

INSTYTUT BADAWCZY LEŚNICTWA



STAN ZDROWOTNY LASÓW POLSKI W 2016 ROKU

Sękocin Stary, 2017

INSTYTUT BADAWCZY LEŚNICTWA

ZAKŁAD ZARZĄDZANIA ZASOBAMI LEŚNYMI

Stan zdrowotny lasów Polski w 2016 roku

Synteza

**opracowania pt. "Stan uszkodzenia lasów w Polsce w 2016 roku na
podstawie badań monitoringowych"**



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

Autor tematu: Jerzy Wawrzoniak

Zespół autorski: Andrzej Boczoń, Robert Hildebrand, Anna Kowalska, Paweł Lech,
Jadwiga Małachowska, Sławomir Ślusarski, Jerzy Wawrzoniak,
Grzegorz Zajączkowski

Kierownik Zakładu :

Dyrektor Instytutu:

Sękocin Stary, październik 2017

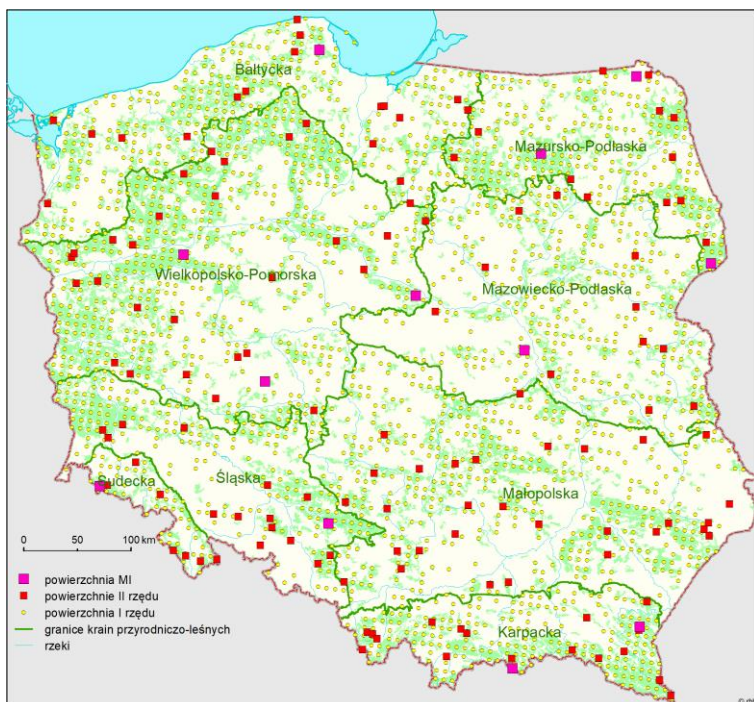
Monitoring lasu jest finansowany przez Ministerstwo Środowiska, Dyрекję Generalną Lasów Państwowych, Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oraz Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

SPIS TREŚCI

Wstęp – Jerzy Wawrzoniak	2
Program monitoringu lasów w 2016 roku – Jerzy Wawrzoniak, Grzegorz Zajączkowski	3
Część I Monitoring lasów na stałych powierzchniach obserwacyjnych I rzędu.....	5
1. Ocena poziomu uszkodzenia monitorowanych gatunków drzew – Jadwiga Małachowska	6
2. Ocena symptomów i przyczyn uszkodzeń drzew – Paweł Lech, Sławomir Ślusarski.....	20
3. Wpływ warunków pogodowych na zdrowotność drzewostanów – Jadwiga Małachowska	24
4. Defoliacja drzew przy różnej dostępności wody glebowej – Andrzej Boczoń, Robert Hildebrand.....	26
5. Zmiany składu gatunkowego w drzewostanach w dziesięcioleciu 2007-2016 – Grzegorz Zajączkowski, Jerzy Wawrzoniak	33
Część II Badania na stałych powierzchniach obserwacyjnych monitoringu intensywnego (SPO MI).....	35
6. Wielkość depozytu wnoszonego z opadami atmosferycznymi– Anna Kowalska.....	35
7. Poziom koncentracji NO ₂ i SO ₂ w powietrzu – Anna Kowalska	40
8. Opady podkoronowe oraz roztwory glebowe– Anna Kowalska	44
9. Zanieczyszczenia powietrza oraz ocena zagrożenia zakwaszeniem i eutrofizacją terenów leśnych w Polsce na podstawie wyników badań na SPO MI – Anna Kowalska	51
Literatura	54

WSTĘP – JERZY WAWRZONIAK

W ostatnim dziesięcioleciu 2007-2016 wyraźnie daje się zauważyć trend wzrostu średniej defoliacji koron monitorowanych gatunków drzew. Pomijając lokalne i krótkookresowe stresy środowiskowe, wydaje się, że głównym czynnikiem determinującym ten trend jest zmiana klimatu. Szczególną rolę w tym procesie odgrywa deficyt wodny wywołany przez niedobór opadów, zwłaszcza w okresie wegetacyjnym. Średnia defoliacja nie wzrasta co roku. W latach, gdy deficyt wodny nie występuje, jest mniejszy lub występuje lokalnie – poziom defoliacji obniża się, jednak nie na tyle, aby odwrócić obserwowany trend wzrostowy.



Rys. 1. Rozmieszczenie stałych powierzchni obserwacyjnych I i II rzędu oraz powierzchni monitoringu intensywnego (MI) w krainach przyrodniczo-leśnych (2016 rok)

liczebności świerka. Proces ten wywołany jest w znacznej mierze przez gospodarkę leśną, która promuje gatunki liściaste, w ramach zalecanej przebudowy drzewostanów iglastych na drzewostany mieszane, oraz chroni odnowienia podsadzeń przed zgryzaniem przez zwierzyńę, stosując grodzenia. Wydaje się jednak, że stopień przeżywalności gatunków liściastych i wzrost ich udziału w drzewostanie jest również wynikiem sprzyjających warunków klimatycznych, wyrażających się wzrostem średniej rocznej temperatury powietrza, wydłużeniem okresu wegetacyjnego czy też powolnym procesem eutrofizacji. Czynniki te mogą również wpływać na wzrost defoliacji drzew, obserwowany w ostatnim okresie, poprzez zmiany związane z procesem fotosyntezy. Można przypuszczać, że w procesie adaptacji do zmieniających się warunków klimatycznych i wzrastającej koncentracji dwutlenku węgla proces fotosyntezy zachodzi bardziej efektywnie i mniejsza powierzchnia asymilacyjna wystarcza, aby zaspokoić potrzeby drzew na asymilaty. W tej sytuacji zwiększanie powierzchni asymilacyjnej wydaje się zbędne, tym

Zmiany klimatu, obok wpływu na wzrost poziomu defoliacji drzew, mają prawdopodobnie również wpływ na powolne zmiany w składzie gatunkowym drzewostanów. Na podstawie dziesięcioletnich obserwacji na ponad 2000 stałych powierzchni obserwacyjnych I rzędu monitoringu lasów daje się zauważyć nieznaczny wzrost liczby gatunków drzew, wzrost liczebności gatunków liściastych, takich rodzajów jak lipa, klon, dąb oraz zmniejszanie się udziału

bardziej że w warunkach wzrostu temperatury powietrza i ograniczonych opadów w okresie wegetacyjnym większa defoliacja, czyli mniejsza powierzchnia asymilacyjna zmniejsza transpirację, ograniczając negatywne skutki niedoboru wody. Powyższe rozumowanie potwierdza również wzrost przyrostu bieżącego drzewostanów odnotowany w ostatnich latach mimo wzrostu defoliacji, czyli przy ograniczonej powierzchni asymilacyjnej drzew. Wydaje się, że w pierwszej fazie adaptacji drzew do zmian klimatu najpierw wystąpią zmiany procesów fizjologicznych i anatomicznych, a dopiero po przekroczeniu możliwości kompensacyjnych, wynikających z tych mechanizmów nastąpią zmiany w strukturze genetycznej.

PROGRAM MONITORINGU LASÓW W 2016 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 2016 roku liczba czynnych powierzchni wynosiła: 2001 wśród SPO I rzędu oraz 138 wśród SPO II rzędu.

W 2016 roku wykonano następujące pomiary i obserwacje:

1. Monitoring uszkodzeń drzewostanów – przeprowadzony na 2001 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, grubość na wysokości piersnicy, 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 2001 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 2016 r.

Kraina przyrodniczo-leśna	W zarządzie Lasów Państwowych	Osób fizycznych	W granicach parków narodowych	Pozostałe własności	Własności razem
Bałtycka	291	20	3	6	320
Mazursko-Podlaska	163	44	7	2	216
Wielkopolsko-Pom.	348	48	2	9	407
Mazowiecko-Podl.	146	162	5	5	318
Śląska	149	11	0	8	168
Małopolska	185	147	3	18	353
Sudecka	34	4	1	4	43
Karpacka	88	69	12	7	176
Razem	1404	505	33	59	2001

W 2016 roku przeprowadzono obserwacje na 2001 SPO I rzędu (Rys. 1). Większość powierzchni znajduje się w lasach będących w zarządzie Lasów Państwowych (1404 pow.) oraz w lasach będących własnością osób fizycznych (505 pow.) (Tab. 1).

Liczba powierzchni w lasach wszystkich form własności zawiera się w przedziale: 1) w układzie krain przyrodniczo-leśnych: od 43 w Krainie Sudeckiej do 407 w Krainie

Wielkopolsko-Pomorskiej, 2) w układzie regionalnych dyrekcji LP: od 64 w RDLP w Pile do 178 w RDLP w Białymstoku, 3) w układzie województw: od 39 w województwie opolskim do 205 w województwie mazowieckim.

Liczby powierzchni wg gatunku panującego w drzewostanie wynoszą: powierzchnie z dominacją sosny – 1224, świerka – 84, jodły – 47, innych iglastych – 18, buka – 74, dębu – 135, brzozy – 180, olszy – 134, innych liściastych – 105 (Tab. 2).

Tabela 2. Liczba SPO I rzędu w lasach wszystkich form własności, zestawienie według gatunków w układzie krain przyrodniczo-leśnych w 2016 r.

Kraina przyrodniczo-leśna	Sosna	Świerk	Jodła	Inne iglaste	Iglaste razem	Buk	Dąb	Brzoza	Olsza	Inne liściaste	Liściaste razem	Gatunki razem
Bałtycka	187	11	0	6	204	23	23	34	28	8	116	320
Mazursko-Podlaska	120	17	0	0	137	1	6	27	34	11	79	216
Wielkopolsko-Pom.	334	2	0	2	338	5	17	21	14	12	69	407
Mazowiecko-Podl.	212	1	0	0	213	0	20	50	30	5	105	318
Śląska	96	3	0	4	103	4	25	16	6	14	65	168
Małopolska	248	3	9	1	261	8	32	24	12	16	92	353
Sudecka	1	20	0	0	21	1	7	4	1	9	22	43
Karpacka	26	27	38	5	96	32	5	4	9	30	80	176
Razem	1224	84	47	18	1373	74	135	180	134	105	628	2001

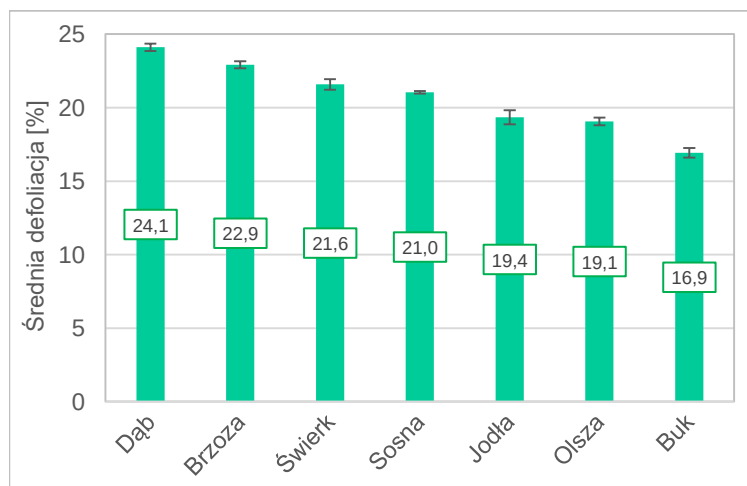
1. OCENA POZIOMU USZKODZENIA MONITOROWANYCH GATUNKÓW DRZEW

– 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.

Zróznicowanie uszkodzenia monitorowanych gatunków drzew

Średnia defoliacja wszystkich gatunków razem wynosiła 22,7%, iglastych – 22,4%, a liściastych – 23,2%. Udział drzew zdrowych (do 10% defoliacji) gatunków razem wynosił 8,3%, a udział drzew uszkodzonych (powyżej 25% defoliacji) – 19,5%. Gatunki liściaste charakteryzowały się wyższym udziałem drzew zdrowych (11,2%) oraz wyższym udziałem drzew uszkodzonych (24,0%) niż gatunki iglaste (odpowiednio: 6,7% i 17,1%). Udział drzew w klasie ostrzegawczej (drzewa lekko uszkodzone, od 11% do 25% defoliacji) wynosił: gatunków razem – 72,2%, gatunków iglastych – 76,3%, a gatunków liściastych – 64,8% (Rys. 3).



Rys. 2. Porównanie wartości średniej defoliacji pomiędzy gatunkami drzew w kraju (po odrzuceniu wartości odstających, defoliacja powyżej 40%) wraz z 'wąsami błędów standardowych' – 2016 r.

W celu określenia istotności różnic defoliacji poszczególnych gatunków drzew wykonano analizę wariancji na zbiorze wartości defoliacji siedmiu grup głównych gatunków lasotwórczych. Dla wzmocnienia mocy testów zbiór danych pomniejszono o wartości odstające (wartości defoliacji powyżej 40%, stanowiące około 5% wszystkich danych). Analiza wykazała

występowanie istotnej różnicy w defoliacji pomiędzy analizowanymi gatunkami drzew ($F(6)=301,20$; $p<0,001$; $\eta^2=0,05$). Siła związku mierzona parametrem η^2 okazała się słaba, to znaczy, że przynależność do gatunku drzewa w małym stopniu tłumaczyła wariancję defoliacji występującą w całym zbiorze analizowanych drzew. Jodła i olsza to para gatunków drzew, pomiędzy którymi różnica w defoliacji była nieistotna statystycznie. Różnice defoliacji

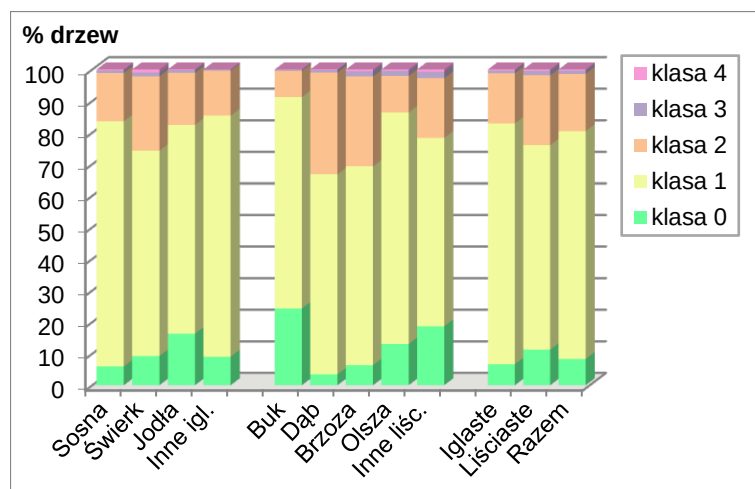
pośród pozostałych parami gatunków były istotne statystycznie. Silny efekt różnicy (wskaźnik d Cohena $\approx 0,80$) wystąpił pomiędzy: dębem a bukiem, dębem a olszą oraz brzozą a bukiem. Zróznicowanie wartości średniej defoliacji pomiędzy gatunkami w kraju (po odrzuceniu wartości odstających) przedstawia rysunek 2.

W 2016 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 < olsza, jodła < inne liściaste < inne iglaste < sosna < świerk < brzoza < dąb.

W kolejnych latach pięciolecia 2012-2016 średnia defoliacja gatunków razem wynosiła: 22,8%, 21,6%, 21,9%, 21,5% i 22,7%; udział drzew zdrowych wynosił: 11,3%, 13,7%, 11,6%, 11,9% i 8,3%; udział drzew uszkodzonych: 23,4%, 18,8%, 18,9%, 16,7% i 19,5%.

W latach 2012 oraz 2014-2015 zmiany kondycji lasów były niewielkie. W 2013 r., w porównaniu z 2012 r., odnotowano poprawę stanu lasów: wzrost udziału drzew zdrowych (o 2,5 punktu procentowego) oraz spadek udziału drzew uszkodzonych (o 4,6 punktu procentowego). W latach 2014-2015 ogólna kondycja lasów nie uległa wyraźnej zmianie. W 2016 roku nastąpiło pogorszenie, 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



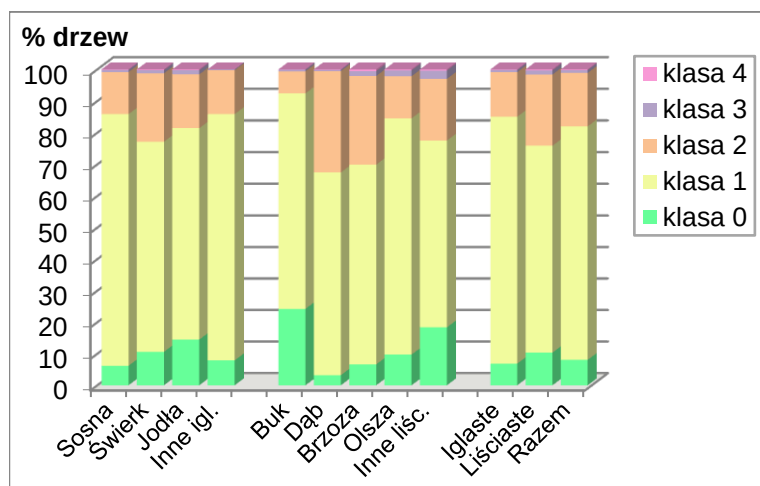
Rys. 3. Udział drzew monitorowanych gatunków w klasach defoliacji w 2016 roku. Wszystkie formy własności.

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 (Rys. 3, 4, 5).

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

¹ Na potrzeby opracowań monitoringu lasów utworzono grupę powierzchni zlokalizowanych w lasach parków narodowych, na którą składają się powierzchnie 'w zarządzie parków narodowych' (17 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'.

małą liczebność próby (poniżej 30 drzew) zostały pominięte w przedstawionym poniżej omówieniu wyników.



Rys. 4. Udział drzew monitorowanych gatunków w klasach defoliacji w 2016 roku. Lasy w zarządzie Lasów Państwowych.

Poziom uszkodzenia **sosny** w parkach narodowych i w lasach będących własnością osób fizycznych nie wykazywało znaczących różnic, było natomiast wyższe niż w lasach dwóch pozostałych form własności. Z kolei uszkodzenie drzew tego gatunku w lasach Lasów Państwowych było nieco niższe niż w lasach ‘innych własności

razem’. Średnia defoliacja drzew w lasach czterech analizowanych kategorii własności wynosiła: 21,7% (Lasy Państwowe), 22,3% (inne), 24,1% (osób fizycznych) i 24,2% (parki narodowe). – Tab. 3.

Tabela 3. Średnia defoliacja monitorowanych gatunków według form własności – 2016 r.

Gatunek drzewa	W zarządzie Lasów Państwowych	Osób fizycznych	W zarządzie Parków Narodowych	Pozostałe własności	Własności razem
Sosna	21,7	24,1	24,2	22,3	22,3
Świerk	22,9	27,5	31,3	21,3	24,2
Jodła	21,9	17,7	27,3	18,9	21,1
Inne iglaste	21,4	31,0	25,6	19,0	21,8
Gat. iglaste	21,8	24,1	27,0	21,9	22,4
Buk	17,6	17,3	20,2	18,0	17,8
Dąb	25,4	24,7	17,9	34,1	25,7
Brzoza	25,0	25,6	31,1	27,4	25,3
Olsza	21,7	19,6	24,5	15,4	20,9
Inne liściaste	22,7	22,3	23,3	22,0	22,5
Gat. liściaste	23,2	22,9	23,9	25,7	23,2
Gat. razem	22,3	23,6	25,6	23,5	22,7

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

Największy poziom uszkodzenia **świerka** zarejestrowano w lasach parków narodowych. Nie odnotowano tam drzew zdrowych, udział drzew uszkodzonych wynosił 37,3% (pozostałe drzewa zaliczone zostały do klasy ostrzegawczej), a średnia defoliacja – 31,3%. Duże uszkodzenia występowały w lasach będących własnością osób fizycznych (7,4% drzew zdrowych, 35,6% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja – 27,5%). Niższe uszkodzenia występowały w lasach Lasów Państwowych oraz w lasach ‘innych własności razem’.

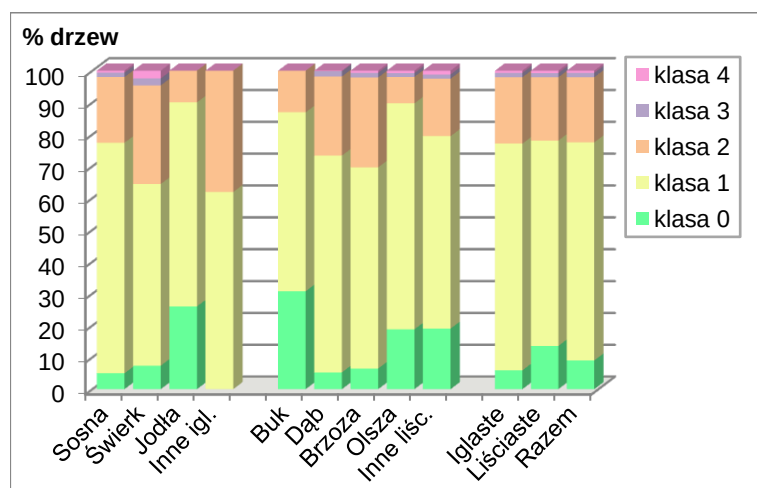
Jodły o największym poziomie uszkodzenia zaobserwowano w lasach parków narodowych (brak drzew zdrowych, 44,4% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja – 27,3%). Mniej uszkodzone były jodły w lasach pozostających w zarządzie Lasów Państwowych, najmniej – w lasach będących

własnością osób fizycznych (odpowiednio: 14,5% i 26,0% drzew zdrowych, 18,6% i 10,0% drzew uszkodzonych, 21,9% i 17,7% średniej defoliacji).

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 7,9%, udział drzew uszkodzonych: 9,5% i 14,1%, średnia defoliacja: 19,0% i 21,4%.

Największy poziom uszkodzenia **buków** występowało w lasach parków narodowych, zanotowano tam najmniej drzew zdrowych (18,5%), najwięcej drzew uszkodzonych (16,9%) oraz najwyższą średnią defoliację (20,2%).

Największy poziom uszkodzenia **dębów** obserwowano w lasach **‘innych własności razem’** (0,7% drzew zdrowych, 68,7% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja – 34,1%). Dęby w lasach w zarządzie Lasów Państwowych i w lasach będących własnością osób fizycznych były mniej uszkodzone (odpowiednio: 3,2% i 5,3% drzew zdrowych, 32,6% i 26,7% drzew uszkodzonych, 25,4% i 24,7% średniej defoliacji).



Rys. 5. Udział drzew monitorowanych gatunków w klasach defoliacji w 2016 roku. Lasy będące własnością osób fizycznych. (Inne iglaste – wyniki z 21 drzew).

Największy poziom uszkodzenia **brzoź** występował w lasach parków narodowych (brak drzew zdrowych, 45,7% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja – 31,1%). Wysokie uszkodzenie zanotowano w lasach **‘innych własności razem’** (2,6% drzew zdrowych, 39,3% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja – 27,4%). W lasach pozostałych

dwóch form własności uszkodzenie brzoź było niższe i nieróżniące się między sobą (6,5% drzew zdrowych, 30% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja około 25%).

Największy poziom uszkodzenia **olszy** zanotowano w lasach parków narodowych (3,3% drzew zdrowych, 29,5% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja – 24,5%). Uszkodzenia na średnim poziomie występowały w lasach w zarządzie Lasów Państwowych i w lasach będących własnością osób fizycznych (9,7% i 18,8% drzew zdrowych, 15,5% i 10,2% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja – 21,7% i 19,6%). Najniższe uszkodzenia obserwowano w lasach **‘innych własności razem’** (19,0% drzew zdrowych, 1,7% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja – 15,4%).

Poziom uszkodzenia drzew kategorii ‘inne liściaste’ nie wykazywał znaczącego zróżnicowania w zależności od formy własności lasów. Średnia defoliacja zawierała się w przedziale od 22,0% (lasy ‘innych własności razem’) do 22,7% (Lasy Państwowe).

Największy poziom uszkodzenia drzew (gatunki razem) występował w lasach parków narodowych. Zarejestrowano tam najmniej (5,5%) drzew zdrowych, najwięcej drzew uszkodzonych (28,5%), najwyższa była też średnia defoliacja (25,6%).

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.

Najmniejszy poziom uszkodzenia drzewa zanotowano w Lasach Państwowych. Było tam 8,0% drzew zdrowych, najmniej drzew uszkodzonych (18,0%), średnia defoliacja była również najniższa (22,3%).

Uszkodzenie monitorowanych gatunków w zależności od wieku

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).

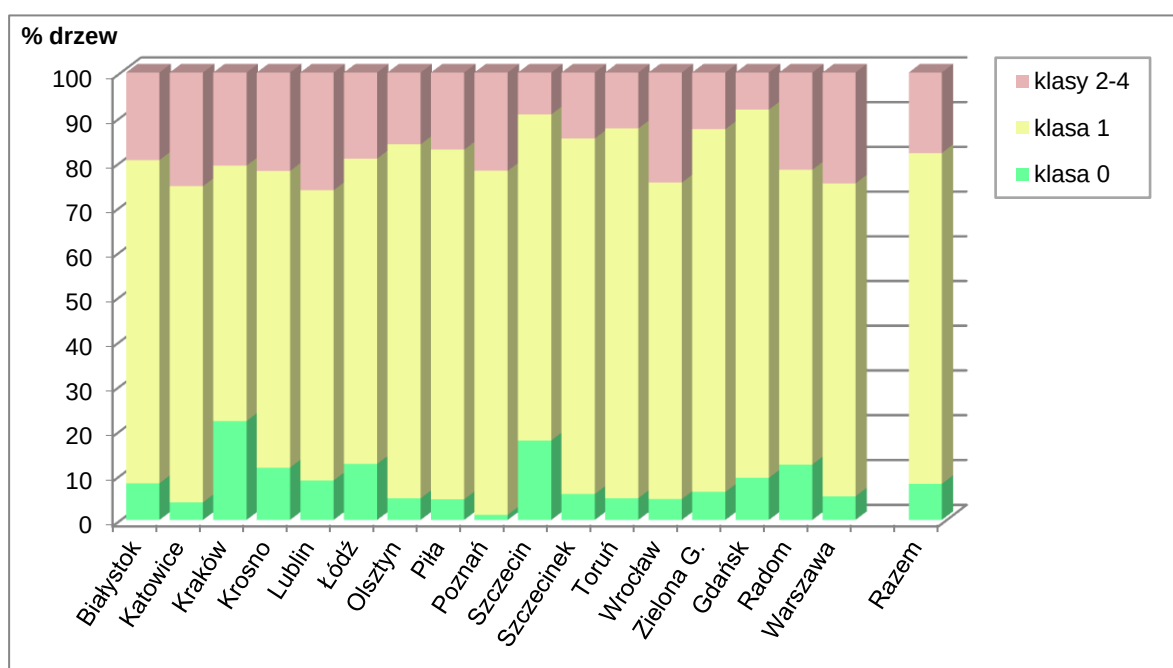
Udział drzew zdrowych (do 10% defoliacji) dla wszystkich monitorowanych gatunków razem wyniósł 8,3%, dla wieku do 60 lat – 8,8%, a dla wieku powyżej 60 lat – 7,9%. Udział drzew uszkodzonych (powyżej 25% defoliacji) razem wyniósł 19,5%, drzew młodszych – 18,7%, a drzew starszych – 20,2%. Średnia defoliacja wszystkich drzew wynosiła 22,7%, młodszych – 22,5%, natomiast starszych – 22,8%.

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’: 6,5%, 17,6%, 22,6% u drzew młodszych i 6,8%, 16,7%, 22,3% u drzew starszych oraz dla gatunków ‘liściastych razem’: 12,5%, 20,5%, 22,4% u drzew młodszych i 10,1%, 26,9%, 23,9% u drzew starszych. Obserwowana w 2016 r. zależność kondycji drzew ‘gatunki razem’ i ‘liściaste razem’ od wieku była również opisywana w latach 2006-2010 i 2012-2015. W 2011 r. nie odnotowano takiej zależności.

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

Uszkodzenie drzew w układzie regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych

Najzdrowsze okazały się drzewa w lasach RDLP w Szczecinie (17,7% drzew zdrowych, 9,4% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja – 18,7%). W niewiele gorszej kondycji były drzewa w lasach RDLP w Gdańsku (9,4% drzew zdrowych, 8,3% drzew uszkodzonych, średnia defoliacja – 19,7%). Dobłą kondycją charakteryzowały się drzewa w lasach RDLP w Krakowie i RDLP w Zielonej Górze. W RDLP w Krakowie udział drzew zdrowych był najwyższy w zestawieniu (22,1%), udział drzew uszkodzonych był na średnim poziomie (20,8%), średnia defoliacja była niska (20,6%). W RDLP w Zielonej Górze zarejestrowano niższe udziały drzew zdrowych (6,3%) oraz drzew uszkodzonych (12,7%), średnia defoliacja (20,9%) była podobna jak w RDLP w Krakowie.



Rys. 6. Udział drzew monitorowanych gatunków łącznie w klasach defoliacji w układzie regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych (lasy w zarządzie LP) w 2016 r.

Oslabioną kondycją charakteryzowały się drzewa w lasach RDLP w Szczecinku i RDLP w Toruniu (5,8% i 4,8% drzew zdrowych, 14,7% i 12,5% drzew uszkodzonych, 21,4% i 21,7% średniej defoliacji).

Regionalne dyrekcje LP w Łodzi, Olsztynie, Pile i Radomiu zaliczone zostały do grupy rdLP o średnim poziomie uszkodzenia drzew. Średnia defoliacja zawierała się w przedziale od 22,2% do 22,5%, udział drzew uszkodzonych przyjmował wartości średnie, zawierał się w przedziale od 16,0% do 21,7%. Udział drzew zdrowych był zróżnicowany: w RDLP w Olsztynie i RDLP w Pile był niski (4,8% i 4,6%), w RDLP w Łodzi i RDLP w Radomiu był znacznie wyższy (12,5% i 12,4%).

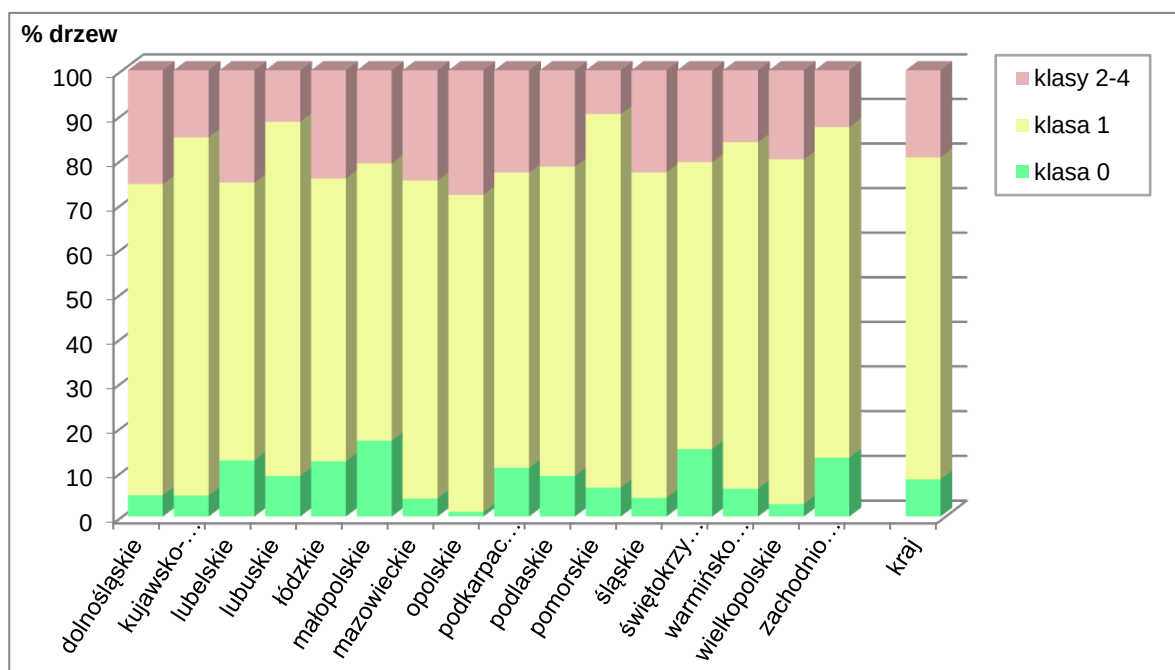
Lasy w regionalnych dyrekcjach LP w Białymstoku, Krośnie i Lublinie charakteryzowały się wysokim poziomem uszkodzenia drzew. Udział drzew zdrowych zawierał się w przedziale od 8,2% do 11,7%, udział drzew uszkodzonych – w przedziale od 19,6% do 26,3%, a średnia defoliacja – w przedziale od 23,1% do 23,6%.

Największy poziom uszkodzenia drzew zarejestrowano w lasach regionalnych dyrekcji LP w Katowicach, Wrocławiu, Warszawie i Poznaniu: bardzo niski udział drzew zdrowych (od 1,1% do 5,3%), wysoki udział drzew uszkodzonych (od 22,0% do 25,4%) i najwyższa średnia defoliacja (od 24,3% do 24,6%) (Rys. 6).

Uszkodzenie drzew w układzie województw

Najzdrowsze okazały się drzewa (gatunki razem) w lasach województw: zachodniopomorskiego, lubuskiego i pomorskiego (od 6,4% do 13,2% drzew zdrowych, od 9,9% do 12,8% drzew uszkodzonych i od 20,1% do 20,5% średniej defoliacji – Rys. 7 i 10.

Dobrą kondycją charakteryzowały się drzewa w lasach województwa małopolskiego: 17,0% drzew zdrowych, 20,9% drzew uszkodzonych i 21,7% średniej defoliacji.



Rys. 7. Udział drzew monitorowanych gatunków łącznie w klasach defoliacji w układzie województw w 2016 r.

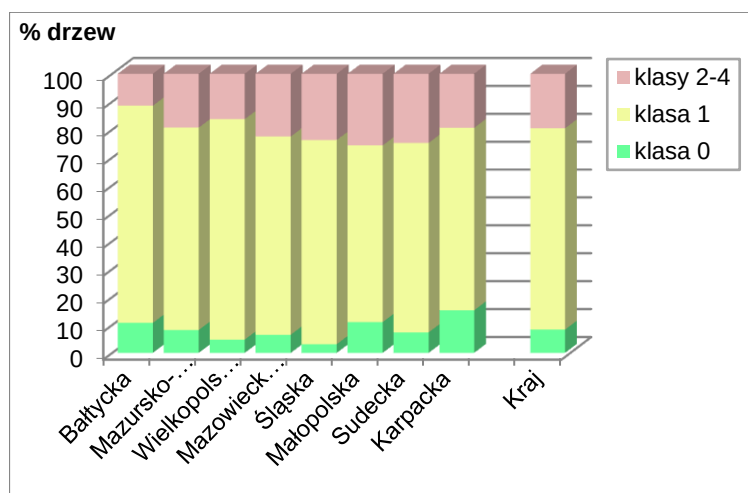
Województwa: świętokrzyskie, kujawsko-pomorskie i warmińsko-mazurskie można zaliczyć do grupy województw o średnim poziomie uszkodzenia drzew – średnia defoliacja nie przekraczała 22,5%, natomiast udziały drzew zdrowych i uszkodzonych były zróżnicowane (wynosiły odpowiednio: od 4,7% do 15,1% i od 15,1% do 20,6%).

Lasy w województwach: podlaskim, lubelskim, łódzkim i podkarpackim charakteryzowały się wysokim poziomem uszkodzenia drzew. Udział drzew zdrowych zawierał

się w przedziale od 9,1% do 12,6%, udział drzew uszkodzonych – od 21,7% do 25,2%, średnia defoliacja – od 23,1% do 23,5%. W województwach: śląskim, wielkopolskim, dolnośląskim i mazowieckim poziom uszkodzenia drzew był bardzo wysoki. Udział drzew zdrowych zawierał się w przedziale od 2,8% do 4,7%, udział drzew uszkodzonych – od 20,0% do 25,5%, średnia defoliacja – od 23,9% do 24,5%.

Największy poziom uszkodzenia występował w lasach województwa opolskiego (najniższy udział drzew zdrowych – 1,0%, wysoki udział drzew uszkodzonych – 27,9% i najwyższa średnia defoliacja – 25,6%).

Uszkodzenie drzew w układzie krain przyrodniczo-leśnych

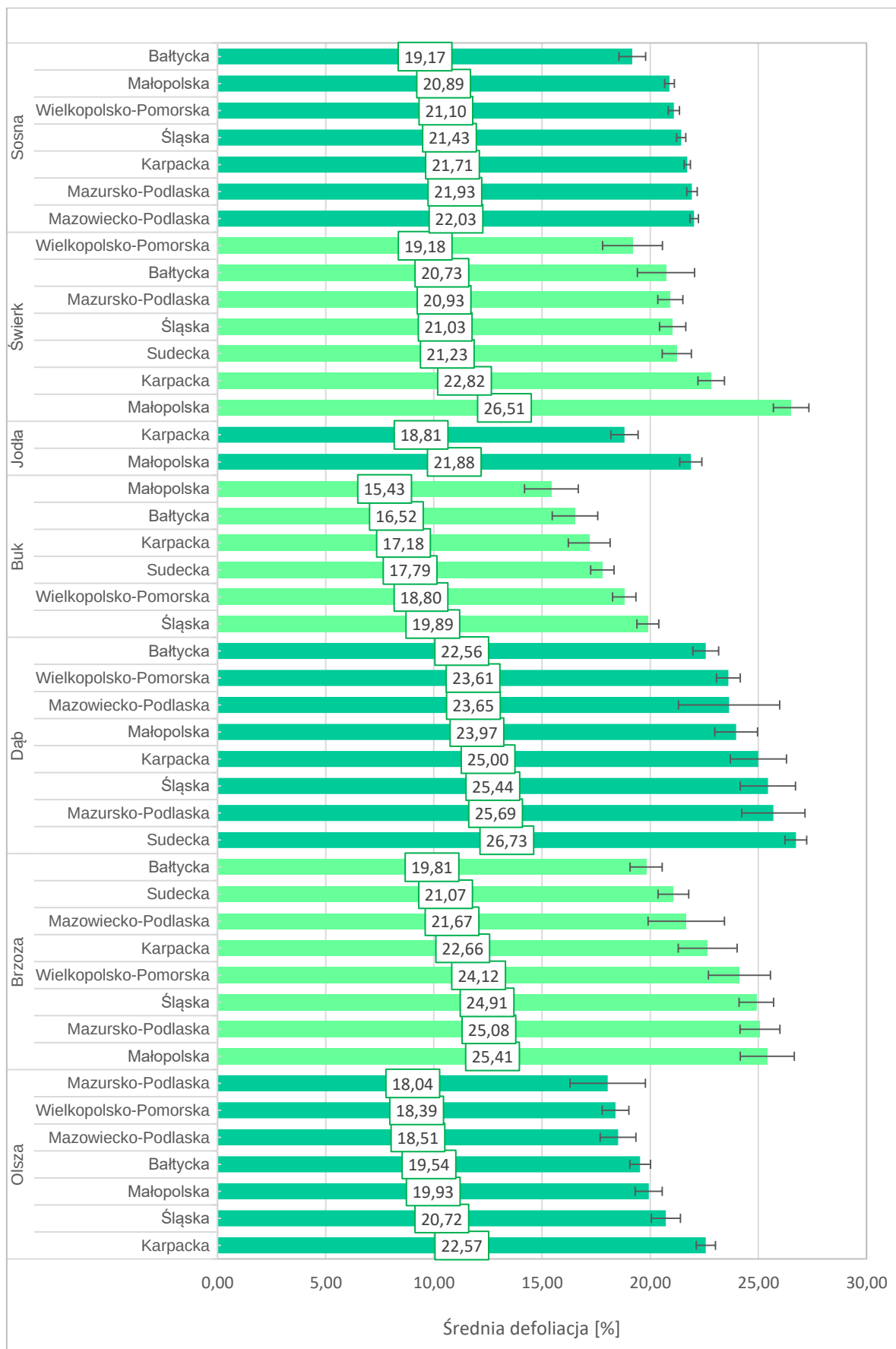


Rys. 8. Udział drzew monitorowanych gatunków łącznie w klasach defoliacji w układzie krain przyrodniczo-leśnych w 2016 r.

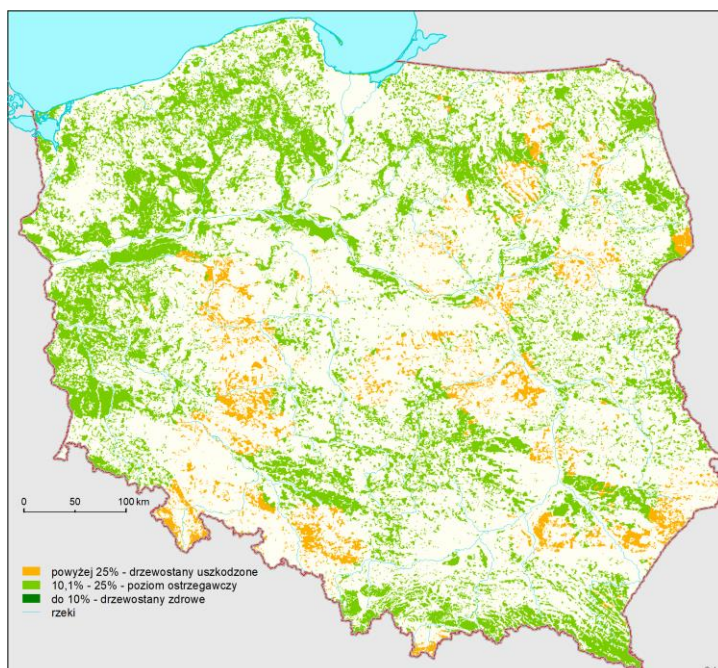
Najzdrowsze okazały się drzewa w lasach Krainy Bałtyckiej: zanotowano wysoki, w porównaniu z innymi krainami, udział drzew zdrowych (10,7%), najniższy udział drzew uszkodzonych (11,4%) i najniższą średnią defoliację (20,1%) (Rys. 8 i 10).

Niewiele gorszą kondycją charakteryzowały się drzewa w Krainie Karpackiej: najwyższy wśród krain udział drzew zdrowych (15,2%), udział drzew uszkodzonych na średnim poziomie (19,4%) i dość niska średnia defoliacja (21,9%).

Krainy: Wielkopolsko-Pomorska i Mazursko-Podlaska zaliczone zostały do grupy krain o średnim poziomie uszkodzenia drzew (Rys. 8). Zanotowano niski udział drzew zdrowych (4,7% i 8,2%) oraz niezbyt wysoki udział drzew uszkodzonych (16,2% i 19,3%), średnia defoliacja wynosiła 22,4% i 23,0%. Lasy Krainy Mazowiecko-Podlaskiej i Krainy Małopolskiej charakteryzowały się wysokim poziomem uszkodzenia drzew. W tych krainach zanotowano: 6,5% i 11,0% drzew zdrowych, 22,5% i 25,7% drzew uszkodzonych oraz 23,7% i 23,8% średniej defoliacji.



Rys. 9. Średnie wartości defoliacji wg gatunków w krainach przyrodniczo-leśnych (po odrzuceniu wartości odstających – defoliacja powyżej 40%) wraz z ‘wąsami błędów standardowych’ – 2016 r.



Rys. 10. Poziom uszkodzenia lasów w 2016 r. na podstawie oceny defoliacji na stałych powierzchniach obserwacyjnych z wyróżnieniem 3 klas defoliacji

Największy poziom uszkodzenia drzew zanotowano w lasach Krainy Sudeckiej i Krainy Śląskiej: niski udział drzew zdrowych (7,3% i 3,1%), wysoki udział drzew uszkodzonych (24,8% i 23,7%) i najwyższa w zestawieniu średnia defoliacja (24%).

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.

Tabela 4. Statystyki dla defoliacji gatunków drzew w układzie krain przyrodniczo-leśnych, wyjściowy zbiór danych został pomniejszony o wartości odstające (pominięto wartości > 40%)

Gatunek	F	p	η^2
Brzoza	46,11	<0,001	0,07
Świerk	10,68	<0,001	0,04
Buk	8,50	<0,001	0,03
Olsza	11,51	<0,001	0,03
Jodła	23,19	<0,001	0,02
Dąb	10,05	<0,001	0,02
Sosna	74,30	<0,001	0,02

F – ogólna statystyka dla danej analizy, na podstawie której wylicza się p, oraz η^2 , p – istotność, η^2 – siła efektu

(Rys. 9).

Najzdrowsze sosny, dęby oraz brzozy występowały w Krainie Bałtyckiej, najzdrowsze świerki – w Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej, jodły – w Krainie Karpackiej, buki – w Krainie Małopolskiej, olsze – w Krainie Mazursko-Podlaskiej (Rys. 9).

Najwyższy poziom uszkodzenia sosny występował w Krainie Mazowiecko-Podlaskiej, świerka, jodły i brzozy – w Krainie Małopolskiej, dębu – w Krainie Sudeckiej, olszy – w Krainie Karpackiej, natomiast buka – w Krainie Śląskiej

Analiza statystyczna wykazała, że średnia defoliacja koron drzew każdego gatunku była istotnie różnicowana przez lokalizację w krainach przyrodniczo-leśnych. Wartość współczynnika η^2 jednak wskazuje, że w zależności od gatunku, krainy z różną siłą różnicowały poziom defoliacji. Im wyższa wartość η^2 tym większy procent zmienności defoliacji danego gatunku, co

jest tłumaczone przynależnością do krain przyrodniczo-leśnych. Gatunki w Tabeli 4 zostały uszeregowane malejąco od gatunku, którego defoliacja w największym stopniu była wyjaśniana przez przynależność do krain.

Krainy najsilniej różnicowały defoliację w przypadku brzozy ($\eta^2=0,07$), każda z krain różniła się od sąsiedniej o $\pm 0,5\%$. Gatunkiem, którego defoliacja była w najmniejszym stopniu różnicowana przez przynależność do krain, była sosna.

Uszkodzenie drzew w układzie parków narodowych

Ogółem w parkach narodowych poddano obserwacjom 660 drzew (na 33 powierzchniach), w tym 185 sosen (w 9 parkach), 118 świerków (w 6 parkach), 45 jodeł (w 5 parkach), 18 drzew z kategorii 'inne iglaste' (w 2 parkach), 124 buki (w 6 parkach), 12 dębów (w 1 parku), 70 brzoź (w 4 parkach), 61 olszy (w 4 parkach), 27 drzew z kategorii 'inne liściaste' (w 3 parkach).

Udział drzew zdrowych wśród wszystkich poddanych obserwacjom wynosił 5,5%, udział drzew uszkodzonych – 28,5%, średnia defoliacja – 25,6%. Gatunki 'iglaste razem' charakteryzowały się wyższym uszkodzeniem niż gatunki 'liściaste razem'. Wśród 'iglastych razem' udział drzew zdrowych wynosił 1,4%, udział drzew uszkodzonych – 30,6%, a średnia defoliacja – 27,0%. Wśród 'liściastych razem' wartości porównywanych parametrów wynosiły odpowiednio: 10,5%, 25,9% i 23,9%.

Porównano poziom uszkodzenia poszczególnych gatunków, 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. Pozostałe trzy gatunki (świerk, jodła i brzoza) charakteryzowały się mocno osłabioną kondycją.

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

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

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

Zmienność poziomu defoliacji w dziesięcioleciu 2007-2016

W celu zbadania powiązań występujących pomiędzy defoliacją koron drzew a kolejnymi latami obserwacji zbudowano modele regresji liniowej.

U wszystkich rodzajów/gatunków drzew łącznie analiza regresji wykazała, że czas był istotnym predyktorem poziomu defoliacji ($p < 0,001$; $R^2 = 0,01$). Wartość współczynnika niestandardyzowanego B wskazuje, że z każdym rokiem defoliacja wzrastała średnio o 0,24% (Rys. 11).

W przypadku rodzajów/gatunków drzew traktowanych oddzielnie analiza regresji wykazała, że dla każdego z nich czas był istotnym predyktorem poziomu defoliacji. Wartości współczynnika niestandardyzowanego B wskazują dla każdego z nich trend wzrostowy defoliacji o różnym nasileniu. Wzrost defoliacji brzozy i jodły wynosił średnio z każdym rokiem 0,40%, natomiast świerka i dębu – około 0,30%. Jeżeli chodzi o olszę, sosnę i buk to trend wzrostowy był bardzo łagodny, wynosił odpowiednio: 0,24%, 0,21% i 0,16%.

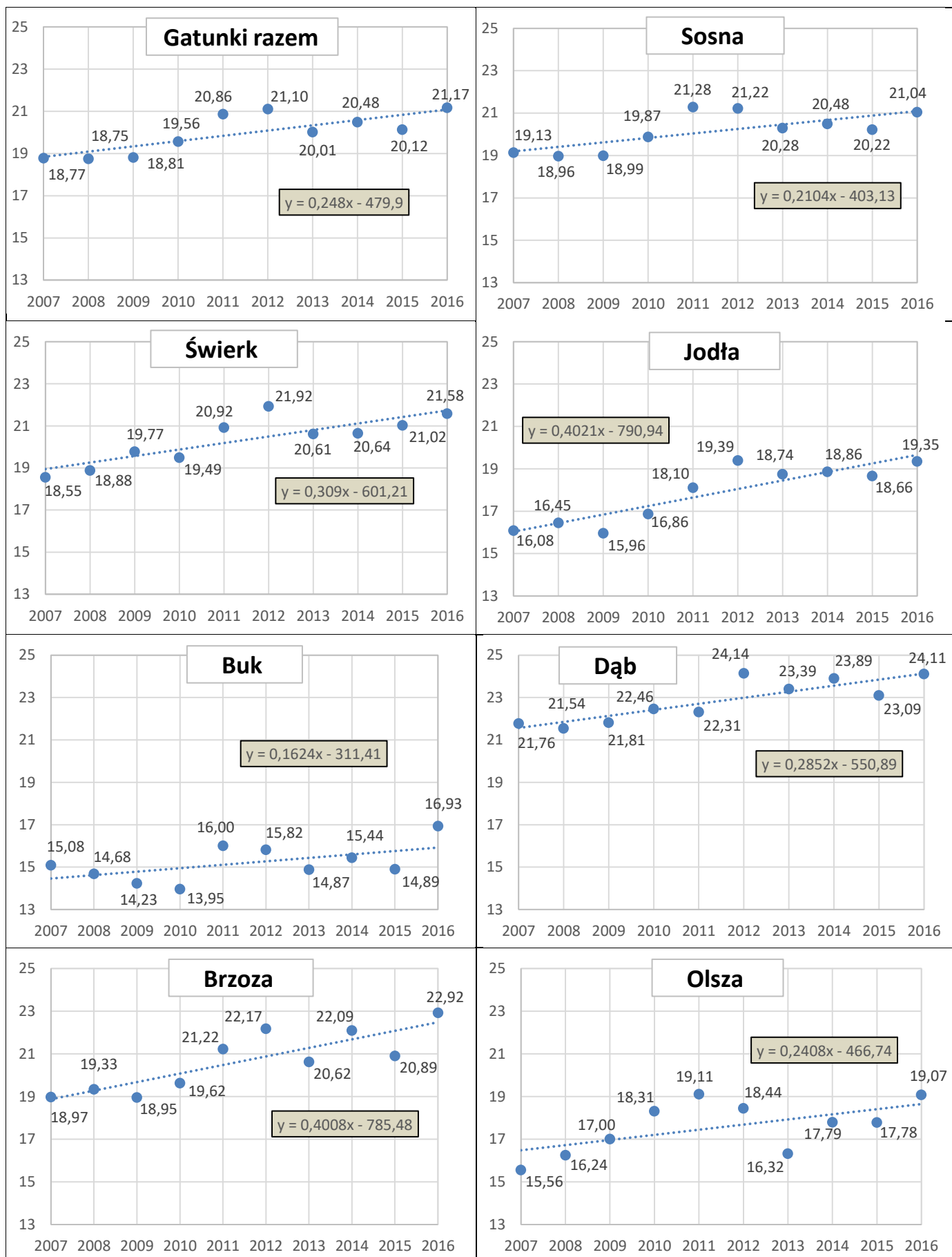
W toku dalszych prac w celu zbadania przebiegu defoliacji koron drzew poszczególnych rodzajów/gatunków w kolejnych latach dziesięciolecia w układzie krain przyrodniczo-leśnych zbudowano kolejne modele regresji liniowej.

Analizie poddano siedem rodzajów/gatunków drzew w krainach przyrodniczo-leśnych, w których poszczególne rodzaje/gatunki były reprezentowane przez co najmniej 300 drzew.

Wykreślone i opisane zostały linie trendów dla:

- Sosny – w siedmiu krainach: Bałtyckiej, Mazursko-Podlaskiej, Wielkopolsko-Pomorskiej, Mazowiecko-Podlaskiej, Śląskiej, Małopolskiej i Karpackiej;
- Świerka – w trzech krainach: Mazursko-Podlaskiej, Sudeckiej i Karpackiej;
- Jodły – w Krainie Karpackiej;
- Buka – w dwu krainach: Bałtyckiej i Karpackiej;
- Dębu – w pięciu krainach: Bałtyckiej, Wielkopolsko-Pomorskiej, Mazowiecko-Podlaskiej, Śląskiej i Małopolskiej;
- Brzozy – w sześciu krainach: Bałtyckiej, Mazursko-Podlaskiej, Wielkopolsko-Pomorskiej, Mazowiecko-Podlaskiej, Śląskiej i Małopolskiej;
- Olszy – w trzech krainach: Bałtyckiej, Mazursko-Podlaskiej i Mazowiecko-Podlaskiej.

W przypadku sosny, świerka, jodły, brzozy i olszy analiza regresji wykazała, że dla tych rodzajów/gatunków czas był istotnym predyktorem poziomu defoliacji we wszystkich porównywanych krainach przyrodniczo-leśnych.



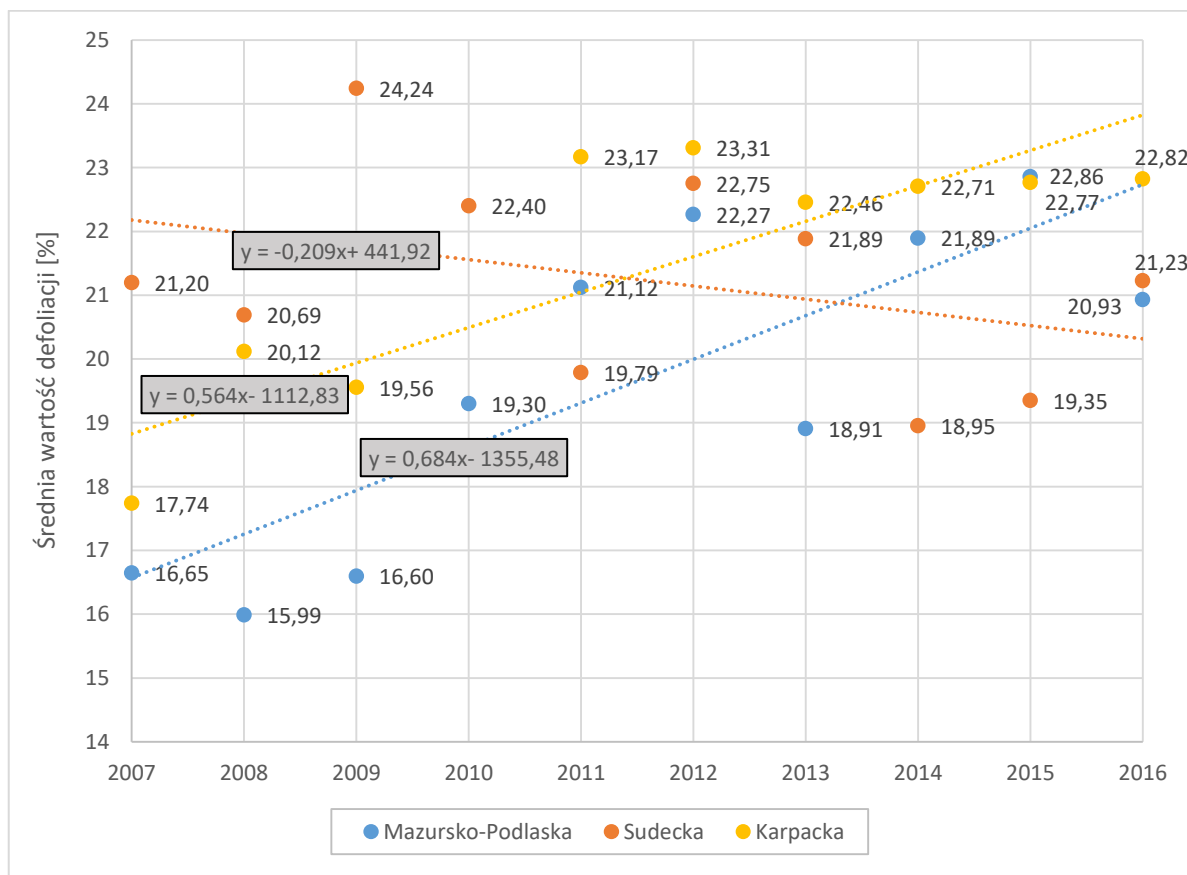
Rys. 11. Wykresy regresji liniowej dla wpływu czasu na poziom defoliacji gatunków drzew razem oraz osobno w latach 2007-2016 (oś x – rok obserwacji, oś y – średnia defoliacja [%])

W przypadku buka w Krainie Bałtyckiej oraz dębu w czterech analizowanych krainach, z wyjątkiem Krainy Wielkopolsko-Pomorskiej, analiza regresji również wykazała taką zależność.

Dla buka w Krainie Karpackiej rozrzut wartości defoliacji był tak krzywoliniowy, że regresja liniowa w bardzo słabym stopniu umożliwiała dopasowanie modelu do danych. Dla dębu w Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej dane również nie układały się w postać liniowej zależności. W obu przypadkach regresja okazała się być nieistotna statystycznie.

W przypadku rodzajów/gatunków drzew w krainach przyrodniczo-leśnych, dla których zbudowany model regresji okazał się być istotny statystycznie, większość linii trendów ma tendencję wzrostową o mniejszym lub większym nasileniu. Silniejszą tendencję wzrostu defoliacji ($0,80 > B > 0,50$ – wzrost defoliacji z każdym rokiem o 0,50%-0,80%) udowodniono dla świerka w Krainie Mazursko-Podlaskiej ($B=0,68$) i Krainie Karpackiej ($B=0,56$) (Rys. 12), dębu w Krainie Bałtyckiej ($B=0,59$), brzozy w Krainie Małopolskiej ($B=0,86$) i Krainie Mazursko-Podlaskiej ($B=0,72$) oraz olszy w Krainie Bałtyckiej ($B=0,62$).

W kilku przypadkach linie trendów mają łagodną tendencję spadkową. Dotyczy to sosny w Krainie Karpackiej ($B=-0,13$), świerka w Krainie Sudeckiej ($B=-0,21$) (Rys. 12) oraz olszy w Krainie Mazowiecko-Podlaskiej ($B=-0,16$).



Rys. 12. Wykres regresji liniowej dla wpływu czasu na poziom defoliacji świerka w krainach przyrodniczo-leśnych licznie reprezentowanych przez ten gatunek w latach 2007-2016

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

W 2016 roku łącznie na wszystkich powierzchniach SPO I rzędu stwierdzono 38 850 uszkodzeń drzew, które występowały na 26 692 drzewach (66,7% ocenianych drzew, o 1,7 punktu procentowego więcej niż w 2015 r.). Na 16 943 drzewach stwierdzono występowanie jednego uszkodzenia, na 7373 drzewach – dwóch uszkodzeń, a na 2 387 drzewach – trzech. Nieuszkodzonych było łącznie 13 325 drzew (33,3% ocenianych drzew). Wśród gatunków iglastych najwięcej drzew bez uszkodzeń cechowało sosnę (43,3% drzew bez uszkodzeń), zaś spośród gatunków liściastych – buka (32,8%). Najniższy udział drzew bez uszkodzeń zanotowano wśród gatunków iglastych u świerka (25,5% drzew), natomiast wśród gatunków liściastych – u olszy (10,9% drzew).

Tabela 5. Wskaźnik występowania uszkodzeń na drzewach badanych gatunków w klasach wieku (2016 r.) oraz trend zmian wskaźnika występowania uszkodzeń na jednym drzewie w latach 2012-2016 określony za pomocą testu Mann-Kendalla

Gatunek	Średnia liczba uszkodzeń na jednym drzewie w 2016 r. w zależności od wieku drzewa				Średnia liczba uszkodzeń na jednym drzewie w kolejnych latach pięcioletnia 2012-2016					Trend
	21-40	41-60	61-80	>80	2012	2013	2014	2015	2016	
Sosna	0,57	0,69	0,74	0,87	0,57	0,62	0,67	0,71	0,74	W
Świerk	1,11	1,03	1,04	1,00	0,87	0,95	1,01	0,99	1,04	W
Jodła	0,67	1,01	0,76	1,21	0,86	0,98	0,95	0,97	1,00	N
Inne iglaste	0,34	0,67	0,84	0,72	0,64	0,57	0,56	0,62	0,66	N
Dąb	1,24	1,32	1,32	1,46	1,10	1,31	1,47	1,30	1,37	N
Buk	0,84	1,26	1,30	1,22	0,80	0,92	1,04	1,01	1,20	W
Brzoza	0,99	1,29	1,29	1,63	0,81	0,94	1,13	1,15	1,24	W
Olsza	1,23	1,28	1,32	1,48	1,04	1,00	1,17	1,26	1,33	W
Inne liściaste	1,35	1,42	1,50	1,53	0,96	1,07	1,22	1,32	1,45	W
Razem	0,85	0,92	0,97	1,07	0,72	0,78	0,87	0,91	0,97	W

W – wzrost, N – brak trendu

Średnia liczby uszkodzeń przypadających na 1 drzewo (gatunki razem) wynosiła 0,97 i była większa niż w 2015 r. (Tab. 5). U większości gatunków drzew stwierdzono przeciętnie powyżej 1 uszkodzenia/drzewo, najwięcej na domieszkowych gatunkach liściastych i dębach (odpowiednio: 1,45 i 1,37 uszkodzenia/drzewo). Jedynie u sosny i domieszkowych gatunków iglastych wartości tego parametru były mniejsze od jedności (odpowiednio: 0,74 i 0,66 uszkodzenia/drzewo). Przeprowadzona analiza trendów zmian nasilenia występowania uszkodzeń na drzewach w okresie 2012-2016 (test Mann-Kendalla) wykazała brak wyraźnego trendu w przypadku jodły, domieszkowych gatunków iglastych oraz dębów, zaś w przypadku

pozostałych gatunków drzew oraz łącznie dla wszystkich badanych drzew – wzrost nasilenia częstości występowania uszkodzeń.

Wraz z wiekiem u sosny, dębów, brzozy, olszy i innych gatunków liściastych następował wzrost średniej liczby uszkodzeń występujących na 1 drzewie. W przypadku pozostałych gatunków drzew brak tendencji tego typu (Tab. 5). Zróżnicowanie pomiędzy krainami przyrodniczo-leśnymi pod względem średniej liczby uszkodzeń przypadającej na jedno drzewo było w 2016 r. umiarkowane. Zawierało się w przedziale od 0,76 w Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej do 1,33 w Krainie Sudeckiej. Największe różnice pomiędzy krainami przyrodniczo-leśnymi pod względem liczby uszkodzeń na jednym drzewie stwierdzono dla gatunków liściastych. Wysokim nasileniem występowania uszkodzeń na drzewach gatunków iglastych cechowały się Kraina Małopolska i Kraina Karpacka, a na drzewach gatunków liściastych – krainy: Sudecka, Śląska i Karpacka. W Sudetach najwyższą wartość średniej liczby uszkodzeń występujących na 1 drzewie odnotowano u brzozy (2,14), wysoką – u olszy (1,93), natomiast najniższe nasilenie występowania uszkodzeń – u sosny (0,46 uszkodzenia/drzewo). W Karpatach najwyższą wartość tego wskaźnika zanotowano u olszy (2,07 uszkodzenia/drzewo), wysoką – u domieszkowych gatunków liściastych (1,80). W Krainie Śląskiej najwyższą wartość tego wskaźnika zanotowano u domieszkowych gatunków liściastych (1,96).

W porównaniu do 2015 r. odnotowano wzrost średniej liczby uszkodzeń przypadających na 1 drzewo w siedmiu krainach, natomiast spadek – tylko w Krainie Mazursko-Podlaskiej. Wzrost był stosunkowo niewielki, w większości krain nie przekraczał 0,10 uszkodzenia/drzewo, jedynie w Krainie Karpackiej osiągnął wartość 0,16 (Tab. 7).

Pomiędzy regionalnymi dyrekcjami LP zróżnicowanie 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 (Tab. 7). Największą średnią liczbą uszkodzeń na jednym drzewie cechowały się sosny w RDLP w Białymstoku i RDLP w Łodzi (odpowiednio 1,01 i 1,00 uszkodzenia/drzewo), świerki w RDLP w Krośnie (1,87 uszkodzenia/drzewo) oraz jodły w RDLP w Krośnie i parkach narodowych (odpowiednio 1,71 i 1,44 uszkodzenia/drzewo). W przypadku dębu we wszystkich rdLP średnia liczba uszkodzeń na 1 drzewie była wysoka, w szesnastu rdLP i w parkach narodowych przekraczała wartość 1, a w RDLP w Krośnie nawet wartość 2. Wśród buków najwięcej uszkodzeń występujących na 1 drzewie zanotowano w RDLP

w Krośnie (2,35) oraz w parkach narodowych (1,79 uszkodzenia/drzewo). W przypadku brzozy najwięcej uszkodzeń na 1 drzewie zarejestrowano również w RDLP w Krośnie (2,10). W przypadku olszy: w trzech regionalnych dyrekcjach LP (Krosno, Gdańsk i Radom) odnotowano wartości wskaźnika przekraczające 2,00, a w kolejnych trzech regionalnych dyrekcjach LP (Kraków, Łódź i Toruń) – zawierające się w przedziale od 1,51 do 2,00 uszkodzenia/drzewo (Tab. 7).

Tabela 6. Najczęściej występujące lokalizacje, symptomy i czynniki sprawcze uszkodzeń występujących na drzewach badanych gatunków – 2016 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 2015
Sosna	16642	Pień pomiędzy szyją korz. a koroną	5660	34,0%	Deformacje	5329	32,0%	Konkurencja i inne czynniki	6485	39,0%	39,1%
Świerk	1952	Pień pomiędzy szyją korz. a koroną	865	44,3%	Ubytek igieł/liści	491	25,2%	Badane niezidentyfikowane	626	32,1%	32,7%
Jodła	1019	Pień pomiędzy szyją korz. a koroną	350	34,3%	Deformacje	278	27,3%	Badane niezidentyfikowane	334	32,8%	30,2%
Inne iglaste	330	Pień pomiędzy szyją korz. a koroną	128	38,8%	Deformacje	55	16,7%	Badane niezidentyfikowane	136	41,2%	41,8%
Dąb	4329	Liście	2605	60,2%	Ubytek igieł/liści	2226	51,4%	Owady	1961	45,3%	44,3%
Buk	1984	Liście	884	44,6%	Ubytek igieł/liści	751	37,9%	Owady	783	39,5%	32,2%
Brzoza	5300	Liście	3041	57,4%	Ubytek igieł/liści	2692	50,8%	Owady	2295	43,3%	43,4%
Olsza	3452	Liście	2304	66,7%	Ubytek igieł/liści	2310	66,9%	Owady	2068	59,9%	56,9%
Inne liściaste	3842	Liście	2048	53,3%	Ubytek igieł/liści	1644	42,8%	Owady	1493	38,9%	37,9%
Łącznie	38850	Pień pomiędzy szyją korz. a koroną	11020	28,4%	Ubytek igieł/liści	13824	35,6%	Badane niezidentyfikowane	12100	31,1%	32,0%

Na charakter występujących zagrożeń wskazuje zestawienie najczęściej stwierdzanych symptomów i lokalizacji uszkodzeń zarejestrowanych dla danego gatunku drzewa oraz związanych z uszkodzeniami czynników sprawczych (Tab. 6).

Układ najczęściej występujących lokalizacji, symptomów i czynników sprawczych uszkodzeń w roku 2016 był podobny jak w latach poprzednich.

Organem, którego najczęściej dotyczyły uszkodzenia na drzewach iglastych, był pień pomiędzy szyją korzeniową i koroną, a na drzewach liściastych – liście.

Tabela 7. Liczba uszkodzeń przypadająca na jedno drzewo danego gatunku w krainach przyrodniczo-leśnych i regionalnych dyrekcjach LP – 2016 rok

Kraina przyrodniczo-leśna RDLP	Średnio Kp-I RDLP			Gatunki iglaste				Gatunki liściaste				
	2014	2015	2016	Sosna	Świerk	Jodła	Inne iglaste	Dąb	Buk	Brzoza	Olsza	Inne liściaste
Bałtycka	0,861	0,804	0,891	0,647	0,992	0,000	0,685	1,354	0,705	1,179	1,394	1,145
Mazursko-Podlaska	0,722	0,962	0,948	0,779	1,044	0,000	0,000	1,529	0,800	1,106	1,112	1,097
Wielkopolsko-Pomorska	0,688	0,671	0,754	0,658	0,941	0,000	0,576	1,214	0,524	1,057	1,236	0,961
Mazowiecko-Podlaska	0,895	0,967	0,992	0,889	1,107	0,000	1,222	1,188	0,000	1,019	1,274	1,340
Śląska	0,957	0,912	1,009	0,499	0,956	0,000	0,390	1,567	1,516	1,610	1,295	1,962
Małopolska	1,008	1,020	1,074	0,889	1,252	1,090	1,283	1,353	0,765	1,566	1,705	1,337
Sudecka	1,220	1,193	1,226	0,462	0,987	0,615	0,196	1,670	1,283	2,140	1,933	1,553
Karpacka	1,140	1,170	1,331	0,684	1,082	0,990	0,663	1,551	1,743	1,616	2,073	1,802
Białystok	0,933	1,122	1,140	1,005	1,117	0,000	1,000	1,662	0,000	1,271	1,327	1,354
Katowice	0,977	0,941	0,958	0,649	1,062	0,512	0,509	1,421	0,980	1,609	1,480	1,453
Kraków	0,832	0,895	1,047	0,714	0,830	0,537	0,971	1,640	1,106	1,523	1,921	1,447
Krosno	1,518	1,479	1,699	0,815	1,867	1,710	0,761	2,667	2,345	2,098	2,225	2,275
Lublin	0,829	0,771	0,812	0,777	1,103	0,919	1,667	0,998	0,556	0,611	0,890	0,874
Łódź	1,111	1,127	1,157	1,003	1,538	1,250	0,667	1,869	1,333	1,778	1,893	1,574
Olsztyn	0,686	0,895	0,872	0,631	0,951	0,000	0,091	1,461	1,033	1,071	1,123	1,190
Piła	0,497	0,492	0,596	0,513	0,667	0,000	0,067	1,091	0,000	1,152	1,394	0,609
Poznań	0,705	0,624	0,840	0,715	0,500	0,000	1,000	1,000	0,000	1,274	1,060	1,101
Szczecin	0,722	0,736	0,740	0,566	0,962	0,000	0,515	1,229	0,610	1,134	1,340	0,931
Szczecinek	0,618	0,622	0,655	0,463	0,858	0,000	0,735	1,120	0,476	1,070	1,263	0,887
Toruń	0,660	0,662	0,724	0,638	1,000	0,000	0,385	1,081	0,700	0,713	1,557	1,242
Wrocław	1,054	1,026	1,142	0,563	1,007	0,615	0,280	1,719	1,172	1,656	1,286	1,701
Zielona Góra	0,910	0,880	0,859	0,758	0,889	0,000	0,000	1,333	0,214	1,356	1,327	0,908
Gdańsk	1,083	0,908	1,054	0,895	1,465	0,000	0,821	1,547	1,032	1,263	2,222	1,586
Radom	0,930	0,998	1,080	0,870	1,525	1,158	4,750	1,331	0,733	1,461	2,132	1,600
Warszawa	0,974	1,042	1,015	0,897	0,000	0,000	2,364	1,214	0,000	1,116	1,275	1,141
Parki narodowe	1,114	1,189	1,211	0,989	0,895	1,444	0,944	1,250	1,792	1,143	0,885	2,185

‘Ubytek igieł/liści’ był najczęściej identyfikowanym symptomem uszkodzeń w przypadku wszystkich gatunków razem (35,6% wszystkich stwierdzonych uszkodzeń) oraz gatunków liściastych (od 37,9% uszkodzeń u buka do 66,9% uszkodzeń u olszy). W przypadku

sosny, jodły i domieszkowych gatunków iglastych dominowały deformacje (odpowiednio: 32,0%, 27,3% i 16,7% uszkodzeń).

Nastąpiła poprawa identyfikowania przyczyn występowania uszkodzeń drzew. W 2016 roku odsetek drzew, dla których pomimo wykonanej oceny nie udało się określić czynnika sprawczego, wynosił 31,1% i był o 0,9% mniejszy niż w roku 2015 (w przypadku świerka, jodły oraz domieszkowych gatunków iglastych odpowiednio: 32,1%, 32,8% i 41,2% uszkodzeń). U sosny najczęściej (39,0% uszkodzeń) wskazywano na 'konkurencję i inne czynniki', jako przyczynę uszkodzeń. W przypadku gatunków liściastych najczęściej wskazywanym czynnikiem sprawczym były 'owady' (od 38,9% uszkodzeń u domieszkowych gatunków liściastych do 59,9% uszkodzeń u olszy) – Tab. 6. Największym udziałem charakteryzowały się foliofagi (78,0%), które dominowały wśród sprawców uszkodzeń wywołanych przez owady u wszystkich gatunków liściastych. W przypadku sosny i świerka przeważały kambiofagi (tzw. szkodniki wtórne, uszkadzające pień, gałęzie i pędy), zaś w przypadku jodły – owady ssące.

W 2016 roku odnotowano ponad 66,7% drzew z uszkodzeniami, które najliczniej wystąpiły na domieszkowych gatunkach liściastych, licznie na dębach i olszach, najmniej licznie – na domieszkowych gatunkach iglastych.

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

Najczęściej występujące symptomy uszkodzeń to 'ubytek liści/igieł' (35,6% wszystkich uszkodzeń, od 19,4% u domieszkowych gatunków iglastych do 66,9% u olszy). Jedynie w przypadku sosny i jodły najczęściej występowały 'deformacje' (odpowiednio: 32,0% i 27,3%).

Wśród zidentyfikowanych czynników sprawczych dominowały 'konkurencja i inne czynniki' (25,7%) oraz owady (24,7%), a zwłaszcza foliofagi, uszkadzające w największym stopniu gatunki liściaste.

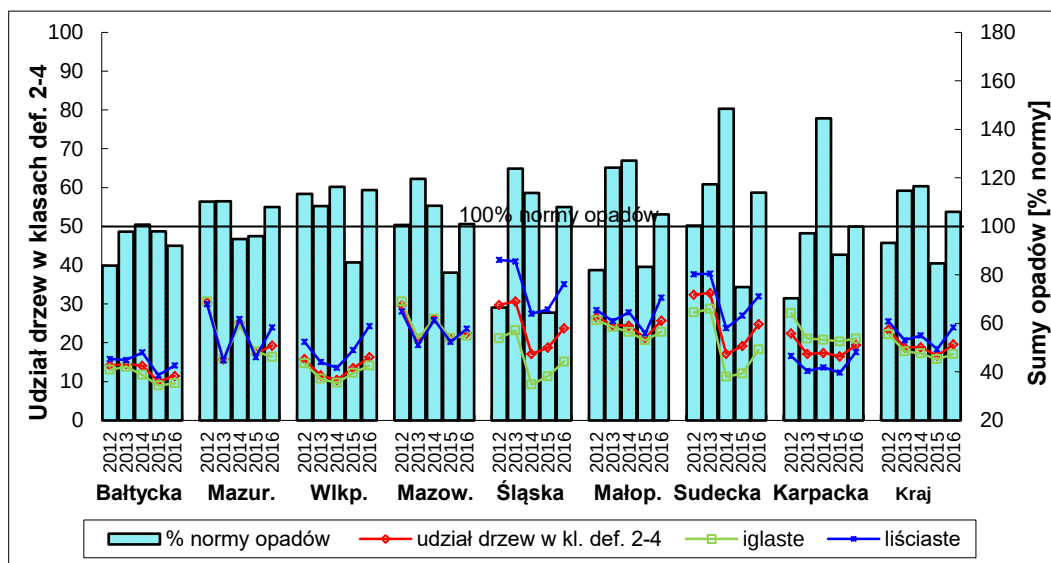
3. WPŁYW WARUNKÓW POGODOWYCH NA ZDROWOTNOŚĆ DRZEWOSTANÓW

– JADWIGA MAŁACHOWSKA

W 2016 r. średnia suma opadów w kraju w okresie od 1 marca do 31 lipca, wyliczona na podstawie wyników z 22 stacji synoptycznych IMGW wynosiła 326 mm, co stanowi 106% wieloletniej normy (w 2015 r. wartości te wynosiły odpowiednio: 239 mm i 85% normy) (Biuletyny IMGW z lat 2012-2016).

W pięcioleciu 2012-2016 analizowany okres marzec-lipiec był najmniej obfity w opady w 2015 r. (średnio w kraju: 85% normy opadów = 239 mm), dość sucho było również w kilku regionach kraju w 2012 r. (93% normy opadów = 288 mm), natomiast najbardziej mokro, jednak nie nadmiernie, było w latach 2013-2014 (115% i 117% normy opadów, odpowiednio 336 mm

i 339 mm). W większości krain i rdLP obfitość opadów w całym pięcioleciu była zadowalająca. Lokalnie pojawiały się większe niedobory opadów (do 75% normy): w 2012 r. w Krainie Śląskiej i Krainie Karpackiej oraz w RDLP w Katowicach; w 2015 r. – w Krainach Śląskiej i Krainie Sudeckiej oraz w rdLP we Wrocławiu, w Łodzi i Katowicach.



Rys. 13. Uszkodzenie drzew (gatunki razem, iglaste i liściaste) oraz suma opadów [% normy] od 1 marca do 31 lipca w latach 2012-2016 w krainach przyrodniczo-leśnych (Biuletyny IMGW z lat 2012-2016)

Porównano wielkości opadów deszczu oraz średnie wartości temperatur w kolejnych miesiącach sezonu wegetacyjnego (od marca do września) 2016 r. w krainach przyrodniczo-leśnych.

Duży niedobór opadów (opady wynosiły do 50% wieloletniej normy) wystąpił w czerwcu w Krainie Karpackiej, w sierpniu – w Krainie Śląskiej, we wrześniu – deficyt opadów deszczu wystąpił w krainach: Bałtyckiej, Mazursko-Podlaskiej, Wielkopolsko-Pomorskiej, Mazowiecko-Podlaskiej, Śląskiej i Małopolskiej. Obfite opady wystąpiły w marcu (od 137% do 162% normy) w krainach: Mazowiecko-Podlaskiej, Śląskiej i Sudeckiej, w lipcu – krainach: Bałtyckiej, Mazursko-Podlaskiej, Wielkopolsko-Pomorskiej, Mazowiecko-Podlaskiej, Małopolskiej, Sudeckiej i Karpackiej (od 127% do 197% normy) oraz w sierpniu – w Krainie Bałtyckiej i Krainie Karpackiej (około 130% normy).

W większości krain 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. Jedynie w Krainie Bałtyckiej wystąpił trzymiesięczny okres niedoboru opadów w okresie marzec-maj (opady wynosiły odpowiednio: 68%, 73% i 74% normy). W tej krainie nastąpił niewielki wzrost poziomu defoliacji, po raz pierwszy od 2011 roku, co mogło być skutkiem niedoborów wody. Jednak obserwowany w 2016 r. wzrost defoliacji drzew odnotowany niemal w całym kraju (Rys. 13)

może być związany z opisywanymi przedłużającymi się niedoborami opadów, jakie wystąpiły w 2015 roku (trwającymi od 2 do 4 miesięcy), w szczególności z krytycznym niedoborem wody deszczowej zanotowanym we wszystkich krainach przyrodniczo-leśnych w sierpniu 2015 roku. Dodatkowo na poziom defoliacji mogła wpłynąć bezśnieżna zima 2015/2016 oraz wiosenne przymrozki, które w wielu regionach pojawiły się po rozpoczęciu okresu wegetacji.

Temperatury marca w 2016 roku przyjmowały wartości średnie, temperatury kwietnia – wartości nieco powyżej średnich, temperatury maja, czerwca i września w wielu regionach kraju były najwyższe, natomiast lipiec i sierpień okazały się miesiącami wyjątkowo chłodnymi w porównaniu z porównywalnymi okresami w innych latach pięciolecia.

Średnie temperatury w kolejnych miesiącach sezonu wegetacyjnego, podobnie jak w ubiegłych latach pięciolecia (z kilkoma wyjątkami), były najniższe w Krainie Karpackiej, a najwyższe w Krainie Śląskiej.

Średnia suma opadów deszczu w kraju w okresie od 1 marca do 31 lipca 2016 r. wynosiła 326 mm, co stanowi 106% wieloletniej normy (wg Biuletynów IMGW z lat 2012-2016).

W 2016 r. w większości krain nie było okresów przedłużającej się suszy, która mogłaby być przyczyną pogorszenia się stanu koron drzew. Wyjątkiem była Kraina Bałtycka, w której wystąpił trzymiesięczny okres niedoboru opadów w okresie marzec-maj.

W wielu regionach kraju kwiecień był nieco cieplejszy, a maj i czerwiec – najcieplejsze w porównaniu z pozostałymi latami pięciolecia. Wysokie temperatury utrzymujące się przez dłuższy okres (2 do 3 miesięcy) wiosną i na początku lata, kiedy następuje najsilniejszy rozwój ulistnienia koron drzew, mogły niekorzystnie oddziaływać na stan koron. Chłodniejsza pogoda w lipcu i sierpniu nie miała większego wpływu na poprawę ich kondycji.

Obserwowany w 2016 r. wzrost defoliacji drzew odnotowany niemal w całym kraju może być związany przedłużającymi się niedoborami opadów, jakie wystąpiły w 2015 roku (trwającymi od 2 do 4 miesięcy), w szczególności z krytycznym niedoborem wody deszczowej zanotowanym we wszystkich krainach przyrodniczo-leśnych w sierpniu 2015 roku. Dodatkowo na poziom defoliacji mogła wpłynąć bezśnieżna zima 2015/2016 oraz wiosenne przymrozki.

4. DEFOLIACJA DRZEW PRZY RÓŻNEJ DOSTĘPNOŚCI WODY GLEBOWEJ –

ANDRZEJ BOCZOŃ, ROBERT HILDEBRAND

Jednym z efektów zmian klimatu jest zwiększenie ryzyka występowania susz. W skali globalnej w okresie 1902-2008 co roku wzrastał udział powierzchni z suszami (Wang i inni, 2014). Od 1970 r. susze zwiększały zasięg, intensywność i czas trwania (Blunden i inni, 2011; Burke i inni, 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).

Do określenia występowania suszy glebowej na terenach leśnych w latach 2015 i 2016 w Polsce posłużono się metodą zawartą w publikacji Boczonja i współautorów (2016). Wyznaczanie suszy glebowej w skali kraju oparto na określeniu dostępności wody glebowej dla roślin w referencyjnym ekosystemie leśnym, za który uznano najliczniej reprezentowany w lasach Polski średniowiekowy bór sosnowy rosnący na słabych glebach piaszczystych – rdzawych bielcowych.

Moment wystąpienia suszy glebowej wyznaczono jako całkowite wyczerpanie wody dostępnej dla roślin ($2,0 < pF < 3,7$). 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 Makkinka wg. DVWK (1996).

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.

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, Łagów, Niepołomice, Parciaki, Płońsk, Poddębice, Rudy, Spychowo, Susz, Włodawa i Wronki.

Określono także klimatyczny bilans wodny jako różnicę między sumą opadów atmosferycznych i rozchodem wody na parowanie terenowe.

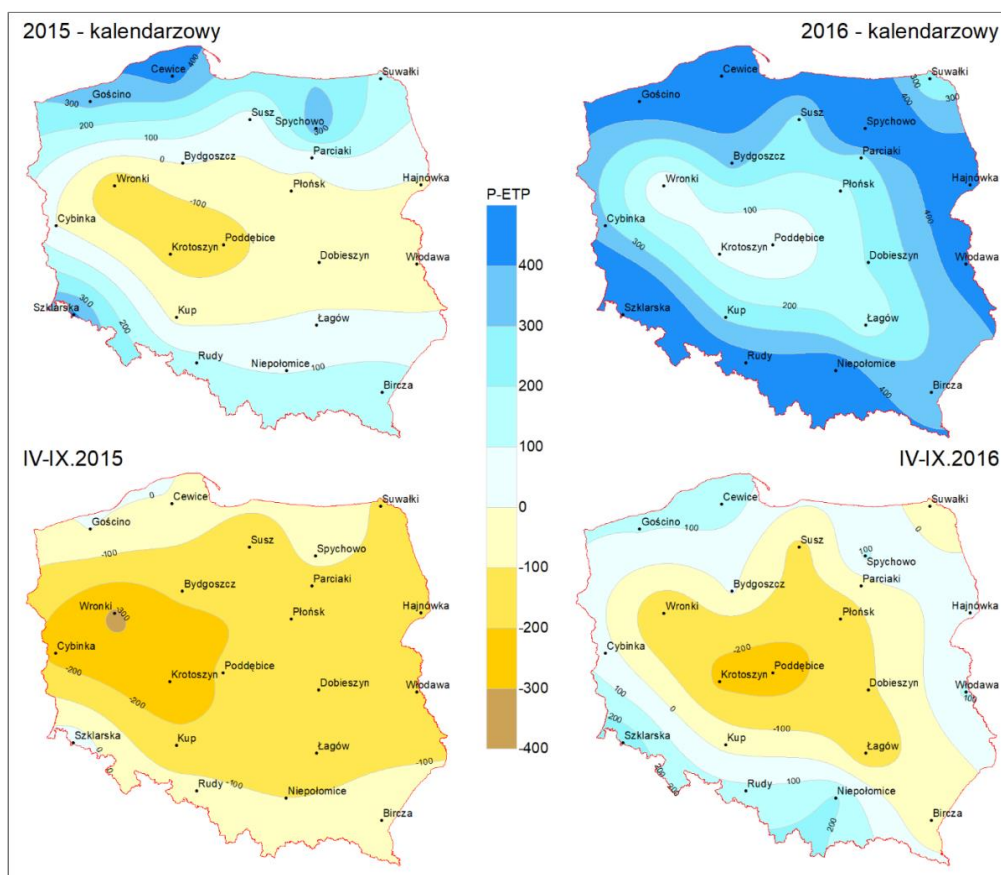
Wyniki klimatycznego bilansu wodnego i występowanie suszy w 2015 r. zaczerpnięto z publikacji Boczonja i współautorów (2016).

Wpływ suszy na stan drzewostanów określono posługując się różnicą defoliacji poszczególnych drzew między latami 2016 i 2014 na powierzchniach monitoringu lasu, w poszczególnych strefach wystąpienia suszy i zróżnicowania klimatycznego bilansu wodnego.

Warunki wilgotnościowe w lasach w 2015 i 2016 r.

Klimatyczny bilans wodny wskazuje na duże różnice warunków wodnych między latami 2015 i 2016 (Rys. 14). W 2015 roku przewaga rozchodu wody nad przychodem dotknęła duże obszary Polski. Największy deficyt wody przekraczający 100 mm wystąpił w Wielkopolsce. Cała centralna część Polski od zachodniej po wschodnią granicę miała ujemny bilans wodny. Zwiększenie retencji wilgoci mogło wystąpić w części północnej i południowej kraju. W 2016

roku klimatyczny bilans wodny dla roku kalendarzowego wskazuje na brak deficytu wody na terenie całego kraju.



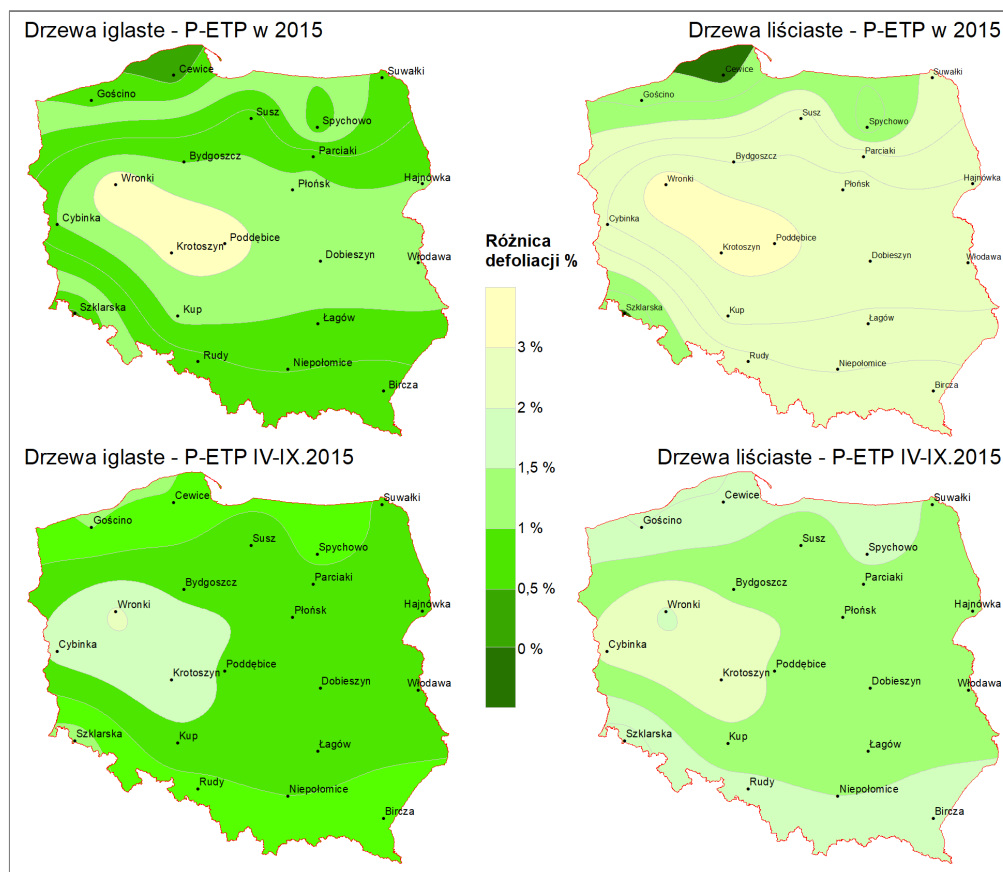
Rys. 14. Klimatyczny bilans wodny (P-ETP) w latach 2015 i 2016 w ujęciu lat kalendarzowych i w miesiącach półrocza ciepłego (IV-IX)

W warunkach klimatycznych Polski w półroczu ciepłym (od IV do IX) przeważa rozchód wody nad przychodem wody, co powoduje zwiększenie obszarów występowania deficytu wody w stosunku do okresu całego roku. Taka sytuacja wystąpiła w latach 2015 i 2016. Jednak rozkład deficytu wody na terenie kraju w obu półroczach ciepłych był inny. W 2015 roku praktycznie cały kraj był objęty deficytem wody, jedynie wąski pas przymorski charakteryzowała przewaga przychodu wody nad jej rozchodem. W 2016 roku największy deficyt wody wystąpił w centrum kraju i zmniejszał się promieniowo w kierunku granic, gdzie szerokim pasem występował nadmiar wody. W rejonie przymorskim i w południowo-zachodniej Polsce dodatni bilans wody przekroczył wartość 100 mm.

Rozkład przestrzenny wystąpienia suszy w 2015 roku wskazuje, że najdłużej trwała ona w Wielkopolsce. Dotknęła w dużym stopniu całą centralną część kraju od zachodniej do wschodniej granicy oraz północno-wschodnie przygranicze. Na tych terenach czas jej trwania przekroczył 60 dni. W 2016 roku najdłużej trwająca susza miała miejsce w centralnej części Polski i czas jej trwania zmniejszała się ku granicom państwa. Susza trwająca dłużej niż 60 dni objęła znacznie mniejszy obszar – głównie część województwa łódzkiego i wielkopolskiego.

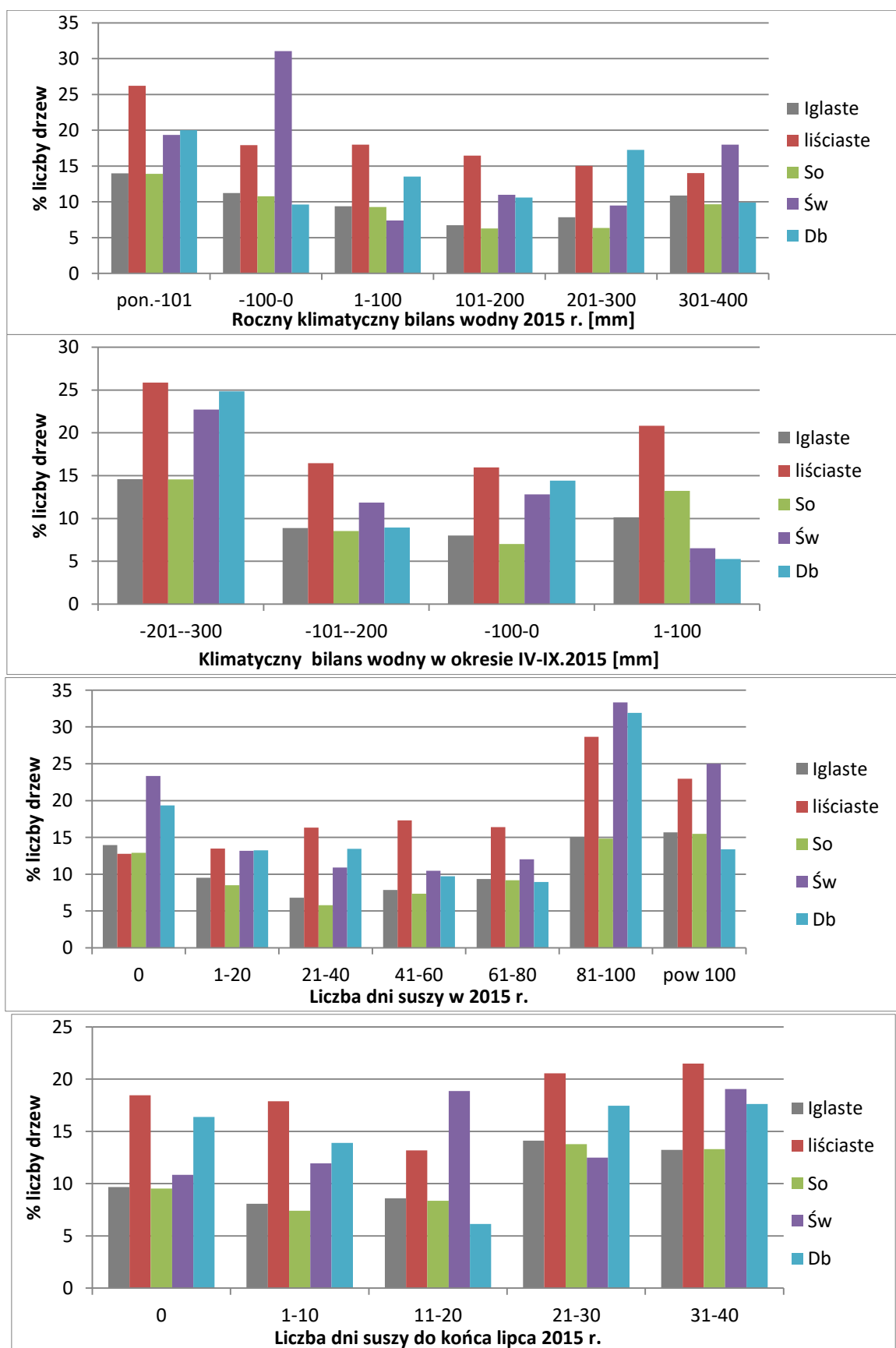
Z punktu widzenia rozwoju i wzrostu drzew ważny jest termin wystąpienia suszy. Aktywne fizjologicznie drewno wczesne tworzone jest w pierwszej fazie wzrostu, w okresie wegetacyjnym. Dlatego najbardziej negatywne skutki wywołują susze, które mają miejsce w pierwszych miesiącach okresu wegetacyjnego. Analiza wystąpienia suszy w okresie do końca lipca pokazuje, że najgorsze warunki w pierwszej fazie wzrostu w 2015 roku były w Wielkopolsce i w rejonie Włodawy. W 2016 roku susza w tym okresie wystąpiła tylko lokalnie, w rejonie stacji meteorologicznych w Poddębicach, Wronkach, Suszu i Parciakach.

Wpływ warunków wodnych na defoliację drzewostanów



Rys. 15. Różnica defoliacji drzew liściastych i iglastych w latach 2016 i 2014 na powierzchniach klas klimatycznego bilansu wodnego (P-ETP) w latach 2015 w ujęciu lat kalendarzowych i w miesiącach półrocza ciepłego (IV-IX)

Na obszarze z najdłuższą trwającą suszą w 2015 roku (Rys. 15) rosną głównie drzewostany budowane przez sosnę pospolitą (np. Puszcza Notecka), a także drzewostany dębowe (np. w Nadleśnictwie Krotoszyn). Poszczególne gatunki drzew w różnym stopniu są podatne na



Rys. 16. Procent liczby drzew o różnicy defoliacji większej lub równej 10% między latami 2016 i 2014 dla poszczególnych grup drzew w warunkach panujących w 2015 roku

niekorzystny wpływ suszy, która powoduje dysfunkcje w przewodzeniu wody w drewnie. Przyjmuje się, że gatunki iglaste są lepiej przystosowane do przetrwania suszy niż gatunki

liściaste (Choat i inni, 2012). Pomimo że sosna pospolita jest uznawana za gatunek odporny, to jednak nie wyklucza się możliwości jej zamierania na skutek stresu suszy (Dobbertin i inni, 2007). Do bardziej wrażliwych gatunków rosnących w Polsce zaliczany jest dąb szypułkowy *Quercus robur* L., u którego łatwo dochodzi do dysfunkcji przewodzenia wody w drewnie. Letnie susze mają hamujący wpływ na przyrost dębów, a susze powtarzające się w kolejnych latach doprowadzają do stopniowego osłabiania i zamierania dębów (Sohar i inni, 2013).

Susza wpływa na drzewostany w sposób długotrwały, często widoczny dopiero po kilku latach. Ograniczenie w dostępności wody glebowej, które miało miejsce w 2015 roku, powinno zacząć ujawniać się w stanie zdrowotnym drzew w kolejnych latach, dlatego analizę przeprowadzono, porównując defoliację drzew w 2016 roku do defoliacji w roku poprzedzającym suszę, to jest w roku 2014.

W zasięgu największego deficytu wody wykazanego rocznym klimatycznym bilansem wodnym (deficyt większy od 100 mm) grupy drzew poddane analizie charakteryzowały się największym zwiększeniem defoliacji między rokiem 2016 i 2014. Wszystkie wyodrębnione grupy miały defoliację większą o ponad 3%, a w przypadku drzew liściastych i świerków różnica dochodziła do 5%. Spośród badanych gatunków świerki osiągały największą defoliację we wszystkich strefach klimatycznego bilansu wodnego (poza wynikiem bilansu +1-100mm). Wskazuje to na pogarszającą się kondycję tego gatunku w naszym kraju. Zależność wielkości defoliacji od wyniku klimatycznego bilansu wodnego była istotna dla gatunków iglastych ($R^2=0,62$; $p=0,03$), gatunków liściastych ($R^2=0,76$; $p=0,01$) i dla sosny ($R^2=0,71$; $p=0,02$).

Klimatyczny bilans wodny od kwietnia do września 2015 roku wykazywał znacznie większy deficyt wody w stosunku do bilansu rocznego. W strefie największego niedoboru wody -201 – -300 mm u wszystkich grup drzew wystąpiła największa redukcja ulistnienia: defoliacja gatunków liściastych zwiększyła się w stosunku do roku 2014 o 4,8%, świerków o 4,7%, dębów o 4,2%, gatunków iglastych o 2,8% i sosen o 2,8%. Zależność między defoliacją poszczególnych grup gatunków i klimatycznym bilansem wodnym miesięcy ciepłych nie była istotna statystycznie.

Liczba dni suszy w 2015 r. miała wpływ na wielkość defoliacji wszystkich grup drzew, szczególnie, gdy susza trwała ponad 80 dni w ciągu roku. Przy liczbie dni suszy od 81 do 100 dni defoliacja świerków i dębów zwiększyła się o blisko 6%, a przy suszy powyżej 100 dni defoliacja najbardziej się zwiększyła u świerków i liściastych – prawie o 5% w stosunku do 2014 roku. Zależność defoliacji od liczby dni suszy była istotna statystycznie dla gatunków liściastych ($R^2=0,72$; $p=0,01$).

Ważnym parametrem mówiącym o stanie zdrowotnym drzew jest liczba drzew, u których defoliacja na przestrzeni lat 2014-2016 zwiększyła się o 10% lub więcej, co można uznać za objaw osłabienia drzew. Udział drzew z tak dużą utratą ulistnienia był największy w warunkach ujemnego rocznego klimatycznego bilansu wodnego dla wszystkich grup gatunków. 31,1% drzew świerka pospolitego miało defoliację większą lub równą 10% przy rocznym deficycie wody w granicach 0 – -100 mm (Rys. 16). Pozostałe gatunki miały największy udział drzew o dużej utracie ulistnienia przy rocznym deficycie wody większym niż 100 mm (iglaste 14,0%, w tym sosna 13,9%, liściaste 26,2%, dąb 20,0%). Wyraźna zależność udziału drzew o dużej defoliacji od wyniku klimatycznego bilansu wodnego dotyczyła gatunków liściastych ($R^2=0,75$; $p=0,02$) i sosny ($R^2=0,49$; $p=0,12$), z tym, że tylko w przypadku liściastych była ona istotna statystycznie.

Duża defoliacja dotknęła największą liczbę drzew przy suszy glebowej trwającej ponad 80 dni. Łącznie w strefie tak dużej liczby dni z brakiem wody dostępnej, przynajmniej dziesięcioprocentowa redukcja ulistnienia wystąpiła u 28% świerków, 26% drzew gatunków liściastych, 24% dębów, 15% gatunków iglastych i 15% sosen. Istotna statystycznie zależność udziału drzew o dużej zmianie defoliacji i liczby dni z suszą w ciągu roku wystąpiła w przypadku drzew liściastych ($R^2=0,71$; $p=0,02$).

W 2015 roku znaczny obszar Polski dotknęła susza glebowa, która w drzewostanach sosnowych rosnących na ubogich glebach piaszczystych, o niskich zdolnościach retencyjnych, skutkowała niedostępnością wody dla roślin ponad 100 dni w roku. Klimatyczny bilans wodny wskazuje na deficyt wody przekraczający 100 mm w skali roku.

Różnica w defoliacji drzew między latami 2016 i 2014 wskazuje na zmniejszenie ulistnienia przy występowaniu suszy ponad 80 dni w ciągu roku oraz przy deficycie wody przekraczającym 100 mm w ciągu roku.

Wyniki rocznego klimatycznego bilansu wodnego 2015 roku korelują ze zmianą defoliacji między latami 2016 i 2014 dla gatunków liściastych, gatunków iglastych i dla sosen. Najsilniejsze związki korelacyjne wystąpiły w przypadku gatunków liściastych.

Na terenach z deficytem wody dostępnej dla roślin przez ponad 80 dni w 2015 roku odnotowano zmniejszenie ulistnienia o 10% i więcej u 28% świerków, 26% drzew gatunków liściastych, 24% dębów, 15% gatunków iglastych i 15% sosen.

Analiza wskazuje, że istnieją czynniki powodujące defoliacje niezależnie od warunków wodnych gleb. W większym stopniu należy uwzględnić zmienność warunków siedliskowych na poszczególnych powierzchniach badawczych, w szczególności charakterystyki retencyjne gleb.

5. ZMIANY SKŁADU GATUNKOWEGO W DRZEWOSTANACH W DZIESIĘCIOLECIU 2007-2016 – GRZEGORZ ZAJĄCZKOWSKI, JERZY WAWRZONIAK

W roku 2016 upłynął 10-letni okres realizacji oceny stanu zdrowotnego drzew na powierzchniach obserwacyjnych monitoringu lasu (SPO) zintegrowanych z siecią wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu. W tym okresie nie tylko wzrosła liczba powierzchni, na których wykonuje się ocenę drzew, co było spowodowane zwiększeniem się rzeczywistej powierzchni leśnej i powierzchni ujawnionej w wyniku porządkowania ewidencji gruntów i budynków, ale także stwierdzono większą liczbę ocenianych gatunków.

Stałe powierzchnie obserwacyjne I rzędu monitoringu lasów są rozmieszczone w regularnej sieci 8 x 8 km. Każda powierzchnia zawiera 20 drzew próbnych wybranych z drzewostanu panującego, które podlegają corocznej ocenie. W 2007 roku odnotowano 41 140 drzew próbnych, a w roku 2016 – 43 976 drzew. Zmiany liczby drzew w 10-letnim okresie, które skutkowały zmianą składu gatunkowego, wynikały głównie z dwóch przyczyn. Pierwszą przyczyną był ubytek powierzchni obserwacyjnych z powodu wycięcia drzewostanu w procesie użytkowania (powierzchnia przechodzi w stan oczekiwania) lub przeznaczenie gruntu na cele nieleśne (powierzchnia wypada z ewidencji). Drugą przyczyną było aktywowanie powierzchni oczekujących, jeżeli wiek drzewostanu przekroczył 20 lat. Zmiany składu gatunkowego drzewostanu mogły być skutkiem obumierania drzew próbnych lub ich wycinania w trakcie trzebieży. W tej sytuacji wybierano losowo kolejne drzewa, uzupełniając ich liczbę do 20. Odnotowane zmiany w składzie gatunkowym na powierzchniach SPO I rzędu wynikają więc głównie z procesów związanych z gospodarką leśną i zmianami środowiskowymi.

W roku 2007 na powierzchniach obserwacyjnych monitoringu lasu stwierdzono 23 rodzaje/gatunki drzew, spośród których największy udział wykazały: sosna (58,1%), brzoza (9,7%), dąb (7,2%), świerk (6,0%) i olsza (5,9%).

W roku 2016 wykazano już 26 rodzajów/gatunków drzew, a pojawiające się nowe taksony to śliwa, głóg i kasztanowiec. Okresowo, w kilku latach 10-lecia, pojawiała się także jabłoń. Największy udział nadal dotyczył sosny (56,1%), brzozy (10,2%), dębu (8,0%), olszy (6,5%) i świerka (5,1%). Przedstawione dane wskazują na stopniowe zmniejszanie się udziału gatunków iglastych (sosna o 2,0 punkty procentowe, świerk o 0,9 pp.) i wzrost udziału gatunków liściastych (dąb o 0,8 pp., olsza o 0,6 pp. i brzoza o 0,5 pp.). Ponadto, świerk jako jedyny spośród głównych gatunków lasotwórczych, wykazał spadek (o 235 szt.) rzeczywistej liczby ocenianych żywych drzew na powiędzeniach SPO. Dla porównania, dla sosny, której udział zmalał o 2 pp. stwierdzono wzrost liczby drzew o 766 szt. Inne rodzaje/gatunki, których liczebność spadła, to: robinia, topole i jarzab. Z kolei największą dynamiką wzrostu liczebności

wykazały się rodzaje/gatunki raczej rzadko spotykane w składach gatunkowych drzewostanów, tj.: czeremcha (z 1 drzewa w 2007 roku do 47 drzew w roku 2016), daglezwia (z 2 do 13 drzew), wierzby (z 33 do 88 drzew) oraz czereśnia (z 35 do 68 drzew).

Największy wzrost liczby rodzajów/gatunków drzew leśnych ocenianych na powierzchniach SPO w obrębie krain przyrodniczo-leśnych stwierdzono w Krainie Mazowiecko-Podlaskiej, wysoki – w Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej. Na pierwszym obszarze odnotowano 6 nowych rodzajów/gatunków, tj.: buk, wiąz, gruszę, czeremchę, robinie i wierzbę. Z kolei w Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej pojawiły się: grusza, czereśnia, czeremcha i lipa. W pozostałych krainach zmiany były mniejsze: w Krainie Bałtyckiej i Krainie Śląskiej pojawiły się po 3 nowe rodzaje/gatunki (odpowiednio: daglezwia, czeremcha i kasztanowiec oraz jodła, robinia i wierzba), w Krainie Karpackiej i Sudeckiej odnotowano po 2 nowe rodzaje/gatunki (daglezwia i śliwa oraz topola i wierzba), zaś w Krainie Małopolskiej – jeden gatunek, tj. czeremchę.

Spadek liczebności rodzajów/gatunków stwierdzono tylko w Krainie Mazursko-Podlaskiej, w której na powierzchniach SPO pojawiła się czeremcha, zaś zniknęły grusza i topola. Także w Krainie Sudeckiej ubył jeden rodzaj, tj. jarzab.

W 2016 r. w porównaniu z 2007 r. na powierzchniach SPO I rzędu stwierdzono większą liczbę ocenianych rodzajów/gatunków, co potwierdza tezę o wzrastającej różnorodności biologicznej w polskich lasach. W roku 2007 stwierdzono 23 rodzaje/gatunki drzew, wśród których największy udział miały: sosna (58,1%), brzoza (9,7%), dąb (7,2%), świerk (6,0%) i olsza (5,9%). W roku 2016 wykazano już 26 rodzajów drzew, a pojawiające się nowe taksony to śliwa, głóg i kasztanowiec. Największy udział nadal dotyczył sosny (56,1%), brzozy (10,2%), dębu (8,0%), olszy (6,5%) i świerka (5,1%).

W dziesięcioleciu 2007-2016 następowało stopniowe zmniejszanie się udziału gatunków iglastych (sosny o 2,0 punkty procentowe, świerka o 0,9 pp.) i wzrost udziału gatunków liściastych (dębu o 0,8 pp., olszy o 0,6 pp. i brzozy o 0,5 pp.).

Największy wzrost liczby rodzajów/gatunków drzew leśnych ocenianych na powierzchniach monitoringowych w obrębie krain przyrodniczo-leśnych stwierdzono w Krainie Mazowiecko-Podlaskiej, wysoki – w Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej. Na pierwszym obszarze odnotowano sześć nowych rodzajów/gatunków (buk, wiąz, gruszę, czeremchę, robinie i wierzbę), na drugim – cztery rodzaje/gatunki (gruszę, czereśnię, czeremchę i lipę).

Stwierdzony w ostatnim dziesięcioleciu spadek udziału rodzajów/gatunków iglastych w ogólnej liczbie drzew na SPO I rzędu wynoszący 2,75 punktu procentowego najwyraźniej zaznaczył się w przypadku świerka w Krainie Sudeckiej (spadek o 6,2 pp.) i Krainie Karpackiej (spadek o 4,9 pp.) oraz sosny w Krainie Śląskiej (-4,4 pp.) i Krainie Mazowiecko-Podlaskiej (-4,0 pp.).

Duży wzrost udziału wśród rodzajów/gatunków liściastych dotyczył dębu, jesionu i topoli w Krainie Sudeckiej (odpowiednio o 2,4 pp., 1,6 pp. i 1,6 pp.), nieco mniejszy – olszy w Krainie Mazowiecko-Podlaskiej (o 1,4 pp.) i Krainie Wielkopolsko-Pomorskiej (o 1,3 pp.).

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).

6. 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.

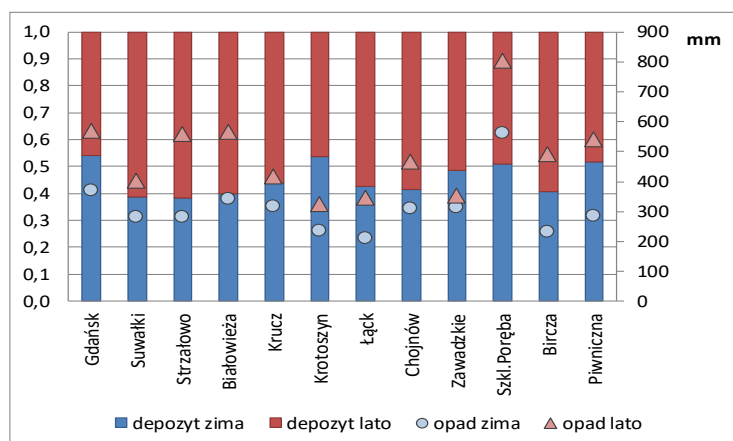
Skład chemiczny opadów

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 11,1 do 21,1 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Niską przewodność opadów notowano średnio rocznie w rejonach górskich, gdzie opady były najwyższe: w Szklarskiej Porębie i Piwnicznej (poniżej 13 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$). W Strzałowie, Białowieży, Chojnowie, Łącku, Gdańsku i Zawadzkim średnia roczna przewodność nie przekraczała 18 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. W Birczy, Suwałkach i Kruczu mieściła się w zakresie 18,3 – 19,5 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Najwyższe stężenie substancji w opadach odnotowano w Krotoszynie (21,1 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$).

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 20,7 do 48,5 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Tab. 8). W porównaniu z 2014 r. depozycja była większa w Gdańsku, Suwałkach, Strzałowie, Zawadzkim, Szklarskiej Porębie, Chojnowie, Krotoszynie i Białowieży o odpowiednio 74%, 71%, 36%, 22%, 22%, 17%,

14% i 13%. W Kruczu, Birczy, Łącku i Piwnicznej depozycja była podobna jak w 2014 r., z różnicami sięgającymi od -6% do 2%.



Rys. 17. Suma opadu bezpośredniego [mm] (prawa oś) oraz udział depozytu w sezonie letnim (V-X) i zimowym (I-IV, XI-XII) na SPO MI w 2016 roku

30 do 31 kg·ha⁻¹. W Kruczu, Szklarskiej Porębie i Gdańsku depozyt był wysoki i wynosił odpowiednio 33,9 kg·ha⁻¹, 38,8 kg·ha⁻¹ i 48,5 kg·ha⁻¹. Na tak wysoką depozycję w Gdańsku składały się przede wszystkim jony Cl⁻ i Na, głównie pochodzenia morskiego. Sumaryczna depozycja jonów chlorkowych i sodu była w Gdańsku o 10,4 kg·ha⁻¹·rok⁻¹ wyższa niż w Szklarskiej Porębie i aż o 16-18,8 kg·ha⁻¹·rok⁻¹ wyższa niż na pozostałych SPO MI.

W Gdańsku, Krotoszynie, Piwnicznej i Szklarskiej Porębie suma depozycji w okresie zimowym była wyższa niż w okresie letnim, stanowiąc od 51% do 54% depozycji rocznej. Natomiast na pozostałych SPO MI depozyt okresu letniego miał większy udział (od 51% do 62%) w sumie rocznej niż depozyt okresu zimowego (Rys. 17).

Pomiędzy SPO MI wystąpiły istotne różnice w depozycji H⁺, Cl⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, Na, Mn, azotu całkowitego (N_{tot}) i pojemności zobojętniania kwasów (ANC). Wyniki testów statystycznych potwierdzają zaobserwowane różnice między Gdańskiem a szeregiem innych SPO MI pod względem depozycji składników z aerozoli morskich. W Gdańsku, a szczególnie w Białowieży (rejon północny i północno-wschodni Polski), opady różniły się pod względem pojemności zobojętniania kwasów (ANC) od opadów, które wystąpiły w Polsce południowo-zachodniej (Zawadzkie), zachodniej (Krucz 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·ha⁻¹ wynosił od 1,2% do 2,4% depozytu rocznego. Na metale ciężkie, wśród których ilościowo dominował cynk, przypadło od 0,9% do 1,6% depozytu rocznego, tj. od 0,24 do 0,47 kg·ha⁻¹·rok⁻¹.

Najmniejszą ilość jonów zdeponowały opady w Nadleśnictwie Piwniczna (20,7 kg·ha⁻¹). Wartości pośrednie odnotowano w Łącku (23,1 kg·ha⁻¹), Strzałowie (25,1 kg·ha⁻¹), Zawadzkim (26,1 kg·ha⁻¹), Krotoszynie (27,9 kg·ha⁻¹) i Birczy (29,7 kg·ha⁻¹). W Suwałkach, Białowieży i Chojnowie depozyt całkowity mieścił się w przedziale od

Największe ilości metali ciężkich zostały zdeponowane na powierzchniach w Szklarskiej Porębie, Gdańsku i Białowieży (odpowiednio: 0,47, 0,42 i 0,40 kg·ha⁻¹·rok⁻¹). Od 0,36 do 0,31 kg·ha⁻¹·rok⁻¹ otrzymały powierzchnie w Strzałowie, Kruczu, Piwnicznej, Chojnowie, Zawadzkiem i w Suwałkach, oraz od 0,28 do 0,24 kg·ha⁻¹·rok⁻¹ – powierzchnie w Birczy, Krotoszynie i Łącku.

Tabela 8. Depozyt roczny [kg·ha⁻¹] (bez RWO) wniesiony z opadami na SPO MI w 2016 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]	840	905	735	774	665	680	1364	824	556	553	938	722
H ⁺	0,056	0,014	0,020	0,020	0,030	0,009	0,096	0,049	0,008	0,021	0,030	0,034
Cl ⁻	3,26	2,82	4,30	3,44	3,08	3,47	7,08	2,77	2,79	3,47	14,2	2,62
N-NO ₃ ⁻	4,61	2,96	4,60	3,32	3,65	3,52	4,95	2,43	3,49	2,67	3,38	3,20
S-SO ₄ ²⁻	2,61	3,21	3,48	3,84	4,06	2,96	4,77	3,16	3,65	3,32	3,36	4,15
N-NH ₄ ⁺	2,79	5,47	7,58	6,71	5,80	6,15	7,12	2,40	7,34	4,18	5,30	7,02
Ca	5,23	8,63	5,66	4,98	4,31	6,89	3,68	4,04	4,07	4,08	6,88	6,06
Mg	0,56	0,92	0,58	0,64	0,41	0,71	0,39	0,51	0,49	0,50	1,15	0,53
Na	2,35	1,87	2,67	1,97	1,73	2,34	5,48	2,12	1,91	1,85	8,75	1,52
K	1,73	1,76	1,87	3,11	1,23	1,78	1,70	1,58	1,82	1,62	2,76	1,57
Fe	0,051	0,047	0,060	0,058	0,056	0,036	0,063	0,053	0,042	0,038	0,052	0,056
Al	0,064	0,065	0,052	0,059	0,064	0,038	0,076	0,049	0,054	0,047	0,070	0,065
Mn	0,049	0,043	0,039	0,056	0,068	0,030	0,040	0,073	0,048	0,103	0,053	0,037
Cd	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001
Cu	0,045	0,061	0,048	0,042	0,035	0,037	0,057	0,030	0,037	0,042	0,052	0,027
Pb	0,013	0,010	0,014	0,012	0,011	0,009	0,012	0,010	0,007	0,008	0,010	0,010
Zn	0,305	0,333	0,275	0,267	0,272	0,262	0,395	0,286	0,211	0,190	0,355	0,244
RWO	24,8	35,9	24,8	15,2	23,7	19,7	18,6	13,4	26,5	10,4	29,4	30,6
N _{tot}	8,8	10,6	14,9	12,2	10,7	11,5	14,9	6,00	12,7	7,84	10,8	12,8
Depozyt całkowity	25,1	30,3	33,9	30,7	26,1	30,1	38,8	20,7	27,9	23,1	48,5	29,7

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

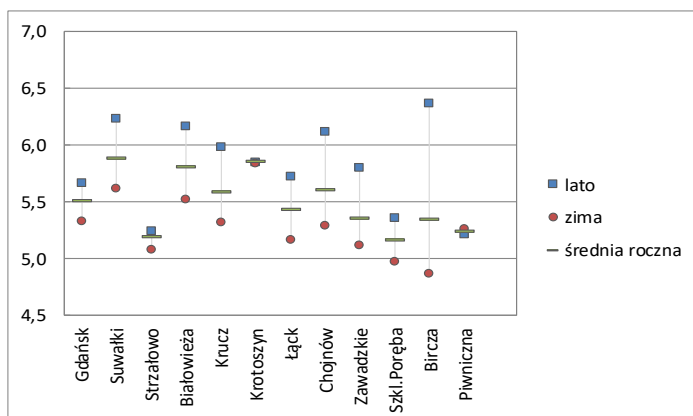
Wyniki depozycji metali ciężkich obarczone są stosunkowo dużą niepewnością wynikającą po pierwsze z problemów analitycznych oznaczeń na poziomie stężeń śladowych, po drugie – i zapewne najważniejsze – ze stosowanej metodyki pobierania próbek.

Właściwości kwasowo-zasadowe wód opadowych

Średnie miesięczne pH opadów mieściło się w granicach od 4,4 do 6,9. Minimalną wartość osiągnęło w grudniu i w marcu w Birczy, a maksymalną w maju w Gdańsku i Kruczu oraz w czerwcu w Suwałkach i Chojnowie.

Udział miesięcznych opadów o pH niższym od 5,0 wyniósł 15%, znacznie mniej niż w ubiegłych latach (42% w 2010 r., 36% w 2011 r., 39% w 2012 r., 43% w 2013 r. i 30%

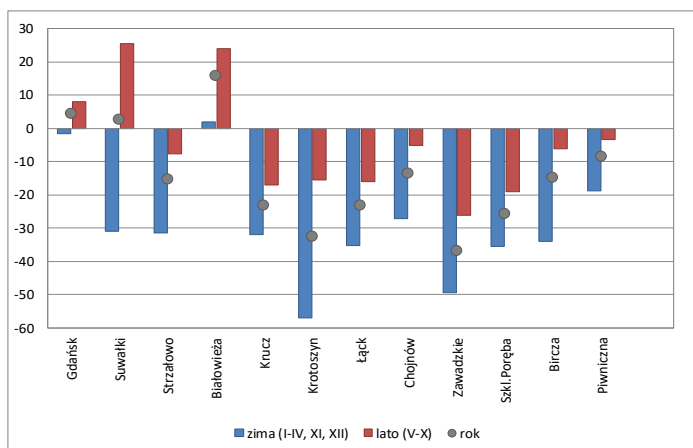
w 2014 r.). Co charakterystyczne, opady o pH niższym od 5,0 przeważały w miesiącach zimowych. Średnio w okresie zimowym na większości powierzchni pH opadów było niższe niż w okresie letnim, choć w Krotoszynie, Piwnicznej i w Strzałowie różnica odczynu opadów zimą i latem była niewielka.



Rys. 18. Średnie pH roczne, sezonu letniego (V-X) i zimowego (I-IV i XI-XII) na SPO MI w 2016 r. w opadach na otwartej przestrzeni

średnio 5,6. Niższa kwasowość opadów występowała w Białowieży, Krotoszynie i Suwałkach (5,8-5,9).

Pojemność zobojętniania kwasów (ANC) jest miarą zdolności roztworów do zobojętniania mocnych kwasów.



Rys. 19. Pojemność zobojętniania kwasów (ANC) [$\mu\text{eq} \cdot \text{dm}^{-3}$] w opadach na otwartej przestrzeni na SPO MI średnio od stycznia do grudnia, średnio w okresie zimowym (miesiące I-IV i XI-XII) i letnim (V-X) w 2016 r.

Białowieży, ANC półrocza zimowego było niższe niż w półroczu letnim. Spośród powierzchni obserwacyjnych, dodatnimi wartościami ANC charakteryzowała się jedynie powierzchnia w Białowieży średnio w całym roku, w okresie letnim i zimowym oraz powierzchnie w Suwałkach i Gdańsku w okresie letnim (Rys. 19). Na pozostałych powierzchniach w obu półroczach ANC było ujemne, a niskie średnie roczne wystąpiły w Zawadzkim, Krotoszynie, Szklarskiej

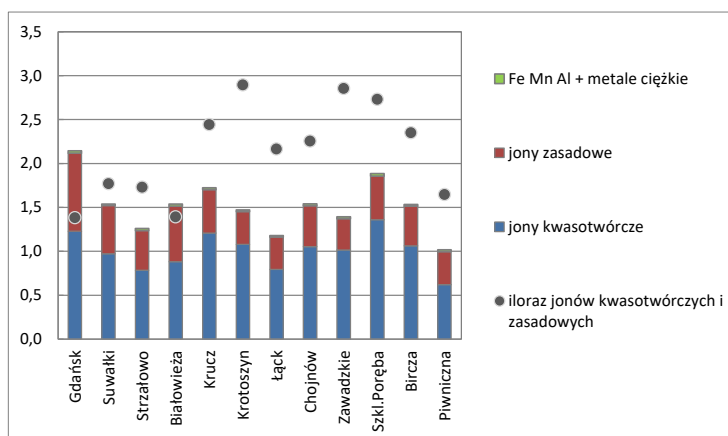
Najwyższa kwasowość opadów, mierzona średnią roczną wartością pH, wystąpiła w nadleśnictwach rejonów górskich, tj. w Szklarskiej Porębie, Piwnicznej oraz w Strzałowie (pH 5,2) (Rys. 18). Również stosunkowo niskie średnie pH opadów, między 5,3 a 5,5, odnotowano w Birczy, Zawadzkim, Łącku i Gdańsku. W Kruczu i Chojnowie pH opadów wynosiło

Ujemne wartości ANC są wskaźnikiem nadmiarowej ilości jonów mocnych kwasów w opadach, zaś dodatnie – nadmiarowej ilości mocnych zasad. Na SPO MI 76% miesięcznych opadów przyjmowało ujemne wartości ANC, z czego większość przypadła na okres zimowy (44% próbek pobranych w ciągu roku) (Rys. 19).

Na wszystkich powierzchniach obserwacyjnych, z wyjątkiem

Porębie, Kruczu i Łącku (odpowiednio: -36,9, -32,8, -25,9, -23,4 i -23,3 $\mu\text{eq}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{rok}^{-1}$).

Jedynie w Białowieży i Suwałkach średnie wartości ANC były dodatnie (odpowiednio: 28,3 i 18,9 $\mu\text{eq}\cdot\text{dm}^{-3}$). Na pozostałych powierzchniach ANC przyjmowało wartości ujemne, najniższe w Kruczu (-49,9 $\mu\text{eq}\cdot\text{dm}^{-3}$), stosunkowo niskie w Zawadzkiem, Birczy, Strzałowie, Krotoszynie, Szklarskiej Porębie i Gdańsku (odpowiednio: -34,6, -29,7, -25,3, -21,2, -19,6 i -16,7 $\mu\text{eq}\cdot\text{dm}^{-3}$). W Łącku, Chojnowie i Piwnicznej ze względu na dodatnie wartości ANC w okresie zimowym, średnio w okresie badań wartość ANC była jedynie nieznacznie niższa od zera (odpowiednio: -7,7, -6,2 i -1,5 $\mu\text{eq}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{okres badań}^{-1}$).



Rys. 20. Ładunek jonów [$\text{kmol}_c\cdot\text{ha}^{-1}$] oraz stosunek depozytu jonów kwasotwórczych do zasadowych w opadach na otwartej przestrzeni na SPO MI w 2016 r.

lokalizacjach. Udział jonów zakwaszających przekraczał 70% w Krotoszynie i Zawadzkiem, a zjawisku temu towarzyszył szczególnie niski udział jonów o charakterze zasadowym (25%).

Na każdej powierzchni w depozycie rocznym 2016 dominowały jony kwasotwórcze nad zasadowymi (Rys. 20). Również w Białowieży, w której przed rokiem 2014 depozyt jonów zasadowych przewyższał depozyt jonów kwasotwórczych, jony kwasotwórcze występowały w nieco większych ilościach niż zasadowe. Poza powierzchniami zlokalizowanymi w Polsce północnej i północno-wschodniej (Gdańsk, Białowieża, Suwałki, Strzałowo) oraz powierzchnią w Piwnicznej, na pozostałych powierzchniach występowała co najmniej dwukrotna przewaga depozycji jonów zakwaszających nad zasadowymi.

Roczny depozyt jonów: azotu całkowitego, jonów wodorowych, chlorków, siarki w formie siarczanu (VI), wapnia, sodu, potasu, magnezu, żelaza, glinu, manganu i metali ciężkich w opadach mieścił się w granicach od 20,7 do 48,5 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Sumaryczny depozyt składników śladowych (żelaza, manganu, glinu) oraz metali ciężkich (cynku, miedzi, kadmu i ołowiu) wynosił od 1,2% do 2,4% depozytu rocznego, wyrażonego w $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Na metale ciężkie, wśród których ilościowo dominował cynk, przypadło od 0,9% do 1,6% depozytu rocznego, tj. od 0,24 do 0,47 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$.

Udział w depozycie jonów o charakterze zakwaszającym (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- i NH_4^+) wynosił od 57% do 73%. W Gdańsku i Białowieży, gdzie jony o charakterze zakwaszającym miały stosunkowo niski udział (57%), udział jonów o charakterze zasadowym w depozycie był wyższy (41%) niż w pozostałych

Na SPO MI w 2016 roku jony zakwaszające środowisko (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- i NH_4^+) stanowiły od 57 do 75% molarnego ładunku jonów w opadach na otwartej przestrzeni oraz od 38 do 64% pod okapem drzewostanu.

Ujemne wartości ANC (pojemności zobojętniania kwasów) w 2016 roku cechowały 76% próbek opadów na otwartej przestrzeni oraz 34% próbek opadów pod okapem.

Korony drzew powodowały podniesienie się wartości ANC na wszystkich, z wyjątkiem Zawadzkiego, powierzchniach SPO MI.

7. POZIOM KONCENTRACJI NO_2 I SO_2 W POWIETRZU – ANNA KOWALSKA

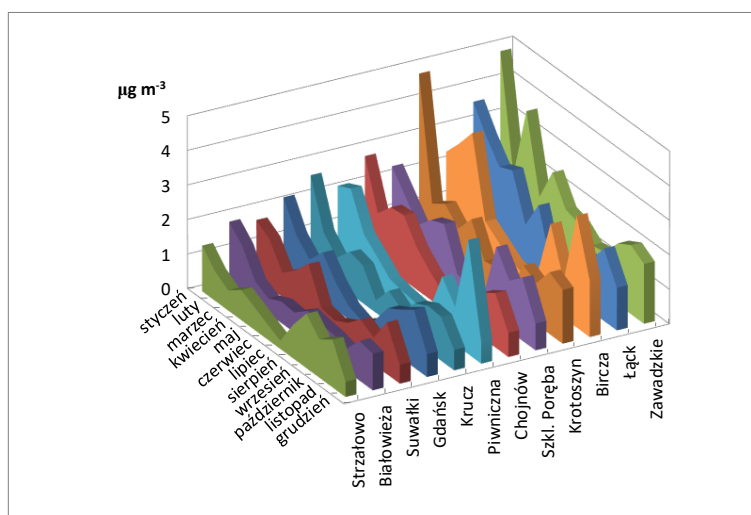
W zakres badań jakości powietrza na stałych powierzchniach obserwacyjnych monitoringu intensywnego wchodzi oznaczenia stężeń głównych zanieczyszczeń gazowych: dwutlenku siarki i dwutlenku azotu metodą pasywną z użyciem próbników dyfuzyjnych typu Amaya, z trietanolaminą jako substancją aktywną (Krochmal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

W 2016 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.

Z powodu braku pełnych danych rocznych dla 2015 r., średnie roczne stężenia SO_2 i NO_2 w 2016 r. porównano z danymi dla roku 2014.

Dwutlenek siarki

Podobnie jak w latach poprzednich, w grupie nadleśnictw zlokalizowanych w Polsce północno-wschodniej (Strzałowo, Białowieża, Suwałki) występowały niskie średnie roczne stężenia SO_2 (poniżej $1 \mu\text{g m}^{-3}$). Również w Gdańsku, Kruczu, Piwnicznej, Chojnowie i Szklarskiej Porębie średnio w ciągu roku stężenie SO_2 nie przekroczyło $1,5 \mu\text{g m}^{-3}$. Na powierzchniach położonych w nadleśnictwach: Krotoszyn, Łąck i Bircza średnie roczne stężenia mieściły się w zakresie od $1,5 \mu\text{g m}^{-3}$ do $1,7 \mu\text{g m}^{-3}$. Najwyższe stężenie notowano w Nadleśnictwie Zawadzkie ($2,1 \mu\text{g m}^{-3}$) (Rys. 21). Stężenia w Zawadzkim były istotnie wyższe od stężeń w Białowieży i Strzałowie ($p \leq 0,05$, test Kruskala-Wallisa z wielokrotnym porównaniem średnich rang). Niskie stężenia SO_2 w nadleśnictwach Polski północnej i północno-wschodniej (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).



Rys. 21. Roczny przebieg stężeń SO_2 w powietrzu na powierzchniach SPO MI w 2016 r.

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 > Łąck > Krotoszyn > Piwniczna > Chojnów > Szklarska Poręba > Gdańsk, Krucz > Białowieża, Suwałki > Strzałowo.

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

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 $0,9$ – $2,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, co stanowiło od 4% do 10% wartości dopuszczalnej. W porze zimowej (październik-grudzień) zakres stężeń wynosił od $0,9$ do $2,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, tj. od 5% do 13% wartości dopuszczalnej.

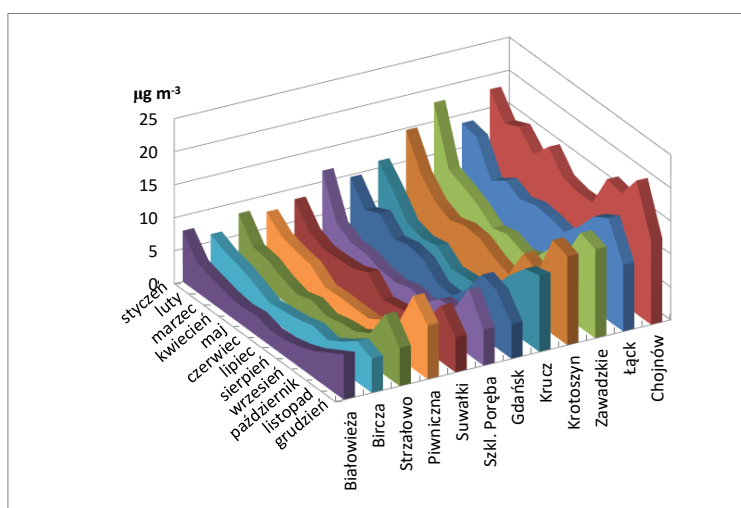
W 2016 r. na wszystkich powierzchniach stężenia SO_2 stanowiły od 42% do 64% wartości notowanych w roku 2014. Częściowo za podwyższone stężenia SO_2 w 2014 r. odpowiadała erupcja wulkaniczna w rejonie Holuhraun na Islandii. Do atmosfery zostało wówczas wyemitowane około 10880 kt SO_2 , co odpowiada w przybliżeniu trzykrotnej wielkości emisji antropogenicznych z wszystkich krajów UE w tym okresie (EMEP Status Report 2016).

Dwutlenek azotu

W 2016 r. powierzchnie SPO MI istotnie różniły się pod względem stężeń NO_2 (test Kruskala-Wallisa: $H[11, N=144]=75,78, p\leq 0,001$). Istotne różnice wystąpiły pomiędzy

Średnie miesięczne mieściły się w przedziale $0,2$ – $4,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{m}\cdot\text{c}^{-1}$. Niskie stężenia notowano w miesiącach letnich (czerwiec, lipiec i sierpień), nieco wyższe w miesiącach wiosennych i jesiennych (marzec, kwiecień, wrzesień, październik i grudzień), zaś wysokie w miesiącach styczni-luty i listopad (Rys. 21). Taki rozkład stężeń wynika z

stężeniami NO₂ w Chojnowie a stężeniami na większości pozostałych powierzchni, z wyjątkiem Zawadzkiego, Krotoszyna i Łącka. Ponadto istotne różnice stężeń obserwowano między Łąckiem a powierzchniami w Suwałkach, Strzałowie i Białowieży (Polska północno-wschodnia), Birczy, Piwnicznej i Szklarskiej Porębie (Polska południowa, rejony górskie). Podobnie jak w poprzednich latach, najwyższe średnie stężenia NO₂ stwierdzono w rejonach Polski centralnej w Chojnowie (15,0 µg·m⁻³) i Łącku (11,0 µg·m⁻³) oraz południowej, w Zawadzkiem (8,9 µg·m⁻³) i zachodniej w Krotoszynie (8,5 µg·m⁻³). Wysoki poziom stężeń NO₂ na tych powierzchniach może wynikać z dużego natężenia ruchu drogowego w niewielkiej odległości od powierzchni, usytuowania powierzchni w pobliżu dużych miast i/lub w rejonach o dużej gęstości zaludnienia oraz wysokim uprzemysłowieniu (Chojnów w odległości 20 km od Warszawy, Łąck w odległości 5 km od Płocka – dużego ośrodka przemysłu rafineryjnego, Zawadzkie na Górnym Śląsku). Niższe stężenia NO₂, podobnie jak w poprzednich latach badań, występowały w nadleśnictwach Polski północnej i północno-wschodniej: Białowieża (4,1 µg·m⁻³), Strzałowo (4,6 µg·m⁻³), Suwałki (5,0 µg·m⁻³), Gdańsk (6,2 µg·m⁻³) oraz w rejonach górskich: Bircza (4,1 µg·m⁻³), Piwniczna (5,0 µg·m⁻³) i Szklarska Poręba (5,3 µg·m⁻³).



Rys. 22. Roczny przebieg stężeń NO₂ w powietrzu na powierzchniach SPO MI w 2016 r.

Średnie miesięczne wahały się w granicach od 2,3 µg·m⁻³ do 20,2 µg·m⁻³ i wykazywały wyraźną sezonowość. W miesiącach zimowych: styczniu, lutym, październiku, listopadzie i grudniu, mediana stężeń dla poszczególnych SPO MI była szczególnie wysoka i wyniosła od 5,9 do 10,5 µg m⁻³ m·c⁻¹ (Rys. 22).

Podobnie jak w ubiegłych latach najwyższe miesięczne stężenia NO₂ notowano na powierzchni w Chojnowie (powyżej 11 µg m⁻³ m·c⁻¹ w okresie letnim, do 20,2 µg m⁻³ m·c⁻¹ w okresie zimowym). Stężenia nieprzekraczające 3 µg m⁻³ m·c⁻¹ występowały w okresie letnim między majem a sierpniem w Białowieży, Suwałkach i Strzałowie (Polska północno-wschodnia) w czerwcu w Kruczu oraz w Piwnicznej, Birczy i Szklarskiej Porębie (Polska południowa, rejony górskie), jednak nie we wszystkich miesiącach w tym okresie (Rys. 22). Istotne różnice między medianami miesięcznych stężeń dla okresów letnich i zimowych wystąpiły na wszystkich powierzchniach, z wyjątkiem Suwałk oraz Łącka i Chojnowa.

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

Stężenia średnie dla okresu zimowego (styczeń-marzec i październik-grudzień) były od 1,2 do 2,4 razy wyższe niż dla okresu letniego. Układały się w porządku malejącym: Chojnów > Łąck > Zawadzkie > Krotoszyn > Krucz > Gdańsk > Piwniczna, Szklarska Poręba > Strzałowo, Suwałki > Białowieża, Bircza.

W roku 2016 średnie wartości stężeń NO₂ wynosiły od 4,0 do 15,0 µg m⁻³ rok⁻¹, tj. odpowiednio od 13% do 50% 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 µg m⁻³.

Łączna depozycja siarki i azotu

Na podstawie średnich stężeń rocznych i sezonowych oszacowano ładunek N i S, jaki był deponowany na SPO MI w 2016 r. – zastosowano metody szacowania wg Thimonier i in. (2005) i Rihm (1996). Powierzchnie monitoringu intensywnego można połączyć w trzy grupy różniące się sumarycznym obciążeniem zanieczyszczeniami gazowymi. Niska łączna depozycja siarki i azotu z atmosfery występowała na powierzchniach Polski północno-wschodniej (Białowieża, Strzałowo, Gdańsk i Suwałki) (od 2,7 do 3,2 kg N+S·ha⁻¹·rok⁻¹). Powierzchnie zlokalizowane w górach i na pogórzu (Szklarska Poręba, Piwniczna i Bircza) charakteryzują się dość niskimi wartościami sumarycznej depozycji N-NO₂ i S-SO₂ (3,3 – 3,7 kg N+S ha⁻¹ rok⁻¹). W Polsce centralnej (Krotoszyn i Krucz) obciążenie sumarycznym ładunkiem zanieczyszczeń gazowych było pośrednie i wyniosło odpowiednio 4,3 i 3,9 kg N+S ha⁻¹ rok⁻¹. Najwyższe poziomy rocznych depozycji: w Chojnowie (7,3 kg N+S ha⁻¹), w Zawadzkim (6,0 kg N+S ha⁻¹) oraz w Łącku (5,3 kg N+S ha⁻¹) pozwalają zaliczyć te powierzchnie do najbardziej obciążonych zanieczyszczeniami atmosferycznymi.

W 2016 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 Polsce centralnej (Krotoszyn i Krucz), wysokie wartości – w Łącku i w Zawadzkim, najwyższe – w Chojnowie.

Od 64% do 71% depozycji azotu oraz od 59% do 72% depozycji siarki przypadało na okres zimowy.

Odnotowano wyraźny spadek koncentracji SO₂ w powietrzu w porównaniu do roku 2014. Koncentracje NO₂ na SPO MI były w 2016 roku zbliżone do roku 2014.

8. OPADY PODKORONOWE ORAZ ROZTWORY GLEBOWE—ANNA KOWALSKA

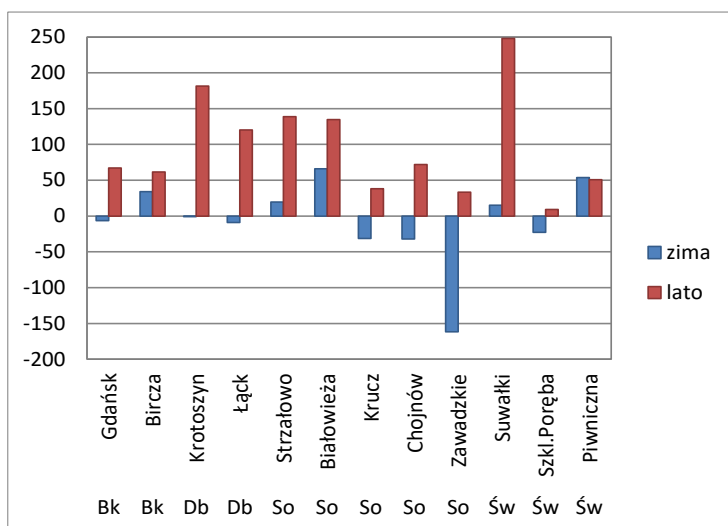
Opady podkoronowe

Opady podkoronowe różnią się od opadów atmosferycznych zarówno pod względem ilości, jak i składu chemicznego. Ich badanie dostarcza istotnych informacji o obiegu pierwiastków w środowisku leśnym.

Średnia przewodność elektrolityczna właściwa, będąca pośrednio miarą ogólnej zawartości jonów w wodach, wynosiła na SPO MI w 2016 r. od 22,3 do 51,6 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, przyjmując miesięcznie wartości od 13,3 do 210 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. W opadach 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 spłukiwane 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: Zawadzkie, Krotoszyn, Suwałki i Łąck (odpowiednio 51,6, 48,6, 47,2 i 38,9 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$). Stosunkowo niską przewodność opadów (od 26,8 do 28,9 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$) notowano w opadach w Birczy, Strzałowie i Piwnicznej, zaś najniższą miały opady w Szklarskiej Porębie (22,0 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{okres badań}^{-1}$). W pozostałych drzewostanach (w Gdańsku, Białowieży, Kruczu i Chojnowie) przewodność opadów kształtowała się w zakresie od 30,2 do 33,2 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$.

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.

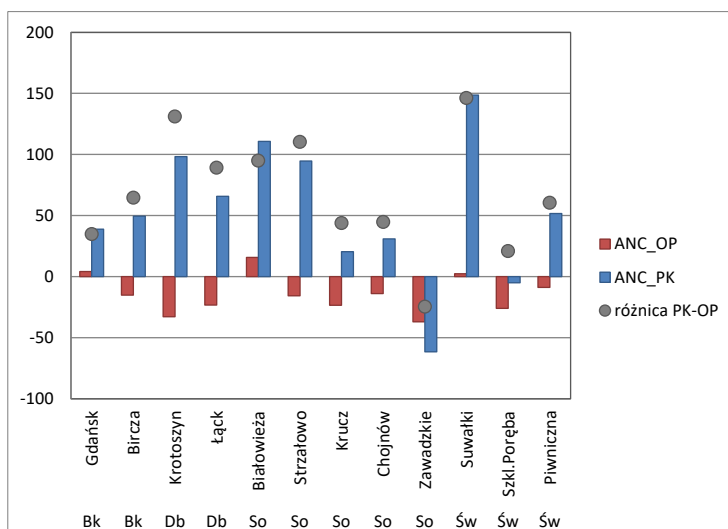
Depozyt podkoronowy przekroczył 70 $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$ na powierzchniach świerkowych w Suwałkach (79,6 $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$) i w Szklarskiej Porębie (74,9 $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$) oraz w drzewostanie dębowym w Krotoszynie (72,1 $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$) i bukowym w Gdańsku. (79 $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$; suma depozycji z opadów podkoronowych i spływu po pniu). W Kruczu (So) w ciągu jedenastu miesięcy z opadami zdeponowane zostało 39,1 kg ha^{-1} badanych substancji, a rocznie w Łącku (Db) i Strzałowie (So) odpowiednio 45,1 i 47,8 $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$. W Piwnicznej (Św), Chojnowie (So), Białowieży (So), Birczy (Bk) i Zawadzkiem (So) depozyt wyniósł od 52,5 $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$ do 66,5 $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$.



Rys. 23. Pojemność zobojętniania kwasów (ANC) [$\mu\text{eq}\cdot\text{dm}^{-3}$] w opadach podkoronowych na SPO MI w 2016 r. Średnie dla okresu zimowego (miesiące I-IV, XI i XII) i letniego (V-X).

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 $0,59 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, z czego 78-86% stanowił cynk.

Właściwości kwasowo-zasadowe wód opadowych. Obniżone pH, tj. pH niższe niż 5,0 występowało na przestrzeni roku w 20% miesięcznych próbek opadów zebranych na SPO MI. Opady o pH poniżej 5,0 przeważały w okresie zimowym (styczeń, luty, marzec i grudzień).



Rys. 24. 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 2016 r.

zasad (Ca, Mg, Na, K) i anionów mocnych kwasów (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-) w opadach, mierzona

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^+ , Ca, Mg, Mn, Fe, Al i RWO), poza K.

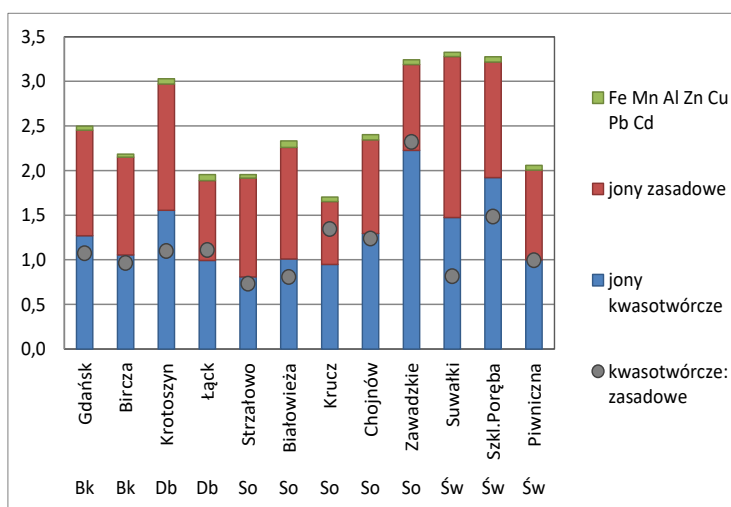
Depozyt pierwiastków śladowych i metali ciężkich: żelaza, manganu, glinu, cynku, miedzi, kadmu i ołowiu wynosił od

Odczyn opadów był zbliżony lub nieco mniej kwaśny niż średnio w roku 2014, lecz zachowane zostały różnice w pH opadów między badanymi drzewostanami. Wyższe pH występowało w opadach pod okapem drzewostanów liściastych niż iglastych (por. Kowalska i in., 2016a).

Pojemność zobojętniania kwasów (ANC), obliczona jako różnica stężeń kationów mocnych

w $\mu\text{eq}\cdot\text{dm}^{-3}$, jest wskaźnikiem pozwalającym ocenić, czy w wodach występuje nadmiar wolnych mocnych kwasów ($\text{ANC}<0$), czy zasad ($\text{ANC}>0$). Interpretacja wartości osiąganych przez ten wskaźnik jest więc podobna, jak w przypadku zasadowości.

W porównaniu z wodami opadowymi udział opadów podkoronowych z ujemnymi wartościami ANC występował rzadziej (w 34% przypadków) – Rys. 24. Ujemne wartości ANC, związane z przewagą jonów wolnych kwasów, występowały przeważnie w okresie zimowym, co można przypisać zarówno wzmożonym emisjom zanieczyszczeń w związku z sezonem grzewczym, jak i zmniejszonej aktywności biologicznej drzew i mniejszej wymianie jonowej niż w okresie wegetacyjnym. Na wszystkich powierzchniach obserwacyjnych ANC półrocza zimowego było niższe niż w półroczu letnim (Rys. 23).



Rys. 25. Ładunek jonów [$\text{kmol}_c\cdot\text{ha}^{-1}$] oraz stosunek depozytu jonów kwasotwórczych do zasadowych w opadach podkoronowych na SPO MI w 2016 roku

Strzałowie, Chojnowie i Kruczu ($111,0$, $94,7$, $31,0$ i $20,4 \mu\text{eq dm}^{-3} \text{rok}^{-1}$). W drzewostanach: świerkowym w Sudetach (Szklarska Poręba) oraz sosnowym na obszarze Śląska (Zawadzkie) w opadach występowała przewaga jonów wolnych kwasów (ANC wynosiło odpowiednio: $-61,5$ i $-5,0 \mu\text{eq dm}^{-3} \text{rok}^{-1}$).

Jony o zakwaszającym oddziaływaniu na środowisko (SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Cl^-) stanowiły od 41% do 64%, a w Strzałowie i w Białowieży zaledwie 38%-39% rocznego molowego depozytu (sumy azotu całkowitego, chlorków, siarczanów (VI), kationów zasadowych, żelaza, glinu, manganu i metali ciężkich, wyrażonej w $\text{mol}_c\cdot\text{ha}^{-1}$) (Rys. 25). Najwyższy udział jonów o charakterze zakwaszającym stwierdzono w Zawadzkim (64%), niewiele mniejszy w Szklarskiej Porębie (57%) i Kruczu (50%). W Chojnowie, Gdańsku, Krotoszynie, Łącku, Birczy, Piwnicznej i Suwałkach wynosił od 49% do 41%.

Dodatnią średnią roczną wartość ANC (przewagę wolnych zasad) w opadach podkoronowych odnotowano w świerczynach: w Suwałkach i Piwnicznej (149 i $51,7 \mu\text{eq}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{rok}^{-1}$), w obu drzewostanach dębowych: w Krotoszynie i Łącku ($98,3$ i $65,8 \mu\text{eq}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{rok}^{-1}$), w bukowych: w Gdańsku i Birczy ($38,9$ i $49,5 \mu\text{eq dm}^{-3} \text{rok}^{-1}$) oraz w czterech z pięciu sosnowych: w Białowieży,

W grupie powierzchni, gdzie depozyt molowy jonów zasadowych (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} i Na^+) przewyższał depozyt jonów zakwaszających, znalazły się, podobnie jak w latach ubiegłych, nadleśnictwa Białowieża, Strzałowo i Suwałki (Rys. 25).

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. 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 badanym okresie 67 mm w Gdańsku i 53 mm w Birczy. W miesięcznych okresach badań spływ po pniach stanowił od 1% do 21% opadu bezpośredniego (na otwartej przestrzeni) w Gdańsku oraz od 1% do 23% w Birczy, co koresponduje z wartościami przytaczanymi w literaturze (Chang i Matzner, 2000, Johnson i Lehmann, 2006).

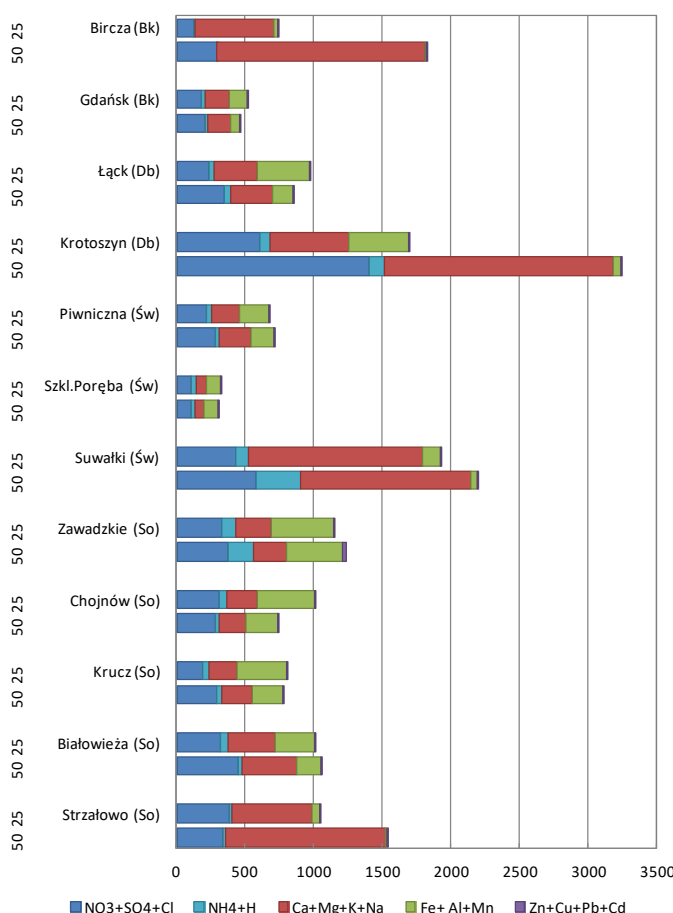
Średnia dla okresu badań wskazuje, że spływ po pniu w Birczy charakteryzował się nieco wyższym pH i ANC oraz niższymi stężeniami większości składników w porównaniu z Gdańskiem. Na obu powierzchniach średnie roczne pH i pojemność zubożniania kwasów (ANC) osiągały wyższe wartości niż w opadach podkoronowych.

Depozyt składników wniesiony ze spływem po pniu wyniósł w okresie badań $16,9 \text{ kg ha}^{-1}$ w Gdańsku oraz $6,86 \text{ kg ha}^{-1}$ w Birczy. Stanowiło to 27% depozytu podkoronowego w Gdańsku i 13% 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 8-10% opadu podkoronowego, depozyt jonów potasu stanowił aż 37% depozycji tego składnika w wodach podkoronowych w Gdańsku i 16% w Birczy, a depozyt rozpuszczonego węgla organicznego aż 49% depozycji podokapowej RWO w Gdańsku i 28% w Birczy.

W składzie chemicznym spływu po pniu zauważalny był wpływ aerozoli morskich w Gdańsku: średnie stężenia jonów sodowych, chlorkowych, Ca i Mg były większe niż w Birczy.

Roztwory glebowe

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



Rys. 26. 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 2016 r.

mieściło się w zakresie 4,4-4,8. W dąbrowie w Krotoszynie pH na głębokości 50 cm wynosiło 6,2, a w płytszym poziomie – tylko 4,3. W Strzałowie (sosna), Birczy (buk) i w Suwałkach (świerk) było wyższe niż 6,0, osiągając na głębokości 50 cm średnie wartości w zakresie 7,0-7,1. Z reguły w górnej części profilu glebowego występowało nieznaczne zakwaszenie roztworów w stosunku do głębszych poziomów. W Krotoszynie i Strzałowie różnica między pH na głębokości 25 cm i 50 cm była stosunkowo wysoka i wynosiła odpowiednio 1,8 i 0,8 jednostki pH.

Powierzchnie monitoringu intensywnego różniły się pod względem sumy jonów w roztworach glebowych. Wysokie stężenia jonów wystąpiły na powierzchniach i na

W 2016 r. średnie pH w badanych roztworach glebowych pobranych z SPO MI wynosiło od 4,20 do 6,60 na głębokości 25 cm oraz od 4,52 do 7,10 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 Kruczu, Chojnowie i Zawadzkim z pH 4,2-4,3 na głębokości 25 cm i 4,5-4,7 na głębokości 50 cm. 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

głębokościach, na których występowało mniejsze zakwaszenie (Białowieża, Suwałki, Strzałowo, Krotoszyn i Bircza), wynosiły około $1000-3200 \mu\text{mol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$. Niskie stężenia jonów występowały w świerczynach górskich (Szklarska Poręba i Piwniczna), w buczynie nadmorskiej w Gdańsku (około $300-700 \mu\text{mol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$). W drzewostanach sosnowych w Chojnowie, Zawadzkiem i Kruczu, gdzie pH roztworów glebowych było niższe niż na innych powierzchniach, oraz w dąbrowie w Łącku stężenia jonów w roztworach przyjmowały wartości pośrednie: od około 700 do $1200 \mu\text{mol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ (Rys. 26).

W składzie roztworów glebowych znaczący udział miały kationy o charakterze zasadowym: Ca, Mg i K, które stanowiły na głębokości 50 cm 71%-75% sumy jonów w Strzałowie i Birczy oraz 49% w Suwałkach i 39% w Krotoszynie. W płytszej części profilu udział wynosił 61-69% w Birczy i Suwałkach, 51% w Strzałowie i 24% w Krotoszynie. W Białowieży udział na 25 cm głębokości wynosił 27%, a na 50 cm – 31%. Na powierzchni bukowej w Gdańsku i świerkowej w Szklarskiej Porębie udział kationów o charakterze zasadowym w sumie jonów był niski i mieścił się w zakresie 9%-11%. W drzewostanach sosnowych w Kruczu, Chojnowie i Zawadzkiem udział tych jonów mieścił się w granicach 12%-16%, a w dąbrowie w Łącku i świerczynie w Piwnicznej był nieco wyższy i wynosił odpowiednio 24% i 20%. W porównaniu z rokiem poprzednim, udział jonów o charakterze zasadowym nie uległ dużym zmianom na SPO MI.

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 $(\text{Ca}+\text{Mg}+\text{K})/\text{Al} \geq 1$ 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 1,6 do 4,9 mg N dm^{-3} (od kwietnia do października), w Kruczu – w stężeniu od 0,5 do 0,6 mg N dm^{-3} (w maju i wrześniu). W Suwałkach obserwowano stężenie od 1,5 do nawet 13 mg N dm^{-3} , przy czym w najwyższym stężeniu jony te pojawiły się w październiku. W Strzałowie i Piwnicznej jony azotanowe były obecne przez cały okres pobierania próbek w stężeniu odpowiednio 0,3-3,3 mg N dm^{-3} i 0,2-1,2 mg N dm^{-3} . Jony azotanowe pojawiały się również w dąbrowach w Łącku (0,4-1,3 mg N dm^{-3} w październiku i listopadzie) oraz w Krotoszynie (0,3-4,0 mg N dm^{-3}), częściej i 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. W Strzałowie również obserwuje się miejscami wzmożone wypadanie drzew uszkodzonych pierwotnie przez choroby grzybowe. Obecność podwyższonych stężeń azotanów w roztworach glebowych w świerczynie w Piwnicznej może być zjawiskiem alarmującym, gdyż notowano przypadki wykrywania podwyższonych stężeń NO_3^- w roztworach glebowych, nawet zanim objawy uszkodzeń drzewostanu stały się zauważalne.

Podobnie jak w latach poprzednich, wysoki depozyt podkoronowy odnotowano na powierzchniach świerkowych w nadleśnictwach: Suwałki ($79,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$), Szklarska Poręba ($74,9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$), w drzewostanie dębowym w Krotoszynie ($72,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) oraz drzewostanie bukowym w Gdańsku ($79,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$).

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 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 na przestrzeni roku w 20% miesięcznych próbek opadów na SPO MI. Obniżone pH opadów przeważało w okresie zimowym (styczeń, luty, marzec i grudzień).

Na większości SPO MI odczyn roztworów glebowych nie przekraczał 5 na głębokości 25 i 50 cm. Średnie pH badanych roztworów glebowych wynosiło od 4,20 do 6,60 na głębokości 25 cm oraz od 4,52 do 7,10 na głębokości 50 cm.

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

Wartość $\text{BC/AL} < 1$ cechowała roztwory glebowe na głębokości 25 i 50 cm SPO MI w Gdańsku, Kruczu, Chojnowie, Zawadzkim, Szklarskiej Porębie i Piwnicznej.

9. ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA ORAZ OCENA ZAGROŻENIA ZAKWASZENIEM I EUTROFIZACJĄ TERENÓW LEŚNYCH W POLSCE NA PODSTAWIE WYNIKÓW BADAŃ NA SPO MI – ANNA KOWALSKA

Zakwaszanie i eutrofizacja prowadzące do destabilizacji ekosystemów są skutkiem szkodliwego oddziaływania zanieczyszczeń powietrza na lasy. Według prognoz opartych na modelach emisji EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) szacuje się, że do 2020 roku zagrożenie ekosystemów leśnych zakwaszaniem znacząco zmaleje, jeśli nastąpi pełne wdrożenie ustaleń zrewidowanego Protokołu z Göteborga. Przekroczenia ładunków krytycznych będą występować jedynie na 2-4% powierzchni ekosystemów Europy, ogniskując się m.in. na terenach Polski, gdzie będą obejmować niemal jedną czwartą powierzchni ekosystemów (Slootweg i in., 2014). Szacunki wskazują, że ładunki krytyczne kwasowości zweryfikowane dla roku 2015 przy poziomie depozycji z roku 2010 są przekraczane średnio o ok. $280 \text{ eq ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$ na niemal połowie obszaru ekosystemów Polski (Slootweg i in., 2017). Eutrofizacja stanowić będzie nadal poważne zagrożenie, a przekroczenia ładunków krytycznych będą dotyczyć do 2020 roku ponad połowy powierzchni ekosystemów Europy, powodując zmiany bioróżnorodności. W Polsce w tym okresie zagrożenie eutrofizacją będzie obejmować ponad 60% powierzchni ekosystemów (Slootweg i in., 2014). Wielkość depozycji szacowana dla roku 2010 w stosunku do wielkości ładunków krytycznych z roku 2015 powoduje przekroczenia ładunków krytycznych eutrofizacji średnio o około $300\text{-}400 \text{ eq ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$ na ok. 80-90% obszaru ekosystemów Polski (Slootweg i in., 2017).

Główne składniki gazowe powietrza, odpowiedzialne za wymienione procesy, to dwutlenek siarki i związki azotu. Są one emitowane do atmosfery z różnych źródeł, lecz uważa się, że emisje naturalne (wybuchy wulkaniczne, rozkład biomasy, pożary, wyładowania atmosferyczne) dostarczają zaledwie ułamka ilości SO_2 i tlenków azotu (NO_x) w porównaniu z aktywnością człowieka (Colville, 2004). Bezwzględne poziomy całkowitej emisji głównych zanieczyszczeń powietrza w Polsce od lat należą do jednych z wyższych wśród krajów Unii Europejskiej (Mały Rocznik Statystyczny Polski 2016, GUS 2016). Według danych KOBIZE (Krajowy bilans emisji..., 2016), w 2014 roku wyemitowano w Polsce do atmosfery 800 tys. ton dwutlenku siarki oraz 723 tys. ton tlenków azotu (wyrażone jako NO_2) (ibid.). Głównymi i porównywalnymi ilościowo źródłami tlenków azotu są obecnie transport drogowy i produkcja energii (po ok. 30% emisji). Duży udział mają także procesy spalania w różnych działach gospodarki. Podstawowym i niemal wyłącznym źródłem emisji SO_2 jest spalanie paliw stałych w energetyce (ibid.).

Powierzchnie monitoringu intensywnego można połączyć w trzy grupy różniące się sumarycznym obciążeniem zanieczyszczeniami gazowymi. Łączna depozycja siarki i azotu

z atmosfery była najniższa w nadleśnictwach Polski północnej i północno-wschodniej, w Białowieży, Strzałowie, Gdańsku i Suwałkach (od 2,7 do 3,2 kg N+S ha⁻¹ rok⁻¹). Według danych GUS, emisja w ilościach bezwzględnych dwutlenku siarki i tlenków azotu z zakładów szczególnie uciążliwych w województwach podlaskim i warmińsko-mazurskim należy do najniższych w skali kraju (Ochrona Środowiska, GUS 2016). Antropopresja, wywoływana głównie przez źródła rolnicze i rozproszone lokalne, nie stanowi tak dużego obciążenia dla ekosystemów leśnych, jak w innych regionach kraju. W województwie pomorskim, gdzie położna jest SPO MI Gdańsk, emisje gazowych zanieczyszczeń powietrza również należą do niższych w kraju. Pomimo względnej bliskości aglomeracji trójmiejskiej (ok. 10 km od powierzchni) wpływ urbanizacji na stan powietrza na powierzchni w Nadleśnictwie Gdańsk jest umiarkowany. Wyniki prac modelowych prowadzonych w ramach CLRTAP (Slootweg i in., 2014) wskazują, że północne regiony Polski są w niewielkim stopniu narażone na przekroczenia ładunków krytycznych kwasowości i eutrofizacji.

Rejony Polski centralnej, w których depozycja gazowych zanieczyszczeń była pośrednia i wysoka, to jest nadleśnictwa: Chojnów, Zawadzkie, Łąck, Krucz, Krotoszyn, pokrywają się z obszarami, na których istnieje ryzyko przekroczeń ładunków krytycznych eutrofizacji i zakwaszenia. Prognozy do roku 2020 wskazują, że w tych rejonach kraju zagrożenie dla ekosystemów ze strony zanieczyszczeń powietrza siarką i azotem będzie się utrzymywać, nawet po wdrożeniu ustaleń zrewidowanego Protokołu z Göteborga (Slootweg i in., 2014).

Ryzyko eutrofizacji

W ramach prac Konwencji LRTAP określono doświadczalne ładunki krytyczne azotu, odnoszące się do maksymalnej wielkości depozycji atmosferycznej azotu, która nie powoduje zmian w strukturze i funkcjonowaniu ekosystemu. Opracowanie dla lasów przedstawiono w tabeli 9.

Na terenach Polski dla głównych typów lasu (według klasyfikacji EUNIS G1 – lasy liściaste, G3 – lasy iglaste, G4 – lasy mieszane) określono wielkość doświadczalnych ładunków krytycznych azotu na poziomie minimalnym 10 kg N ha⁻¹, maksymalnym 21 kg N ha⁻¹, ze średnią 12,5 kg N ha⁻¹ i medianą 12,3 kg N ha⁻¹ (Pecka i Mill, 2011). Rozkład przestrzenny ładunków na obszarze Polski wykazuje powiązanie z dostępnością wody glebowej, wynikającą między innymi z sumy opadów. Pas o kierunku równoleżnikowym na obszarze Polski centralnej charakteryzuje się najniższymi ładunkami krytycznymi (około 7-13 kg N ha⁻¹), zaś na obszarach północnych i południowych wielkość ładunków krytycznych jest wyższa, przekraczająca 14 kg N ha⁻¹ (ibid.).

Tabela 9. Empiryczne ładunki krytyczne N i objawy towarzyszące ich przekroczeniu dla poszczególnych elementów ekosystemów leśnych (wg Bobbink i Hettelingh, 2011).

Elementy	kg N ha ⁻¹	Wskaźniki przekroczenia
Procesy glebowe		
iglaste i liściaste	10-15	wzrost mineralizacji i nityfikacji
	10-15	zwiększenie wymywania NO ₃ ⁻
Drzewa		
iglaste i liściaste	10-15	zaburzenia równowagi składników odżywczych, wzrost zawartości N i spadek P, K, i Mg w aparacie asymilacyjnym
las strefy umiarkowanej	10-15	wzrost wrażliwości na szkodniki i choroby, zmiany w fungistatycznych związkach fenolowych
Mikoryza		
las strefy umiarkowanej i borealne	10-20	spadek produkcji sporokarp, zmiany lub zubożenie składu gatunkowego grzybów mikoryzowych
Roślinność runa		
las strefy umiarkowanej	10-15	zmiany składu gatunkowego, wzrost liczby gatunków nitrofilnych, wzrost wrażliwości na ataki szkodników
Mchy i porosty		
las strefy umiarkowanej i borealne	5-10	spadek liczby porostów, rozwój glonów niesymbiontycznych (wolnożyjących)

Dopływ azotu (N_{tot}) do gleb pod okapem na powierzchniach monitoringu intensywnego wahał się od poniżej 10 kg N ha⁻¹ (Strzałowo, Piwniczna i Łąck), poprzez wartości rzędu 11-13 kg N ha⁻¹ (Gdańsk, Bircza, Krucz, Białowieża i Chojnów), do około 17-18 kg N ha⁻¹ (Suwałki, Szklarska Poręba i Krotoszyn), a nawet 23 kg N ha⁻¹ (Zawadzkie). W puli azotu całkowitego (N_{tot}) od 72% do 88% stanowiły formy mineralne (N-NH₄⁺ i N-NO₃⁻). Wielkość całkowitej depozycji azotu do ekosystemu jest trudna do określenia. Gazowe formy azotu są pobierane przez rośliny z powietrza, podobnie część azotu z opadów jest sorbowana w warstwie koron i za pośrednictwem roślin trafia do ekosystemu. Te wielkości nie są możliwe do określenia bezpośrednio na drodze pomiarów. Wnioskowanie na podstawie wielkości depozycji pod okapem powoduje niedoszacowanie całkowitej ilości azotu, wnoszonego do ekosystemów leśnych (Hansen i Nielsen, 1998, Neirynck i in., 2007). Zakładając, że całkowita depozycja azotu może być większa, niż wskazują na to wyniki depozycji podkoronowej w 2016 roku, na większości badanych powierzchni monitoringu intensywnego nie można wykluczyć zagrożenia spowodowanego nadmierną podażą azotu.

SPO MI najbardziej zagrożone zakwaszeniem to Szklarska Poręba (powierzchnia świerkowa), Zawadzkie i Krucz (powierzchnie sosnowe) oraz Gdańsk (powierzchnia bukowa).

SPO MI najsilniej zagrożona eutrofizacją to Białowieża, nieco mniej Krucz, Chojnów i Strzałowo (powierzchnie sosnowe), Suwałki (powierzchnia świerkowa) oraz Krotoszyn (powierzchnia dębowa).

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.
- Biuletyny Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej*, miesięczniki z lat 2012-2016, 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).
- Bobbink i Hettelingh, (2011), *Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships : Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, 23-25 June 2010*
- Boczoń A., Kowalska A., Dudzińska M., Wróbel M. (2016). *Drought in Polish Forests in 2015*. Polish Journal of Environmental Studies, 25, 5, 1857-1862.
- 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.
- Choat B., Jansen S., Brodribb T.J., Cochard H., Delzon S., Bhaskar R., Bucci S.J., Feild T.S., Gleason S.M., Hacke U.G., Jacobsen A.L., Lens F., Maherali H., Martínez-Vilalta J., Mayr S., Mencuccini M., Mitchell P.J., Nardini A., Pittermann J., Pratt R.B., Sperry J.S., Westoby M., Wright I.J., Zanne A.E. (2012). *Global convergence in the vulnerability of forests to drought*. Nature 491(7426), 752–755.
- Colville R. N. (2004). *Emisje, dyspersje i transformacje atmosferyczne*. [W:] Zanieczyszczenie powietrza a życie roślin. Red.: Bell J.N.B, Treshow M., Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, pp 29-50.
- Dobbertin M., Wermelinger B., Bigler C., Bürgi M., Carron M., Forster B., Gimmi U., Rigling A. (2007). *Linking increased drought stress to Scots pine mortality and bark beetle infestations*. Scientific World Journal 7(S1), 231–239.
- DVWK (1996). *Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen*. (HRSG.) DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 238/1996. DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.), Bonn.
- EMEP Status Report 2016, *Transboundary particulate matter, photo-oxidants, acidifying and eutrophying components*. Norwegian Meteorological Institute. September 13, 2016. pp. 1-228. [dostęp: 13 lutego 2017 r.]
http://emep.int/publ/reports/2016/EMEP_Status_Report_1_2016.pdf

- Gundersen P., Rasmussen L. (1995). *Nitrogen mobility in a nitrogen limited forest at Klosterhede, Denmark, examined by NH_4NO_3 addition*. Forest Ecology and Management, 71, 75–88.
- Hansen B., Nielsen K. E. (1998). *Comparison of acidic deposition to semi-natural ecosystems in Denmark—coastal heath, inland heath and oak wood*. Atmospheric Environment, 32(6), 1075–1086.
- Johnson M. S., Lehmann J. (2006). *Double-funneling of trees: Stemflow and root-induced preferential flow*. Écoscience, 13(3), 324–333.
- Kowalska A., Astel A., Boczoń A., Polkowska Ż. (2016a). *Atmospheric deposition in coniferous and deciduous tree stands in Poland*. Atmospheric Environment 133/2016, 145-155.
- Krajowy bilans emisji SO_2 , NO_x , CO, NH_3 , NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 2013-2014 w układzie klasyfikacji SNAP i NFR. Raport podstawowy (2016). Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, Warszawa. [dostęp: 10 lutego 2017 r.]
http://www.kobize.pl/uploads/materialy/materialy_do_pobrania/krajowa_inwentaryzacja_emisji/Bilans_emisji_-_raport_podstawowy_2014.pdf
- 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.
- Mały Rocznik Statystyczny Polski 2016. Rok LIX, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2016 [dostęp: 10 lutego 2017 r.]
<http://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5515/1/17/1/mrsp.pdf>
- Neirynck J., Kowalski A. S., Carrara A., Genouw G., Berghmans P., & Ceulemans R. (2007). *Fluxes of oxidised and reduced nitrogen above a mixed coniferous forest exposed to various nitrogen emission sources*. Environmental Pollution, 149, 31–43.
- Nieminen T. (2011). *Soil Solution Collection and Analysis*. Manual Part XI, 30 pp. In: *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*. UNECE, ICP Forests, Hamburg. ISBN: 978-3-926301-03-1.
- Ochrona Środowiska 2016. Environment. Informacje i opracowania statystyczne. (2016). Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.

- Pecka T., Mill W. (2011). *Doświadczalne ładunki krytyczne azotu dla ekosystemów lądowych – adaptacja metody CCE do warunków środowiskowych Polski*. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, 47, 121-132.
- 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 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.
- Slootweg J., Posch M., Hettelingh J.-P. (2017). *Modelling and mapping the impacts of atmospheric deposition of nitrogen and sulphur*, in: CCE Status Report 2015, RIVM Report 2015-0193, p. 141 pp, Coordination Centre for Effects, RIVM, Bilthoven, The Netherlands, URL <http://www.wge-cce.org>, 2015.[dostęp: 10 lutego 2017].
- Slootweg J., Posch M., Hettelingh J.-P., Mathijssen L. (Eds.) (2014). *Modelling and Mapping impacts of atmospheric deposition on plant species diversity in Europe: CCE Status Report 2014*, Coordination Centre for Effects, www.wge-cce.org
- Sohar K., Helama S., Läänelaid A., Raisio J., Tuomenvirta H. (2013). *Oak decline in a southern finnish forest as affected by a drought sequence*. Geochronometria 41(1), 92–103. DOI 10.2478/S13386-013-0137-2
- 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.