

INSTYTUT BADAWCZY LEŚNICTWA



**STAN ZDROWOTNY LASÓW
POLSKI W 2017 ROKU**

Sękocin Stary, 2018





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 2017 roku. Synteza.

Rodzaj sprawozdania : etapowe

Zleceniodawca : 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 2018

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

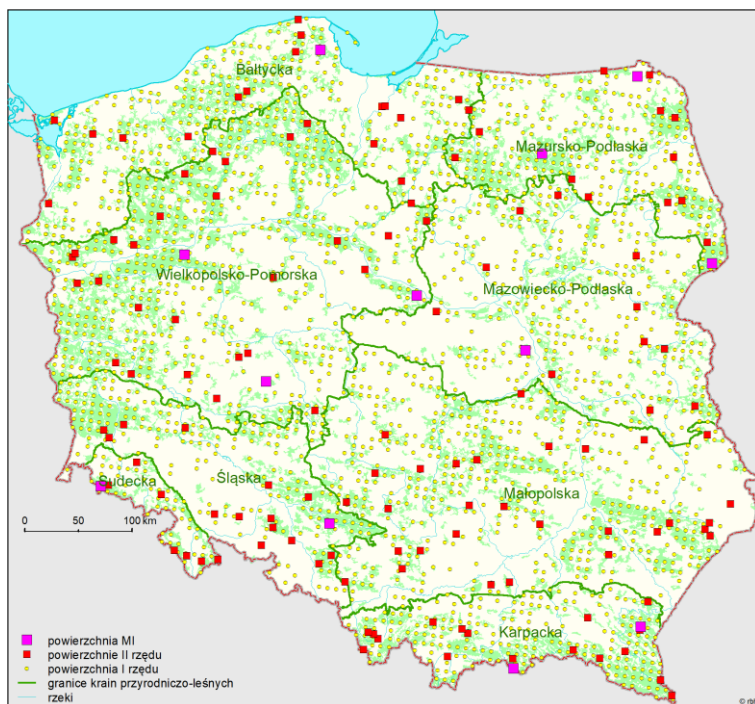
Korekta tekstu : Joanna Szewczykiewicz, Magda Stasiak.

SPIS TREŚCI

Wstęp – <i>Jerzy Wawrzoniak</i>	2
Program monitoringu lasów w 2017 roku – <i>Jerzy Wawrzoniak, Grzegorz Zajęzkowski</i>	3
Część I Monitoring lasów na stałych powierzchniach obserwacyjnych I rzędu	5
1. Ocena poziomu uszkodzenia monitorowanych gatunków drzew – <i>Jadwiga Małachowska</i> ..	6
2. Ocena symptomów i przyczyn uszkodzeń drzew – <i>Paweł Lech</i>	18
3. Wpływ warunków pogodowych na zdrowotność drzewostanów – <i>Jadwiga Małachowska</i> ..	24
4. Susze na terenie Polski w latach 2010-2017 i ich wpływ na defoliację – <i>Andrzej Boczoń, Robert Hildebrand</i>	26
Część II Badania na stałych powierzchniach obserwacyjnych monitoringu intensywnego (SPO MI)	33
5. Wielkość depozytu wnoszonego z opadami atmosferycznymi – <i>Anna Kowalska</i>	33
6. Poziom koncentracji NO ₂ i SO ₂ w powietrzu – <i>Anna Kowalska</i>	39
7. Opady podkoronowe oraz roztwory glebowe – <i>Anna Kowalska</i>	44
8. Literatura	52

WSTĘP – JERZY WAWRZONIAK

Warunki środowiska kształtujące stan zdrowotny drzewostanów w 2017 roku nie zmieniły się istotnie w porównaniu do roku 2016. Poziom opadów atmosferycznych i temperatur powietrza nie odbiegał znacząco od średniej wieloletniej. Na obszarach RDLP w Poznaniu i RDLP w Toruniu wystąpiły silne wiatry, powodując wiatrołomy na powierzchni ok. 80 tys. ha, głównie w drzewostanach sosnowych. Silne wiatry, których częstość wzrosła w ostatnich latach, mogą powodować znaczne szkody, największe w najmniej odpornych na działanie wiatru drzewostanach sosnowych. Proces eutrofizacji siedlisk leśnych, spowodowany głównie znacznym depozytem związków azotowych, powoduje wzrost bonitacji siedlisk i szybszy przyrost drzewostanów. Następuje niekorzystna zmiana proporcji między przyrostem drewna wczesnego i późnego, co obniża mechaniczną odporność drzewa na złamanie. Wydaje się, że istotny wpływ na rozmiar szkód od wiatru ma sposób zagospodarowania lasów, szczególnie metody pozyskania. Zręby zupełne, mimo stosowania zasad ładu przestrzennego, sprzyjają powstawaniu większych szkód od wiatru. Najczęściej w mniejszym lub większym stopniu powodują odsłonięcie ściany lasu, która przyjmuje bezpośrednie uderzenie wiatru, powodując wiatrołomy. Na terenach RDLP w Poznaniu i RDLP w Toruniu, gdzie w 2017 roku wystąpiły szkody od wiatru, w latach 2014-2016 na znacznej powierzchni dokonano zrębów zupełnych. Wśród regionalnych dyrekcji LP charakteryzowały się największą powierzchnią zrębów zupełnych w Polsce.



Ryc. 1. Rozmieszczenie stałych powierzchni obserwacyjnych I i II rzędu oraz powierzchni monitoringu intensywnego (MI) w krainach przyrodniczo-leśnych (2017 rok)

Sposób zagospodarowania ma istotne znaczenie także dla pochłaniania dwutlenku węgla przez lasy. Idea zwiększenia pochłaniania CO₂ realizowana przez projekt rozwojowy Leśne Gospodarstwa Węglowe (LGW), które zostały utworzone w 23 nadleśnictwach na powierzchni ok. 12 tys. ha, ma za zadania: zwiększenie ilości dwutlenku węgla pochłanianego przez ekosystem leśny, głównie drzewostany i glebę, redukcję emisji z obszarów podmokłych oraz magazynowanie węgla na składach drewna. Zadania te mają być wdrażane głównie

działaniami, takimi jak: podsadzenia (4328,66 ha), odnowienia tzw. metodą Sobańskiego (1368,60 ha), odnowienia naturalne (611,60 ha) oraz zalesienia, wprowadzanie gatunków szybko rosnących, stosowanie rębni złożonych, zmiana wieku rębności drzewostanów oraz odnowienia na powierzchniach otwartych. Wydaje się, że zbyt mało uwagi poświęcono sposobom pozyskania i odnowienia powierzchni, które wpływają na poziom zawartości węgla organicznego w glebach. Węgiel organiczny zakumulowany w glebie stanowi ok. 60% węgla zakumulowanego w całej biomase ekosystemu leśnego.

Jednym z działań gospodarki leśnej jest pozyskanie drewna, a następnie przygotowanie powierzchni pod uprawę. Jak oceniono, w ciągu pierwszych 20 lat po wykonaniu zrębu zupełnego, zasoby węgla organicznego w glebie SOC (Covington 1981) zmniejszają się gwałtownie o ponad 50%. Zmniejszenie zasobów SOC na zrębie przypisuje się brakowi/ograniczeniu dopływu opadu liści/igieł, zakłóceniom w rozwoju roślinności runa, zmniejszeniu zasięgu systemów korzeniowych, zmianom reżimu wodnego i temperatury, zwiększonej infiltracji światła przyspieszającej rozkład materii organicznej (Bekele i in. 2007). Inną przyczyną spadku zasobów węgla w glebie po wykonaniu zrębu jest brak okrywy roślinnej ułatwiający erozję (Elliot 2003) oraz wymywanie w głąb rozpuszczalnych frakcji węgla (Kalbitz i in. 2000).

Sposób gospodarowania w lasach w długookresowej perspektywie ma decydujący wpływ na stan zdrowotny drzewostanów i stabilność ekosystemów leśnych.

PROGRAM MONITORINGU LASÓW W 2017 ROKU – *JERZY WAWRZONIAK,* *GRZEGORZ ZAJĄCZKOWSKI*

Program monitoringu lasów realizowany jest na stałych powierzchniach obserwacyjnych (SPO). Wyróżniamy wśród nich: SPO I rzędu rozmieszczone w regularnej sieci 8 x 8 km, SPO II rzędu rozmieszczone w sieci nieregularnej (reprezentujące drzewostany głównych gatunków lasotwórczych: sosnowe, świerkowe, dębowe i bukowe) oraz powierzchnie obserwacyjne z rozszerzonym programem badawczym (monitoring intensywny – SPO MI), wybrane spośród SPO II rzędu.

Pomiary i obserwacje dotyczące drzewostanu przeprowadza się na powierzchniach z drzewostanem, którego wiek przekracza 20 lat, powierzchnie te nazywane są powierzchniami czynnymi. W 2017 roku liczba czynnych powierzchni wynosiła: 2009 wśród SPO I rzędu oraz 138 wśród SPO II rzędu.

W 2017 roku wykonano następujące pomiary i obserwacje:

1. Monitoring uszkodzeń drzewostanów – przeprowadzony na 2009 SPO I rzędu oraz na 138 SPO II rzędu. Na każdej powierzchni oceniono następujące parametry 20 drzew próbnych: gatunek, wiek, status drzewa, stanowisko biosocjalne, defoliację, odbarwienie, pierśnicę, ocienienie i widoczność korony, liczbę roczników igliwia, długość igliwia lub wielkość liści, proporcje przyrostu pędów, typ przerzedzenia korony, udział martwych gałęzi, występowanie pędów wtórnych, urodzaj nasion, intensywność kwitnienia.

2. Monitoring symptomów i przyczyn uszkodzeń drzew – przeprowadzony zarówno na 2009 SPO I rzędu, jak i na 138 SPO II rzędu. Na 20 drzewach próbnych oceniono: miejsce występowania uszkodzenia na drzewie, symptomy uszkodzenia, specyfikację symptomów, kategorię czynnika sprawczego, rozmiar uszkodzenia.

3. Monitoring depozytu zanieczyszczeń – przeprowadzono na 12 SPO MI (monitoringu intensywnego). Próbkę opadów atmosferycznych pobierano w cyklu miesięcznym z dwóch chwytników rozmieszczonych na otwartej przestrzeni. Określono pH oraz skład chemiczny opadów: zawartość Ca, K, Mg, Na, NH_4 , Cl, NO_3 , SO_4 , Al, Mn, Fe oraz metali ciężkich (Cd, Pb, Cu, Zn).

4. Monitoring jakości powietrza atmosferycznego – na otwartej przestrzeni w pobliżu 12 SPO MI przeprowadzono w cyklu miesięcznym pomiary koncentracji SO_2 i NO_2 metodą pasywną (z użyciem próbników dyfuzyjnych typu Amaya).

5. Monitoring opadów podkoronowych i roztworów glebowych – pomiary wykonano na 12 SPO MI. Próbkę pobierano w cyklu miesięcznym z 15 chwytników podkoronowych i 20 lizymetrów PRENART (pobór roztworów glebowych) rozmieszczonych po 10 na każdej z dwu głębokości (25 i 50 cm). Określono pH oraz skład chemiczny uzyskanych próbek: zawartość Ca, K, Mg, Na, NH_4 , Cl, NO_3 , SO_4 , Al, Mn, Fe oraz metali ciężkich (Cd, Pb, Cu, Zn).

6. Monitoring spływu po pniu – próbki spływu po pniu pobierano w cyklu miesięcznym z dwóch SPO MI zlokalizowanych w drzewostanach bukowych. Określono pH oraz skład chemiczny próbek: zawartość Ca, K, Mg, Na, NH_4 , Cl, NO_3 , SO_4 , Al, Mn, Fe i metali ciężkich (Cd, Pb, Cu, Zn).

7. Monitoring parametrów meteorologicznych – w pobliżu 12 SPO MI automatyczne stacje meteorologiczne rejestrowały w cyklu ciągłym: temperaturę powietrza [$^{\circ}\text{C}$] na wysokości 2 m, 0,5 m oraz przy gruncie (na wysokości 5 cm), temperaturę gleby [$^{\circ}\text{C}$] na głębokości 5 cm, 10 cm, 20 cm i 50 cm, wilgotność względną powietrza [%] na wysokości 2 m, wilgotność gleby [dm^3/m^3], promieniowanie [W/m^2] (całkowite i UVB), prędkość [m/s] i kierunek wiatru [$^{\circ}$] oraz opad atmosferyczny [mm].

CZĘŚĆ I MONITORING LASÓW NA STAŁYCH POWIERZCHNIACH OBSERWACYJNYCH I RZĘDU

Tabela 1. Liczba SPO I rzędu wg form własności w układzie krain przyrodniczo-leśnych w 2017 r.

Kraina przyrodniczo-leśna	W zarządzie Lasów Państwowych	Osób fizycznych	W granicach parków narodowych	Pozostałe własności	Własności razem
Bałtycka	244	19	2	7	272
Mazursko-Podlaska	159	44	8	1	212
Wielkopolsko-Pom.	422	52	3	12	489
Mazowiecko-Podl.	121	161	5	4	291
Śląska	133	9	0	8	150
Małopolska	201	151	3	20	375
Sudecka	34	2	1	4	41
Karpacka	89	71	12	7	179
Razem	1403	509	34	63	2009

W 2017 roku przeprowadzono obserwacje na 2009 SPO I rzędu (ryc. 1). Większość powierzchni znajduje się w lasach będących w zarządzie Lasów Państwowych (1403 pow.) oraz w lasach będących własnością osób fizycznych (509 pow.) (tab. 1).

Liczba powierzchni w lasach wszystkich form własności zawiera się w przedziale: 1) w układzie krain przyrodniczo-leśnych: od 41 w Krainie Sudeckiej do 4489 w Krainie

Wielkopolsko-Pomorskiej, 2) w układzie regionalnych dyrekcji LP: od 66 w RDLP w Pile do 178 w RDLP w Białymstoku, 3) w układzie województw: od 40 w województwie opolskim do 207 w województwie mazowieckim.

Liczby powierzchni wg gatunku panującego w drzewostanie wynoszą: powierzchnie z dominacją sosny – 1221, świerka – 81, jodły – 47, innych iglastych – 19, buka – 74, dębu – 137, brzozy – 186, olszy – 140, innych liściastych – 104 (tab. 2).

Tabela 2. Liczba SPO I rzędu w lasach wszystkich form własności, zestawienie według gatunków w układzie krain przyrodniczo-leśnych w 2017 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	23	21	32	26	9	111	272
Mazursko-Podlaska	118	15	0	0	133	0	7	27	35	10	79	212
Wielkopolsko-Pom.	396	3	0	4	403	7	24	23	20	12	86	489
Mazowiecko-Podl.	194	1	0	0	195	0	14	51	26	5	96	291
Śląska	84	2	0	3	89	3	24	13	6	15	61	150
Małopolska	255	3	9	2	269	8	36	32	16	14	106	375
Sudecka	1	20	0	0	21	1	7	3	1	8	20	41
Karpacka	26	27	38	6	97	32	4	5	10	31	82	179
Razem	1221	81	47	19	1368	74	137	186	140	104	641	2009

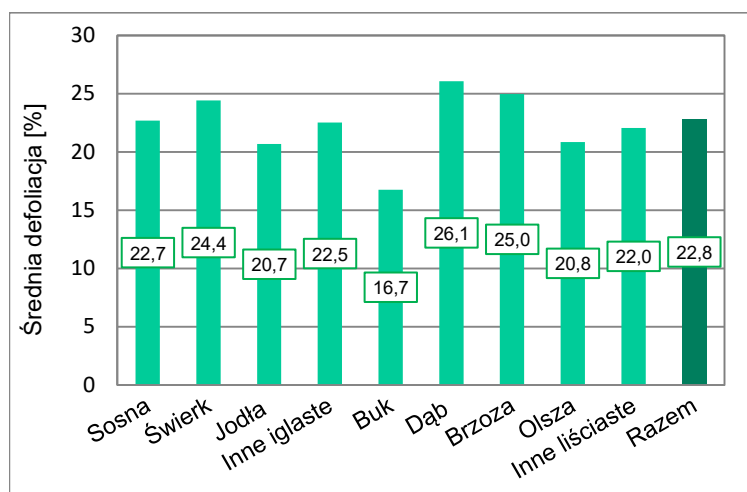
1. OCENA POZIOMU USZKODZENIA MONITOROWANYCH GATUNKÓW DRZEW

– JADWIGA MAŁACHOWSKA

Parametrami oceny poziomu uszkodzenia drzew są następujące charakterystyki: procentowy udział drzew zdrowych (klasa 0, defoliacja 0-10%), procentowy udział drzew uszkodzonych (klasy 2-4, defoliacja > 25% i drzewa martwe) oraz średnia defoliacja drzew. Klasa ostrzegawcza (klasa 1, drzewa lekko uszkodzone, od 11% do 25% defoliacji), rozumiana jako dopełnienie dające w sumie 100% drzew (po zsumowaniu klas od 0 do 4), w większości przypadków nie jest omawiana.

Zróżnicowanie uszkodzenia monitorowanych gatunków drzew w 2017 r. oraz w pięcioleciu 2013-2017

W 2017 r. średnia defoliacja wszystkich gatunków razem wynosiła 22,8% (ryc. 2), iglastych – 22,7%, a liściastych – 23,0%. Udział drzew zdrowych (do 10% defoliacji) gatunków

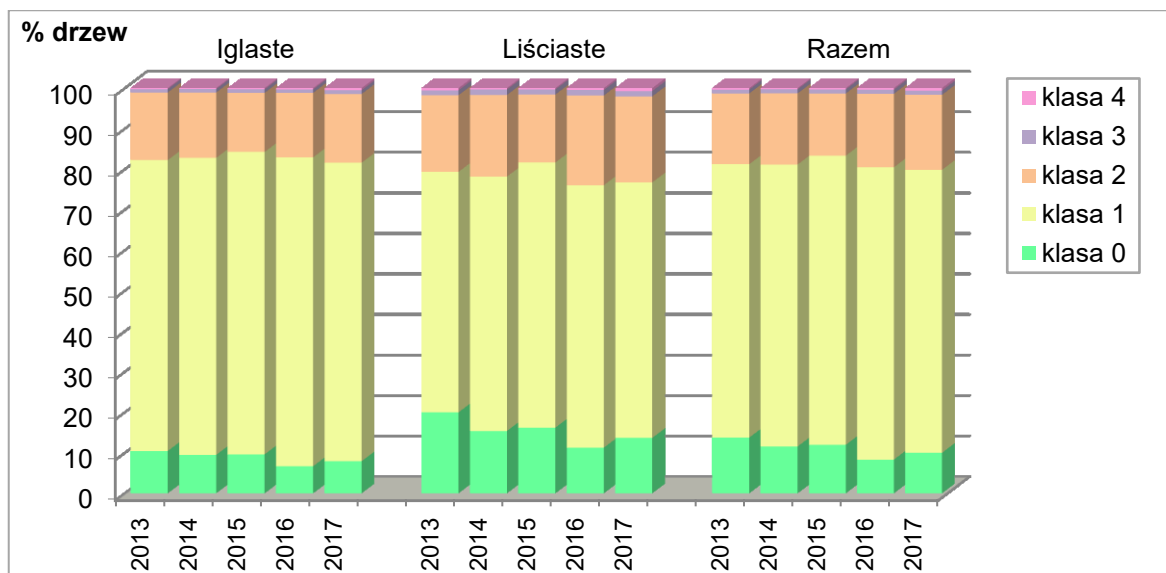


Ryc. 2. Porównanie wartości średniej defoliacji pomiędzy gatunkami drzew w kraju – 2017 r.

razem wynosił 10,0%, a udział drzew uszkodzonych (powyżej 25% defoliacji) – 20,2%. Gatunki liściaste charakteryzowały się wyższym udziałem drzew zdrowych (13,7%) oraz wyższym udziałem drzew uszkodzonych (23,3%) niż gatunki iglaste (odpowiednio: 7,9% i 18,4%). Udział drzew w klasie ostrzegawczej (drzewa lekko

uszkodzone, od 11% do 25% defoliacji) wynosił: gatunków razem – 69,8%, gatunków iglastych – 73,7%, a gatunków liściastych – 63,1% (ryc. 3).

W kolejnych latach pięciolecia 2013-2017 dla gatunków iglastych średnia defoliacja wynosiła: 21,6%, 21,8%, 21,6%, 22,4% i 22,7%; udział drzew zdrowych: 10,4%, 9,5%, 9,6%, 6,7% i 7,9%; a udział drzew uszkodzonych: 17,8%, 17,2%, 15,8%, 17,1% i 18,4%. Dla gatunków liściastych średnia defoliacja wynosiła: 21,4%, 22,2%, 21,4%, 23,2% i 22,9%; udział drzew zdrowych: 20,0%, 15,4%, 16,2%, 11,2% i 13,7%; a udział drzew uszkodzonych: 20,7%, 21,9%, 18,4%, 24,0% i 23,3%.



Ryc. 3. Udział drzew monitorowanych gatunków razem w klasach defoliacji w latach 2013-2017. Wiek powyżej 20 lat. Wszystkie formy własności

Porównanie zmienności kondycji zdrowotnej gatunków iglastych łącznie i liściastych łącznie w pięcioleciu wykazało:

- W 2014 r. kondycja gatunków iglastych nie uległa zmianie, natomiast kondycja gatunków liściastych uległa pogorszeniu, nastąpił spadek udziału drzew zdrowych (o 4,6 punktu procentowego).
- W 2015 kondycja gatunków iglastych ponownie nie zmieniła się, natomiast kondycja gatunków liściastych tym razem poprawiła się, nastąpił spadek udziału 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 2017 r. nie odnotowano znaczącej zmiany w skali kraju.

W 2017 roku kolejność gatunków od najzdrowszych do najbardziej uszkodzonych (ustalona na podstawie analizy trzech parametrów określających zdrowotność: udziału drzew zdrowych, udziału drzew uszkodzonych oraz średniej defoliacji) jest następująca: buk << jodła, olsza, inne liściaste < inne iglaste, sosna < świerk < brzoza < dąb (ryc. 2 i ryc. 3).

W kolejnych latach pięciolecia 2013-2017 średnia defoliacja gatunków razem wynosiła: 21,6%, 21,9%, 21,5%, 22,7% i 22,8%; udział drzew zdrowych wynosił: 13,7%, 11,6%, 11,9%, 8,3% i 10,0%; udział drzew uszkodzonych: 18,8%, 18,9%, 16,7%, 19,5% i 20,2%.

W latach 2014-2015 oraz w roku 2017 ogólna kondycja lasów nie uległa wyraźnej zmianie. W 2016 roku nastąpiło pogorszenie kondycji lasów, wyrażające się spadkiem udziału drzew zdrowych (o 3,6 punktu procentowego) oraz wzrostem udziału drzew uszkodzonych (o 2,8 punktu procentowego).

Uszkodzenia monitorowanych gatunków drzew według form własności lasu w 2017 r.

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. 3, ryc. 4, 5, 6).

Kategoria 'inne iglaste' w lasach będących własnością osób fizycznych, dąb i gatunki z kategorii 'inne iglaste' i 'inne liściaste' w parkach narodowych oraz jodła w lasach 'innych własności razem' – ze względu na małą liczebność próby (poniżej 30 drzew) zostały pominięte w przedstawionym poniżej omówieniu wyników.

Tabela 3. Średnia defoliacja monitorowanych gatunków ogółem oraz według form własności – 2017 r.

Gatunek drzewa	W zarządzie Lasów Państwowych	Osób fizycznych	W zarządzie parków narodowych	Pozostałe własności	Własności razem
Sosna	22,1	24,1	25,0	23,0	22,7
Świerk	23,0	28,5	29,9	21,6	24,4
Jodła	21,3	17,3	30,3	18,7	20,7
Inne iglaste	21,8	41,8	23,9	20,0	22,5
Gat. iglaste	22,2	24,1	27,2	22,5	22,7
Buk	16,5	17,7	18,5	15,8	16,7
Dąb	26,0	24,2	19,2	32,9	26,1
Brzoza	24,2	25,8	29,5	28,4	25,0
Olsza	21,2	20,0	25,3	18,3	20,8
Inne liściaste	22,3	21,8	22,4	21,2	22,0
Gat. liściaste	22,8	22,9	23,1	25,0	22,9
Gat. razem	22,4	23,6	25,3	23,6	22,8

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

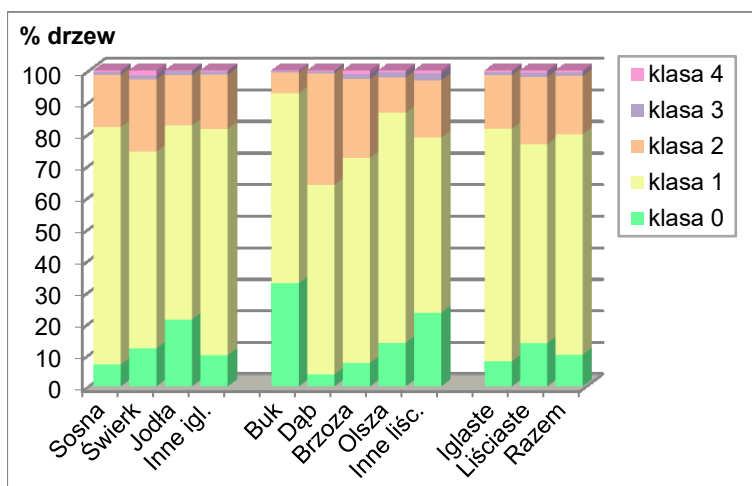
Sosna charakteryzowała się najwyższym uszkodzeniem w parkach narodowych, wysokim w lasach prywatnych, średnim w lasach 'innych własności razem' oraz najniższym w Lasach Państwowych. Udział drzew zdrowych wynosił odpowiednio: 1,6%, 5,7%, 8,6% i 7,3%, udział drzew uszkodzonych: 29,7%, 22,9%, 18,9% i 22,1%, a średnia defoliacja: 25,0%, 24,1%, 23,0% i 22,7% – tab. 3.

Największe uszkodzenie **świerka** występowało w lasach parków narodowych, zanotowano tam najmniej drzew zdrowych (1,7%), najwięcej drzew uszkodzonych (43,6%) oraz najwyższą średnią defoliację (29,9%). Duże

uszkodzenia występowały w lasach będących własnością osób fizycznych (9,7% drzew zdrowych, 36,2% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja równa 28,5%). Niższe uszkodzenie zanotowano w Lasach Państwowych, najniższe w lasach 'innych własności razem'. W lasach

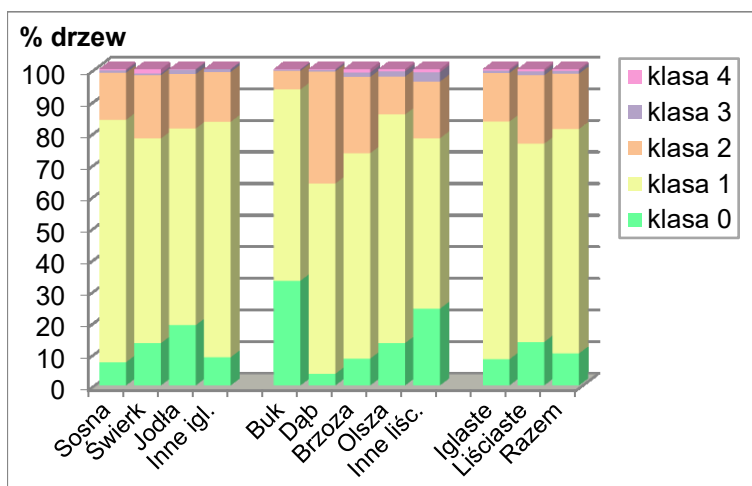
¹ Na potrzeby opracowań monitoringu lasów utworzono grupę powierzchni zlokalizowanych w lasach parków narodowych, na którą składają się powierzchnie 'w zarządzie parków narodowych' (18 pow.) oraz powierzchnie położone w granicach parków narodowych mające inną formę własności (16 pow.): 12 pow. – 'inne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

tych dwóch kategorii własności udział drzew zdrowych wynosił odpowiednio: 13,3% i 15,3%, udział drzew uszkodzonych; 21,9% i 15,3%, a średnia defoliacja: 23,0% i 21,6%.



Ryc. 4. Udział drzew monitorowanych gatunków w klasach defoliacji w 2017 roku. Wszystkie formy własności

drzew zdrowych, 18,8% i 9,9% drzew uszkodzonych, 21,3% i 17,3% wynosiła średnia defoliacja).



Ryc. 5. Udział drzew monitorowanych gatunków w klasach defoliacji w 2017 roku. Lasy w zarządzie Lasów Państwowych

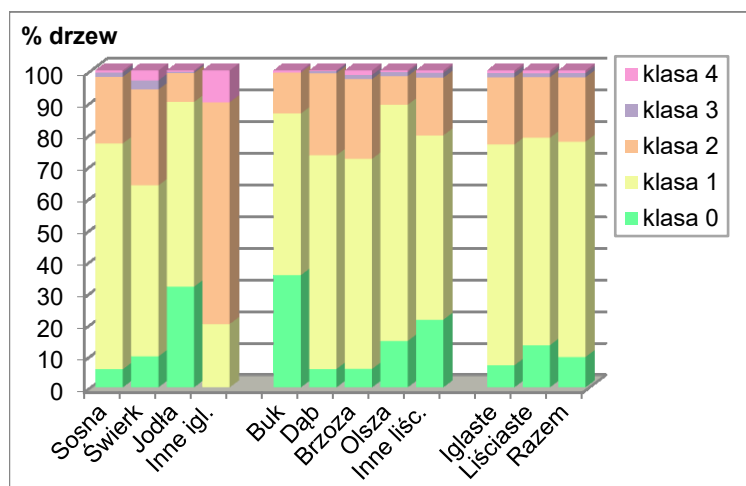
Najbardziej uszkodzone **jodły** obserwowano w lasach parków narodowych (brak drzew zdrowych, 42,2% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja równa 30,3%). Znacznie lepszą kondycją charakteryzowały się jodły w Lasach Państwowych, najlepszą w lasach będących własnością osób fizycznych (odpowiednio: 19,0% i 31,8%

Drzewa kategorii ‘inne **iglaste**’ okazały się zdrowsze w lasach ‘innych własności razem’ niż w lasach pozostających w zarządzie Lasów Państwowych. Udział drzew zdrowych wynosił odpowiednio: 26,2% i 8,9%, udział drzew uszkodzonych: 11,9% i 16,7%, a średnia defoliacja: 20,0% i 21,8%.

Buk charakteryzował się najwyższym uszkodzeniem w parkach narodowych, wysokim w lasach prywatnych, średnim w Lasach Państwowych oraz najniższym w lasach ‘innych własności razem’. Udział drzew zdrowych wynosił odpowiednio: 28,0%, 35,5%, 33,1% i 28,6%, udział drzew uszkodzonych: 9,6%, 13,5%, 6,4% i 3,3%, a średnia defoliacja: 18,5%, 17,7%, 16,5% i 15,8%.

Najbardziej uszkodzone **dęby** zarejestrowano w lasach ‘innych własności razem’ (brak drzew zdrowych, 65,3% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja – 32,9%). Duże uszkodzenia występowały w lasach państwowych, niższe – w lasach będących własnością osób fizycznych

(odpowiednio: 3,6% i 5,8% drzew zdrowych, 36,2% i 26,7% drzew uszkodzonych, 26,0% i 24,2% średniej defoliacji).



Ryc. 6. Udział drzew monitorowanych gatunków w klasach defoliacji w 2017 roku. Lasy będące własnością osób fizycznych. (Inne iglaste – wyniki z 20 drzew)

Największe uszkodzenie **brzozy** występowało w lasach parków narodowych (2,6% drzew zdrowych, 42,1% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja – 29,5%). Wysokie uszkodzenie zanotowano w lasach ‘innych własności razem’ (4,2% drzew zdrowych, 39,8% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja – 28,4%). W lasach będących

własnością osób fizycznych uszkodzenie brzozy było niższe, a w Lasach Państwowych – najniższe (odpowiednio: 5,8% i 8,4% drzew zdrowych, 27,8% i 26,6% drzew uszkodzonych, 25,8% i 24,2% średniej defoliacji).

Najwyższe uszkodzenie **olszy** występowało w lasach parków narodowych (6,7% drzew zdrowych, 28,0% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja – 25,3%). Wysokie uszkodzenie zanotowano w lasach zarządzanych przez Lasy Państwowe (13,4% drzew zdrowych, 14,3% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja – 21,2%). W lasach będących własnością osób fizycznych uszkodzenie olsz było niższe, a w lasach ‘innych własności razem’ – najniższe (odpowiednio: 14,6% i 19,0% drzew zdrowych, 10,8% i 10,3% drzew uszkodzonych, 20,0% i 18,3% średniej defoliacji).

Uszkodzenie drzew z kategorii ‘**inne liściaste**’ nie wykazywało znacznego zróżnicowania w zależności od formy własności lasów. Udział drzew zdrowych zawierał się w przedziale od 21,4% do 30,6%, udział drzew uszkodzonych – w przedziale od 20,4% do 21,9%, a średnia defoliacja – w przedziale od 21,2% do 22,3%.

Najwyższy poziom uszkodzenia drzew (gatunki razem) występował w lasach parków narodowych. Zarejestrowano tam najmniej (8,2%) drzew zdrowych, najwięcej drzew uszkodzonych (29,1%), najwyższa była też średnia defoliacja (25,3%).

Obserwowany wyższy poziom defoliacji drzew w lasach parków narodowych 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.

Najmniej uszkodzone były drzewa w lasach pozostających w zarządzie Lasów Państwowych. Było tam 10,1% drzew zdrowych, najmniej drzew uszkodzonych (18,9%), średnia defoliacja była również najniższa (22,4%).

Uszkodzenie monitorowanych gatunków drzew w zależności od wieku w 2017 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 10,0%, udział drzew uszkodzonych (powyżej 25% defoliacji) – 20,2%, a średnia defoliacja – 22,8%. Wśród drzew młodszych zanotowano 10,6% drzew zdrowych, 18,9% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja wynosiła 22,5%. Wśród drzew starszych udział drzew zdrowych był niższy i wynosił 9,5%, udział drzew uszkodzonych był wyższy i wynosił 21,1%, średnia defoliacja również była wyższa – 23,0%.

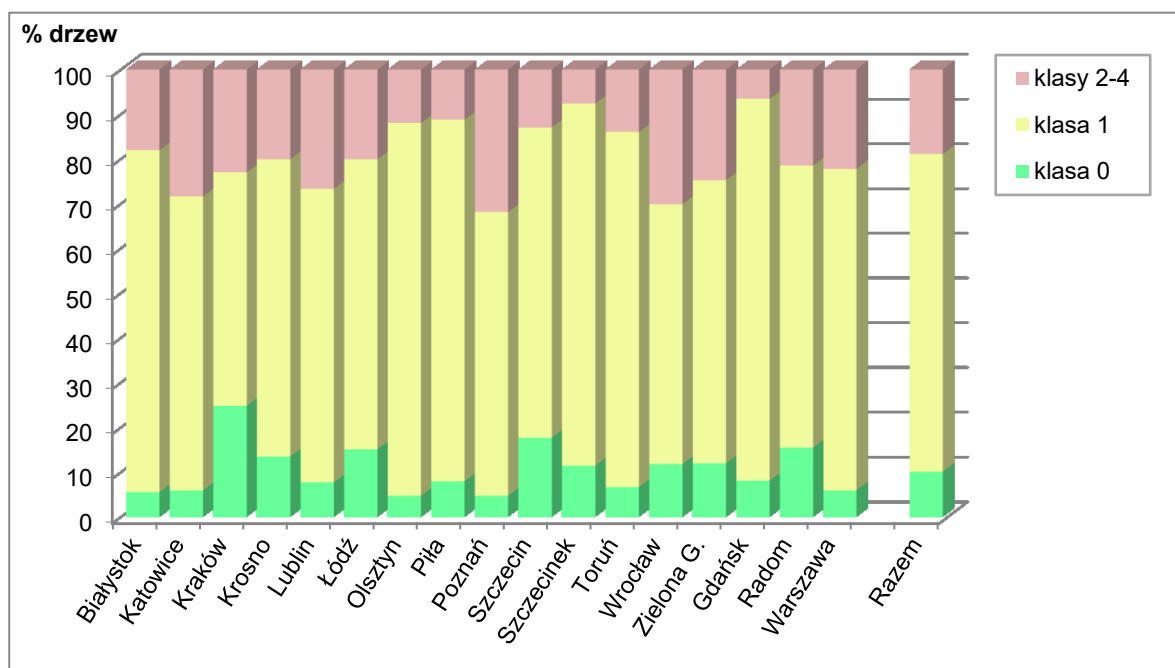
Taki układ udziału drzew zdrowych i uszkodzonych oraz średniej defoliacji w grupach wiekowych wskazuje na niewielkie obniżanie się kondycji drzew w zestawieniu ‘gatunki razem’ wraz ze wzrostem wieku drzew. Powyższa zależność nie została stwierdzona w odniesieniu do gatunków ‘iglastych razem’, natomiast jest silniejsza w przypadku gatunków ‘liściastych razem’. Udział drzew zdrowych, drzew uszkodzonych oraz średnia defoliacja wynosiły odpowiednio: dla gatunków ‘iglastych razem’ – 7,6%, 18,9%, 22,9% u drzew młodszych i 8,1%, 18,1%, 22,6% u drzew starszych oraz dla gatunków ‘liściastych razem’ – 15,4%, 19,0%, 21,9% u drzew młodszych i 12,2%, 26,8%, 23,8% u drzew starszych. Obserwowana w 2017 r. zależność kondycji drzew ‘gatunki razem’ i ‘liściaste razem’ od wieku była również opisywana w latach 2006-2010 i 2012-2016. W 2011 r. nie odnotowano takiej zależności.

W układzie gatunków – spadek kondycji drzew związany z wiekiem (wyrażony wzrostem defoliacji) zaobserwowano: wysoki wśród dębów i brzoź, znaczący – wśród buków, gatunków z grupy ‘inne liściaste’ oraz gatunków z grupy ‘inne iglaste’, niewielki – wśród świerków i jodeł. Nie zanotowano tej zależności u sosny i olszy.

Uszkodzenie monitorowanych gatunków drzew w układzie regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych w 2017 r.

Najzdrowsze okazały się drzewa w lasach RDLP w Szczecinie (17,7% drzew zdrowych, 13% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja – 19,8%) i RDLP w Szczecinku (11,5% drzew zdrowych, 7,6% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja – 18,7%). W niewiele gorszej kondycji były drzewa w lasach RDLP w Gdańsku i RDLP w Pile (8% drzew zdrowych, 6,5% i 11,2% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja równa 19,5% i 20,5%). Dobrą kondycją charakteryzowały się drzewa w lasach RDLP w Krakowie, gdzie udział drzew zdrowych był

najwyższy w zestawieniu (24,8%), ale jednocześnie udział drzew uszkodzonych był dość wysoki (23%), średnia defoliacja wynosiła 21,4% (ryc. 7).



Ryc. 7. Udział drzew monitorowanych gatunków łącznie w klasach defoliacji w układzie regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych (lasy w zarządzie LP) w 2017 r.

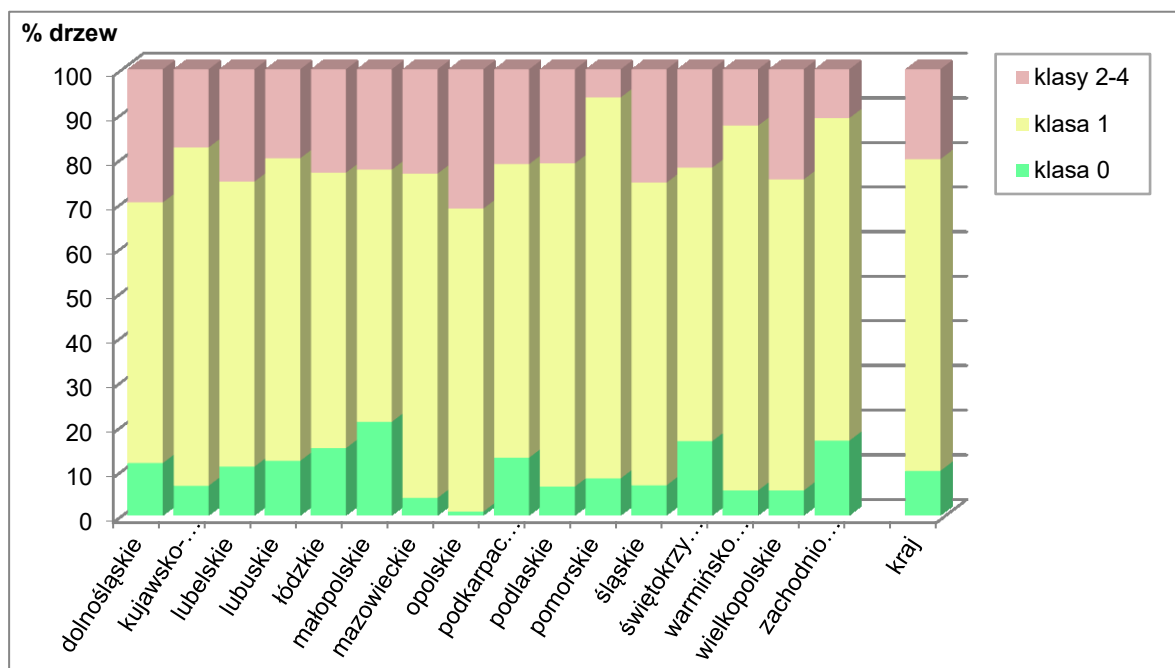
Regionalne dyrekcje LP w Łodzi, Radomiu, Olsztynie i Toruniu zaliczone zostały do grupy rdLP o średnim poziomie uszkodzenia drzew, średnia defoliacja w tych rdLP wynosiła 22%. W RDLP w Łodzi i RDLP w Radomiu zarówno udziały drzew zdrowych (15,1% i 15,5%), jak i udziały drzew uszkodzonych (20,1% i 21,5%) były dość wysokie. W RDLP w Olsztynie i RDLP w Toruniu udziały drzew zdrowych były niskie (4,7% i 6,6%), ale jednocześnie i udziały drzew uszkodzonych (12% i 14%) nie były wysokie.

Lasy w rdLP w Krośnie, Zielonej Górze, Białymstoku i Warszawie charakteryzowały się wysokim poziomem uszkodzenia drzew. W RDLP w Krośnie i RDLP w Zielonej Górze udziały drzew zdrowych były wyższe (13,5% i 12%), w RDLP w Białymstoku i RDLP w Warszawie – niskie (5,5% i 5,9%). Udziały drzew uszkodzonych zawierały się w przedziale od 18,1% do 24,8%, a średnia defoliacja – w przedziale od 23,1% do 24,0%. Do grupy rdLP o wysokim uszkodzeniu należą również RDLP w Lublinie i RDLP we Wrocławiu. W tych rdLP udziały drzew zdrowych wynoszą 7,7% i 11,8%, udziały drzew uszkodzonych są wysokie i wynoszą 26% i 30,1%, średnia defoliacja, również wysoka, wynosi 24% i 24,6%.

Najbardziej uszkodzone były drzewa w lasach RDLP w Katowicach i RDLP w Poznaniu. Zanotowano tu niski udział drzew zdrowych (5,9% i 4,7%), bardzo wysoki udział drzew uszkodzonych (28,4% i 31,9%) i najwyższą średnią defoliację (25,3% i 25,8%) (ryc. 7).

Uszkodzenie drzew w układzie województw w 2017 r.

Najzdrowsze okazały się drzewa (gatunki razem) w lasach województw zachodniopomorskiego i pomorskiego (odpowiednio: 16,7% i 8,3% drzew zdrowych, 10,9% i 6,3% drzew uszkodzonych oraz 19,2% i 19,1% średniej defoliacji (ryc. 8).



Ryc. 8. Udział drzew monitorowanych gatunków łącznie w klasach defoliacji w układzie województw w 2017 r.

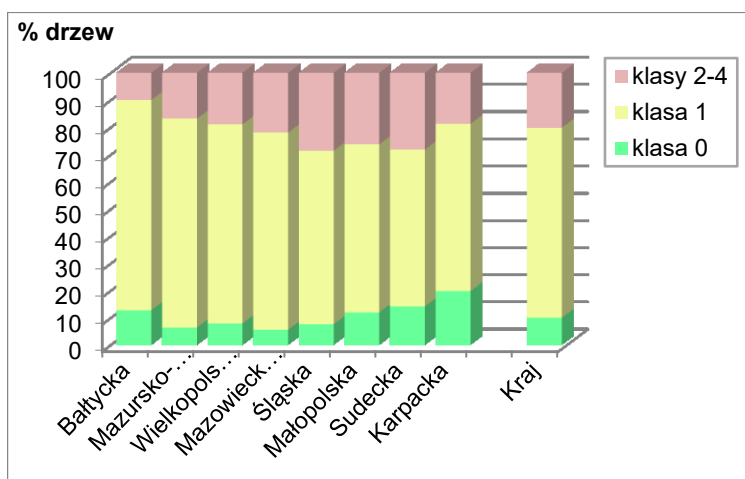
Dobłą kondycją charakteryzowały się drzewa w lasach województwa małopolskiego: 20,9% drzew zdrowych, 22,5% drzew uszkodzonych i 22,2% średniej defoliacji.

Województwa: świętokrzyskie, warmińsko-mazurskie, lubuskie, łódzkie, podkarpackie i kujawsko-pomorskie można zaliczyć do grupy województw o średnim poziomie uszkodzenia drzew – średnia defoliacja nie przekraczała 23,3%, natomiast udziały drzew zdrowych i uszkodzonych były zróżnicowane (wynosiły odpowiednio: od 5,6% do 16,6% i od 12,7% do 23,2%).

Lasy w województwach lubelskim, podlaskim, mazowieckim, wielkopolskim, śląskim i dolnośląskim charakteryzowały się wysokim poziomem uszkodzenia drzew. Udział drzew zdrowych zawierał się w przedziale od 3,9% do 11,7%, udział drzew uszkodzonych – od 21,1% do 29,9%, średnia defoliacja – od 23,5% do 24,5%.

Najbardziej uszkodzone były drzewa w lasach województwa opolskiego (najniższy udział drzew zdrowych – 0,9%, najwyższy udział drzew uszkodzonych – 31,3% i najwyższa średnia defoliacja – 25,6%) (ryc. 8).

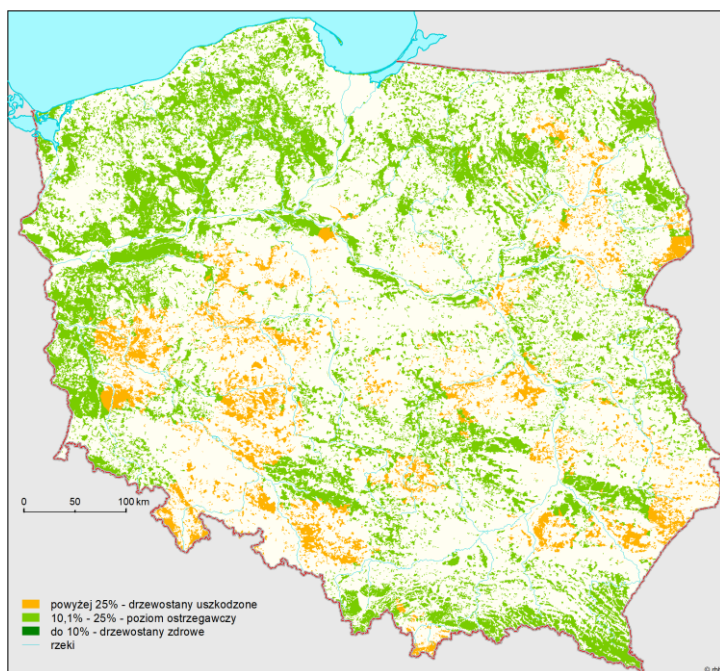
Uszkodzenie drzew w układzie krain przyrodniczo-leśnych w 2017 r. oraz w pięcioleciu 2013-2017



Ryc. 9. Udział drzew monitorowanych gatunków łącznie w klasach defoliacji w układzie krain przyrodniczo-leśnych w 2017 r.

Krainie Karpackiej: najwyższy wśród krain udział drzew zdrowych (19,8%), udział drzew uszkodzonych na średnim poziomie (18,7%) i niska średnia defoliacja (21,6%).

Krainy: Mazursko-Podlaska i Wielkopolsko-Pomorska zaliczone zostały do grupy krain o średnim poziomie uszkodzenia drzew. Zanotowano niski udział drzew zdrowych (6,4% i 7,9%) oraz niezbyt wysoki udział drzew uszkodzonych (16,8% i 18,9%), średnia defoliacja wynosiła 23,2% i 22,5%.



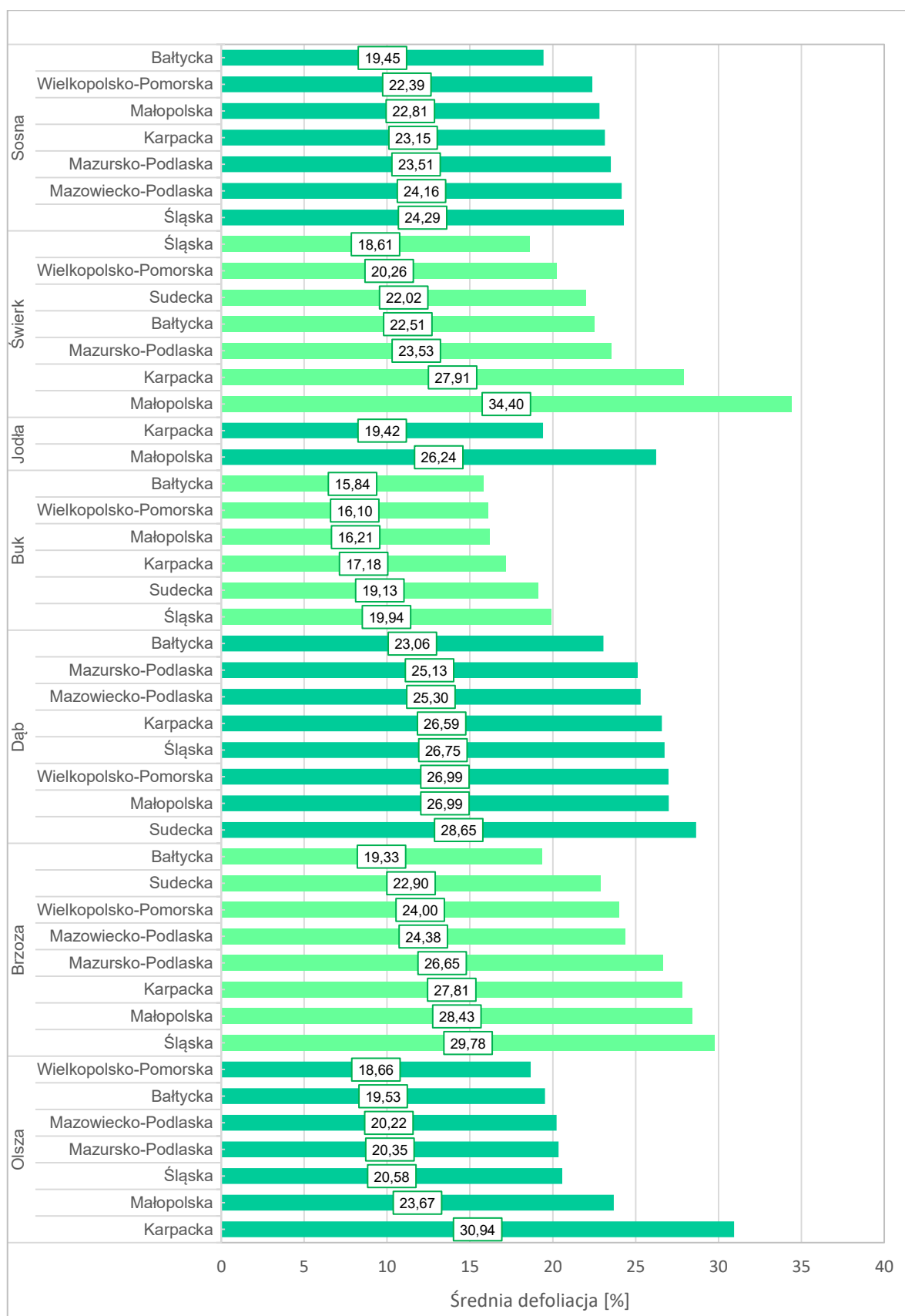
Ryc. 10. Poziom uszkodzenia lasów w 2017 r. na podstawie oceny defoliacji na stałych powierzchniach obserwacyjnych z wyróżnieniem 3 klas defoliacji

niższy (odpowiednio: 5,5% i 21,9%), średnia defoliacja wynosiła 23,9%.

W 2017 r. najzdrowsze okazały się drzewa w lasach Krainy Bałtyckiej: zanotowano wysoki w porównaniu z innymi krainami udział drzew zdrowych (12,8%), najniższy udział drzew uszkodzonych (10,0%) i najniższą średnią defoliację (19,6%). (ryc. 9).

Niewiele gorszą kondycją charakteryzowały się drzewa w

Lasy Krain: Sudeckiej, Małopolskiej i Mazowiecko-Podlaskiej charakteryzowały się podwyższonym poziomem uszkodzenia drzew. W Krainach Sudeckiej i Małopolskiej udziały drzew zdrowych utrzymywały się na poziomie od 12% do 14%, udział drzew uszkodzonych i średnia defoliacja były wysokie (26,3% i 28,2% drzew uszkodzonych oraz 23,8% i 24,0% średniej defoliacji). W Krainie Mazowiecko-Podlaskiej zarówno udział drzew zdrowych, jak i udział drzew uszkodzonych był nieco



Ryc. 11. Średnie wartości defoliacji wg grup gatunków w krainach przyrodniczo-leśnych – 2017 r.

Najbardziej uszkodzone były drzewa w lasach Krainy Śląskiej: niski udział drzew zdrowych (7,6%), najwyższy w zestawieniu udział drzew uszkodzonych (28,6%) i najwyższa średnia defoliacja (25,0%).

Porównano kondycję monitorowanych gatunków drzew w lasach poszczególnych krain przyrodniczo-leśnych. Ze względu na zbyt małą liczbę drzew (do 30 sztuk) poszczególnych gatunków w kilku krainach wyłączono z analizy: sosnę w Krainie Sudeckiej, świerk – w Krainie Mazowiecko-Podlaskiej, jodłę – w sześciu krainach (oprócz Karpackiej i Małopolskiej), buk – w Krainie Mazowiecko-Podlaskiej i Krainie Mazursko-Podlaskiej oraz olszę – w Krainie Sudeckiej. Udziały drzew monitorowanych gatunków i grup gatunków w klasach defoliacji 2-4 przedstawia rycina 11.

Najzdrowsze sosny, dęby oraz brzozy występowały w Krainie Bałtyckiej, najzdrowsze świerki – w Krainie Śląskiej, jodły – w Krainie Karpackiej, buki – w Krainie Małopolskiej, olsze – w Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej. Średnie defoliacje wynosiły odpowiednio: 19,4%, 23,1%, 19,3%, 18,6%, 19,4%, 16,2%, 18,7%.

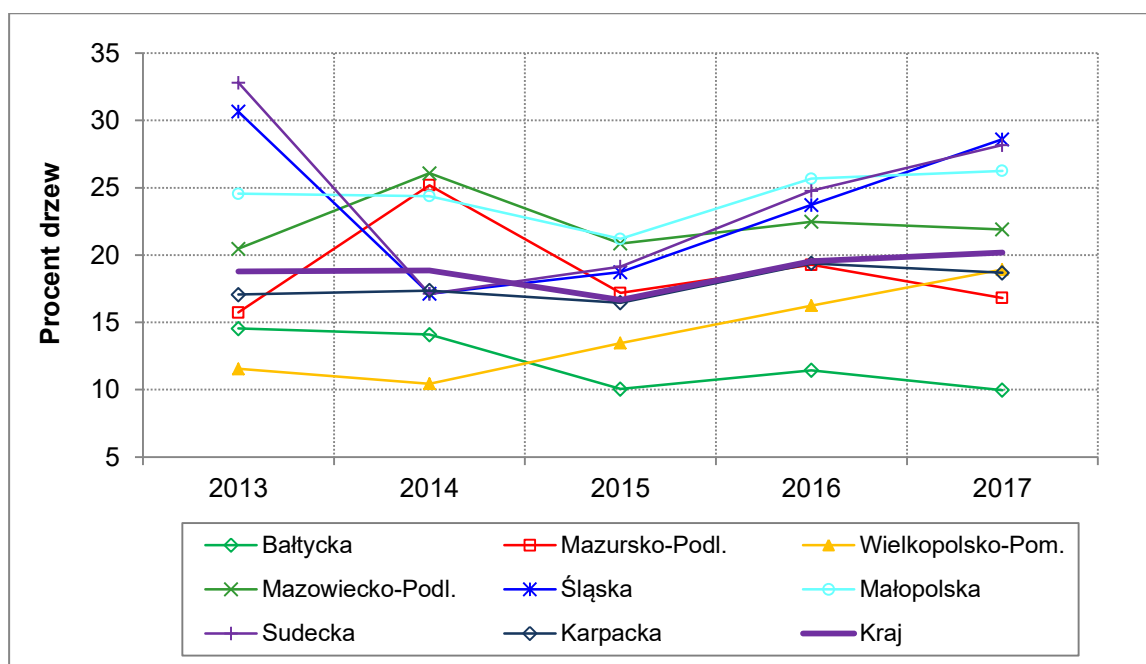
Najwyższy poziom uszkodzenia sosny występował w lasach Krainy Mazowiecko-Podlaskiej i Krainy Śląskiej, świerka i jodły – w Krainie Małopolskiej, dębu – w Krainie Sudeckiej, buka i brzozy – w Krainie Śląskiej, natomiast olszy – w Krainie Karpackiej. Średnie defoliacje wynosiły odpowiednio: 24,3%, 34,4%, 26,2%, 28,7%, 19,9%, 29,8%, 30,9%.

Zmienność geograficzna uszkodzenia drzew (gatunki razem) w pięcioleciu 2013-2017 była różna w różnych regionach kraju. Porównano wyniki obserwacji w układzie krain przyrodniczo-leśnych – ryc. 12.

Kondycja drzew w lasach Krainy Bałtyckiej przez całe pięciolecie była bardzo dobra. Udział drzew uszkodzonych był niewielki, wyrównany, wynosił 14,5% w 2013 r. oraz 10,0% w 2017 r. Udział drzew zdrowych oraz średnia defoliacja wynosiły odpowiednio: 18,3% i 20,0% na początku pięciolecia oraz 12,8% i 19,6% na końcu.

Kraina Karpacka charakteryzowała się średnim, dość stabilnym poziomem uszkodzenia drzew w lasach w pięcioleciu. W 2013 r. udział drzew zdrowych wynosił 21,7%, udział drzew uszkodzonych 17,1%, a średnia defoliacja – 20,6%. W kolejnych latach pięciolecia parametry te nie ulegały dużym zmianom i ostatecznie w 2017 r. wynosiły odpowiednio: 19,8%, 18,7% i 21,7%.

Drzewa w lasach Krainy Małopolskiej charakteryzowały się wysokim poziomem uszkodzenia na tle innych krain. W 2013 r. udział drzew zdrowych wynosił 9,5%, udział drzew uszkodzonych – 24,6%, a średnia defoliacja – 23,5%. W latach 2013-2015 uszkodzenie zmalało, a w latach 2015-2017 – wzrosło do poziomu nieco wyższego, niż było na początku pięciolecia.



Ryc. 12. Udział drzew monitorowanych gatunków razem w klasach defoliacji 2-4 w krainach przyrodniczo-leśnych w latach 2013-2017. Wiek powyżej 20 lat. Wszystkie formy własności

Krainy Sudecka i Śląska wykazują podobną zmienność uszkodzenia drzew w lasach w pięcioleciu. Są to krainy, które na początku pięciolecia charakteryzowały się najwyższym, ponad 30%, udziałem drzew w klasach 2-4. W 2014 r. udział ten znacznie obniżył się (do 17%, osiągając poziom średni w skali kraju), natomiast w następnych latach stale rósł i ostatecznie w 2017 r. osiągnął poziom niewiele niższy niż w 2013 r. (ok. 28% udziału drzew uszkodzonych, najwyższe uszkodzenia w porównaniu z innymi regionami). Średnia defoliacja wynosiła w tych krainach w 2013 r. odpowiednio 24,3% i 24,8%, a w 2017 r. – 25,0% i 23,8%.

Krainy Mazursko-Podlaska i Mazowiecko-Podlaska charakteryzują się podobnym przebiegiem zmienności uszkodzenia drzew w lasach w pięcioleciu. Jednak poziom uszkodzenia drzew w tych krainach jest różny, w pierwszej – niższy, a w drugiej – wyższy. Na początku pięciolecia udział drzew zdrowych wynosił odpowiednio: 20,8% i 9,4%, udział drzew uszkodzonych – 15,7% i 20,5%, a średnia defoliacja – 20,2% i 22,6%. W 2017 r. wartości te wynosiły odpowiednio: 6,4% i 5,5% drzew zdrowych, 16,8% i 21,9% drzew uszkodzonych oraz 23,2% i 23,9% średniej defoliacji.

W Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej kondycja drzew w lasach uległa znacznemu pogorszeniu. Na początku pięciolecia drzewa charakteryzowały się niskim poziomem uszkodzenia na tle innych krain (11,5% drzew zdrowych, 11,6% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja równa 19,9%), natomiast w 2017 r. uszkodzenie wzrosło do poziomu średniego (udział drzew zdrowych zmniejszył się do 7,9%, udział drzew uszkodzonych oraz średnia defoliacja wzrosły, odpowiednio do 18,9% i 22,5%).

Uszkodzenie drzew w układzie parków narodowych w 2017 r.

Ogółem w parkach narodowych poddano obserwacjom 680 drzew (na 34 powierzchniach), w tym 185 sosen (w 9 parkach), 117 świerków (w 7 parkach), 45 jodeł (w 5 parkach), 18 drzew z kategorii 'inne iglaste' (w 2 parkach), 125 buków (w 6 parkach), 12 dębów (w 1 parku), 76 brzoź (w 4 parkach), 75 olszy (w 4 parkach), 27 drzew z kategorii 'inne liściaste' (w 3 parkach).

Udział drzew zdrowych wśród wszystkich drzew poddanych obserwacjom wynosił 8,2%, udział drzew uszkodzonych – 29,1%, średnia defoliacja – 25,3%. Gatunki 'iglaste razem' charakteryzowały się wyższym uszkodzeniem niż gatunki 'liściaste razem'. Wśród 'iglastych razem' udział drzew zdrowych wynosił 1,6%, udział drzew uszkodzonych – 34,8%, a średnia defoliacja – 27,2%. Wśród 'liściastych razem' wartości porównywanych parametrów wynosiły odpowiednio: 15,9%, 22,5% i 23,1%.

Porównano poziom uszkodzenia poszczególnych gatunków w parkach narodowych, z wyłączeniem dębu, gatunków z kategorii 'inne iglaste' i 'inne liściaste' (ze względu na małą liczebność próby – poniżej 30 drzew). Najlepszą kondycją charakteryzował się buk, średnią – sosna i olsza. Brzoza i świerk charakteryzowały się mocno osłabioną kondycją. Jodła była najbardziej uszkodzona.

Ze względu na małą liczbę drzew poddanych analizie uszeregowanie parków narodowych od najzdrowszych do najbardziej uszkodzonych jest wysoce niepewne.

Regionalne dyrekcje LP uszeregowane grupami według kondycji drzew w lasach (2017 r.) od najzdrowszych do najbardziej uszkodzonych: Szczecin, Szczecinek < Kraków, Gdańsk, Piła < Łódź, Radom, Olsztyn, Toruń < Krosno, Białystok, Zielona Góra, Warszawa < Wrocław, Lublin < Katowice, Poznań.

Województwa uszeregowane grupami według kondycji drzew w lasach (2017 r.) od najzdrowszych do najbardziej uszkodzonych: zachodniopomorskie, pomorskie < małopolskie < świętokrzyskie, warmińsko-mazurskie, lubuskie < łódzkie, podkarpackie, kujawsko-pomorskie < lubelskie, podlaskie < dolnośląskie, śląskie < wielkopolskie, mazowieckie < opolskie.

Krainy przyrodniczo-leśne uszeregowane grupami według kondycji drzew w lasach (2017 r.) od najzdrowszych do najbardziej uszkodzonych: Bałtycka < Karpacka < Mazursko-Podlaska, Wielkopolsko-Pomorska < Sudecka, Małopolska, Mazowiecko-Podlaska < Śląska.

2. OCENA SYMPTOMÓW I PRZYCZYN USZKODZEŃ DRZEW – *PAWEŁ LECH*

W 2017 roku łącznie na wszystkich powierzchniach SPO I rzędu stwierdzono 40 916 uszkodzeń drzew, które występowały na 28 300 drzewach (70,4% ocenianych drzew, o 4 punkty procentowe więcej niż w 2016 r.). Na 17 249 drzewach stwierdzono występowanie jednego uszkodzenia, na 9486 drzewach – dwóch uszkodzeń, a na 1565 drzewach – trzech.

Nieuszkodzonych było łącznie 11 880 drzew, czyli 29,6% ocenianych drzew (w 2016 r. udział drzew nieuszkodzonych wynosił 33,3%). Wśród gatunków iglastych najwięcej drzew bez uszkodzeń cechowało sosnę (40,3% drzew bez uszkodzeń), zaś spośród gatunków liściastych – buk (24,4%). Najniższy udział drzew bez uszkodzeń zanotowano wśród gatunków iglastych u świerka (24,2% drzew), natomiast wśród gatunków liściastych – u olszy (5,5% drzew). W 2017 roku w porównaniu do roku poprzedniego udział drzew nieuszkodzonych wyraźnie zmniejszył się w przypadku wszystkich głównych gatunków lasotwórczych.

Średnia liczby uszkodzeń przypadających na 1 drzewo (gatunki razem) wynosiła 1,01 i była większa niż w 2016 r. (tab. 4). U większości gatunków drzew stwierdzono przeciętnie powyżej 1 uszkodzenia/drzewo, najwięcej wśród dębów (1,60 uszkodzenia/drzewo). Jedynie u sosny, jodły i domieszkowych gatunków iglastych wartości tego parametru były mniejsze od jedności (odpowiednio: 0,77, 0,94 i 0,69 uszkodzenia/drzewo). Przeprowadzona analiza trendów zmian nasilenia występowania uszkodzeń drzew w latach 2011-2017 (test Manna-Kendalla) wykazała brak wyraźnego trendu w przypadku świerka, jodły i domieszkowych gatunków iglastych, zaś w przypadku pozostałych gatunków drzew oraz łącznie dla wszystkich badanych drzew – wzrost nasilenia częstości występowania uszkodzeń (tab. 4).

Tabela 4. Wskaźnik występowania uszkodzeń na drzewach badanych gatunków w klasach wieku (2017 r.) oraz trend zmian wskaźnika występowania uszkodzeń na jednym drzewie w latach 2011-2017 określony za pomocą testu Manna-Kendalla

Gatunek	Średnia liczba uszkodzeń na jednym drzewie w 2017 r. w zależności od wieku drzewa				Średnia liczba uszkodzeń na jednym drzewie w kolejnych latach pięciolecia 2011-2017							Trend
	21-40	41-60	61-80	>80	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Sosna	0,61	0,70	0,77	0,90	0,55	0,57	0,62	0,67	0,71	0,74	0,77	W
Świerk	1,12	1,09	0,96	0,98	1,08	0,87	0,95	1,01	0,99	1,04	1,03	N
Jodła	0,74	0,86	0,75	1,09	0,65	0,86	0,98	0,95	0,97	1,00	0,94	N
Inne iglaste	0,50	0,66	0,89	0,74	0,73	0,64	0,57	0,56	0,62	0,66	0,69	N
Dąb	1,56	1,55	1,56	1,66	1,23	1,10	1,31	1,47	1,30	1,37	1,60	W
Buk	1,06	1,12	1,20	1,11	0,80	0,80	0,92	1,04	1,01	1,20	1,13	W
Brzoza	1,10	1,31	1,40	1,61	0,78	0,81	0,94	1,13	1,15	1,24	1,31	W
Olsza	1,43	1,44	1,45	1,57	1,22	1,04	1,00	1,17	1,26	1,33	1,47	W
Inne liściaste	1,35	1,37	1,52	1,46	0,88	0,96	1,07	1,22	1,32	1,45	1,43	W
Razem	0,94	0,95	1,03	1,10	0,72	0,72	0,78	0,87	0,91	0,97	1,01	W

W – wzrost, N – brak trendu

Wraz z wiekiem u sosny, jodły, dębu, brzozy, olszy i innych gatunków liściastych następował wzrost średniej liczby uszkodzeń występujących na 1 drzewie. W przypadku pozostałych gatunków drzew brak tendencji tego typu (tab. 4).

Zróźnicowanie pomiędzy krainami przyrodniczo-leśnymi pod względem średniej liczby uszkodzeń przypadającej na jedno drzewo w 2017 r. nie było znaczące. Zawierało się w przedziale od 0,85 w Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej do 1,17 w Krainie Sudeckiej. Największe różnice pomiędzy krainami przyrodniczo-leśnymi pod względem liczby uszkodzeń na jednym drzewie stwierdzono u sosny oraz buka i domieszkowych gatunków liściastych. Wysokim nasileniem występowania uszkodzeń na drzewach gatunków iglastych cechowały się Krainy Mazowiecko-Podlaska i Kraina Małopolska, a na drzewach gatunków liściastych – krainy: Sudecka, Śląska i Karpacka.

Tabela 5. Liczba uszkodzeń przypadająca na 1 drzewo danego gatunku w krainach przyrodniczo-leśnych w 2017 r. oraz trend zmian tego wskaźnika w latach 2013-2017 określony za pomocą testu Manna-Kendalla

Kraina przyrodniczo-leśna	Gatunki iglaste				Gatunki liściaste					Średnia – gatunki razem w latach					Trend 2013-2017
	Sosna	Świerk	Jodła	Inne iglaste	Dąb	Buk	Brzoza	Olsza	Inne liściaste	2013	2014	2015	2016	2017	
Bałtycka	0,81	1,09	0,00	0,80	1,69	0,99	1,42	1,60	1,26	0,71	0,86	0,80	0,89	1,09	W
Mazursko-Podlaska	0,77	1,03	0,00	0,05	1,52	0,30	1,12	1,24	1,15	0,68	0,72	0,96	0,95	0,96	W
Wielkopolsko-Pomorska	0,70	1,13	0,00	0,76	1,60	0,76	1,21	1,50	1,19	0,61	0,69	0,67	0,75	0,85	W
Mazowiecko-Podlaska	0,88	1,36	0,00	1,11	1,31	0,00	1,06	1,35	1,56	0,72	0,89	0,97	0,99	1,02	W
Śląska	0,51	0,78	0,00	0,40	1,89	1,51	1,56	1,70	2,10	0,78	0,96	0,91	1,01	1,08	W
Małopolska	0,86	1,26	1,13	1,24	1,54	0,78	1,62	1,66	1,36	0,92	1,01	1,02	1,07	1,09	W
Sudecka	0,29	0,91	0,50	0,24	1,85	1,30	1,50	1,93	1,57	0,92	1,22	1,19	1,23	1,17	N
Karpacka	0,71	1,02	0,90	0,67	1,47	1,36	1,45	1,87	1,42	1,15	1,14	1,17	1,33	1,15	N

W – wzrost

N – brak trendu

W porównaniu do 2016 r. odnotowano wzrost średniej liczby uszkodzeń przypadających na 1 drzewo w sześciu krainach, natomiast spadek – w Krainie Sudeckiej i Krainie Karpackiej. Wykonana analiza trendów dla okresu 2013-2017 wykazała podobną prawidłowość, wzrost stwierdzono w 6 krainach, a brak trendu w dwóch (Sudecka i Karpacka) (tab. 5).

Pomiędzy regionalnymi dyrekcjami LP zróźnicowanie średniej liczby uszkodzeń przypadającej na jedno drzewo było większe niż pomiędzy krainami przyrodniczo-leśnymi – od 0,60 (RDLP w Pile) do 1,70 (RDLP w Krośnie). Mniejsza niż przeciętna dla całej Polski liczba uszkodzeń na 1 drzewie (0,97 uszkodzenia/drzewo) wystąpiła w dziewięciu rdLP (Katowice, Lublin, Olsztyn, Piła, Poznań, Szczecin, Szczecinek, Toruń i Zielona Góra), w pozostałych rdLP

oraz w parkach narodowych była wyższa i przekraczała wartość 1. W czternastu rdLP w 2016 r. w porównaniu do 2015 r. odnotowano wzrost średniej liczby uszkodzeń występujących na 1 drzewie, zaś jedynie w trzech rdLP – spadek. Największą średnią liczbą uszkodzeń na jednym drzewie cechowały się sosny w RDLP w Białymstoku i RDLP w Łodzi (odpowiednio: 0,99 i 0,91 uszkodzenia/drzewo), świerki i jodły w RDLP w Łodzi (odpowiednio: 1,67 i 1,75 uszkodzenia/drzewo). W przypadku dębu we wszystkich rdLP średnia liczba uszkodzeń na jednym drzewie przekraczała wartość 1,0, w sześciu rdLP zawierała się w przedziale od 1,51 do 2,0 uszkodzeń/drzewo, natomiast w trzech rdLP (w Krośnie, Szczecinie i Zielonej Górze) oraz w parkach narodowych osiągała wartość powyżej 2,0 uszkodzeń/drzewo. W przypadku buka i brzozy najwięcej uszkodzeń występujących na 1 drzewie stwierdzono w rdLP w Krośnie i Szczecinie (odpowiednio 1,76 i 1,58 oraz 2,18 i 1,97 uszkodzenia/drzewo). Najwięcej uszkodzeń na olszach stwierdzono w rdLP w Krośnie, Gdańsku, Wrocławiu i Krakowie (1,91, 1,86, 1,81 i 1,80 uszkodzenia/drzewo). Wykonana analiza trendów wykazała, że w 8 rdLP (w Białymstoku, Lublinie, Pile, Szczecinie, Szczecinku, Toruniu, Wrocławiu i Radomiu) oraz w parkach narodowych w latach 2013-2017 następował wzrost średniej liczby uszkodzeń na jednym drzewie, natomiast w pozostałych rdLP nie stwierdzono trendu zmian nasilenia występowania uszkodzeń drzew.

Na charakter występujących zagrożeń wskazuje zestawienie najczęściej stwierdzanych lokalizacji i symptomów uszkodzeń zarejestrowanych dla danego drzewa oraz związanych z nimi czynników sprawczych w układzie poszczególnych gatunków drzew (tab. 6).

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 (43,6% wszystkich wskazanych lokalizacji uszkodzeń), w tym przede wszystkim „pień pomiędzy szyją korzeniową i koroną” (28,4%), oraz liście lub igły – 41,4% (tab. 6). Udział gałęzi, pędów i pączków oraz korzeni i szyi korzeniowej, jako miejsc występowania uszkodzeń, był dużo mniejszy (odpowiednio: 11,2% i 3,8% wszystkich lokalizacji uszkodzeń).

Wśród gatunków iglastych najczęściej występującą lokalizacją występowania uszkodzeń była strzała, zaś wśród gatunków liściastych – liście. W przypadku sosny poza strzałą uszkodzenia występowały licznie na igłach (8,5%) i nieco mniej licznie na gałęziach, pędach i pączkach (6,1%). Podobne proporcje występowały u świerka, jodły i iglastych gatunków domieszkowych. Strzała była drugim pod względem udziału miejscem występowania uszkodzeń u wszystkich monitorowanych gatunków liściastych. Najmniejszym udziałem lokalizacji

uszkodzeń zarówno gatunków iglastych, jak i liściastych cechowały się korzenie i szyja korzeniowa.

Symptomy uszkodzeń

Najczęściej identyfikowanymi symptomami uszkodzeń w przypadku wszystkich gatunków razem oraz wszystkich gatunków liściastych był „ubytek igieł/liści” (35,9% wszystkich stwierdzonych uszkodzeń oraz od 38,6% uszkodzeń u buka do 69,0% uszkodzeń u olszy). Znaczący był również udział „deformacji” (21,6% wszystkich uszkodzeń), które przeważały u sosny, jodły i domieszkowych gatunków iglastych (odpowiednio 33,6%, 26,1% i 20,1% wszystkich uszkodzeń). Dominującym symptomem uszkodzenia w przypadku świerka był symptom „wycieki żywicy” (23,1% stwierdzonych uszkodzeń). Mniejszymi udziałami cechowały się „rany” (9,8%), których udział był wysoki w przypadku świerka, buka i jodły (odpowiednio 21,4%, 17,3% i 17,1%), a także drzewa „pochylone” (7,7%) i „martwe, obumierające gałęzie” (6,0% wszystkich symptomów uszkodzeń). Udział pozostałych symptomów był znacząco niższy i zawierał się w przedziale od 5,1% do 0,1%.

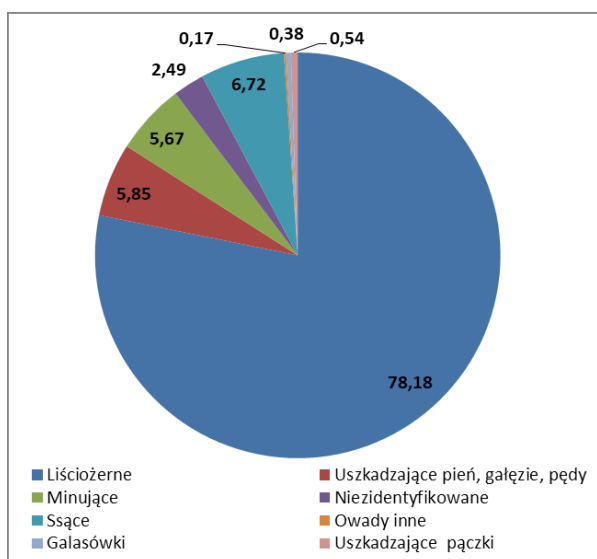
Tabela 6. Najczęściej występujące lokalizacje, symptomy i czynniki sprawcze uszkodzeń występujących na drzewach badanych gatunków – 2017 r.

Gatunek	Liczba uszkodzeń	Najczęściej występująca lokalizacja			Najczęściej występujący symptom			Najczęściej występujący czynnik sprawczy			
		Miejsce	Liczba	Udział	Nazwa	Liczba	Udział	Nazwa	Liczba	Udział 2016	Udział 2017
Sosna	17 201	Pień pomiędzy szyją korz. a koroną	6303	36,6%	Deformacje	5787	33,6%	Badane niezidentyfikowane	6421	39,0%	37,4%
Świerk	1863	Pień pomiędzy szyją korz. a koroną	904	48,5%	Wycieki żywicy	430	23,1%	Badane niezidentyfikowane	581	32,1%	31,3%
Jodła	975	Pień pomiędzy szyją korz. a koroną	318	32,6%	Deformacje	255	26,1%	Badane niezidentyfikowane	306	32,8%	31,4%
Inne iglaste	361	Pień pomiędzy szyją korz. a koroną	160	43,4%	Deformacje	74	20,1%	Badane niezidentyfikowane	159	41,2%	43,1%
Dąb	5050	Liście	3404	67,4%	Ubytek igieł/liści	2522	49,9%	Owady	2345	45,3%	46,4%
Buk	1909	Liście	854	44,7%	Ubytek igieł/liści	736	38,6%	Owady	733	39,5%	38,4%
Brzoza	5735	Liście	3489	60,8%	Ubytek igieł/liści	2805	48,9%	Owady	2805	43,3%	50,2%
Olsza	3968	Liście	2744	69,2%	Ubytek igieł/liści	2738	69,0%	Owady	2542	59,9%	64,1%
Inne liściaste	3909	Liście	2214	56,6%	Ubytek igieł/liści	1834	46,9%	Owady	1681	38,9%	43,0%
Łącznie	40 978	Liście	12 705	31,0%	Ubytek igieł/liści	14 702	35,9%	Badane niezidentyfikowane	11 728	31,1%	28,6%

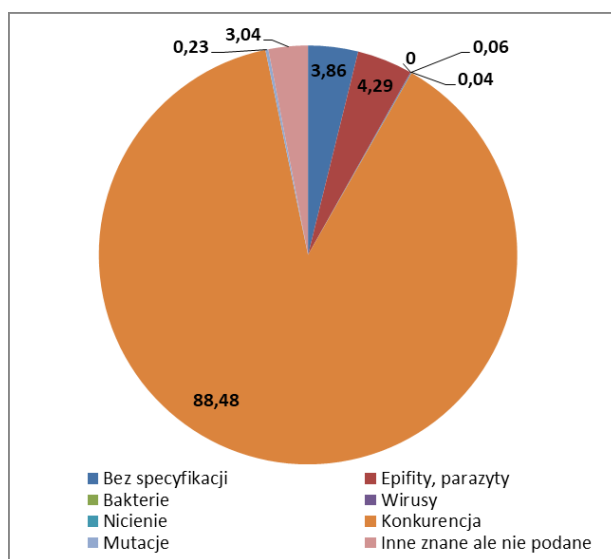
Czynniki sprawcze

Spośród wyróżnionych kategorii czynników sprawczych uszkodzeń drzew najwyższy udział (poza kategorią „badano, nie zidentyfikowano” stanowiącą 28,6% wszystkich przypadków – tab. 6), miały „owady” (27,9%) oraz „konkurencja i inne czynniki” (24,0%, z czego większość stanowi podkategoria „konkurencja”) (ryc. 13). Znacznie rzadziej wskazywano na „grzyby” (6,9%), „bezpośrednie oddziaływanie człowieka” (5,8%) oraz „czynniki abiotyczne” (5,3%).

„Konkurencja i inne czynniki” odpowiadały za 37,2% wszystkich uszkodzeń sosny, 23,9% uszkodzeń jodły, 23,6% uszkodzeń domieszkowych gatunków iglastych oraz 23,3% uszkodzeń świerka. W odniesieniu do gatunków liściastych udział tego czynnika sprawczego był znacząco mniejszy, najwyższą wartość osiągając dla brzozy (17,4%). „Owady” stanowiły najczęściej wymienianą kategorię czynników sprawczych w przypadku uszkodzeń olszy (64,1%), brzozy (49,7%), dębu (46,4%), domieszkowych gatunków liściastych (43,0%) i buka (38,4%) – tab. 6. Wśród sprawców uszkodzeń wywołanych przez owady u wszystkich gatunków liściastych dominowały foliofagi, natomiast w przypadku sosny i świerka przeważały kambiofagi (tzw. szkodniki wtórne, uszkadzające pień, gałęzie i pędy), zaś w przypadku jodły – owady ssące.



Uszkodzenia spowodowane przez „owady” (11,1% uszkodzeń z tej kategorii wystąpiło na drzewach gatunków iglastych, a 88,9% - na drzewach gatunków liściastych)



Uszkodzenia spowodowane przez „konkurencję i inne czynniki” (72,8% uszkodzeń z tej kategorii wystąpiło na drzewach gatunków iglastych, a 27,2% - na drzewach gatunków liściastych)

Ryc. 13. Uszkodzenia spowodowane przez „owady” oraz „konkurencję i inne czynniki”

„Grzyby” miały znaczny udział, jako przyczyna uszkodzeń drzew w przypadku jodły (23,1%), mniejszy w przypadku dębu (15,6%), buka (12,7%) oraz domieszkowych gatunków liściastych (10,5%), natomiast „bezpośrednie działanie człowieka” w odniesieniu do domieszkowych gatunków iglastych (12,5%), buka (10,7%) i świerka (9,9%). Pozostałe kategorie czynników sprawczych nie miały znaczącego udziału w powstawaniu uszkodzeń poszczególnych gatunków drzew.

Odsetek drzew, dla których pomimo wykonanej oceny nie udało się określić czynnika sprawczego, wynosił w 2017 roku 28,6% i był o 2,5% mniejszy niż w roku 2016. Udział uszkodzeń „badano, nie zidentyfikowano” w przypadku gatunków iglastych, zawierał się w przedziale od 31,2% do 43,1%. W odniesieniu do gatunków liściastych niezidentyfikowanych czynników sprawczych było znacząco mniej – od 14,9% do 23,7%.

W 2017 r. odnotowano ponad 70,4% drzew z uszkodzeniami. Najwięcej uszkodzeń wśród gatunków liściastych występowało na dębach i olszach, wśród gatunków iglastych – na świerku (odpowiednio: 1,6, 1,47 i 1,03 uszkodzeń na jednym drzewie).

W 2017 r. w porównaniu do roku poprzedniego udział drzew nieuszkodzonych wyraźnie zmniejszył się w przypadku wszystkich głównych gatunków lasotwórczych.

Układ najczęściej występujących lokalizacji, symptomów i czynników sprawczych uszkodzeń w 2017 r. był podobny jak w latach poprzednich.

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

Najczęściej występujące symptomy uszkodzeń to „ubytek liści/igieł” (35,9% wszystkich uszkodzeń oraz od 38,6% uszkodzeń u buka do 69,0% uszkodzeń u olszy). W przypadku sosny, jodły i domieszkowych gatunków iglastych najczęściej występowały „deformacje” (odpowiednio: 32,0% i 27,3% uszkodzeń), a w przypadku świerka – „wycieki żywicy” (23,1% uszkodzeń).

Wśród zidentyfikowanych czynników sprawczych najczęściej rejestrowano „owady” (27,9%) oraz „konkurencję i inne czynniki” (24,0%). Wśród owadów dominowały foliofagi, uszkadzające w największym stopniu gatunki liściaste.

Nastąpiła znacząca poprawa identyfikowania przyczyn występujących uszkodzeń (o ponad 2,5%) w porównaniu do roku 2016.

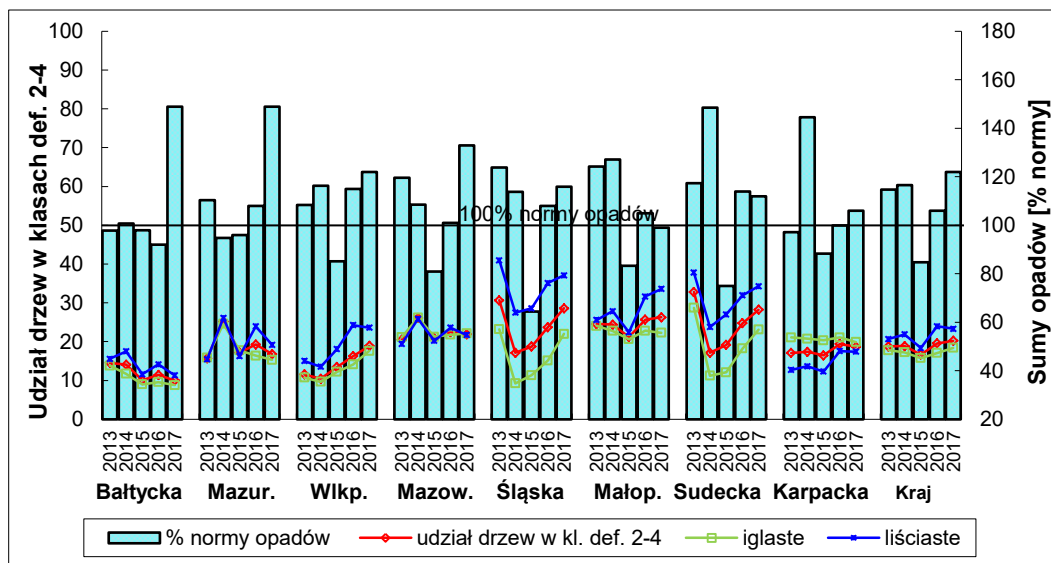
3. WPŁYW WARUNKÓW POGODOWYCH NA ZDROWOTNOŚĆ DRZEWOSTANÓW

– JADWIGA MAŁACHOWSKA

W 2017 r. średnia suma opadów w kraju w okresie od 1 marca do 31 lipca, wyliczona na podstawie wyników z 22 stacji synoptycznych IMGW stanowiła najwyższą wartość w pięcioleciu, wynosiła 343 mm, co stanowi 122% wieloletniej normy. Najmniej obfite opady w

pięcioleciu wystąpiły w 2015 r. (239 mm = 85% normy), (Biuletyny IMGW z lat 2013-2017), (ryc. 14).

W pięcioleciu średnio w kraju niewielkie ilości opadów deszczu (od 24% do 70% normy wieloletniej) zanotowano w 2013 r. – w lipcu i sierpniu, w 2015 r. – w kwietniu, czerwcu i sierpniu (alarmująco niskie opady – 24% normy) oraz w 2016 r. – we wrześniu. Opady obfite, osiągające wartość od 125% do 197% normy występowały w 2013 r. – w maju, czerwcu i we wrześniu, w 2014 r. – w marcu i w maju, w 2016 r. – w lipcu oraz w 2017 r. – w marcu, kwietniu, lipcu i we wrześniu.



Ryc. 14. Uszkodzenie drzew (gatunki razem, iglaste i liściaste) oraz suma opadów [% normy] od 1 marca do 31 lipca w latach 2013-2017 w krainach przyrodniczo-leśnych (Biuletyny IMGW z lat 2011-2017)

W większości krain i rdLP obfitość opadów w całym pięcioleciu była zadowalająca. Lokalnie pojawiały się niedobory opadów (do 75% normy): w 2015 r. – w Krainie Śląskiej i Krainie Sudeckiej oraz w rdLP we Wrocławiu, Łodzi i Katowicach, w 2016 r. – w RDLP w Szczecinie, w 2017 r. – w RDLP w Krośnie. Niewielkie niedobory opadów (76% do 85% normy) występowały w 2013 r. – w RDLP w Szczecinku, w 2014 r. – w RDLP w Olsztynie, w 2015 r. – w krainach Mazowiecko-Podlaskiej, Wielkopolsko-Pomorskiej i Małopolskiej, oraz w rdLP w Krakowie, Krośnie, Warszawie, Olsztynie i Toruniu.

W większości krain w latach 2013-2014 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. 14). 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 może być konsekwencją tego zjawiska.

Średnie temperatury w kolejnych miesiącach sezonu wegetacyjnego 2017 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 3,6°C do 7,3°C, w kwietniu od 4,6°C do 8,4°C, w maju od 11,1°C do 14,6°C, w czerwcu od 15,8°C do 19,1°C, w lipcu od 15,8°C do 19,6°C, w sierpniu od 16,9°C do 20,3°C i we wrześniu od 10,8°C do 13,9°C.

Średnia suma opadów deszczu w kraju w okresie od 1 marca do 31 lipca 2017 r. wynosiła 343 mm, co stanowi 122% wieloletniej normy. Najmniej obfite opady w pięcioleciu wystąpiły w 2015 r. (239 mm = 85% normy) (wg Biuletynów IMGW z lat 2013-2017).

W 2017 r. w większości krain nie było okresów przedłużającej się suszy, która mogłaby być przyczyną pogorszenia się stanu koron drzew.

4. SUSZE NA TERENIE POLSKI W LATACH 2010-2017 I ICH WPŁYW NA DEFOLIACJĘ – ANDRZEJ BOCZOŃ, ROBERT HILDEBRAND

W skali globalnej w latach 1902-2008 co roku 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 skali krajowej. Takie działania mogą stanowić podstawę do opracowywania strategii łagodzenia skutków suszy (Wang i inni, 2014).

Występowanie suszy na terenie lasów w Polsce określono na podstawie dwóch wskaźników: klimatycznego bilansu wodnego i liczby dni deficytu wody glebowej. Analizą objęto okres od 2010 r. do 2017 r. 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, Cybinka, Dobieszyn, Gościno, Krotoszyn, Kup, Łągów, Niepołomice, Parciaki, Płońsk, Poddębice, Rudy, Spychowo, Susz, Włodawa i Wronki. Okresowy brak danych uzupełniano z najbliższego punktu pomiarowego tworzącego leśną sieć stacji meteorologicznych.

Klimatyczny bilans wodny (CWB) jest różnicą przychodu wody z opadami i rozchodem wody w procesie ewapotranspiracji (BP-EVT). Wskaźnik został obliczony na podstawie ewapotranspiracji dobowej obliczonej wzorem Penmana-Monteitha.

Klimatyczny bilans wodny określono dla roku kalendarzowego (CWBR) i dla półrocza ciepłego od kwietnia do września (CWBL).

Deficyt wody glebowej. Wyznaczanie suszy glebowej w skali kraju oparto na określeniu dostępności wody glebowej dla roślin w referencyjnym ekosystemie leśnym, za który uznano najliczniej reprezentowany w lasach Polski średniowiekowy bór sosnowy, rosnący na słabych glebach piaszczystych – rdzawych bielicowych.

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.

Zgodnie z zasadami retencjonowania wody w glebie obliczenia przeprowadzono przy warunkach brzegowych:

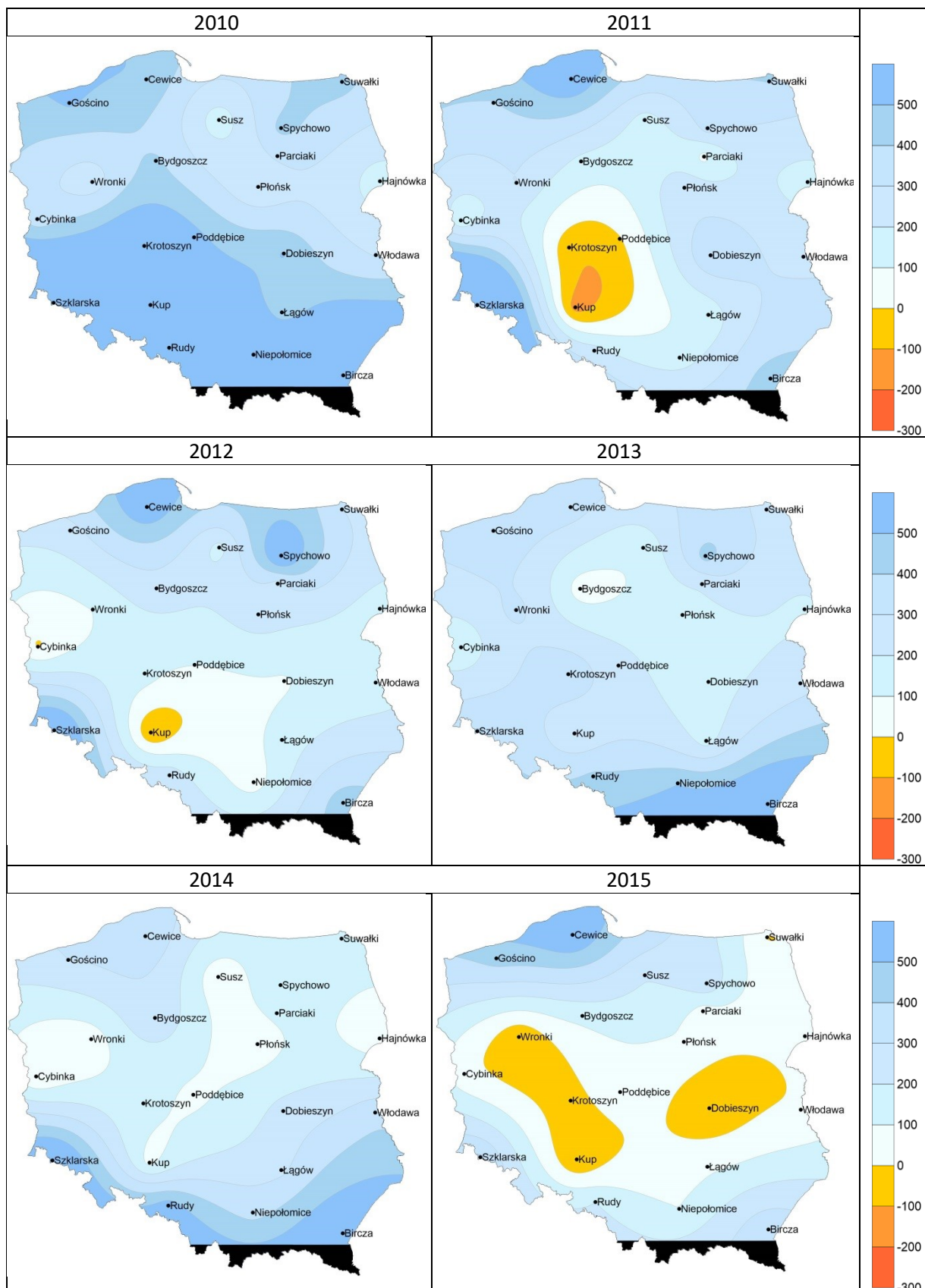
1. SWS przy $pF=2,0$ – górna granica ilości wody, jaka może zostać zatrzymana w glebie;
2. SWS przy $pF=4,2$ – dolna granica ilości wody dostępnej.

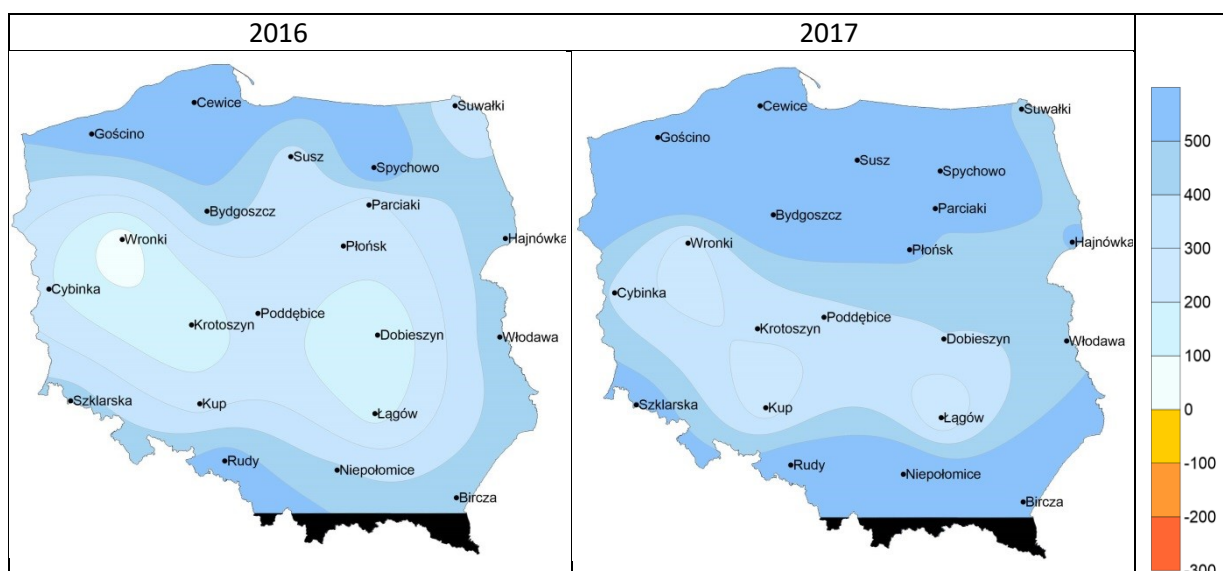
Opad docierający do gleby w drzewostanie został zmniejszony o intercepcję drzewostanów, która została obliczona, stosując model Liu (1997, 2001). Pojemność wodną koron określono metodą użytą w modelu Kondo (2001) (S_{max} wg Komatsu i in. 2008).

Liczbę dni z deficytem wody glebowej przedstawiono w ujęciu lat kalendarzowych (LDR) i dla miesięcy intensywnego wzrostu drzew (maj-lipiec) – LDL.

Wyznaczenie izolinii zasięgu suszy wykonano w programie SURFER 13, z wykorzystaniem warstwy granic Polski udostępnianej przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii.

Defoliacja. Wpływ suszy na stan drzewostanów określono, posługując się różnicą defoliacji poszczególnych drzew między kolejnymi dwoma latami na powierzchniach monitoringu lasu, w poszczególnych strefach wystąpienia suszy i zróżnicowania klimatycznego bilansu wodnego. Łącznie na wszystkich powierzchniach analizowano 37 127 drzew. W analizie posłużono się wartościami średnimi różnic defoliacji w wyznaczonych strefach poszczególnych wskaźników występowania suszy.

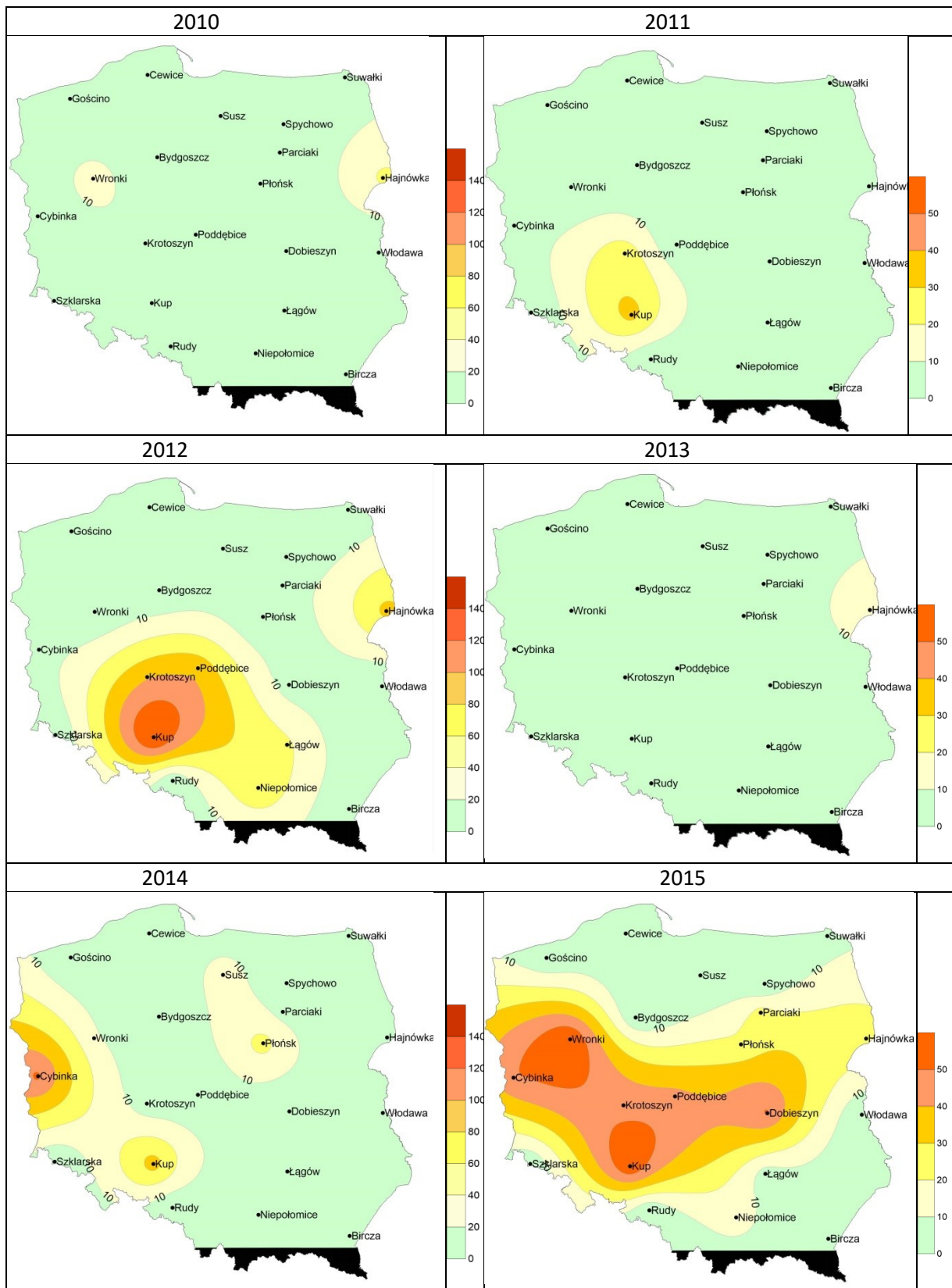


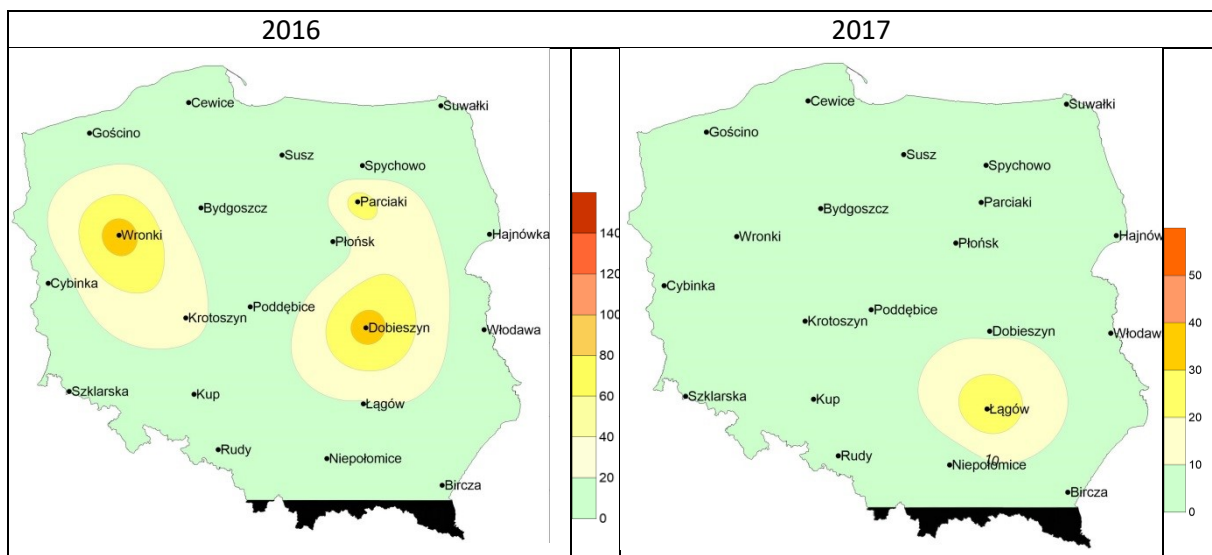


Ryc. 15. Klimatyczny bilans wodny w Polsce w latach 2010-2017 w okresie lat kalendarzowych

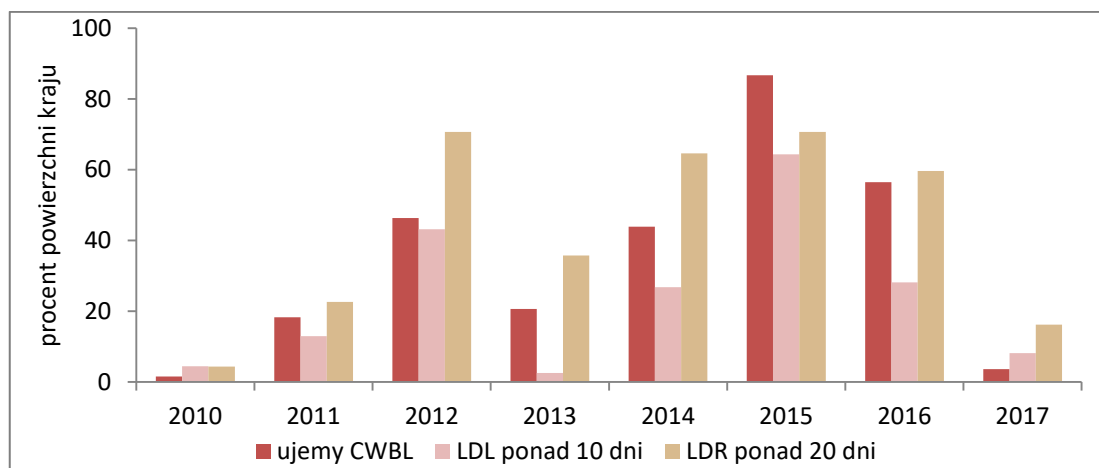
Warunki klimatyczno-wodne na terenie Polski w latach 2010-2017

Początek i koniec rozpatrywanego okresu charakteryzowały podobne, dobre warunki wilgotnościowe. Roczny klimatyczny bilans wodny (CWB) wskazywał w latach 2010 i 2017 nadmiar przychodu wody nad jej rozchodem (ryc. 15). W miesiącach od maja do września jedynie lokalnie występował niewielki deficyt wody. Także wskaźnik deficytu wody glebowej wskazuje w tych latach na występującą jedynie lokalnie niewielką liczbę dni z suszą. Klimatyczny bilans wodny lat kalendarzowych pokazuje przewagę przychodu wody nad jej rozchodem na terenie całego kraju także w latach 2013, 2014 i 2016. W miesiącach ciepłych deficyt wilgoci obejmował we wszystkich latach mniejszą lub większą część kraju. W latach 2010 i 2017 deficyt wilgoci w miesiącach letnich objął najmniejszą powierzchnię kraju, odpowiednio: 1,6% i 3,6% (ryc. 16, ryc. 17). W tych dwóch latach na najmniejszej powierzchni kraju wystąpił deficyt wody glebowej w więcej niż 20 dniach w roku kalendarzowym. Natomiast w okresie maj-lipiec susza występująca dłużej niż 10 dni objęła najmniejszą powierzchnię kraju w latach 2010, 2013 i 2017, odpowiednio: 4,2%, 2,5% i 8,2%. Zdecydowanie najgorsze warunki wilgotnościowe miały miejsce w 2015 r., kiedy wszystkie zastosowane wskaźniki wskazują na duży deficyt wilgoci obejmujący cały obszar kraju, z wyłączeniem północnej i południowej części. Największe nasilenie suszy w tym roku objęło centralną część kraju od zachodniej do wschodniej granicy. Klimatyczny bilans wodny półrocza ciepłego pokazał deficyt wilgoci przekraczający 200 mm w pasie od Wielkopolski po Opolszczyznę i na północno-wschodnich krańcach kraju. W Wielkopolsce i na Opolszczyźnie zanotowano ponad 50 dni z deficytem wody glebowej w miesiącach V-VII (ryc. 16). Niedobór wilgoci miesięcy letnich w 2015 r. objął niemal całą Polskę – 86,8% (ryc. 17).





Ryc. 16. Liczba dni deficytu wody glebowej w Polsce w latach 2010-2017 od maja do lipca



Ryc. 17. Procent powierzchni kraju z ujemnym klimatycznym bilansem wodnym miesięcy letnich, liczbą dni suszy większą od 10 od maja do lipca, liczbą dni suszy większą od 20 w roku kalendarzowym

W przypadku miesięcy maj-lipiec w 2012 r. liczba dni suszy ponad 10-dniowej objęła o około 20% mniejszą powierzchnię kraju niż w 2015 r. W 2011 r. złe warunki wilgotnościowe panowały głównie na Opolszczyźnie, Dolnym Śląsku i w południowej Wielkopolsce (ryc. 15, ryc. 16). Ujemny CWBL objął obszar 18,3% kraju, ponad 10 dni suszy w miesiącach V-VII wystąpiło na obszarze 13% kraju, ponad 20 dni suszy w roku kalendarzowym objęło 22,6% kraju (ryc. 17). W 2014 susze objęły całą centralną część kraju. Ujemny CWBL miał miejsce na 44% powierzchni kraju, ponad 10 dni suszy w miesiącach V-VII – 27% powierzchni kraju, ponad 20 dni suszy w roku kalendarzowym – 64,6% powierzchni kraju. W 2016 r. deficyt wody występował w centralnej części kraju (ryc. 16, ryc. 17). Ujemny CWBL został obliczony dla 56,5% powierzchni kraju, ponad 10 dni suszy w miesiącach V-VII – 28,2% powierzchni kraju, ponad 20 dni suszy w roku kalendarzowym – 59,7% powierzchni kraju (ryc. 17).

Wpływ warunków wodnych na stan zdrowotny drzewostanów

W latach 2010-2017 średnia defoliacja drzewostanów zwiększyła się o blisko 2%. Pogarszający się stan drzewostanów mógł być powodowany warunkami wodno-glebowymi, w szczególności deficytem wody glebowej dostępnej dla roślin. Rozpatrując warunki wilgotnościowe i wpływ, jakie wywierały na stan ulistnienia drzewostanów w roku kolejnym, zauważamy wyraźną relację w przypadku zmiany defoliacji w latach 2012 i 2013. W tych latach wyraźnie widać zależność między zmianą defoliacji a warunkami wilgotnościowymi roku poprzedniego. Zwiększanie wartości klimatycznego bilansu wodnego zarówno w ujęciu roku kalendarzowego, jak i miesięcy letnich, skutkowało zmniejszaniem defoliacji drzewostanów. Na terenach z dodatnim klimatycznym bilansem wodnym średnia zmiana defoliacji osiągała wartości ujemne, czyli drzewostany charakteryzowały się lepszym ulistnieniem. Na terenach z ujemnym klimatycznym bilansem wodnym zmiana defoliacji osiągała wartości dodatnie, czyli ulistnienie drzewostanów się pogarszało. Wyraźne zależności wystąpiły w tych latach także w przypadku liczby dni z deficytem wody glebowej. Wraz ze wzrostem liczby dni z niedoborem wody glebowej zarówno w ujęciu rocznym, jak i w miesiącach maj-lipiec, dochodziło do zwiększania się wartości zmiany defoliacji, czyli ulistnienie drzewostanów było coraz mniejsze.

Za zaskakujące można uznać duży wzrost defoliacji w przypadku dobrych warunków wilgotnościowych (wysokie CWBR) i małą defoliację przy dużej liczbie dni suszy (LBR). Może to być powodowane małymi liczebnościami drzew, które występowały w tych strefach, ale także faktem nałożenia się innych czynników stresowych, w tym także niekorzystnych warunków wilgotnościowych w latach przed 2015 r., jak i w roku rozpatrywanym, tj. 2016.

Procent powierzchni kraju, na którym w ciągu roku wystąpiła susza trwająca ponad 40 dni był największy w 2015 r., wysoki – w 2012 roku, w obu latach objął 71% powierzchni kraju, Susza występująca w 2012 r. dotyczyła głównie miesięcy poza maksymalnym wzrostem drzew.

Z kolei rok 2017 charakteryzował się dobrymi warunkami wilgotnościowymi.

W okresie 2010-2017 średnia defoliacja drzewostanów zwiększyła się o blisko 2%. Pogarszający się stan drzewostanów mógł być powodowany warunkami wodno-glebowymi, w szczególności deficytem wody glebowej dostępnej dla roślin.

Szczególny efekt wystąpienia suszy stwierdzono w 2016 r. Rok 2015 charakteryzowała najbardziej intensywna susza, która jednocześnie objęła największy obszar kraju. Na ekstremalnie złe warunki wilgotnościowe panujące w glebie wskazały wszystkie zastosowane wskaźniki. W następnym roku po suszy defoliacja drzewostanów wzrosła w stosunku do wartości z poprzedniego roku we wszystkich strefach wyznaczonych przez wskaźniki susz, niezależnie od wartości wskaźników, które zostały obliczone.

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

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

Na pięciu powierzchniach gatunkiem dominującym 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).

5. WIELKOŚĆ DEPOZYTU WNOSZONEGO Z OPADAMI ATMOSFERYCZNYMI – ANNA KOWALSKA

Badania składu chemicznego opadów na terenach leśnych Polski prowadzone są w ramach monitoringu intensywnego w dwunastu punktach pomiarowych zlokalizowanych w pobliżu stałych powierzchni obserwacyjnych monitoringu intensywnego (SPO MI) poza zasięgiem koron drzew, z reguły w sąsiedztwie stacji meteorologicznych (ryc. 18).

Skład chemiczny opadów

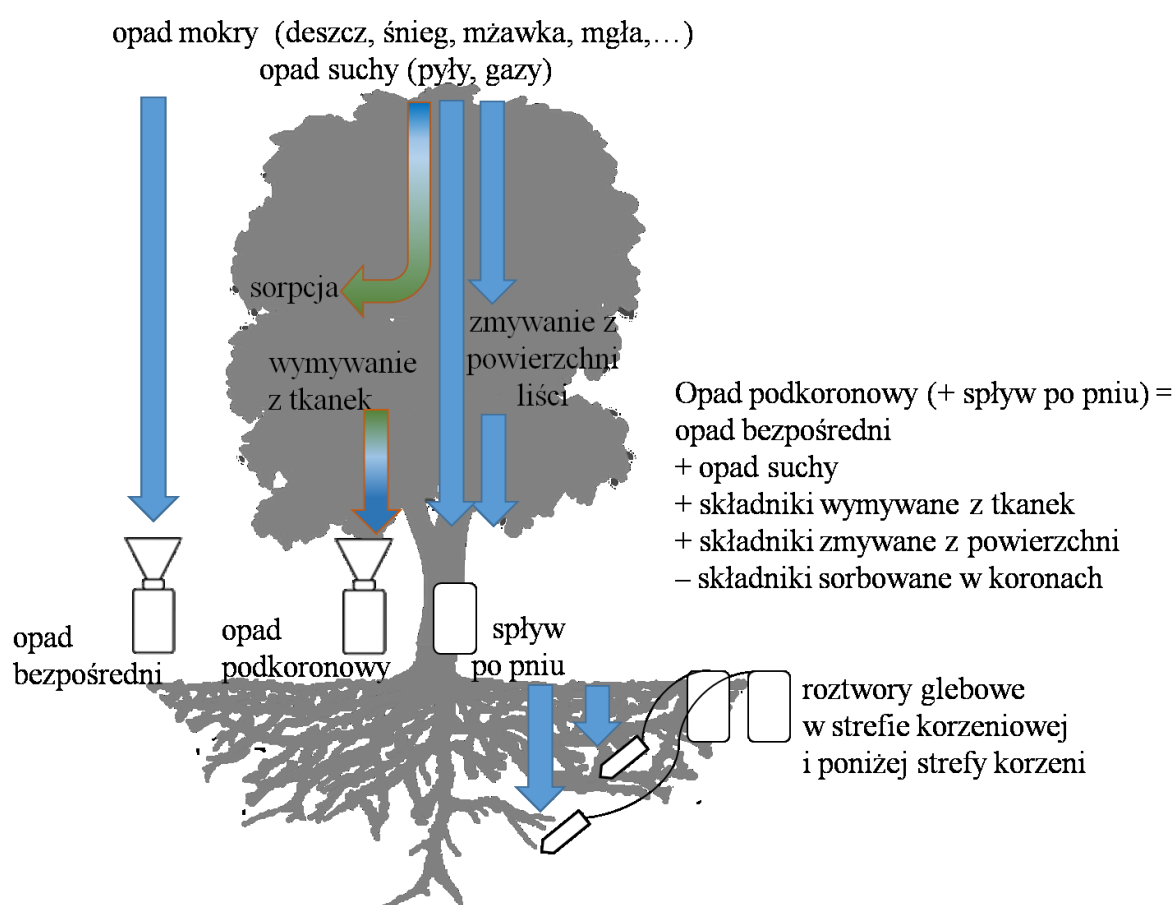
Cechą charakteryzującą chemizm opadów jest przewodność elektrolityczna właściwa (EC) będąca pośrednio miarą ogólnej zawartości zdysocjowanych soli. W 2016 r. przewodność opadów osiągała średnio rocznie od 11,7 do 21,2 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Niską przewodność opadów notowano średnio rocznie w tych rejonach, gdzie opady były średnie i wysokie: w Strzałowie, Szklarskiej Porębie i Łącku (poniżej 13 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$). W Gdańsku, Piwnicznej, Suwałkach, Zawadzkiem, Kruczu i Chojnowie średnia roczna przewodność nie przekraczała 18 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. W Birczy, Krotoszynie i Białowieży mieściła się w zakresie 18,8-21,2 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Depozycja roczna

Roczny depozyt jonów: azotu całkowitego, jonów wodorowych, chlorków, siarki w formie siarczanowej (VI), wapnia, sodu, potasu, magnezu, żelaza, glinu, manganu i metali ciężkich w opadach mieścił się w granicach od 20,5 do 41,5 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 7). W porównaniu z 2016 r. depozycja była większa w Białowieży, Krotoszynie i Łącku o odpowiednio 25%, 13% i 13%. W Gdańsku, Birczy, Kruczu i Zawadzkiem zmalała o odpowiednio 14%, 13%, 12% i 7%.

W Suwałkach, Szklarskiej Porębie, Piwnicznej, Chojnowie i Strzałowie depozycja była podobna jak w roku 2016, z różnicami sięgającymi od -2% do 4% w stosunku do roku 2016.

Najmniejszą ilość jonów zdeponowały opady w Nadleśnictwie Piwniczna ($20,5 \text{ kg ha}^{-1}$). Wartości pośrednie odnotowano w Zawadzkiem ($24,4 \text{ kg ha}^{-1}$), Strzałowie ($24,5 \text{ kg ha}^{-1}$), Birczy ($25,9 \text{ kg ha}^{-1}$) i Łącku ($26,0 \text{ kg ha}^{-1}$). W Kruczu, Chojnowie, Suwałkach i Krotoszynie depozyt całkowity mieścił się w przedziale od $29,8 \text{ kg ha}^{-1}$ do $31,6 \text{ kg ha}^{-1}$. W Białowieży, Szklarskiej Porębie i Gdańsku depozyt był wysoki i wynosił odpowiednio $37,9 \text{ kg ha}^{-1}$, $40,4 \text{ kg ha}^{-1}$ i $41,5 \text{ kg ha}^{-1}$. Na tak wysoką depozycję w Gdańsku i Szklarskiej Porębie składały się przede wszystkim jony Cl^- i Na^+ (w Gdańsku – głównie pochodzenia morskiego) (tab. 7).

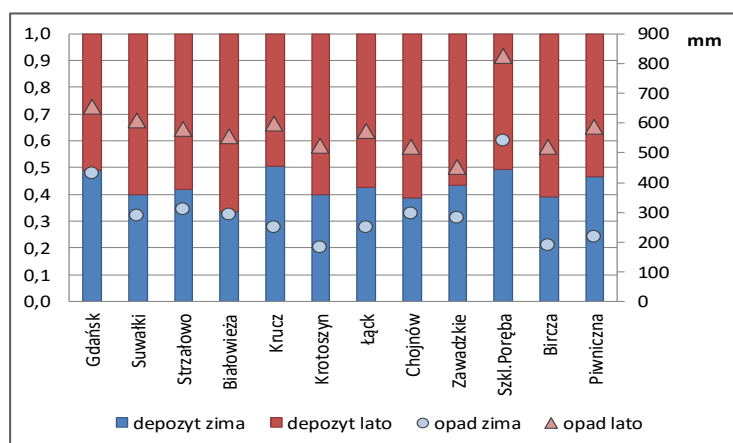


Ryc. 18. Schemat koncepcyjny badań depozytu i przepływu składników w środowisku leśnym na SPO MI

Tabela 7. Depozyt roczny [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$] (bez RWO) wniesiony z opadami na SPO MI w 2017 roku

Nr SPO	206	212	312	405	513	203	701	801	322	326	116	804
Nadleśnictwo	Strzałowo	Białowieża	Krucz	Chojnów	Zawadzkie	Suwałki	Szklarska Poręba	Piwniczna	Krotoszyn	Łąck	Gdańsk	Bircza
Gatunek panujący	Sosna					Świerk			Dąb		Buk	
Opad [mm]	888	846	845	814	733	897	1367	804	703	824	1082	708
H^+	0,035	0,021	0,040	0,018	0,045	0,034	0,107	0,101	0,020	0,021	0,028	0,058
Cl^-	3,47	3,11	4,00	3,07	2,94	4,36	7,99	2,54	3,86	3,98	11,17	2,55
N-NO_3^-	3,29	3,18	3,76	3,61	4,01	5,03	4,64	2,68	3,67	3,28	3,60	3,95
S-SO_4^{2-}	2,61	3,88	3,14	3,70	3,44	3,23	4,63	3,41	3,86	3,48	3,15	4,30
N-NH_4^+	3,85	10,45	7,23	7,24	5,24	5,12	6,37	2,56	8,49	5,19	5,72	6,18
Ca	4,41	8,49	3,93	5,25	3,33	6,60	4,48	3,74	3,60	3,77	4,48	4,59
Mg	0,48	1,00	0,50	0,61	0,48	0,99	0,67	0,52	0,46	0,54	1,04	0,52
Na	2,92	2,54	2,94	2,08	2,08	2,98	5,92	1,84	2,97	2,40	7,06	1,79
K	1,30	2,67	1,50	2,09	1,45	1,19	2,14	1,07	1,97	1,59	3,04	1,74
Fe	0,053	0,062	0,048	0,050	0,039	0,055	0,079	0,053	0,059	0,057	0,058	0,068
Al	0,062	0,043	0,051	0,044	0,060	0,050	0,074	0,058	0,057	0,043	0,051	0,051
Mn	0,037	0,019	0,038	0,038	0,077	0,043	0,044	0,072	0,070	0,160	0,054	0,039
Cd	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cu	0,037	0,028	0,039	0,038	0,028	0,035	0,062	0,032	0,033	0,034	0,055	0,031
Pb	0,007	0,008	0,008	0,007	0,010	0,008	0,013	0,011	0,006	0,006	0,010	0,006
Zn	0,278	0,263	0,301	0,275	0,248	0,257	0,412	0,284	0,227	0,251	0,310	0,250
RWO	27,0	20,8	13,7	13,3	11,2	23,1	17,6	13,1	30,6	11,5	16,1	13,6
N_{tot}	8,8	15,8	13,3	13,0	10,2	11,6	13,8	6,8	14,4	9,7	11,0	9,9
Depozyt całkowity	24,5	37,9	29,8	30,3	24,4	31,4	40,4	20,5	31,6	26,0	41,5	25,9

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



Ryc. 19. Suma opadu bezpośredniego [mm] (prawa oś) oraz udział deponatu w sezonie letnim (V-X) i zimowym (I-IV, XI-XII) na SPO MI w 2017 roku

letnim, co wskazuje na silne wpływy aerozoli morskich, szczególnie w okresie zimowym (ryc. 19).

Suma deponacji w okresie zimowym stanowiła od 34% do 50% deponacji rocznej. Przewaga deponatu okresu letniego wynikała m. in. z wyższej sumy opadów – na miesiące letnie przypadało od 60% do 74% sumy rocznej opadu. W Gdańsku pomimo niższych sum opadów niż w okresie letnim deponacja Na, Cl^- i Mg zimą była 1,2-1,7 razy wyższa niż w półroczu

Pomiędzy SPO MI wystąpiły istotne różnice w depozycji H^+ , Cl^- , NH_4^+ , Na, Mn i pojemności zobojętniania kwasów (ANC). Wyniki testów statystycznych potwierdzają zaobserwowane różnice między Gdańskiem i Szklarską Porębą a szeregiem innych SPO MI pod względem depozycji składników z aerozoli morskich. W Białowieży opady miały istotnie wyższą pojemność zobojętniania kwasów (ANC) od opadów występujących w południowej i zachodniej Polsce (Zawadzkie i Krotoszyn) oraz w Sudetach (Szklarska Poręba).

Depozyt pierwiastków śladowych

Sumaryczny depozyt składników śladowych, tj. żelaza, manganu, glinu oraz metali ciężkich: cynku, miedzi, kadmu i ołowiu, w $kg \cdot ha^{-1}$ wynosił od 1,1% do 2,5% depozytu rocznego. Na metale ciężkie, wśród których ilościowo dominował cynk, przypadło od 0,8% do 1,6% depozytu rocznego, tj. od 0,27 do $0,49 kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$.

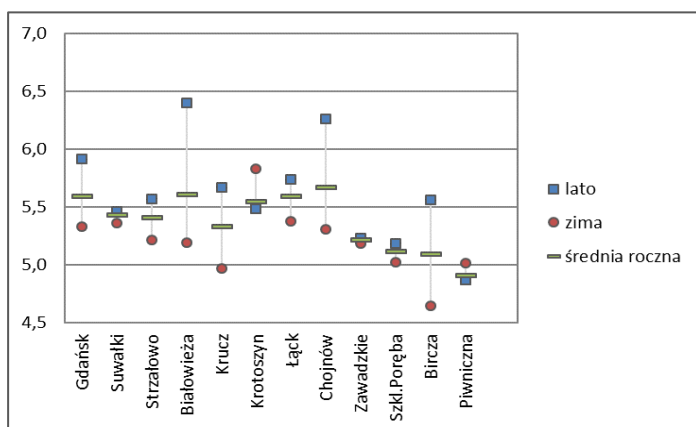
Największe ilości metali ciężkich zanotowano na powierzchniach w Szklarskiej Porębie, Gdańsku i Kruczu (odpowiednio: 0,49, 0,37 i $0,35 kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$). Od 0,29 do $0,33 kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ zostało zdeponowane na powierzchniach w Birczy, Zawadzkim, Łącku, Białowieży, Suwałkach, Chojnowie, Strzałowie i Piwnicznej, najmniej, $0,27 kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$, w Krotoszynie.

Wyniki depozycji metali ciężkich obarczone są stosunkowo dużą niepewnością wynikającą po pierwsze z problemów analitycznych oznaczeń na poziomie stężeń śladowych, po drugie – i zapewne najważniejsze – ze stosowanej metodyki pobierania próbek. W przypadku SPO MI można z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że oszacowana depozycja metali śladowych jest zaniżona.

Właściwości kwasowo-zasadowe wód opadowych

Średnie miesięczne pH opadów mieściło się w granicach od 4,3 do 7,1. Minimalną wartość osiągnęło w lutym w Piwnicznej, a maksymalną w sierpniu w Białowieży.

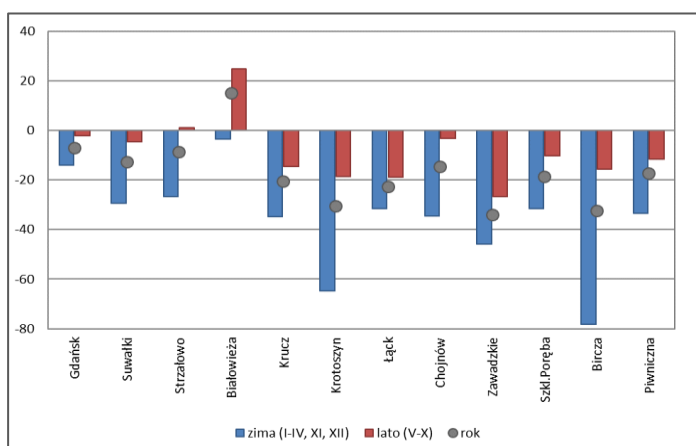
Udział miesięcznych opadów o pH niższym od 5,0 wyniósł 26%, to jest więcej niż w roku 2016, kiedy stanowiły 15% rocznych opadów, lecz mniej niż w latach poprzednich (42% w 2010 r., 36% w 2011 r., 39% w 2012 r., 43% w 2013 r. i 30% w 2014 r.). Opady o pH niższym od 5,0 przeważały w miesiącach zimowych. Średnio w okresie zimowym na większości powierzchni pH opadów było niższe niż w okresie letnim, z wyjątkiem Krotoszyna i Piwnicznej. W Suwałkach, Zawadzkim i Szklarskiej Porębie różnica odczynu opadów zimą i latem była niewielka.



Ryc. 20. Średnie pH roczne, sezonu letniego (V-X) i zimowego (I-IV i XI-XII) na SPO MI w 2017 r. w opadach na otwartej przestrzeni

Białowieży pH opadów wynosiło średnio 5,6. Niższa kwasowość opadów występowała w Chojnowie (pH 5,7).

Pojemność zobojętniania kwasów (ANC, [$\mu\text{eq dm}^{-3}$]) jest miarą zdolności roztworów do zobojętniania mocnych kwasów.



Ryc. 21. 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 2017 r.

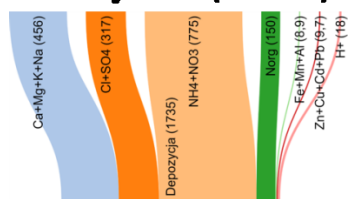
zimowego było niższe niż w półroczu letnim (ryc. 21). Dodatnimi wartościami ANC charakteryzowała się jedynie powierzchnia w Białowieży średnio w całym roku ($15,2 \mu\text{eq dm}^{-3} \text{ rok}^{-1}$) oraz w okresie letnim i Strzałowo w okresie letnim. Na pozostałych powierzchniach w obu półroczach ANC było ujemne, a niskie średnie roczne wystąpiły w Zawadzkim, Birczy, Krotoszynie, Łącku i Kruczu (odpowiednio $-34,1$, $-32,3$, $-30,4$, $-22,7$ i $-20,5 \mu\text{eq dm}^{-3} \text{ rok}^{-1}$).

Najwyższa kwasowość opadów, mierzona średnią roczną wartością pH, wystąpiła w nadleśnictwach rejonów górskich, tj. w Piwnicznej (pH 4,9), Birczy i Szklarskiej Porębie (pH 5,1), a także w Zawadzkim (pH 5,2) i Kruczu (pH 5,3) (ryc. 20). Również stosunkowo niskie średnie pH opadów odnotowano w Suwałkach i Strzałowie (pH 5,4). W Krotoszynie, Gdańsku, Łącku i

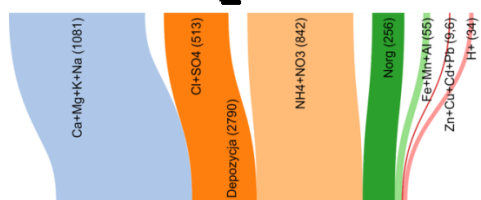
Ujemne wartości ANC są wskaźnikiem nadmiarowej ilości jonów mocnych kwasów w opadach, zaś dodatnie – nadmiarowej ilości mocnych zasad. Na SPO MI 83% miesięcznych opadów przyjmowało ujemne wartości ANC, z czego większość przypadała na okres zimowy (47% próbek pobranych w ciągu roku).

Na wszystkich powierzchniach obserwacyjnych ANC półrocza

Chojnów (sosna)

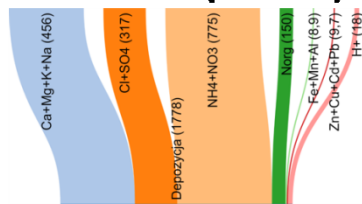


Opady atmosferyczne (OP)

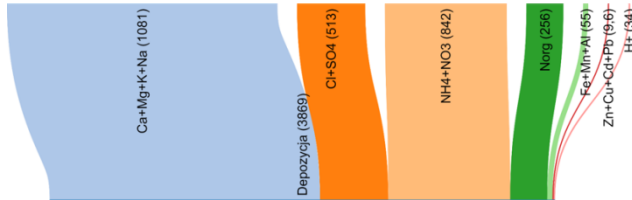


Opady podkoronowe (PK)

Suwałki (świerk)

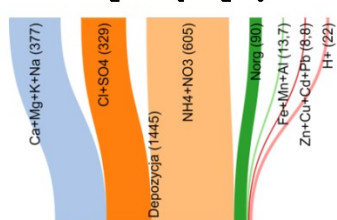


Opady atmosferyczne (OP)

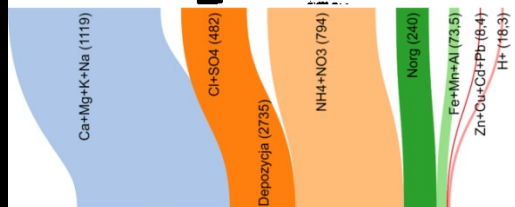


Opady podkoronowe (PK)

Łąck (dąb)

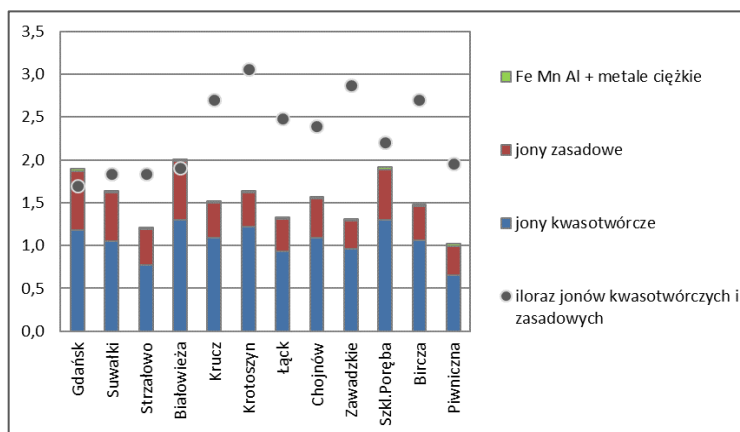


Opady atmosferyczne (OP)



Opady podkoronowe (PK)

Ryc. 22. Przepływ jonów z opadami atmosferycznymi (OP) i podkoronowymi (PK) (i po pniu w drzewostanie bukowym (PP)) w mol_c ha⁻¹ w 2017 roku na wybranych SPO MI: w drzewostanie sosnowym w Nadleśnictwie Chojnów, świerkowym w Nadleśnictwie Suwałki, bukowym w Nadleśnictwie Gdańsk i dębowym w Nadleśnictwie Łąck



Ryc. 23. Ładunek jonów [kmol_c·ha⁻¹] oraz stosunek depozytu jonów kwasotwórczych do zasadowych w opadach na otwartej przestrzeni na SPO MI w 2017 r.

Na powierzchniach zlokalizowanych w północnej i północno-wschodniej Polsce (Gdańsk, Suwałki, Strzałowo i Białowieża) udział jonów o charakterze zasadowym w depozycie był wyższy niż w pozostałych lokalizacjach i wynosił od 34% do 36%.

Na każdej powierzchni w depozycie rocznym 2017 dominowały jony kwasotwórcze nad zasadowymi. Poza powierzchniami zlokalizowanymi w północnej i północno-wschodniej Polsce (Gdańsk, Białowieża, Suwałki, Strzałowo) oraz powierzchnią w Piwnicznej, na pozostałych powierzchniach występowała co najmniej dwukrotna przewaga depozycji jonów zakwaszających nad zasadowymi (ryc. 22, ryc. 23).

W 2017 r. roczny depozyt jonów: azotu całkowitego, jonów wodorowych, chlorków, siarki w formie siarczynu (VI), wapnia, sodu, potasu, magnezu, żelaza, glinu, manganu i metali ciężkich w opadach mieścił się w granicach od 20,5 do 41,5 kg·ha⁻¹.

Sumaryczny depozyt składników śladowych (żelaza, manganu, glinu) oraz metali ciężkich (cynku, miedzi, kadmu i ołowiu) wynosił od 1,1% do 2,5% depozytu rocznego, wyrażonego w kg·ha⁻¹. Metale ciężkie, wśród których ilościowo dominował cynk, stanowiły w depozycie rocznym od 0,8% (0,27 kg·ha⁻¹·rok⁻¹) w Krotoszynie do 1,6% (0,49 kg·ha⁻¹·rok⁻¹).

Jony zakwaszające środowisko (SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻ i NH₄⁺) stanowiły od 59% do 74% molarnego ładunku jonów w opadach na otwartej przestrzeni oraz od 38 do 64% pod okapem drzewostanu.

83% miesięcznych opadów przyjmowało ujemne wartości ANC, z czego większość przypadała na okres zimowy (47% próbek pobranych w ciągu roku).

6. POZIOM KONCENTRACJI NO₂ I SO₂ W POWIETRZU – 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).

Udział w depozycie jonów o charakterze zakwaszającym (SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻ i NH₄⁺) wynosił od 59% do 74% (ryc. 22).

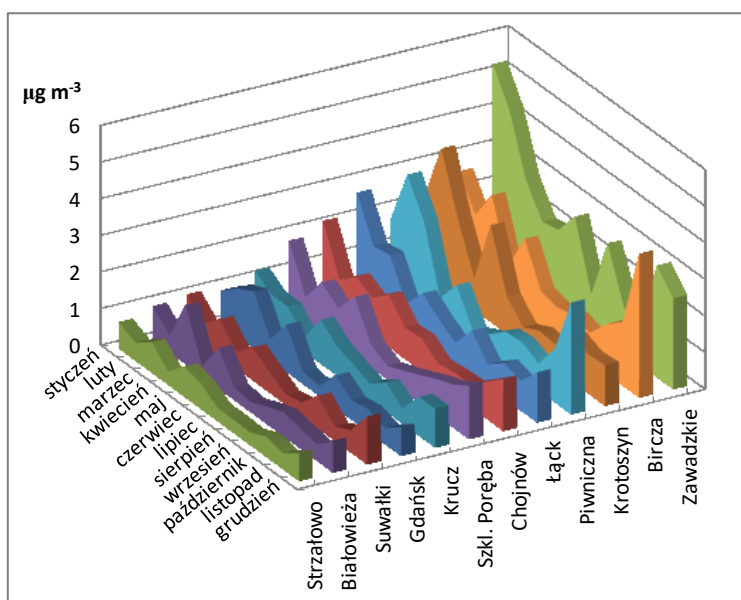
Udział jonów zakwaszających przekraczał 70% w Krotoszynie, Zawadzkiem i Kruczu (udział jonów o charakterze zasadowym był tam szczególnie niski, wynosił 24-

W 2017 r. pomiary stężeń SO_2 i NO_2 obejmowały cały rok kalendarzowy. Okres zimowy obejmował miesiące od stycznia do marca i od października do grudnia, natomiast okres od kwietnia do września zdefiniowano jako sezon letni.

Dwutlenek siarki

Niskie średnie roczne stężenia SO_2 (poniżej $1 \mu\text{g m}^{-3}$) występowały na SPO MI zlokalizowanych w północno-wschodniej Polsce (Strzałowo, Białowieża, Suwałki, Gdańsk) oraz na powierzchni w Kruczu (województwo wielkopolskie). W Chojnowie, Łącku i Szklarskiej Porębie średnie roczne stężenia mieściły się w zakresie od $1,0 \mu\text{g m}^{-3}$ do $1,2 \mu\text{g m}^{-3}$, w Piwnicznej i w Krotoszynie – w zakresie od $1,4 \mu\text{g m}^{-3}$ do $1,5 \mu\text{g m}^{-3}$, zaś w Birczy wynosiły $1,7 \mu\text{g m}^{-3}$. Najwyższe średnie roczne stężenie zanotowano w Nadleśnictwie Zawadzkie: $2,5 \mu\text{g m}^{-3}$. Stężenia w Zawadzkim były istotnie wyższe od stężeń najniższych (poniżej $1 \mu\text{g m}^{-3}$) zanotowanych na pięciu wyżej wymienionych powierzchniach ($p \leq 0,05$, test Kruskala-Wallisa z wielokrotnym porównaniem średnich rang).

Wartości stężeń SO_2 zanotowane na SPO MI w 2017 r. stanowiły od 65% do 123% wartości notowanych w 2016 r. Wzrost stężeń wystąpił w Zawadzkim i Piwnicznej, zaś na pozostałych powierzchniach obserwowano ich spadek (w Strzałowie, Białowieży, Suwałkach, Gdańsku, Kruczu, Chojnowie, Łącku i Szklarskiej Porębie) lub podobny poziom jak w roku ubiegłym (w Krotoszynie i Birczy).



Ryc. 24. Roczny przebieg stężeń SO_2 w powietrzu na powierzchniach SPO MI w 2017 r.

Niskie stężenia SO_2 w nadleśnictwach północnej i północno-wschodniej Polski (województwa podlaskie i warmińsko-mazurskie) wynikają m.in. z warunków demograficznych (najniższa w kraju gęstość zaludnienia) i stopnia uprzemysłowienia (najniższa emisja gazowych zanieczyszczeń powietrza z zakładów szczególnie uciążliwych dla jakości powietrza) (wg Rocznika Statystycznego Województw 2016).

Średnie miesięczne stężenia SO_2 mieściły się w przedziale od $0,3$ do $5,3 \mu\text{g m}^{-3}$. Rozkład stężeń w poszczególnych miesiącach (ryc. 24) w zasadzie pozostawał podobny do obserwowanego w latach poprzednich.

Niskie stężenia (od 0,3 do 2,7 $\mu\text{g m}^{-3}$, mediana równa 0,6 $\mu\text{g m}^{-3}$) notowano w miesiącach letnich (czerwiec, lipiec i sierpień), wyższe (od 0,4 do 5,3 $\mu\text{g m}^{-3}$, mediana równa 1,3 $\mu\text{g m}^{-3}$) w miesiącach zimowych (od stycznia do marca oraz w listopadzie i grudniu) oraz w maju (ryc. 24). 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 > Krotoszyn > Łąck > Szklarska Poręba, Chojnów > Gdańsk, Krucz > Suwałki, Białowieża > Strzałowo.

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

Istotne różnice między medianami stężeń miesięcznych okresów w sezonach letnich i zimowych wystąpiły jedynie w Krotoszynie, Łącku, Birczy i Piwnicznej. Różnice pomiędzy okresem zimowym i letnim były szczególnie niskie w Strzałowie, Kruczu i Suwałkach.

W rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. z 2012, poz. 1031) poziom dopuszczalny SO_2 ze względu na ochronę roślin dla roku kalendarzowego i pory zimowej (okres od 1 października do 31 marca) został ustalony na poziomie 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Średnie roczne stężenia SO_2 na SPO MI zawierały się w granicach 0,6-2,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, co stanowiło od 3% do 13% wartości dopuszczalnej. W porze zimowej zakres stężeń wynosił od 0,6 do 3,2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, tj. od 3% do 16% wartości dopuszczalnej.

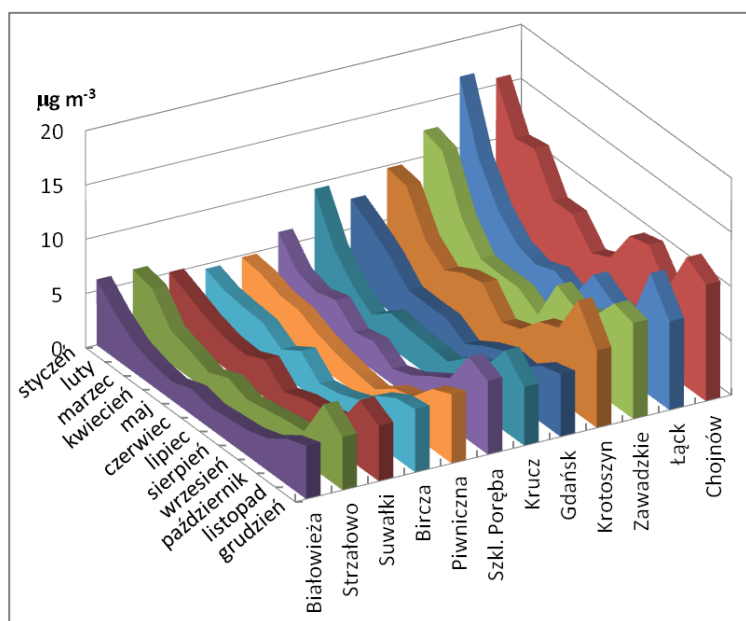
Dwutlenek azotu

W 2017 roku średnie roczne stężenia NO_2 stanowiły od 66% do 88% wartości z roku 2016. Powierzchnie SPO MI istotnie różniły się pod względem stężeń NO_2 (test Kruskala-Wallisa: $H(11, N = 144) = 64,94, p \leq 0,001$). Istotne różnice wystąpiły pomiędzy stężeniami NO_2 w Chojnowie, gdzie występowały najwyższe stężenia NO_2 , a stężeniami na pozostałych powierzchniach, z wyjątkiem Zawadzkiego, Krotoszyna i Łącka. Ponadto odnotowano istotne różnice między powierzchnią w Białowieży, gdzie średnie roczne stężenie NO_2 było najniższe, a powierzchniami w Krotoszynie, Łącku, Chojnowie i Zawadzkiem, gdzie notowano średnio w roku wyższe stężenia NO_2 niż na pozostałych powierzchniach.

Podobnie jak w poprzednich latach, najwyższe średnie roczne stężenia NO_2 stwierdzono w rejonach Polski centralnej – w Chojnowie (9,9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i Łącku (7,4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) oraz południowej – w Zawadzkiem (7,1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i zachodniej – w Krotoszynie (6,3 $\mu\text{g m}^{-3}$). Wysoki poziom stężeń NO_2 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 – 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, powierzchnia w Krotoszynie – zlokalizowana w Wielkopolsce, regionie o najwyższym zużyciu mineralnych nawozów azotowych w przeliczeniu na hektar (Rocznik Statystyczny Rolnictwa GUS 2017)).

Niższe stężenia NO_2 , podobnie jak w poprzednich latach badań, występowały w nadleśnictwach Polski północnej i północno-wschodniej: Białowieża ($3,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), Strzałowo ($3,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), Suwałki ($3,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i Gdańsk ($4,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), w Kruczu w Wielkopolsce ($4,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{rok}^{-1}$), oraz w rejonach podgórskich i górskich: Bircza ($3,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), Piwniczna ($3,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i Szklarska Poręba ($3,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).



Ryc. 25. Roczny przebieg stężeń NO_2 w powietrzu na powierzchniach SPO MI w 2017 r.

Najwyższe miesięczne stężenie NO_2 zanotowano w styczniu w Łącku ($16,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{m}^{-\text{c}^{-1}}$) oraz w Chojnowie ($15,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{m}^{-\text{c}^{-1}}$) (ryc. 25).

Stężenia niższe niż $3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{m}^{-\text{c}^{-1}}$ występowały w okresie letnim między kwietniem a wrześniem w Białowieży, Suwałkach i Strzałowie (północno-wschodnia Polska), w Wielkopolsce w Kruczu oraz w Piwnicznej, Birczy i Szklarskiej Porębie (południowa Polska, rejony górskie), jednak nie we wszystkich miesiącach w tym okresie. Istotne różnice między

Średnie miesięczne stężenia NO_2 wahały się w granicach od $1,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ do $16,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ i wykazywały wyraźną sezonowość. Na każdej powierzchni obserwowano istotną ($p \leq 0,05$) zależność stężenia NO_2 i temperatury. Współczynniki korelacji rangowej Spearmana osiągały wartości od -0,76 do -0,93; ze spadkiem temperatury wzrastało średnie miesięczne stężenie NO_2 .

Najwyższe miesięczne

medianami miesięcznych stężeń dla okresów letnich i zimowych wystąpiły na wszystkich powierzchniach.

Średnie stężenia NO_2 w sezonie letnim (kwiecień-wrzesień) układały się w porządku malejącym dla nadleśnictw: Chojnów > Łąck > Zawadzkie, Krotoszyn > Gdańsk > Krucz > Suwałki, Bircza > Piwniczna, Szklarska Poręba > Strzałowo > Białowieża.

Stężenia średnie dla okresu zimowego (styczeń-marzec i październik-grudzień) były od 1,3 do 2,7 razy wyższe niż dla okresu letniego. Układały się w porządku malejącym: Chojnów > Łąck > Zawadzkie > Krotoszyn > Krucz > Gdańsk > Szklarska Poręba > Strzałowo, Piwniczna > Bircza > Suwałki > Białowieża.

W roku 2016 średnie wartości stężeń NO_2 wynosiły od 3,2 do 9,9 $\mu\text{g m}^{-3} \text{rok}^{-1}$, tj. odpowiednio od 11% do 33% wartości dopuszczalnej poziomu tlenków azotu. Wartość dopuszczalna została określona dla tlenków azotu rozporządzeniem Ministra Środowiska (Dz.U. z dn. 18 września 2012, poz. 1031) dla roku kalendarzowego, ze względu na ochronę roślin, na poziomie 30 $\mu\text{g m}^{-3}$.

Łączna depozycja siarki i azotu

Na podstawie średnich stężeń rocznych i sezonowych oszacowano ładunek N i S w $\text{kg S ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$, jaki był deponowany na SPO MI w 2017 r. – zastosowano metody szacowania wg Thimonier i in. (2005) i Rihm (1996).

Gazowa depozycja siarki była najniższa (od 0,7 do 1,0 $\text{kg S ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$) w nadleśnictwach północnej i północno-wschodniej Polski: Strzałowie, Białowieży, Suwałkach i Gdańsku. W południowej Polsce (w Szklarskiej Porębie i Piwnicznej) oraz w centralnej Polsce (w Łącku i Chojnowie) wynosiła od 1,3 do 1,7 $\text{kg S ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$, w Krotoszynie – 1,9 $\text{kg S ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$, w Birczy – 2,1 $\text{kg S ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$, a w Zawadzkim – aż 3,2 $\text{kg S ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$.

Najmniejszą depozycję azotu (około 1,0 $\text{kg N ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$) odnotowano w Birczy, w rejonie podkarpackim. Niskie ilości (od 1,2 kg do 1,4 $\text{kg N ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$) zostały zdeponowane w nadleśnictwach położonych w północnej i północno-wschodniej Polsce: Białowieży, Gdańsku, Strzałowie i Suwałkach, a także na powierzchni górskiej w Piwnicznej. Pośrednie ilości (od 1,5 kg do 1,8 $\text{kg N ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$) otrzymały powierzchnie w Szklarskiej Porębie, Kruczu i Krotoszynie. W Łącku i Zawadzkim depozycja azotu wyniosła odpowiednio 2,1 i 2,7 $\text{kg N ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$, a najwyższa była w Chojnowie (3,8 $\text{kg N ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$).

Wśród powierzchni monitoringu intensywnego można wyodrębnić trzy grupy różniące się sumarycznym obciążeniem zanieczyszczeniami gazowymi. Niska łączna depozycja siarki i azotu z atmosfery występowała na powierzchniach północnej i północno-wschodniej Polski (w Białowieży, Strzałowie, Gdańsku i Suwałkach) (od 2,0 do 2,3 $\text{kg N+S ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$). Powierzchnie

zlokalizowane w górach i na pogórzu (w Szklarskiej Porębie, Piwnicznej i Birczy) charakteryzują się dość niskimi wartościami sumarycznej depozycji N-NO₂ i S-SO₂ (od 2,8 do 3,1 kg N+S ha⁻¹ rok⁻¹). W Wielkopolsce (powierzchnie w Krotoszynie i Kruczu) oraz na powierzchni w Łącku obciążenie sumarycznym ładunkiem zanieczyszczeń gazowych było pośrednie (od 2,7 do 3,7 kg N+S ha⁻¹ rok⁻¹). Najbardziej obciążone zanieczyszczeniami atmosferycznymi były powierzchnie w Zawadzkiem i Chojnowie, o rocznej depozycji wynoszącej odpowiednio 5,9 kg N+S ha⁻¹ i 5,1 kg N+S ha⁻¹.

W 2017 r. łączna depozycja siarki i azotu z atmosfery była najniższa na powierzchniach Polski północno-wschodniej (Białowieża, Strzałowo, Suwałki i Gdańsk), niska – w górach i na pogórzu (Szklarska Poręba, Piwniczna i Bircza). Pośrednie wartości zanotowano na powierzchniach zlokalizowanych w Wielkopolsce (Krotoszyn, Krucz) i w Łącku, wysokie wartości – w Zawadzkiem i w Chojnowie.

Od 56% do 74% depozycji azotu oraz od 58% do 69% depozycji siarki przypadało na okres zimowy.

7. OPADY PODKORONOWE ORAZ ROZTWORY GLEBOWE – ANNA KOWALSKA

Opady podkoronowe

Substancje transportowane przez opady atmosferyczne są dostarczane do dna lasu w formie opadów podkoronowych (ryc. 18). Dodatkowo do gleby trafia 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 (ryc. 22).

Średnia przewodność elektrolityczna właściwa, będąca pośrednio miarą ogólnej zawartości jonów w wodach, wynosiła na SPO MI w 2017 r. od 20,6 do 56,2 μS·cm⁻¹·rok⁻¹, przyjmując miesięcznie wartości od 13,5 do 223 μS·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. Zanieczyszczenia dostarczane z wodą opadową i splukiwane oraz wymywane z liści były w okresach niskich opadów obecne w próbkach w dużych stężeniach, zaś przy wysokich opadach występował tzw. efekt rozcieńczenia. Wysoka przewodność średnio w ciągu roku wystąpiła w próbkach opadów w nadleśnictwach: Krotoszyn, Suwałki i Zawadzkie (odpowiednio 63,2, 44,9 i 43,9 μS·cm⁻¹·rok⁻¹). W drzewostanach w Chojnowie, Łącku, Piwnicznej i Białowieży przewodność opadów przyjmowała wartości od 31,3 do 39,8 μS·cm⁻¹·rok⁻¹. Stosunkowo niską przewodność (od 26,9 do 28,1 μS·cm⁻¹·rok⁻¹) notowano w opadach w Kruczu, Gdańsku,

Strzałowie i Birczy, zaś najniższą – miały opady w Szklarskiej Porębie ($20,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{okres badań}^{-1}$).

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 2017 r. do gleby wpłynął ładunek substancji od 1,5 do 3,3 razy większy niż z opadem na otwartej przestrzeni. Stosunkowo niskie wzbogacenie pod okapem miało miejsce w drzewostanach bukowych w Białowieży, Szklarskiej Porębie, Kruczu, Gdańsku i Chojnowie (1,5-1,9-krotne), natomiast opady podkoronowe były szczególnie wzbogacone w stosunku do opadów bezpośrednich (2,6-3,3-krotnie) w drzewostanie dębowym w Krotoszynie, w świerczynach w Piwnicznej i Suwałkach oraz w drzewostanie sosnowym w Zawadzkiem. Depozyt podkoronowy mieścił się w zakresie od $49,3$ do $103,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$.

Depozyt podkoronowy był szczególnie wysoki w drzewostanie dębowym w Krotoszynie ($103,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$), na powierzchni świerkowej w Suwałkach ($87,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$) i bukowej w Gdańsku ($76,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$; suma depozycji z opadów podkoronowych i spływu po pniu). W Kruczu (So) i Strzałowie (So) z opadami zdeponowana została najmniejsza ilość składników (odpowiednio $49,3$ i $49,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$), a na pozostałych powierzchniach depozyt wyniósł od $55,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ do $65,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$.

W opadach podkoronowych występowało więcej istotnych różnic pomiędzy SPO MI niż w opadach na otwartej przestrzeni. Istotne różnice wykryto dla wszystkich głównych składników opadów (H^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , Mg, Na, Mn, Fe, Al i RWO), poza Ca, K i N_{tot} .

Gdańsk i Szklarska Poręba wyróżniały się spośród kilku SPO MI pod względem depozycji jonów pochodzenia morskiego (Na i Cl^-). W Białowieży depozycja N-NO_3^- była istotnie niższa niż na powierzchniach południowej Polski (Bircza, Szklarska Poręba, Zawadzkie). Opady podkoronowe w Strzałowie różniły się od opadów w Krotoszynie, Zawadzkiem, Chojnowie i Szklarskiej Porębie mniejszą depozycją S-SO_4^{2-} . W opadach w drzewostanach bukowych w Gdańsku i Birczy występowały istotnie mniejsze depozyty rozpuszczonego węgla organicznego (RWO) niż w drzewostanie sosnowym w Białowieży. Test wykazał istotne zróżnicowanie opadów pod względem pojemności zobojętnienia kwasów (ANC), jednak porównania dwustronne nie wskazały par powierzchni istotnie różniących się pod względem ANC opadów podkoronowych.

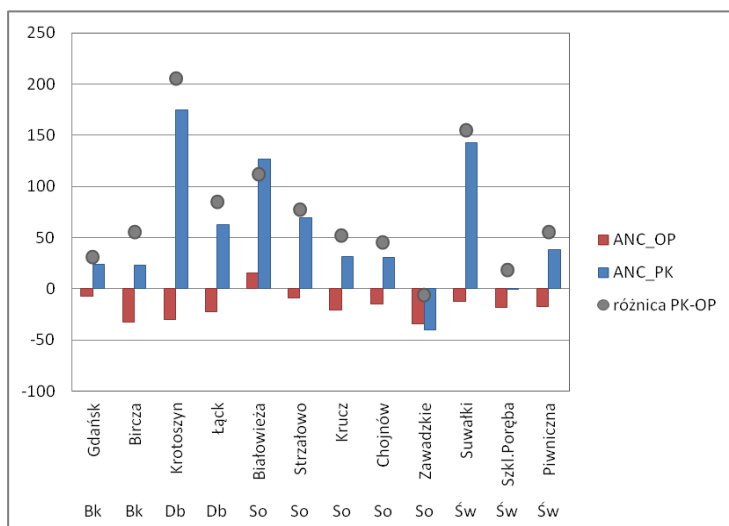
Depozyt pierwiastków śladowych i metali ciężkich: żelaza, manganu, glinu, cynku, miedzi, kadmu i ołowiu wynosił od $0,75$ do $1,64 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, co odpowiadało od $1,4\%$ do $3,6\%$ całkowitej depozycji podokapowej. Udział samych metali ciężkich (Zn, Cu, Pb i Cd) stanowił w

sumie rocznego depozytu od 0,4% do 0,8%. Na poszczególnych powierzchniach depozyt metali ciężkich wyniósł od 0,22 do 0,59 kg·ha⁻¹·rok⁻¹, z czego 78-86% stanowił cynk.

Właściwości kwasowo-zasadowe wód opadowych. Obniżone pH, tj. pH niższe niż 5,0 występowało w ciągu roku w 24% miesięcznych próbek opadów zebranych na SPO MI. Opady o pH poniżej 5,0 przeważały w okresie zimowym, a szczególnie w lutym (na dziesięciu SPO MI), w grudniu i styczniu (na siedmiu SPO MI) oraz w marcu (na trzech SPO MI). Jedynie w Suwałkach nie notowano miesięcznych opadów o pH niższym niż 5,2, tam też wystąpiło najwyższe spośród SPO MI średnie roczne pH (5,9).

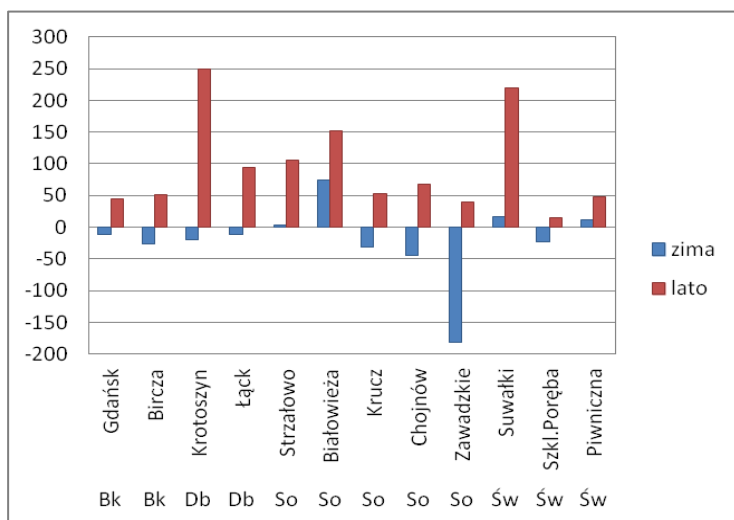
Najniższe **średnie roczne pH** odnotowano w Szklarskiej Porębie (pH 5,1). W Piwnicznej, Zawadzkiem, Chojnowie i Kruczu średnie roczne pH również było niskie (od 5,2, do 5,3), czego przyczyną były głównie kwaśne opady półroczna zimowego. Na pozostałych powierzchniach pH wynosiło od 5,4 do 5,6 (w Birczy, Białowieży, Gdańsku, Strzałowie, Łącku i Krotoszynie). Najwyższym pH opadów w ciągu roku wyróżniały się Suwałki (pH 5,8). Odczyn opadów w Łącku, Chojnowie i Kruczu był o 2 do 3 jednostek pH mniej kwaśny niż średnio w roku 2016. Na pozostałych powierzchniach pH opadów w 2017 roku było zbliżone do pH z roku 2016 lub nieco niższe. Pod okapem drzewostanów liściastych obserwowano tendencję do występowania wyższego pH opadów niż w drzewostanach iglastych (por. Kowalska i in. 2016). Wyjątkiem są drzewostany sosnowy w Strzałowie i świerkowy w Suwałkach. W Strzałowie na odczyn opadów ma wpływ, oprócz sosny występującej w piętrze okapowym, bogaty podszyt bukowy i leszczynowy, a w Suwałkach liczne krzewy bzu czarnego i jarzębu pod okapem świerka. Domieszka liściasta może tłumaczyć stosunkowo wysokie pH opadów docierających do gleby. Ponadto oba drzewostany zlokalizowane są na stosunkowo żyznych glebach o dużym wysyceniu zasadami i wysokim pH w całym profilu lub przynajmniej w jego części spągowej.

Pojemność zobojętniania kwasów (ANC), obliczona jako różnica stężeń kationów mocnych zasad (Ca, Mg, Na, K) i anionów mocnych kwasów (SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻) w opadach, mierzona w µeq·dm⁻³, jest wskaźnikiem pozwalającym ocenić, czy w wodach występuje nadmiar wolnych mocnych kwasów (ANC<0), czy zasad (ANC>0). Inaczej mówiąc, ANC charakteryzuje zdolność wody do zobojętniania kwasów.



Ryc. 26. Średnia roczna pojemność zobojętniania kwasów (ANC) [$\mu\text{eq}\cdot\text{dm}^{-3}$] w opadach na otwartej przestrzeni (OP) i podkoronowych (PK) na SPO MI w 2017 r.

sezonem grzewczym, jak i zmniejszonej aktywności biologicznej drzew i mniejszej wymianie jonowej niż w okresie wegetacyjnym. Na wszystkich powierzchniach obserwacyjnych ANC półrocza zimowego było niższe niż w półroczu letnim (ryc. 27).

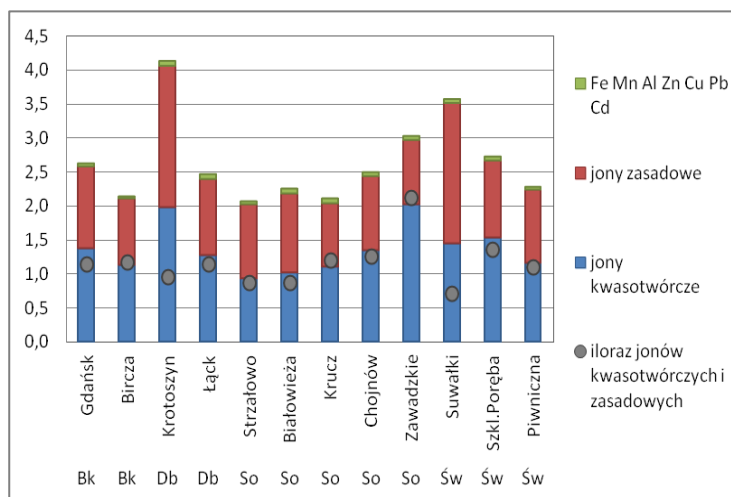


Ryc. 27. Pojemność zobojętniania kwasów (ANC) [$\mu\text{eq}\cdot\text{dm}^{-3}$] w opadach podkoronowych na SPO MI w 2017 r. Średnie dla okresu zimowego (miesiące I-IV, XI i XII) i letniego (V-X)

z pięciu drzewostanów sosnowych: w Białowieży, Strzałowie, Kruczu i Chojnowie (odpowiednio: 127,0, 69,0, 31,3 i 31,0 $\mu\text{eq dm}^{-3} \text{ rok}^{-1}$). W drzewostanach: sosnowym na obszarze Śląska (w Zawadzkim) oraz w świerkowym w Sudetach (w Szklarskiej Porębie) w opadach występowała przewaga jonów wolnych kwasów (ANC wynosiło odpowiednio: -40,2 i -0,3 $\mu\text{eq dm}^{-3} \text{ rok}^{-1}$).

W porównaniu z wodami opadowymi udział opadów podkoronowych z ujemnymi wartościami ANC występował rzadziej (w 35% przypadków) – ryc. 26. Ujemne wartości ANC, związane z przewagą jonów wolnych kwasów, występowały przeważnie w okresie zimowym, co można przypisać zarówno wzmożonym emisjom zanieczyszczeń w związku z

Dodatnią średnią roczną wartość ANC (przewagę wolnych zasad) w opadach podkoronowych odnotowano w świerczynach: w Suwałkach i Piwnicznej (143 i 38,2 $\mu\text{eq}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{rok}^{-1}$), w obu drzewostanach dębowych: w Krotoszynie i Łącku (175,0 i 62,3 $\mu\text{eq}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{rok}^{-1}$), w obu drzewostanach bukowych: w Gdańsku i Birczy (23,8 i 22,9 $\mu\text{eq dm}^{-3} \text{ rok}^{-1}$) oraz w czterech



Ryc. 28. Ładunek jonów [kmol_c·ha⁻¹] oraz stosunek depozytu jonów kwasotwórczych do zasadowych w opadach podkoronowych na SPO MI w 2017 roku

przekraczający połowę całkowitej depozycji podokapowej zarejestrowano w Szklarskiej Porębie (54%), Chojnowie (53%), Birczy, Kruczu i Gdańsku (po 52%) oraz w Łącku (51%). W Piwnicznej, Krotoszynie, Strzałowie, Białowieży i Suwałkach wynosił od 50% do 41% (ryc. 28).

W grupie powierzchni, gdzie depozyt molowy jonów zasadowych (Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺ i Na⁺) przewyższał depozyt jonów zakwaszających, znalazły się, podobnie jak w latach ubiegłych, nadleśnictwa Białowieża, Strzałowo i Suwałki (ryc. 28).

Spływ po pniu

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 (ryc. 18). W monitoringu lasów ta frakcja wód opadowych jest badana jedynie w drzewostanach bukowych, gdyż architektura koron buka oraz struktura kory w większym stopniu sprzyjają odprowadzaniu opadu po pniach niż u innych gatunków. Spływ po pniu stanowi wobec tego w buczynach istotną formę transportu wody, substancji pokarmowych oraz zanieczyszczeń zawartych w opadach, modyfikując warunki glebowe w strefach wokół pni (Chang i Matzner 2000).

Pobór próbek spływu po pniu prowadzono w nadleśnictwach Gdańsk i Bircza w okresie bezmroźnym. Szacuje się, że ilość spływu po pniu przekroczyła w okresie badań 105 mm w Gdańsku i 56 mm w Birczy. W miesięcznych okresach badań spływ po pniach stanowił od 8% do 16% opadu bezpośredniego (na otwartej przestrzeni) w Gdańsku oraz od 5% do 14% w Birczy, co odpowiada wartościom przytaczanym w literaturze (Chang i Matzner 2000, Johnson i Lehmann 2006).

Jony o zakwaszającym oddziaływaniu na środowisko (SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, Cl⁻) stanowiły od 41% do 66% rocznego molowego depozytu (sumy azotu całkowitego, chlorków, siarczanów (VI), kationów zasadowych, żelaza, glinu, manganu i metali ciężkich, wyrażonej w mol_c ha⁻¹). Najwyższy udział jonów o charakterze zakwaszającym stwierdzono w Zawadzkiem (66%), udział

W składzie chemicznym spływu po pniu zauważalny był wpływ aerozoli morskich w Gdańsku: średnie stężenia jonów sodowych, chlorkowych, Ca, Mg i K były większe niż w Birczy. Ponadto spływ po pniu w Birczy charakteryzował się średnio w okresie badań 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 11,2 kg ha⁻¹ w Gdańsku oraz 4,8 kg ha⁻¹ w Birczy. Stanowiło to 17% depozytu podkoronowego w Gdańsku i 10% w Birczy. Woda opadowa spływając po pniach, w większym stopniu niż przepływając przez warstwę koron, wzbogaca się w K⁺ i związki organiczne, co w odniesieniu do K⁺ potwierdzają wyniki innych badań (Chang i Matzner 2000). Mimo że suma opadu odprowadzonego po pniach stanowiła średnio zaledwie 14% opadu podkoronowego w Gdańsku i 9% w Birczy, depozyt jonów potasu stanowił aż 25% depozycji tego składnika w wodach podkoronowych w Gdańsku i 13% w Birczy, a depozyt rozpuszczonego węgla organicznego aż 42% depozycji podokapowej RWO w Gdańsku i 21% w Birczy.

Depozyt podkoronowy mieścił się w zakresie od 49,3 do 103,7 kg ha⁻¹ rok⁻¹. Szczególnie wysoki był w drzewostanie dębowym w Krotoszynie (103,7 kg ha⁻¹ rok⁻¹), na powierzchniach świerkowej w Suwałkach (87,4 kg ha⁻¹ rok⁻¹) i bukowej w Gdańsku (76,3 kg ha⁻¹ rok⁻¹; suma depozycji z opadów podkoronowych i spływu po pniu).

Depozyt pierwiastków śladowych i metali ciężkich: żelaza, manganu, glinu, cynku, miedzi, kadmu i ołowiu wynosił od 0,75 do 1,64 kg·ha⁻¹·rok⁻¹, co odpowiadało od 1,4% do 3,6% całkowitej rocznej depozycji podokapowej. Udział samych metali ciężkich (Zn, Cu, Pb, i Cd) stanowił w sumie rocznego depozytu od 0,4% do 0,8%.

Obniżone pH, tj. niższe niż 5,0 występowało w ciągu roku w 24% miesięcznych próbek opadów podkoronowych. Obniżone pH opadów przeważało w okresie zimowym (w styczniu, lutym, marcu i w grudniu).

W porównaniu z wodami opadowymi udział opadów podkoronowych z ujemnymi wartościami ANC występował rzadziej (w 35% przypadków).

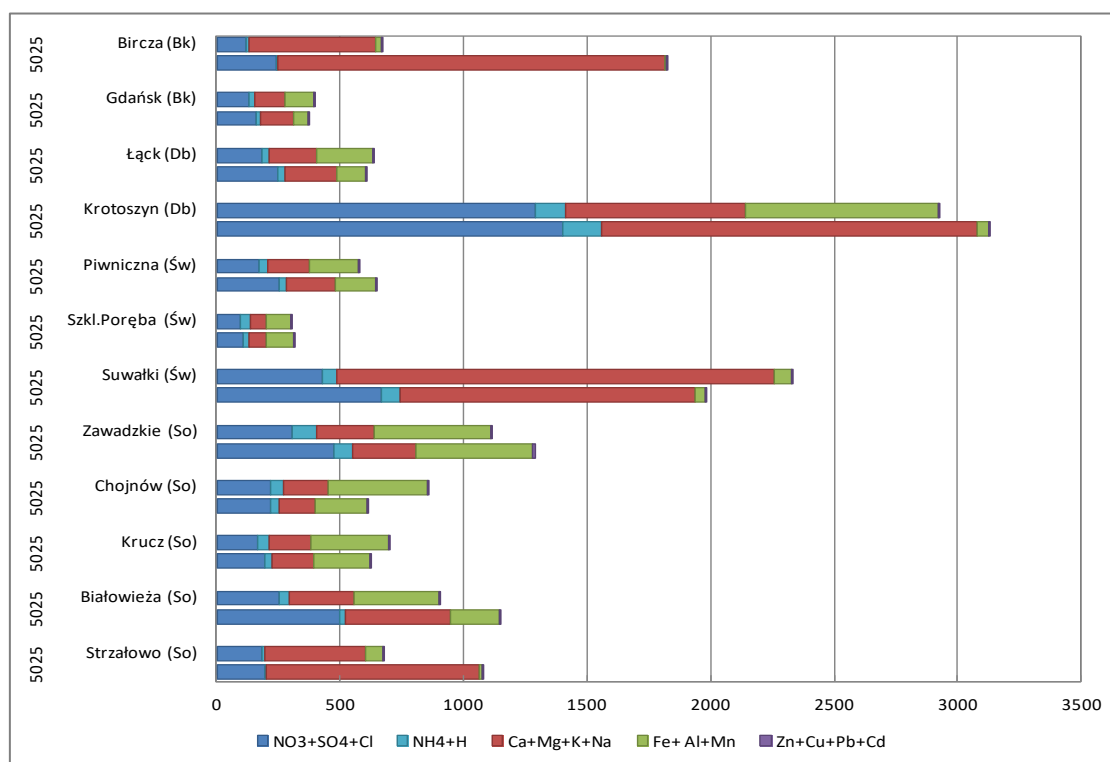
Depozyt składników wniesiony ze spływem po pniu wyniósł w okresie badań: w Gdańsku – 11,2 kg ha⁻¹ (17% depozytu podkoronowego) oraz w Birczy – 4,8 kg ha⁻¹ (10% depozytu podkoronowego).

Roztwory glebowe

Roztwory glebowe stanowią drogę transportu składników odżywczych i substancji toksycznych między fazą stałą gleby a korzeniami roślin (ryc. 18). Ich skład chemiczny jest więc źródłem informacji istotnych dla oceny wpływu zanieczyszczeń powietrza oraz innych czynników stresowych na ekosystemy leśne (Nieminen 2011).

W 2017 r. średnie pH w badanych roztworach glebowych pobranych z SPO MI wynosiło od 4,13 do 6,85 na głębokości 25 cm oraz od 4,41 do 7,42 na głębokości 50 cm. W porównaniu z rokiem poprzednim, poza kilkoma wyjątkami, nie odnotowano zmian większych niż $\pm 0,2$ jednostki pH.

Najbardziej kwaśne roztwory występowały w drzewostanach sosnowych w Zawadzkiem z pH 4,2 na głębokości 25 cm i 4,4 na głębokości 50 cm, a także w Kruczu i Chojnowie (pH od 4,4 do 4,6). W świerczynach w Szklarskiej Porębie i Piwnicznej, w drzewostanie dębowym w Łącku, bukowym w Gdańsku i sosnowym w Białowieży pH roztworów glebowych na obu głębokościach mieściło się w zakresie 4,5-4,8. W dąbrowie w Krotoszynie pH na głębokości 50 cm wynosiło 6,1, lecz w płytszym poziomie było równe tylko 4,1. W Strzałowie (sosna), Birczy (buk) i w Suwałkach (świerk) pH osiągało na głębokości 50 cm średnie wartości w zakresie 6,7-7,4. Z reguły w górnej części profilu glebowego występowało nieznaczne zakwaszenie roztworów w stosunku do głębszych poziomów. W Krotoszynie, Strzałowie i Birczy różnica między pH na głębokości 25 cm i 50 cm była stosunkowo wysoka i wynosiła odpowiednio 2,0, 0,7 i 0,6 jednostki pH.



Ryc. 29. 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 2017 r.

W składzie roztworów glebowych znaczący udział miały kationy o charakterze zasadowym: Ca, Mg i K. Wysoki ich udział występował na powierzchniach w Birczy, Strzałowie i Suwałkach, wynosił odpowiednio: 78%, 73% i 55% na głębokości 50 cm oraz 68%, 52% i 73% w płytszej części profilu (na głębokości 25 cm) (ryc. 29). Niższy ich udział

występował na powierzchniach w Białowieży i Krotoszynie: 23% i 21% na głębokości 25 cm oraz 32% i 38% na głębokości 50 cm. W dąbrowie w Łącku i świerczynie w Piwnicznej mieścił się w zakresie od 19% do 21%, a w drzewostanach sosnowych w Kruczu, Chojnowie i Zawadzkiem – w zakresie od 11% do 15%. Szczególnie niski udział kationów o charakterze zasadowym (10-11%) w sumie jonów oznaczono na powierzchniach: bukowej w Gdańsku i świerkowej w Szklarskiej Porębie.

Stosunek molowy jonów zasadowych (Ca, Mg i K) do glinu (BC/Al) jest stosowany jako wskaźnik stopnia zagrożenia gleby przez czynniki zakwaszające. Przyjmuje się, że przy wartościach $(Ca+Mg+K)/Al \geq 1$ korzenie drzew są chronione przed skutkami zakwaszania gleb. Wskaźnik ten był również stosowany jako podstawa wyznaczania ładunku krytycznego kwasowej depozycji dla gleb leśnych (np. Semenov i in. 2001, Akselsson i in. 2004).

Stosunek molowy jonów zasadowych (Ca, Mg i K) do glinu przyjął znacznie niższe od jedności wartości (0,3-0,7) w roztworach glebowych na obu głębokościach w nadleśnictwach: Szklarska Poręba (świerk), Chojnów (sosna), Krucz (sosna), Zawadzkie (sosna) i Gdańsk (buk). W Piwnicznej (świerk) mieścił się w granicach 0,7-0,9. W Łącku (dąb) wynosił 0,7 na głębokości 25 cm i wzrastał do 1,5 w głębszym poziomie gleby. W Białowieży (sosna) BC/Al wynosił 1,0 na głębokości 25 cm i wzrastał do 2,0 w głębszym poziomie gleby. Na pozostałych powierzchniach: w Krotoszynie (dąb), Strzałowie (sosna), Birczy (buk) i Suwałkach (świerk) – przekraczał, niekiedy znacznie, przyjętą wartość krytyczną, wskazując na brak zagrożenia korzeni ze strony toksycznych form glinu. Obecność azotanów w perkolatach 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).

W okresie badań jony NO_3^- występowały w roztworach glebowych poniżej głównej strefy korzeniowej roślin na głębokości 50 cm w Białowieży w stężeniu od 0,6 do 5,9 mg N dm⁻³ od kwietnia do grudnia. W Suwałkach obserwowano stężenie od 0,6 do nawet 11 mg N dm⁻³, przy czym w najwyższym stężeniu jony te pojawiły się w październiku. W Strzałowie jony azotanowe były obecne szczególnie w początkowych i końcowych miesiącach okresu pobierania próbek w stężeniu od 0,3 do 0,7 mg N dm⁻³, a w Piwnicznej w całym okresie w zakresie stężeń 0,2-0,5 mg N dm⁻³. Jony azotanowe pojawiały się również w dąbrowach w Łącku (0,4 mg N dm⁻³ w marcu i kwietniu) oraz w całym okresie pobierania próbek w Krotoszynie (1,2-24 mg N dm⁻³), w wyższych stężeniach niż w latach poprzednich.

W Suwałkach obecność azotanów można wiązać z uszkodzeniem drzewostanu i powolnym rozpadem związanym z obecnością kornika i chorobami grzybowymi, w wyniku

czego część powierzchni badawczej została pozbawiona drzew. Wykonywane są tam dalsze cięcia sanitarne, ostatnio zimą 2017/2018. W Łącku, Strzałowie i Piwnicznej także obserwuje się miejscami wzmożone wypadanie drzew uszkodzonych pierwotnie przez choroby grzybowe, w Piwnicznej również przez kornika. W Krotoszynie w drzewostanie przeprowadzono w 2017 roku cięcia sanitarne, czego następstwem może być wzmożone uwalnianie N-NO_3^- do roztworów glebowych wskutek przyspieszonej mineralizacji materii organicznej.

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).

Obecność jonów amonowych w roztworach glebowych w Krotoszynie i Suwałkach może świadczyć zarówno o nadmiernym dopływie azotu z depozycją atmosferyczną, jak i o wysokim tempie mineralizacji materii organicznej, będącym następstwem np. odsłonięcia gleby wskutek obumarcia drzew lub przeprowadzonych cięć sanitarnych. Innym czynnikiem stymulującym pojawianie się NH_4^+ w fazie wodnej gleby jest spowolnienie tempa nityfikacji (por. Gundersen i in. 1998) przy niskim pH gleby i szerokim stosunku węgla do azotu w warstwie organicznej, czyli w warunkach charakterystycznych dla gleb SPO MI w Zawadzkiem, gdzie NH_4^+ również były obecne w roztworach glebowych w wykrywalnych ilościach. Formy azotu, które są zazwyczaj mocno związane w kompleksie sorpcyjnym, pojawiają się w fazie wodnej gleby, powiększając pulę azotu podatnego na wymywanie.

Średnie pH badanych roztworów glebowych wynosiło od 4,13 do 6,85 na głębokości 25 cm oraz od 4,41 do 7,42 na głębokości 50 cm.

Stosunek molowy jonów zasadowych (Ca, Mg i K) do glinu (BC/Al) przyjął wartości znacznie niższe od jedności (od 0,3 do 0,7) w roztworach glebowych na obu głębokościach w drzewostanach sosnowych w nadleśnictwach: Chojnów, Krucz i Zawadzkie, w drzewostanie świerkowym w Nadleśnictwie Szklarska Poręba oraz w drzewostanie bukowym w Nadleśnictwie Gdańsk.

8. LITERATURA

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

- Bekele A., Kellman L., Beltrami H. (2007). *Soil profile CO₂ concentrations in forested and clear cut sites in Nova Scotia, Canada*. Forest Ecology and Management, 242: 587-597.
- Biuletyny Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej*, miesięczniki z lat 2013-2017, 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).
- 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.
- Covington W.W. (1981). *Changes in forest floor organic matter and nutrient content following clear cutting in northern hardwoods*. Ecology, 62: 41-48.
- Elliot W.J. (2003). *Soil erosion in forest ecosystems and carbon dynamics*. [In:] Kimble J.M., Heath L.S., Birdsey R.A., Lal R. (Eds.), *The Potential of US Forest Soils to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 175-190.
- Gundersen P., Emmett B. A., Kjønås O. J., Koopmans C. J., Tietema A. (1998). *Impact of nitrogen deposition on nitrogen cycling in forests : a synthesis of NITREX data*. Forest Ecology and Management, 101, 37-55.
- Gundersen P., Rasmussen L. (1995). *Nitrogen mobility in a nitrogen limited forest at Klosterhede, Denmark, examined by NH₄NO₃ addition*. Forest Ecology and Management, 71, 75-88.
- Johnson M. S., Lehmann J. (2006). *Double-funneling of trees: Stemflow and root-induced preferential flow*. Écoscience, 13(3), 324-333.
- Kalbitz K.S., Solinger S., Park J.-H., Michalzik B., Matzner E. (2000). *Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review*. Soil Science, 165: 277-304.
- Komatsu H., Shinohara Y., Kume T., Otsuki K. (2008). *Relationship between annual rainfall and interception ratio for forests across Japan*. Journal of Hydrology, 256: 1189-1197.
- Kondo J., Nakazono M., Watanabe T. (1992). *Hydrological climate in Japan (2): forest rainfall interception*. Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources, 5(2): 29-36 (in Japanese with English summary).
- Kowalska A., Astel A., Boczoń A., Polkowska Ż. (2016). *Atmospheric deposition in coniferous and deciduous tree stands in Poland*. Atmospheric Environment 133/2016, 145-155.
- Kristensen H. L., Gundersen P., Callesen I., Reinds G. J. (2004). *Throughfall nitrogen deposition has different impacts on soil solution nitrate concentration in European coniferous and deciduous forests*. Ecosystems, 7: 180-192.

- Krochmal D., Kalina A. (1997a). *Technical note. A method of nitrogen dioxide and sulphur dioxide determination in ambient air by use of passive samplers and ion chromatography*. Atmospheric Environment 31(20): 3473-3479
- Krochmal D., Kalina A. (1997b). *Measurements of nitrogen dioxide and sulphur dioxide concentrations in urban and rural areas of Poland using a passive sampling method*. Environmental Pollution 96(3): 401-7.
- 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.
- 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 2017*. (2017). Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Rocznik Statystyczny Województw 2016*. (2016). Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu*. (2012). Dziennik Ustaw z dn. 18 września 2012, poz. 1031.
- Semenov M., Bashkin V., Sverdrup H. (2001). *Critical loads of acidity for forest ecosystems of North Asia*. Water, Air, and Soil Pollution, 130: 1193-1198.
- Thimonier A., Schmitt M., Waldner P., Rihm B. (2005). *Atmospheric Deposition on Swiss Long-Term Forest Ecosystem Research (LWF) Plots*. Environmental Monitoring and Assessment, 104(1-3), 81–118.
- 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.