Najwyższe miesięczne stężenie NO₂ zanotowano w listopadzie w Chojnowie (17,7 $\mu\text{g m}^{-3} \text{ m-c}^{-1}$), niewiele niższe w lutym i październiku w Chojnowie oraz w październiku w Łącku (odpowiednio: 17,6, 16,2 i 16,6 $\mu\text{g m}^{-3} \text{ m-c}^{-1}$).

Stężenia niższe niż 3 $\mu\text{g m}^{-3} \text{ m-c}^{-1}$ występowały w okresie letnim między kwietniem a sierpniem w Strzałowie, między kwietniem a czerwcem w Białowieży (północno-wschodnia Polska) oraz między marcem a wrześniem w rejonach górskich w Piwnicznej, Birczy i Szklarskiej Porębie (południowa Polska, rejony górskie). Istotne różnice między medianami miesięcznych stężeń dla okresów letnich i zimowych wystąpiły niemal na wszystkich powierzchniach.

Średnie stężenia NO₂ w sezonie letnim (kwiecień–wrzesień) układały się w porządku malejącym dla nadleśnictw: Chojnów > Zawadzkie, Łąck > Krotoszyn > Krucz > Gdańsk > Suwałki > Szklarska Poręba > Piwniczna > Bircza, Strzałowo > Białowieża.

Stężenia średnie dla okresu zimowego (styczeń–marzec i październik–grudzień) były od 1,2 do 2,8 razy wyższe niż dla okresu letniego. Układały się w porządku malejącym: Chojnów > Zawadzkie, Łąck > Krotoszyn > Krucz > Gdańsk > Suwałki > Szklarska Poręba > Piwniczna > Bircza, Strzałowo > Białowieża.

W 2018 r. na wszystkich powierzchniach średnie roczne stężenia NO₂ były wyższe i stanowiły od 102% do 157% wartości notowanych w 2017 r.

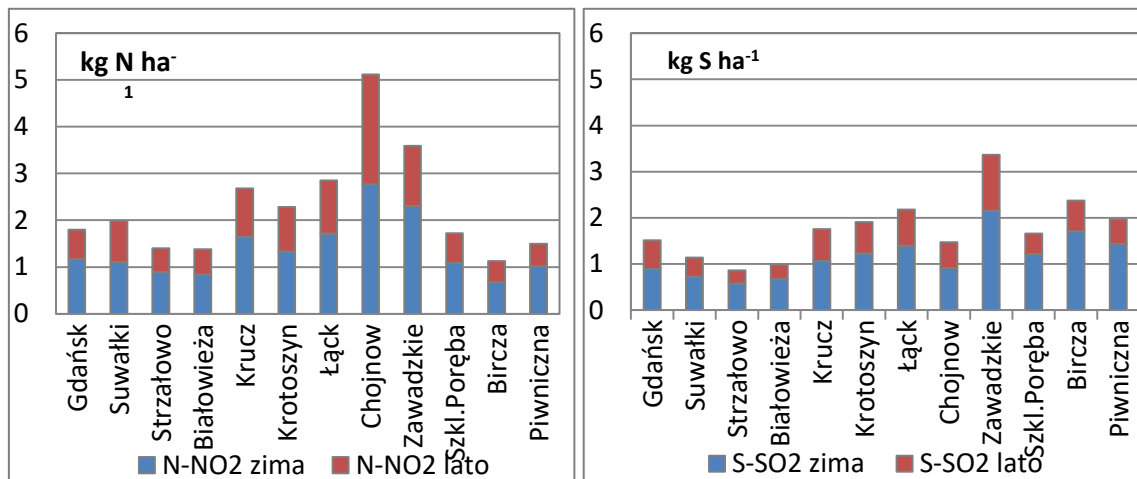
Poziom dopuszczalny tlenków azotu w powietrzu określony Rozporządzeniem Ministra Środowiska (Dz.U. z dn. 18 września 2012, poz. 1031) dla roku kalendarzowego ze względu na ochronę roślin wynosi 30 $\mu\text{g m}^{-3}$. W 2018 r. średnie stężenia NO₂ wynosiły od 3,6 $\mu\text{g m}^{-3}$ do 13,3 $\mu\text{g m}^{-3}$, tj. odpowiednio od 12% do 44% wartości dopuszczalnej. Nie stwierdzono zatem, podobnie jak w przypadku dwutlenku siarki, stężeń stwarzających bezpośrednie zagrożenie dla ochrony roślin.

Podobnie jak w latach ubiegłych, wysokie średnie roczne stężenia dwutlenku azotu notowano w rejonach centralnej Polski: w Chojnowie (13,3 $\mu\text{g m}^{-3}$) i Łącku (9,9 $\mu\text{g m}^{-3}$), na południu kraju – w Zawadzkim (9,4 $\mu\text{g m}^{-3}$) oraz na zachodzie – w Krotoszynie (8,0 $\mu\text{g m}^{-3}$). Niższe stężenia tego gazu występowały w nadleśnictwach północnej i północno-wschodniej Polski: Białowieża (3,6 $\mu\text{g m}^{-3}$), Strzałowo (3,6 $\mu\text{g m}^{-3} \text{ rok}^{-1}$), Suwałki (5,2 $\mu\text{g m}^{-3} \text{ rok}^{-1}$) i Gdańsk (6,3 $\mu\text{g m}^{-3} \text{ rok}^{-1}$), w Kruczu w Wielkopolsce (7,0 $\mu\text{g m}^{-3} \text{ rok}^{-1}$), a także w rejonach podgórskich i górskich: Bircza i Piwniczna (po 3,9 $\mu\text{g m}^{-3} \text{ rok}^{-1}$) oraz Szklarska Poręba (4,5 $\mu\text{g m}^{-3} \text{ rok}^{-1}$).

10.3. Depozycja gazowych związków siarki i azotu

Na podstawie średnich stężeń rocznych i sezonowych oszacowano ładunek N i S, jaki był deponowany na SPO MI w 2018 r. – zastosowano metody szacowania wg Thimonier i in. (2005) i Rihm (1996).

Gazowa depozycja siarki była najniższa (od 0,9 do 1,1 kg S ha⁻¹ rok⁻¹) w nadleśnictwach północno-wschodniej Polski (w Strzałowie, Białowieży i Suwałkach). W północnej części kraju (w Gdańsku), w centralnej jego części (w Chojnowie) oraz w Sudetach (w Szklarskiej Porębie) wynosiła od 1,5 do 1,7 kg S ha⁻¹ rok⁻¹, w Wielkopolsce (w Kruczu i Krotoszynie) – od 1,8 do 1,9 kg S ha⁻¹ rok⁻¹, w rejonie Karpat (w Piwnicznej i Birczy) oraz w Łącku – od 2,0 do 2,4 kg S ha⁻¹ rok⁻¹. Najwyższą wartość (3,4 kg S ha⁻¹ rok⁻¹) zanotowano w Zawadzkiem (ryc. 32).



Rycina 32. Szacunkowy roczny depozyt azotu w formie NO₂ i siarki w formie SO₂ na powierzchniach monitoringu intensywnego w 2018 roku

Najmniejszą depozycję azotu (około 1,0 kg) odnotowano w Birczy, w rejonie podkarpackim. Niskie ilości (od 1,4 do 1,5 kg N ha⁻¹ rok⁻¹) zostały zdeponowane w Białowieży i Strzałowie (północna i północno-wschodnia część kraju) oraz w Piwnicznej (Karpaty). Pośrednie ilości (od 1,7 do 2,3 kg N ha⁻¹ rok⁻¹) otrzymały powierzchnie w Szklarskiej Porębie, Gdańsku, Suwałkach i Krotoszynie. W Kruczu, Łącku i Zawadzkiem depozycja azotu wyniosła odpowiednio: 2,7, 2,9 i 3,6 kg N ha⁻¹ rok⁻¹, a najwyższa była w Chojnowie (5,1 kg N ha⁻¹ rok⁻¹).

Na badanych powierzchniach od 54% do 68% depozycji azotu oraz od 58% do 73% depozycji siarki przypadało na okres zimowy.

11. OPADY PODKORONOWE ORAZ ROZTWORY GLEBOWE NA TERENACH LEŚNYCH – ANNA KOWALSKA

11.1. Opady podkoronowe

Substancje transportowane przez opady atmosferyczne są dostarczane do dna lasu w formie opadów podkoronowych (ryc. 27). Dodatkowo trafia do gleby pewna pula

pierwiastków, których źródłem są procesy interakcji opadów z koronami drzew. 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.

Średnia przewodność elektrolityczna właściwa będąca pośrednio miarą ogólnej zawartości jonów w wodach wynosiła na SPO MI w 2018 r. od 13,3 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. W okresach niskich opadów zanieczyszczenia dostarczane z wodą opadową i splukiwane oraz wymywane z liści były obecne w próbkach w dużych stężeniach, zaś wysokim opadom towarzyszył tzw. efekt rozcieńczenia. Najniższą przewodność miały średnio w roku opady w Szklarskiej Porębie (28,1 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ rok}^{-1}$) przy opadach podkoronowych przekraczających 800 mm rocznie, zaś najwyższą w Krotoszynie (64,1 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ rok}^{-1}$), gdzie wielkość opadów była o ponad połowę niższa pod okapem (około 400 mm rocznie) niż w Szklarskiej Porębie.

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 2018 r. do gleby wpłynął ładunek substancji od 1,6 do 3,2 razy większy niż z opadem na otwartej przestrzeni. Stosunkowo niskie wzbogacenie pod okapem miało miejsce w drzewostanach bukowych w Gdańsku i Birczy (odpowiednio 1,6- i 2-krotnie) oraz sosnowych w Kruczu i Chojnowie (odpowiednio 1,7- i 1,9-krotnie). Szczególnie wzbogacone w stosunku do opadów bezpośrednich (2,6–3,2-krotnie) były opady podkoronowe w drzewostanach dębowych w Krotoszynie i Łącku, w świerczynach w Piwnicznej i Suwałkach oraz w drzewostanach sosnowych w Zawadzkiem, Białowieży i Strzałowie.

Depozyt podkoronowy mieścił się w zakresie od 38,8 do 71,4 $\text{kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$. Był wysoki w drzewostanie dębowym w Krotoszynie (71,4 $\text{kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$) oraz na powierzchniach świerkowych w Suwałkach (67,2 $\text{kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$) i Szklarskiej Porębie (61,7 $\text{kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$), natomiast niski – na powierzchniach sosnowych w Kruczu, Białowieży i Strzałowie (odpowiednio: 38,8, 42,9 i 45,1 $\text{kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$). Na pozostałych powierzchniach depozyt wyniósł od 45,5 $\text{kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ do 58,1 $\text{kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$.

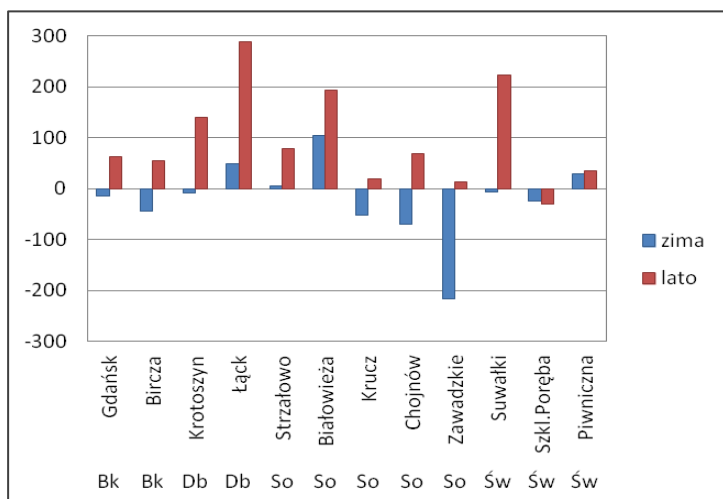
W opadach podkoronowych występowało więcej istotnych różnic pomiędzy badanymi powierzchniami niż w opadach na otwartej przestrzeni. Różnice dotyczyły z reguły innych składników, niż w opadach na otwartej przestrzeni, uwidaczniając wpływ koron na skład depozycji. Istotne różnice wykryto dla składników zakwaszających i eutrofizujących (NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+) między powierzchniami północno-wschodniej Polski i południowej Polski. Opady w Strzałowie i Białowieży różniły się od opadów w Birczy i Szklarskiej Porębie mniejszą depozycją S-SO_4^{2-} . W Białowieży i Łącku depozycja N-NO_3^- była istotnie niższa niż na powierzchniach południowej Polski: w Birczy, Szklarskiej Porębie i Zawadzkim. W opadach w drzewostanach bukowych w Gdańsku i Birczy występowały istotnie mniejsze depozyty rozpuszczonego węgla organicznego (RWO) niż w drzewostanie sosnowym w Białowieży i świerkowym w Szklarskiej Porębie. Wykazano istotne zróżnicowanie opadów podokapowych pod względem pojemności zobojętnienia kwasów (ANC): niska pojemność występowała w Szklarskiej Porębie, Zawadzkim i w Kruczu i istotnie różniła się od wysokiej pojemności ANC w opadach w Białowieży, Suwałkach i Łącku. Z kolei w opadach w Piwnicznej depozycja ANC była istotnie większa niż w Szklarskiej Porębie.

Właściwości kwasowo-zasadowe wód opadowych. Obniżone pH, tj. niższe niż 5,0, występowało w ciągu roku w 25% miesięcznych próbek opadów. Opady o pH poniżej 5,0 sporadycznie występowały w półroczu letnim, natomiast przeważały w okresie zimowym. Średnie roczne pH poniżej 5 odnotowano w Birczy i Szklarskiej Porębie, a niewiele wyższe: 5,0–5,1 w Gdańsku, Kruczu i Zawadzkim oraz 5,2–5,5 w Piwnicznej, Krotoszynie, Chojnowie, Strzałowie, Białowieży i Łącku.

W 2018 r. odczyn opadów był mniej kwaśny niż 2017 r. jedynie w Suwałkach (o 0,2 jednostki pH), natomiast bardziej kwaśny – w Gdańsku, Birczy, Krotoszynie, Kruczu i Zawadzkim (o 0,5 do 0,3 jednostki pH). Na pozostałych powierzchniach pH opadów w 2018 r. było zbliżone do pH z 2017 r.

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.

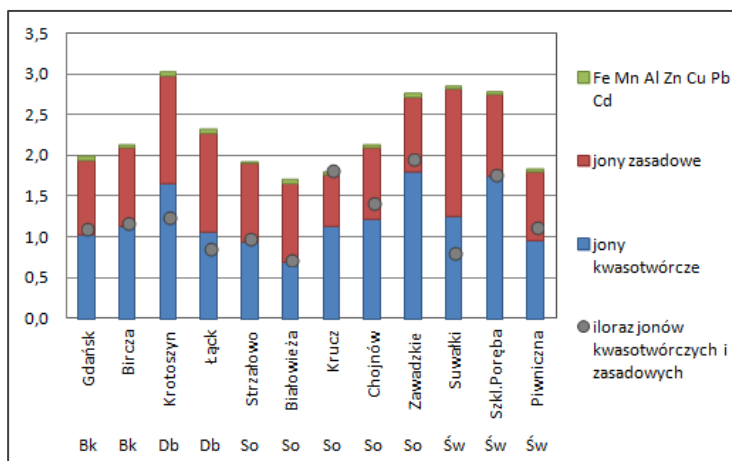
W porównaniu z wodami opadowymi oraz w porównaniu do lat 2016 i 2017, udział opadów podkoronowych z ujemnymi wartościami ANC występował częściej, bo w 48% przypadków. Ujemne wartości ANC, związane z przewagą jonów wolnych



Rycina 33. Pojemność zobojętniania kwasów (ANC) [$\mu\text{eq}\cdot\text{dm}^{-3}$] w opadach podkoronowych na SPO MI w 2018 r. Średnie dla okresu zimowego (miesiące I-IV, XI i XII) i letniego (V-X)

półrocza zimowego było niższe niż w półroczu letnim, z wyjątkiem Szklarskiej Poręby, gdzie przyjmowało zbliżone, ujemne wartości w obu półroczach (ryc. 33).

Dodatnią średnią roczną wartość ANC (przewagę wolnych zasad) w opadach podkoronowych odnotowano w obu drzewostanach dębowych: w Krotoszynie i Łącku ($92,2$ i $199,0 \mu\text{eq dm}^{-3} \text{ rok}^{-1}$), w obu drzewostanach bukowych: w Gdańsku i Birczy ($21,0$ i $19,4 \mu\text{eq dm}^{-3} \text{ rok}^{-1}$), w świerczynach: w Suwałkach i Piwnicznej ($129,0$ i $33,5 \mu\text{eq dm}^{-3} \text{ rok}^{-1}$) oraz w trzech z pięciu drzewostanów sosnowych: Białowieży, Strzałowie i Chojnowie (odpowiednio: $156,0$, $60,2$ i $27,1 \mu\text{eq dm}^{-3} \text{ rok}^{-1}$). W drzewostanach sosnowych: w Zawadzkiem i w Kruczu oraz w drzewostanie świerkowym w Szklarskiej



Rycina 34. Ładunek jonów [$\text{kmol}_c\cdot\text{ha}^{-1}$] oraz stosunek depozytu jonów kwasotwórczych do zasadowych w opadach podkoronowych na SPO MI w 2018 roku

chłorków, siarczanów (VI), kationów zasadowych, żelaza, glinu, manganu i metali ciężkich, wyrażonej w $\text{mol}_c \text{ ha}^{-1}$). Najwyższy udział jonów o charakterze zakwaszającym

kwasów, występowały przeważnie w okresie zimowym, co można przypisać zarówno wzmożonym emisjom zanieczyszczeń w związku z sezonem grzewczym, jak i zmniejszonej aktywności biologicznej drzew i mniejszej wymianie jonowej niż w okresie wegetacyjnym. Na wszystkich powierzchniach obserwacyjnych ANC

Porębie w opadach występowała przewaga jonów wolnych kwasów, ANC wynosiło odpowiednio: $-52,5$, $-16,6$ i $-28,3 \mu\text{eq dm}^{-3} \text{ rok}^{-1}$.

Jony o zakwaszającym oddziaływaniu na środowisko (SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Cl^-) stanowiły od 40% do 64% rocznego molowego depozytu (sumy azotu mineralnego,

stwierdzono, podobnie jak w poprzednich latach, w Zawadzkiem (64%), udział przekraczający połowę całkowitej depozycji podokapowej zarejestrowano w Kruczu (62%), Szklarskiej Porębie (61%), Chojnowie (57%), Krotoszynie (54%), Birczy, Piwnicznej i Gdańsku (po 51%). W Strzałowie, Łącku, Suwałkach i Białowieży wynosił od 48% do 40%, tam też depozyt molowy jonów o charakterze zasadowym (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} i Na^+) przewyższał depozyt jonów zakwaszających (ryc. 34).

Depozyt podkoronowy mieścił się w zakresie od $38,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ do $71,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$. Był wysoki w drzewostanie dębowym w Krotoszynie ($71,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$) oraz na powierzchniach świerkowych w Suwałkach ($67,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$) i Szklarskiej Porębie ($61,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$), natomiast niski – na powierzchniach sosnowych w Kruczu, Białowieży i Strzałowie (odpowiednio: $38,8$, $42,9$ i $45,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$).

Obniżone pH, tj. niższe niż 5,0, występowało w ciągu roku w 25% miesięcznych próbek opadów, sporadycznie występowało w opadach półrocza letniego, natomiast przeważało w okresie zimowym.

11.2. 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: wody spływające po pniach drzew. W monitoringu lasów ta frakcja wód opadowych jest badana jedynie w drzewostanach bukowych, gdyż architektura koron buka, typ i ułożenie liści oraz struktura kory w większym stopniu sprzyjają odprowadzaniu opadu po pniach, niż u innych gatunków. Spływ po pniu stanowi w buczynach istotną formę transportu wody, substancji pokarmowych oraz zanieczyszczeń zawartych w opadach, modyfikując warunki glebowe w strefach wokół pni (Chang i Matzner 2000).

Szacuje się, że ilość spływu po pniu przekroczyła w okresie badań 29 mm w Nadleśnictwie Gdańsk i 32 mm w Nadleśnictwie Bircza. W miesięcznych okresach badań spływ po pniach stanowił od 1% do 26% opadu bezpośredniego (na otwartej przestrzeni) w Gdańsku oraz od 2% do 9% w Birczy, co odpowiada wartościom przytaczanym w literaturze (Chang i Matzner 2000, Johnson i Lehmann 2006).

W składzie chemicznym spływu po pniu zauważalny był wpływ aerozoli morskich w Gdańsku: średnie stężenia jonów chlorkowych, Na, siarczanów (VI), Ca, Mg i K były większe niż w Birczy. Spływ po pniu w Birczy charakteryzował się nieco niższym pH i ANC w porównaniu z Gdańskiem. Na obu powierzchniach średnie roczne pH i pojemność zobojętniania kwasów (ANC) osiągały wyższe wartości niż w opadach podkoronowych.

Depozyt składników wniesiony ze spływem po pniu wyniósł w okresie badań $3,2 \text{ kg ha}^{-1}$ w Gdańsku oraz $4,3 \text{ kg ha}^{-1}$ w Birczy. Stanowiło to 7% depozytu podkoronowego

w Gdańsku i 9% w Birczy. Woda opadowa, spływając po pniach w większym stopniu niż przepływając przez warstwę koron, wzbogaca się w związki organiczne (Van Stan i Stubbins 2018). Pomimo, że suma opadu odprowadzonego po pniach stanowiła średnio zaledwie 7% opadu podkoronowego w Gdańsku i 5% w Birczy, depozyt rozpuszczonego węgla organicznego wynosił aż 27% depozycji podokapowej RWO w Gdańsku i 24% w Birczy.

11.3. Roztwory glebowe

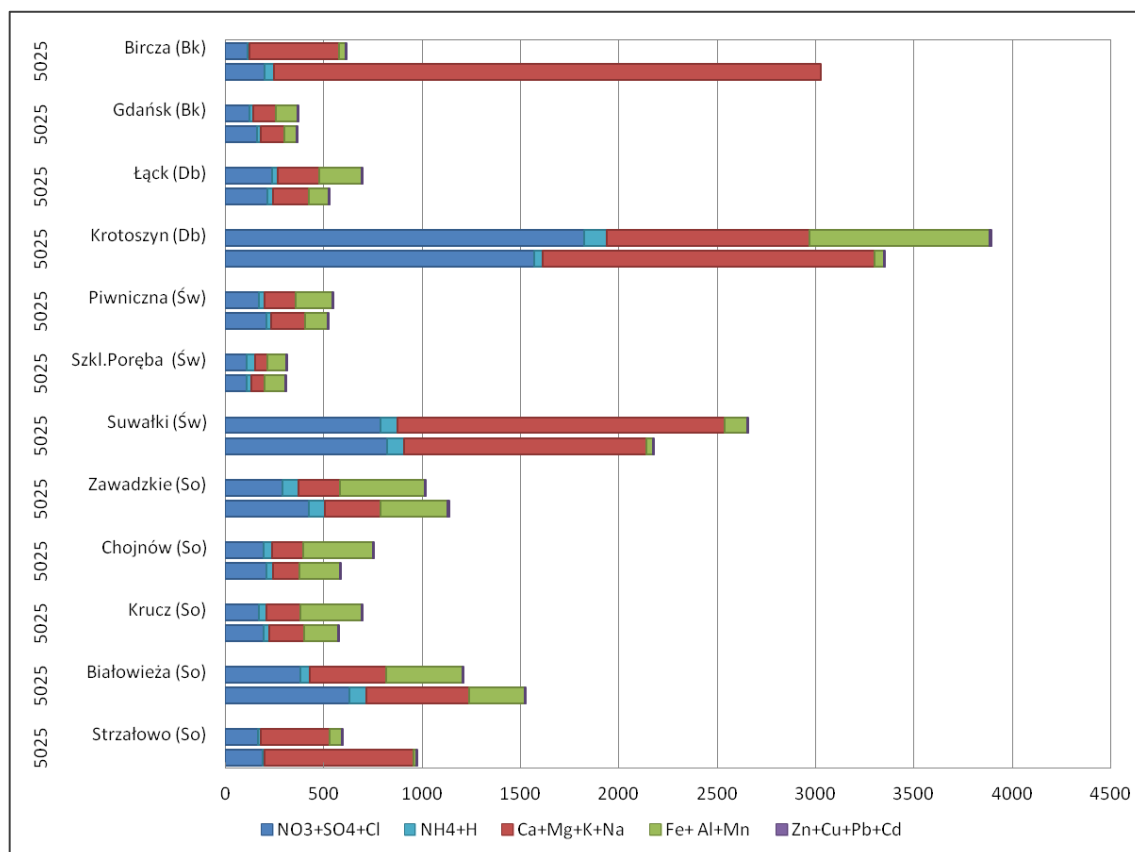
Roztwory glebowe stanowią drogę transportu składników odżywczych i substancji toksycznych między fazą stałą gleby a korzeniami roślin. Ich skład chemiczny jest więc źródłem informacji istotnych dla oceny wpływu zanieczyszczeń powietrza oraz innych czynników stresowych na ekosystemy leśne (Nieminen 2011).

W 2018 roku wskutek niskich opadów na większości powierzchni nie było możliwe pobieranie wystarczającej ilości próbek do badań. Na każdej powierzchni, z wyjątkiem Krucza, występowały miesiące, gdy woda glebowa nie była dostępna. W skrajnym przypadku w Birczy wodę na głębokości 50 cm pobrano w niewielkiej ilości jedynie w lipcu, a w pozostałych miesiącach nie uzyskano żadnej próbki. W Gdańsku i Krotoszynie brak wody glebowej do badań z obu głębokości rozpoczął się od czerwca–sierpnia i trwał do listopada. Najczęściej między kwietniem a listopadem z powodu małej objętości na większości obszaru badań, poza terenami góorskimi (Szkłarska Poręba i Piwniczna), ograniczano liczbę próbek: łączono próbki do badań, uzyskując po jednej próbce z każdej głębokości lub nie wykonywano pełnego zestawu analiz chemicznych.

W 2018 r. średnie pH w badanych roztworach glebowych wynosiło od 3,99 do 7,07 na głębokości 25 cm oraz od 4,54 do 8,09 na głębokości 50 cm. Zmiany większe niż $\pm 0,2$ jednostki pH w porównaniu z rokiem poprzednim wystąpiły jedynie w kilku przypadkach i mogły być spowodowane niewystarczającą dostępnością wody glebowej. Taka sytuacja mogła mieć miejsce w Birczy, gdzie szczególnie duże wahania pH (o 0,7 jednostki) stwierdzono na obu głębokościach w porównaniu do roku 2017 oraz w Krotoszynie i Strzałowie, gdzie zanotowano wzrost pH o 0,3 jednostki na 50 cm głębokości. W Suwałkach pH wzrosło o 0,6 jednostki na 25 cm głębokości.

Najbardziej kwaśne roztwory występowały w drzewostanach sosnowych w Zawadzkiem, Kruczu i Chojnowie (pH od 4,4 do 4,6). W świerczynach w Szkłarskiej Porębie i Piwnicznej, w drzewostanie dębowym w Łacku, bukowym w Gdańsku i sosnowym w Białowieży pH roztworów glebowych na obu głębokościach mieściło się

w zakresie 4,4–4,8. W dąbrowie w Krotoszynie, mimo że pH na głębokości 50 cm wynosiło 6,4, w płytszym poziomie było równe tylko 4,0. W Strzałowie w drzewostanie sosnowym, w Birczy w drzewostanie bukowym i w Suwałkach w świerczynie pH osiągało średnie wartości w zakresie 6,1–8,1. Z reguły w górnej części profilu glebowego występowało nieznaczne zakwaszenie roztworów w stosunku do głębszych poziomów. W Krotoszynie, Birczy i Strzałowie różnica między pH na głębokości 25 i 50 cm była szczególnie wysoka i wynosiła odpowiednio 2,4, 1,9 i 1,2 jednostki pH.



Rycina 35. 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 2018 roku

Na kilku powierzchniach w składzie roztworów glebowych znaczący udział miały kationy o charakterze zasadowym (Ca, Mg i K), na głębokości 50 cm stanowiły 78% sumy jonów w Strzałowie oraz 57% Suwałkach, w płytszej części profilu wynosiły: 74% sumy jonów w Birczy, 63% w Suwałkach i 59% w Strzałowie (ryc. 35). Udział kationów o charakterze zasadowym w sumie jonów był niski (20–25%) na powierzchni świerkowej w Szklarskiej Porębie i w drzewostanach sosnowych w Chojnowie, Zawadzkiem i Kruczu. W drzewostanie sosnowym w Białowieży, w dąbrowie w Łącku, w buczynie w Gdańsku i świerczynie w Piwnicznej był nieco wyższy i wynosił od 29% do 35%.

Przyjmuje się, że przy wartościach stosunku molowego jonów zasadowych (Ca, Mg i K) do glinu (BC/Al) ≥ 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 0,7 w roztworach glebowych na obu głębokościach w nadleśnictwach: Szklarska Poręba, Chojnów, Krucz, Zawadzkie i Gdańsk. W Piwnicznej mieścił się w granicach 0,6–0,9, w Łącku wynosił 0,8 na głębokości 25 cm i wzrastał do 1,4 w głębszym poziomie gleby. W Białowieży BC/A1 wynosił 0,8 w roztworach glebowych na głębokości 25 cm i wzrastał do 1,8 w głębszym poziomie gleby. Również w Krotoszynie znacząco wzrastał w głąb profilu (do 38). Na pozostałych powierzchniach (w Strzałowie, Birczy i w Suwałkach) 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). 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.

Jony NO_3^- występowały w roztworach glebowych poniżej głównej strefy korzeniowej roślin na głębokości 50 cm w Białowieży od kwietnia do listopada (w stężeniu od 0,7 do 8,9 mg N dm⁻³). W Suwałkach zarejestrowano stężenie od 1,8 do nawet 12,5 mg N dm⁻³, przy czym w wysokim stężeniu (powyżej 7 mg N dm⁻³) jony te pojawiały się między majem a lipcem. W Krotoszynie były obecne w stężeniu od 7 do 14 mg N dm⁻³, w Strzałowie – w stężeniu około 1 mg N dm⁻³ oraz w Kruczu – w miesiącach letnich w stężeniu 0,2–0,5 mg N dm⁻³. W Suwałkach obecność azotanów można wiązać z uszkodzeniem drzewostanu i powolnym rozpadem, związanym z obecnością kornika i chorobami grzybowymi, w Strzałowie – z wypadaniem drzew uszkodzonych pierwotnie przez choroby grzybowe, w Krotoszynie – z przeprowadzonymi w 2017 r. cięciami sanitarnymi, czego następstwem może być wzmożone uwalnianie N- NO_3^- do roztworów glebowych, w Białowieży – z obecnością opieńki oraz z występującymi w ostatnich latach wiatrowałami, co może wskazywać na gorszą kondycję drzew, punktowe odsłonięcie gleby sprzyjające przyspieszonej mineralizacji i uwalnianiu azotanów do roztworów glebowych.

Zjawiska zamierania drzewostanów znajdują odzwierciedlenie w chemizmie roztworów glebowych, w których pojawiają się podwyższone poziomy azotanów (V). Przyspieszone tempo mineralizacji materii organicznej i wzmożona nityfikacja towarzyszące degradacji siedliska, przy jednocześnie wysokim ładunku azotu

dopływającego z opadami, skutkują uwolnieniem azotanów do roztworu glebowego i wymywaniem poza profil gleby (Rasmussen 1998).

Średnie pH w badanych roztworach glebowych wynosiło od 3,99 do 7,07 na głębokości 25 cm oraz od 4,54 do 8,09 na głębokości 50 cm. Najbardziej kwaśne roztwory występowały w drzewostanach sosnowych w Zawadzkiem, Kruczu i Chojnowie (pH od 4,4 do 4,6).

Na kilku powierzchniach w składzie roztworów glebowych znaczący udział miały kationy o charakterze zasadowym (Ca, Mg i K), na głębokości 50 cm stanowiły 78% sumy jonów w Strzałowie oraz 57% Suwałkach, w płytszej części profilu wynosiły: 74% sumy jonów w Birczy, 63% w Suwałkach i 59% w Strzałowie.

Przyjmuje się, że przy wartościach stosunku molowego jonów zasadowych (Ca, Mg i K) do glinu (BC/Al) ≥ 1 korzenie drzew są chronione przed skutkami zakwaszania gleb. Wskaźnik ten przyjął znacznie niższe od jedności wartości (od 0,3 do 0,7) w roztworach glebowych na obu głębokościach w nadleśnictwach: Szklarska Poręba, Chojnów, Krucz, Zawadzkie i Gdańsk. Na powierzchniach w Strzałowie, Birczy i Suwałkach wskaźnik przekraczał, niekiedy znacznie, przyjętą wartość krytyczną, wskazując na brak zagrożenia korzeni ze strony toksycznych form glinu.

12. LITERATURA

- Aber J.D., Nadelhoffer K.J., Steudler P., Melillo J.M. 1989. Nitrogen saturation in northern forest ecosystems. *BioScience*, 39: 378–386.
- Bergmann W. 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag Stuttgart.
- Biino U., Tazzi C. 1998. Analisi nutrizionale delle foglie. [In:] Ballarin Denti A., Cocucci S.M., Sartori F. (eds.), Monitoraggio delle foreste sotto stress ambientale. Fondazione Lombardia per l'Ambiente: 173–179.
- Biuletyny Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej, miesięczniki z lat 2014–2018, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Blunden J., Arndt D., Baringer M. 2011. State of the Climate in 2010. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(6).
- 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, 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. Rapport, 591, 220.
- Burke E.J., Brown S.J., Christidis N. 2006. Modeling the recent evolution of global drought and projections for the twenty-first century with the Hadley Centre climate model. *Journal of Hydrometeorology*, 7(5): 1113–1125.

- 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.
- 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.
- 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), [In:] Mathy P. (ed.). *Air pollution and ecosystems*. Riedel, Dordrecht: 881–886.
- 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.
- Kondo J., Nakazono M., Watanabe T. 1992. Hydrological climate in Japan (2): forest rainfall interception. *Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources*, 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): 401–407.
- 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.
- Minutes of the 3rd Forest Foliar Expert Panel Meeting. Vienna, 7–8 November 1995.

- 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.
- 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 Statystyczny Rolnictwa 2018. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Rocznik Statystyczny Województw 2018. Główny Urząd Statystyczny, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa, [dostęp 10 kwietnia 2019],
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 stycznia 2011 r. w sprawie obszarów specjalnej ochrony ptaków. Dz. U. 2011 nr 25, poz. 133.
- 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 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 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu. Dziennik Ustaw z dn. 18 września 2012, poz. 1031.
- 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.
- Szulc W. 2008. Potrzeby nawożenia roślin uprawnych siarką oraz metody ich wyznaczania. Rozpr. Naukowe I Monografie. Wydawnictwo SGGW. Warszawa.
- 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.
- Wawrzoniak J. [red.]. (2018). Stan zdrowotny lasów w Polsce w 2017 roku na podstawie badań monitoringowych. Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Sękocin Stary.