

Robert Kruszyk

Instytut Badań Czwartorzędu i Geoekologii
Uniwersytet im. A. Mickiewicza
Fredry 10, Poznań
rlk@main.amu.edu.pl

Zróźnicowanie przestrzenne właściwości fizykochemicznych spływu po pniach sosny zwyczajnej w zespole Pino-Quercetum, zlewnia Jeziora Czarnego, Pomorze Zachodnie

Spatial differences in the physico-chemical properties of stemflow down Scots pine trunks in a Pino/Quercetum forest community, the Lake Czarne catchment, West Pomerania

Summary

In the hydrological years 1996-98 a research was carried out on a test plot located in the catchment of Lake Czarne (West Pomerania) in a coniferous tree stand which is part of a mixed Pino-Quercetum forest community. Apart from throughfall, also the flow down the trunks of Scots pines was monitored. To sample the stemflow, 11 catchers were mounted on a random selection of pines. In the hydrological year 1999 parallel observations were made on another test plot situated in a stand of broadleaved trees. The monitoring embraced three species: the European beech, the hornbeam, and the black alder. The observations led to the following conclusions:

- The lowest values of the FR (funnelling ratio) index were observed among the oldest specimens of the Scots pine; the mean for all sites in the stand of pines in the three-year research period was 0.47.
- The stemflow volume is a function of the amount of precipitation in open terrain and the age of trees. In the case of the oldest trees, the rainfall necessary to wet the bark increases and the precipitation-stemflow volume relation assumes the form of an exponential function; in the case of trees at younger development stages, the relation is linear.
- The statistical tests employed have confirmed that there are significant differences among the particular sites in the distribution of the stemflow volume as well as its reaction and electrolytic conductivity.
- The mineralisation of the solution grows with the age of trees; this dependence results from the process of rainfall concentration which is determined by the volume of water flowing down a trunk.
- The basic elements in the chemical composition of the Scots pine stemflow are sulphates, and in the cation group, hydrogen ions. In comparison with throughfall, the proportion of potassium is insignificant.

- The biggest load of chemical substances was observed in the case of the youngest trees, with the largest stemflow volume. The load value is not correlated with the concentrations of the particular ions.
- Among the tree species studied, the highest mineralisation of stemflow was recorded in the case of pine, and the lowest, of the European beech.

Wstęp

Zróźnicowanie przestrzenne opadu na dnie lasu jest związane nie tylko z mozaikowością opadu podokapowego, ale także z ściekaniem wody po pniach drzew (Klein 1979). Rola spływu po pniach drzew nie ogranicza się wyłącznie do zróźnicowania dystrybucji wody pod sklepieniem koron, ale również wpływa na ładunek substancji docierający do wąskiej strefy wokół pnia drzewa. W wyniku oddziaływania wody i zawartych w niej związków chemicznych procesy glebowe są intensywniejsze u podstawy pnia niż pod koroną drzewa (Koćmit, Raczkowski 1993). Zróźnicowane tempo procesów glebowych wokół pnia i pod koroną drzewa jest związane ze wzrostem agresywności wody spływającej po pniach drzew w stosunku do opadu na terenie otwartym i opadu podokapowego (Herwitz 1993). W celu określenia stopnia transformacji, jakim podlega chemizm opadu atmosferycznego, który przenika do gleby w postaci spływu po pniach drzew w latach 1996-98 prowadzono monitoring właściwości fizykochemicznych spływu po pniach sosny na powierzchni testowej zlokalizowanej w zlewni Jeziora Czarnego. W roku hydrologicznym 1999 w okresie od marca do listopada równolegle pobierano próby spływu po pniach w drzewostanie liściastym i iglastym.

Obszar badań

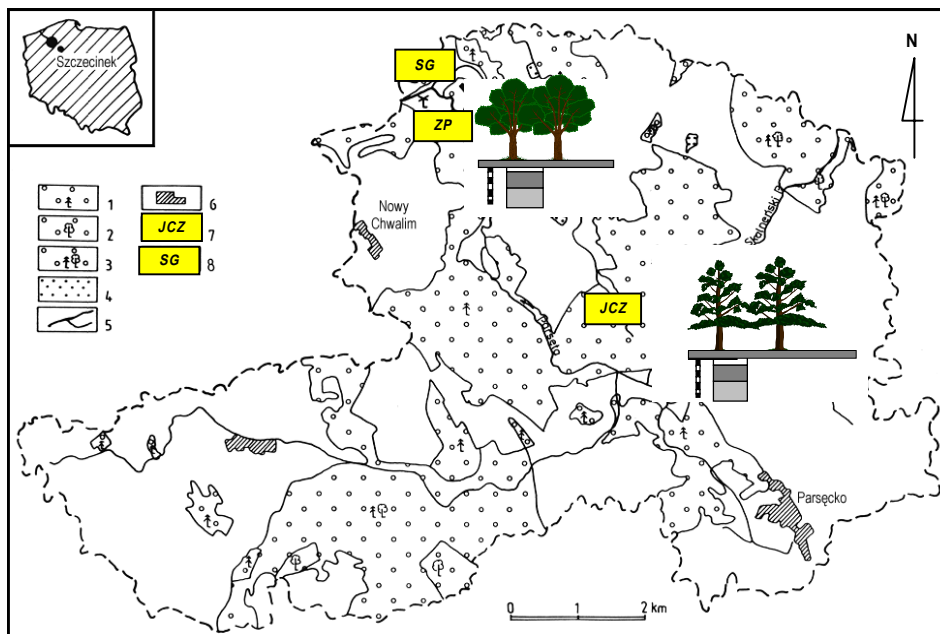
Badania prowadzono na dwóch powierzchniach testowych zlokalizowanych w zlewni górnej Parsęty (ryc. 1). Powierzchnię obejmującą drzewostan iglasty umieszczono na obszarze zlewni jeziora Czarnego, natomiast w przypadku drzewostanu liściastego, obserwacje prowadzono na obszarze zlewni rzecznej Zajączkowego Potoku. Zlewnia jeziora Czarnego pokryta jest w całości obszarami leśnymi. Dominującym zespołem leśnym jest bór mieszany (Kostrzewski i in. 1994). W przypadku zlewni Zajączkowego Potoku struktura użytkowania terenu zdominowana jest przez użytki rolne oraz odłogi. Pokrywa glebowa powierzchni testowej jezioro Czarne reprezentuje podtyp gleby biellicowo-rdzawej wykształconej z piasków średnioziarnistych z przewarstwieniami frakcji grubszych, w której profilu można wyróżnić poziomy: O-AEes-Bhfe-Bv-C1-C2. Cechą charakterystyczną gleby biellicowo-rdzawej jest wysoki poziom kwasowości zarówno czynnej jak i potencjalnej, zwłaszcza w poziomie O oraz AEes. Wartości pH mieszczą się w granicach od 3,28 (O) do 5,36 (C2) – w przypadku kwasowości czynnej.

Minimalny udział frakcji ilastej w składzie mechanicznym gleby biellicowo-rdzawej determinuje niską pojemność sorpcyjną omawianej gleby, wynoszącą od 1,10 cmolkg⁻¹ w poziomie C2 do 51,69 cmolkg⁻¹ w warstwie organicznej gleby. Kompleks sorpcyjny gleby zdominowany jest przez wodór z maksimum w poziomie organicznym – 96%. Udział kationów zasadowych wzrasta wraz z głębokością, największy udział mają jony wapniowe przy wzrastającym udziale jonów sodowych.

Pokrywa glebowa powierzchni zlokalizowanej w drzewostanie liściastym została zaliczona do podtypu mady rzecznej właściwej wykształconej z osadów gliny piaszczystej oraz lekkiej zasobnej w węglan wapnia o następującej budowie profilu: O-A-C1-C2-C3gg-C4gg-G.

Wykonane zdjęcia fitosocjologiczne oraz kartowania szaty roślinnej pozwoliły na postawienie diagnozy typologicznej-siedliskowej zbiorowisk leśnych w obrębie których zlokalizowano powierzchnie testowe. Istniejące zespoły leśne różnią się diametralnie zarówno pod względem składu gatunkowego fitocenoz jak również typu troficznego. Jak wspomniano na wstępie drzewostan

powierzchni testowej jezioro Czarne zaklasyfikowano jako fragment zespołu Pino-Quercetum – siedlisko boru świeżego, w którym największym udziałem odznacza się świerk zwyczajny (*Picea abies*) oraz dąb bezszypułkowy (*Quercus robur*).



Legenda:

- 1-las iglasty
- 2-las liściasty
- 3-las mieszany
- 4-użytki zielone
- 5-rzeki, jeziora
- 6-tereny zabudowane
- 7-powierzchnie testowe (JCZ - Jezioro Czarne, ZP - Zajązkowy Potok)
- 8-Stacja Geoekologiczna w Storkowie

Ryc. 1.
Lokalizacja powierzchni testowych w zlewni górnej Parsęty

Fig. 1.
Localisation of measurement points in upper Parsęta catchment

W obrębie obszarów leśnych zlewni Zajązkowego Potoku należy podkreślić znaczący odsetek terenów zajętych przez zespoły lasu mieszanego (*Fago-Quercetum*) oraz borów mieszanych (*Pino-Quercetum*). Ponadto należy wspomnieć o znaczącym odsetku terenów zajętych przez zespoły olsów, położonych w obszarze źródłiskowym Zajązkowego Potoku oraz dopływów i w miejscach wysięku wód gruntowych. W obrębie drzewostanu powierzchni testowej można wydzielić trzy odrębne zarówno pod względem składu gatunkowego jak również cech siedliska zbiorowiska roślinne. Rozmieszczenie przestrzenne wyodrębnionych fitocenoz nawiązuje do przebiegu kateny stokowej. W obrębie wierzchowiny i zboczy wydzielono zespół lasu mieszanego – *Fago-Quercetum*, natomiast na obszarze terasy zalewowej Zajązkowego Potoku zespół łągu olchowo-jesionowego (*Circaeo-Alnetum*) należący do siedliska olsu jesionowego (Tomanek 1970). Pomędzy wyróżnionymi zespołami rozciąga się strefa przejścia określana w fitosocjologii mianem ekotonu (Falińska 1996). Strefę tę wyróżnia występowanie elementów charakterystycznych zarówno dla zespołu *Fago-Quercetum* jak również *Circaeo-Alnetum*.

Metody badań

System pobierania prób opadu spływającego po pniach drzew obejmował cztery gatunki drzew: sosnę zwyczajną oraz buka zwyczajnego, graba zwyczajnego i olchę czarną. Monitoring spływu po pniach sosny prowadzony był na powierzchni testowej Jezioro Czarne. Na wybranej losowo próbie drzew, obejmującej całe spektrum zmienności wiekowej drzewostanu sosnowego zainstalowano 11 chwytnicy. Zebrany materiał badawczy obejmuje okres trzyletni – 1996-1998. W roku 1999 w okresie od marca do listopada prowadzono monitoring równoległe na dwóch powierzchniach testowych – w drzewostanie iglastym i liściastym. W przypadku gatunków liściastych obserwacje prowadzono na powierzchni testowej Zajączkowy Potok. Chwytnice spływu zainstalowano na dwóch egzemplarzach graba oraz olchy i jednym buku. Chwytnice były eksponowane w terenie w okresie jednego miesiąca, a zebrany materiał obejmuje zarówno depozycję suchą jak i mokrą. Zakres wykonywanych analiz fizykochemicznych objął podstawowy zakres składu jonowego. W grupie anionów określano stężenia: siarczanów, chloru, fosforanów oraz azotanów, natomiast w grupie kationów: wapnia, magnezu, sodu potasu. Ponadto w każdej próbce mierzono: objętość opadu, pH oraz przewodnictwo elektryczne. Wszystkie analizy chemiczne wykonywano w laboratorium chemicznym Stacji Geoekologicznej w Storkowie zgodnie z przyjętymi normami (Dojlido 1980, Krawczyk 1992, Markowicz, Pulina 1979, Siepak 1992) (tabela 1).

Tabela 1. Zestawienie metod analitycznych

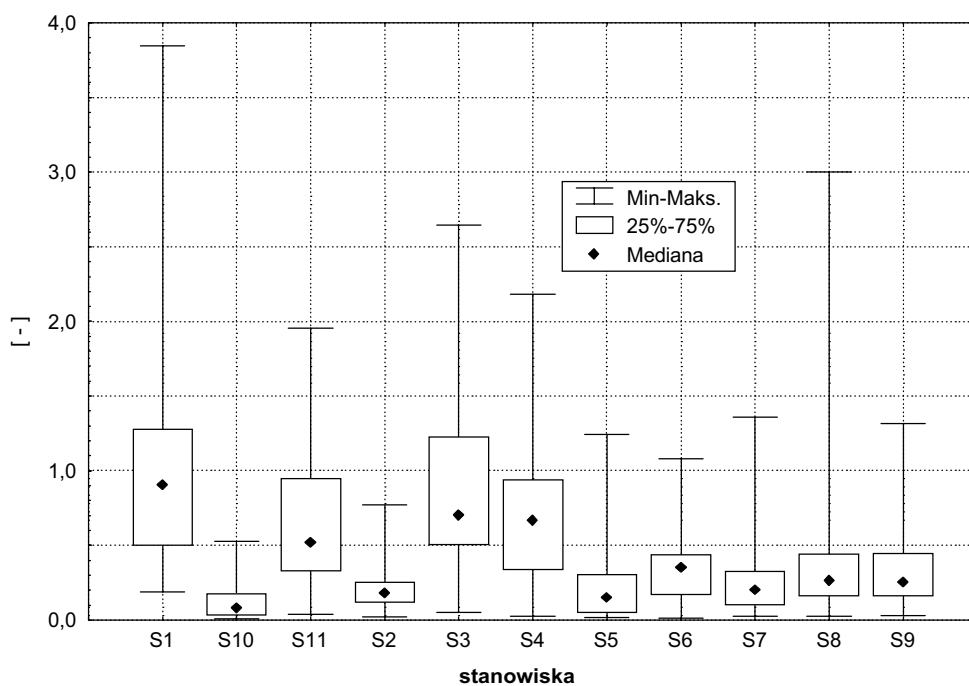
Table 1. List analytical methods

parametr	metoda
pH,	potencjometrycznie w temp. odniesienia 25°C
SEC	konduktometrycznie w temp. odniesienia 2 °C
siarczany	wagowo z chlorkiem baru, zweryfikowaną chromatografią jonową
azotany	kolorymetrycznie z salicylanem sodowym, zweryfikowaną chromatografią jonową
chlor	miareczkowo metodą Mohra, zweryfikowaną chromatografią jonową
fosforany	kolorymetrycznie z błękitem molibdenowym
jony amonowe	kolorymetrycznie, metoda Nesslerera
wapń	miareczkowo z wersenianem
sód, potas, magnez, żelazo, cynk, mangan	ASA

Zróźnicowanie przestrzenne koncentracji wody wokół pni sosny zwyczajnej

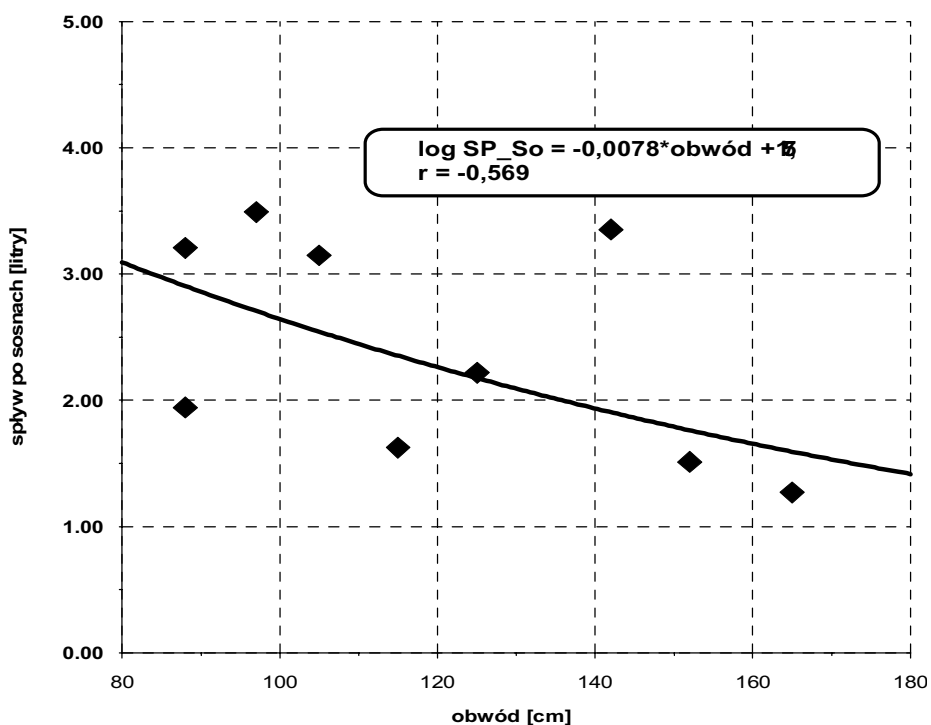
Istotne dla procesów biogeochemicznych zachodzących w glebie położonej wokół pnia drzewa ma przede wszystkim koncentracja wody w tej strefie (Koćmit, Raczkowski 1993). Ilościowym wskaźnikiem tego zjawiska jest tzw. funelling ratio (Herwitz 1993) będący stosunkiem wysokości opadu w przeliczeniu na przekrój poprzeczny pnia do opadu na terenie otwartym. W przypadku 11 wybranych losowo egzemplarzy sosny zwyczajnej wartości powierzchni przekroju poprzecznego pnia u podstawy drzewa wynosiły od 616,25 do 1838,56 cm². Średnia wartość FR kształtowała się w przypadku poszczególnych stanowisk od 0,11 do 1,00 (ryc. 2), dla całego okresu badawczego wartość średnia obliczona na podstawie 337 pomiarów wyniosła 0,47. Wartości najniższe notowano w przypadku drzew o największym obwodzie pnia.

Zaistniały rozkład należy tłumaczyć przede wszystkim większymi stratami ponoszonymi na zwilżanie kory drzew w przypadku okazów najstarszych oraz z charakterystyczną morfologią kory. W przypadku tych drzew obserwowano liczne spękania i bruzdy na powierzchni pnia, co ewidentnie zwiększa powierzchnię efektywną pnia drzewa. Zależność ta widoczna jest również w przypadku związku pomiędzy obwodem a objętością wody ściekającej po pniu (ryc. 3).



Ryc. 2. Rozkład wartości FR (funelling ratio) dla sosny zwyczajnej w latach 1996-98

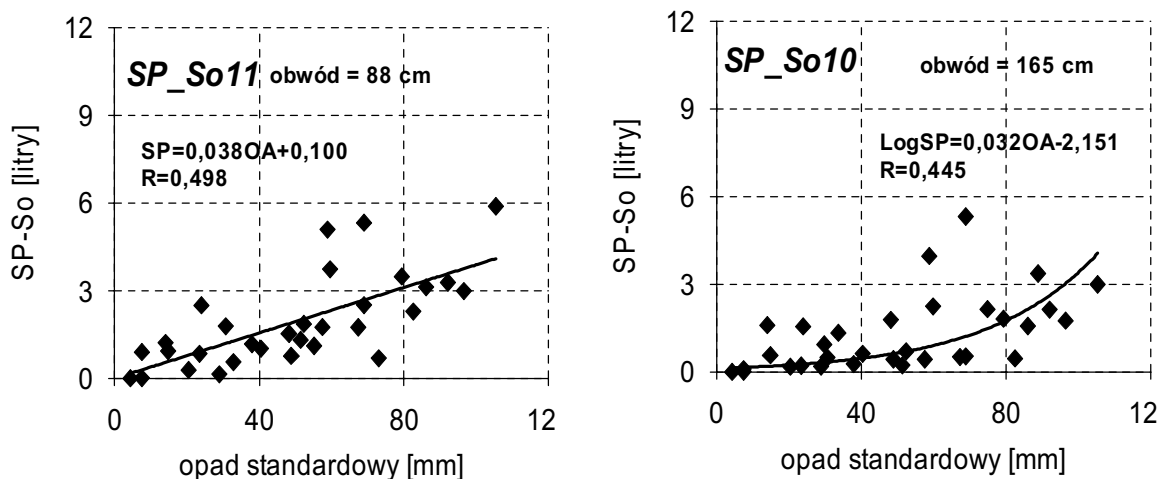
Fig. 2. Distribution values of funelling ratio (FR) for Scotch pine in hydrological years 1996-98



Ryc. 3. Zależność pomiędzy objętością sływu po pniach sosny a obwodem drzew

Fig. 3. Relationship between volume of stemflow and circumference of stems in pine forest

Obserwowana zależność wskazuje, że dojrzałe drzewa tego gatunku raczej rozpraszają niż zbierają wodę na swych gałęziach i pniach. Również w przypadku najstarszych drzew odnotowano największe zróżnicowanie czasowe rozkładu FR. We wszystkich przypadkach obserwowano statystycznie istotne zależności pomiędzy wysokością opadu standardowego a objętością spływu po pniach (ryc. 4). Odnotowane związki mają postać funkcji linowej bądź wykładniczej. W przypadku drzew o największym obwodzie pnia uzyskane krzywe mają mniejsze nachylenie w przeciwieństwie do egzemplarzy młodszych (ryc. 4). Zależność ta nie jest jednak widoczna we wszystkich przypadkach, co można wiązać z możliwością odpływu wody poza chwytacz umieszczony na pniu drzewa. Generalnie jednak obserwuje się większe straty wody na zwilżenia powierzchni pnia a tym samym mniejsze objętości spływu w przypadku starszych drzew. Spośród innych parametrów reżimu opadów atmosferycznych dla wielkości objętości spływu po pniach okazały się istotne: wydajność opadów, udział opadów o wysokości mniejszej lub równej 1 mm (tabela 2). W przypadku ostatniego związku, zależność jest odwrotnie proporcjonalna – zwiększona frekwencja opadów tej klasy zmniejsza objętość spływu po pniach sosny zwyczajnej. Analogiczna tendencja obserwowana jest w przypadku udziału dni bez opadów w skali całego okresu pomiarowego, jednak odnotowane współczynniki korelacji okazały się istotne statystycznie na poziomie istotności większym niż 0,05. W przypadku pozostałych klas opadów, zwłaszcza powyżej 5 mm nie uzyskano zależności odwrotnie proporcjonalnych.



Ryc. 4. Zależność pomiędzy wysokością opadu standardowego (OA) a objętością spływu po pniach sosny (SP_So) w latach hydrologicznych 1996-98

Fig. 4. Relationship between volume of rainfall (OA) and volume of stemflow (SP_So) in Scotch pine forest in hydrological years 1996-98

Chemizm spływu po pniach sosny zwyczajnej

Wskaźnikiem zawartości rozpuszczonych substancji chemicznych jest przewodnictwo elektryczne. Wartość SEC w przypadku spływu po pniach sosny w trzyletnim okresie badawczym kształtowała się na poziomie $250,26 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$. W przeciwieństwie do objętości spływu po pniach wartości najwyższe notowano u egzemplarzy najstarszych.

Obserwowany rozkład należy wiązać przede wszystkim z procesem zatężenia roztworu spływającego po pniach drzew starszych oraz bardziej „urzeźbioną” korą (ryc. 5). Zasadniczą część ładunku elektrycznego przenoszona jest przez jony wodorowe. Średnie ważone pH spływu po pniach sosny kształtowało się na poziomie 3,35, przy wartościach skrajnych wynoszących odpowiednio: 2,53 i 4,64. Analogicznie jak w przypadku przewodnictwa elektrycznego najwyższe stężenia jonów

wodorowych obserwowano u gatunków najstarszych, szczególnie podatnych na absorbowanie depozytu suchego poprzez znacznie większą powierzchnię kory stosunku do osobników młodszych. Wysoki poziom kwasowości splywu po sosnach koresponduje z odczynem kory tych drzew. Zarówno w przypadku przewodności elektrolitycznej jak również stężeń jonów wodorowych można zaobserwować podobieństwo w rozkładzie wartości dla poszczególnych okresów pomiarowych. Potwierdzają to otrzymane wyniki testowania statystycznego. Wykorzystano nieparametryczny test Friedmana, który jest odpowiednikiem jednoczynnikowej analizy wariancji. Testowanie przeprowadzono na danych standaryzowanych. Uzyskane wyniki potwierdzają podobieństwo rozkładu przewodności elektrolitycznej i stężenia jonów wodorowych pomiędzy poszczególnymi okresami pomiarowymi.

Tab. 3. Macierz korelacji objętości splywu po pniach sosny (w litrach) od wybranych parametrów reżimu opadów atmosferycznych w latach hydrologicznych 1996-98

Tab. 3. Correlation matrix between volume of stemflow in Scotch pine forest and parameters of rainfall regime in hydrological years 1996-98

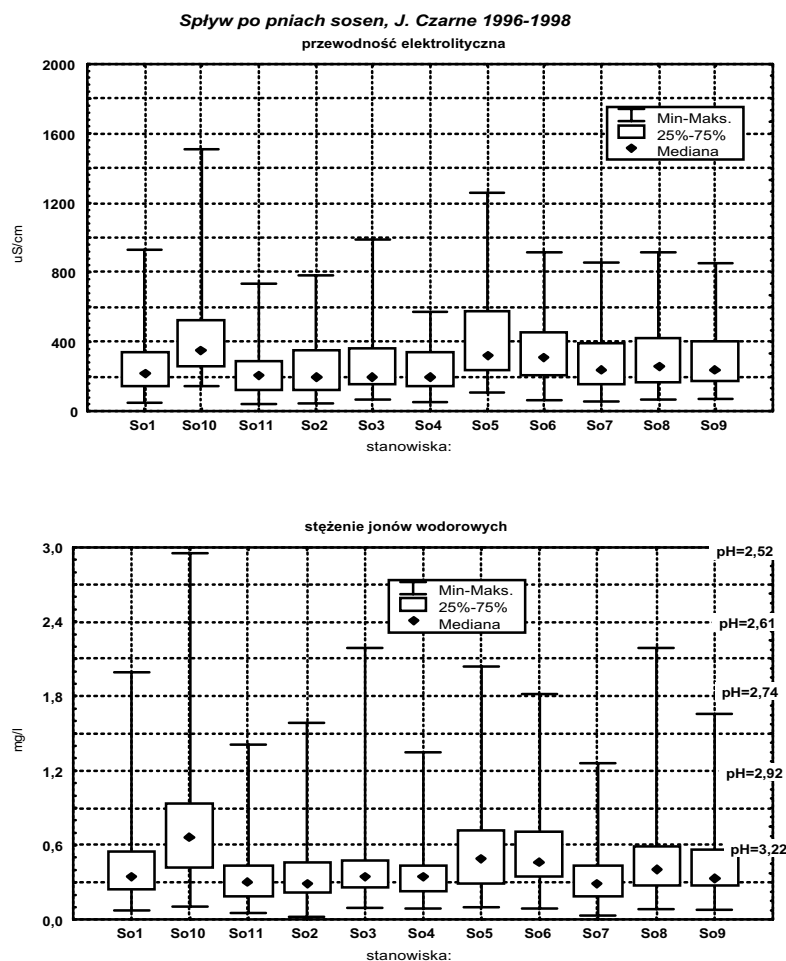
opad na terenie otwartym w mm	0,775	0,677	0,842	0,847	0,831	0,849	0,566	0,835
% dni bez opadu w okresie pomiarowy	-0,375	-0,148	-0,295	-0,299	-0,266	-0,216	-0,363	-0,260
% dni z opadem w okresie pomiarowym	0,405	0,185	0,344	0,344	0,305	0,267	0,380	0,296
wydajność opadu w mm*doza z opade ⁻¹	0,573	0,602	0,664	0,569	0,535	0,554	0,500	0,469
frekwencja dni z opadem [%]:								
= 1mm	-0,422	-0,522	-0,485	-0,461	-0,469	-0,543	-0,415	-0,559
=5 mm	-0,200	-0,029	-0,149	-0,153	-0,126	-0,122	-0,106	-0,072
= 10 mm	0,423	0,341	0,404	0,446	0,461	0,498	0,411	0,509
= 20 mm	0,397	0,404	0,381	0,405	0,362	0,442	0,231	0,408
= 30 mm	0,083	-0,013	0,090	0,048	0,051	0,012	0,086	0,056
> 30 mm	0,377	0,666	0,594	0,374	0,378	0,499	0,477	0,314
obwód pnia w c	98	125	115	-				
zmienna	So-7	So-8	So-9	średnia				
opad na terenie otwartym w mm	0,694	0,534	0,899	0,876				
% dni bez opadu w okresie pomiarowy	-0,219	-0,190	-0,337	-0,303				
% dni z opadem w okresie pomiarowym	0,257	0,205	0,384	0,346				
wydajność opadu w mm*doza z opade ⁻¹	0,603	0,442	0,549	0,609				
frekwencja dni z opadem [%]:								
= 1mm	-0,394	-0,517	-0,499	-0,554				
=5 mm	-0,128	0,029	-0,140	-0,124				
= 10 mm	0,297	0,435	0,495	0,504				
= 20 mm	0,236	0,197	0,386	0,413				
= 30 mm	0,254	0,088	0,067	0,069				
> 30 mm	0,375	0,474	0,379	0,491				

0,999 – współczynnik korelacji istotny na poziomie = 0,01, **0,444** współczynnik korelacji istotny na poziomie = 0,05

Tab. 3. Wyniki testu kolejności par Wilcoxon na każdy z każdym rozkładu przewodności elektrolitycznej splywu po pniach sosny zwyczajnej

Tab. 3. Results of testing (Wilcoxon test) spatial distribution conductivity of stemflow in Scotch pine forest

T	Z	poziom p	STANOWISKA	Ważnych	T	Z	poziom p	STANOWISKA	Ważnych	T	Z	poziom p
30	4,054	0,000	So4 & So7	32	204	1,122	0,262	So8 & So1	34	198,5	1,693	0,091
07	3,257	0,001	So4 & So8	34	149,5	2,341	0,019	So8 & So10	31	59	3,704	0,000
34	3,179	0,001	So4 & So9	34	105	3,291	0,001	So8 & So11	36	69,5	4,140	0,000
29	1,171	0,242	So5 & So1	32	45	4,095	0,000	So8 & So2	33	90,5	3,395	0,001
27	1,205	0,228	So5 & So10	32	178	1,608	0,108	So8 & So3	36	192	2,215	0,027
45	4,095	0,000	So5 & So11	35	10	4,996	0,000	So8 & So4	34	149,5	2,341	0,019
56	4,129	0,000	So5 & So2	33	9	4,851	0,000	So8 & So5	34	65	3,975	0,000
20	0,549	0,583	So5 & So3	35	41	4,488	0,000	So8 & So6	35	89	3,702	0,000
38,5	1,693	0,091	So5 & So4	33	35	4,387	0,000	So8 & So7	34	226,5	1,214	0,225
15,5	1,876	0,061	So5 & So6	34	175	2,094	0,036	So8 & So9	35	251	1,048	0,295
8	4,787	0,000	So5 & So7	33	25	4,565	0,000	So9 & So1	33	175,5	1,876	0,061
14	4,586	0,000	So5 & So8	34	65	3,975	0,000	So9 & So10	32	26	4,450	0,000
38	4,226	0,000	So5 & So9	35	76	3,915	0,000	So9 & So11	36	52	4,415	0,000
20	4,468	0,000	So6 & So1	34	56	4,129	0,000	So9 & So2	34	71	3,872	0,000
78	1,608	0,108	So6 & So10	32	124	2,618	0,009	So9 & So3	36	194	2,184	0,029
24	2,618	0,009	So6 & So11	35	14	4,930	0,000	So9 & So4	34	105	3,291	0,001
45	3,857	0,000	So6 & So2	34	15	4,830	0,000	So9 & So5	35	76	3,915	0,000
59	3,704	0,000	So6 & So3	35	60	4,177	0,000	So9 & So6	35	98,5	3,546	0,000
26	4,450	0,000	So6 & So4	34	29	4,590	0,000	So9 & So7	34	183,5	1,949	0,051
07	3,257	0,001	So6 & So5	34	175	2,094	0,036	So9 & So8	35	251	1,048	0,295
8	4,787	0,000	So6 & So7	33	69	3,779	0,000	So3 & So1	34	229	1,171	0,242
54	0,744	0,457	So6 & So8	35	89	3,702	0,000	So3 & So10	32	38	4,226	0,000
21	3,477	0,001	So6 & So9	35	98,5	3,546	0,000	So3 & So11	37	121	3,477	0,001
37	2,915	0,004	So7 & So1	31	220	0,549	0,583	So3 & So2	34	85	3,493	0,000
10	4,996	0,000	So7 & So10	30	45	3,857	0,000	So3 & So4	35	291	0,393	0,694
14	4,930	0,000	So7 & So11	34	107	3,257	0,001	So3 & So5	35	41	4,488	0,000
07	3,257	0,001	So7 & So2	32	96	3,141	0,002	So3 & So6	35	60	4,177	0,000
9,5	4,140	0,000	So7 & So3	34	242	0,949	0,343	So3 & So7	34	242	0,949	0,343
52	4,415	0,000	So7 & So4	32	204	1,122	0,262	So3 & So8	36	192	2,215	0,027
34	3,179	0,001	So7 & So5	33	25	4,565	0,000	So3 & So9	36	194	2,184	0,029
14	4,586	0,000	So7 & So6	33	69	3,779	0,000	So4 & So1	34	227	1,205	0,228
54	0,744	0,457	So7 & So8	34	226,5	1,214	0,225	So4 & So10	31	20	4,468	0,000
35	3,493	0,000	So7 & So9	34	183,5	1,949	0,051	So4 & So11	35	137	2,915	0,004
15	1,170	0,242	So2 & So7	32	96	3,141	0,002	So4 & So2	33	215	1,170	0,242
9	4,851	0,000	So2 & So8	33	90,5	3,395	0,001	So4 & So3	35	291	0,393	0,694
15	4,830	0,000	So2 & So9	34	71	3,872	0,000	So4 & So5	33	35	4,387	0,000



Ryc. 5. Średnie ważone przewodnictwo elektryczne (SEC) i stężenie jonów wodorowych w splywie po pniach sosny zwyczajnej dla stanowisk pomiarowych w latach 1996-98

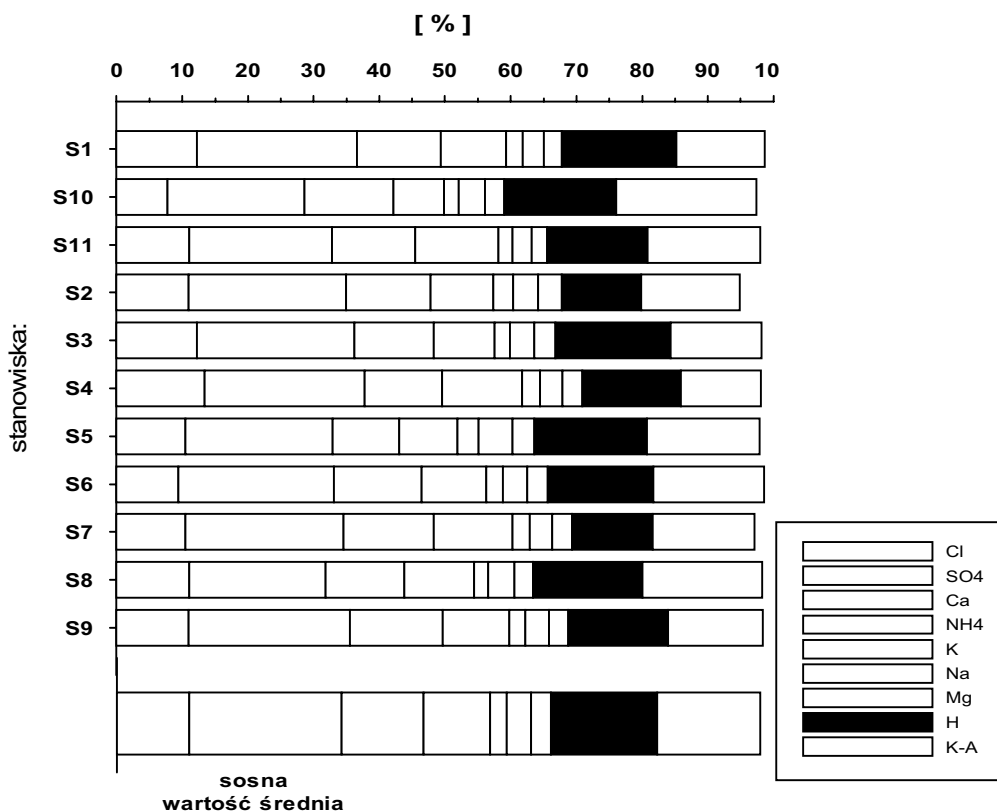
Fig. 5. Mean weightly conductivity (SEC) and hydrogen ions concentrations in stemflow for measurement points in hydrological years 1996-98

Przetestowano również czy obserwowane różnice pomiędzy poszczególnymi stanowiskami są istotne statystycznie. W tym celu wykorzystano test kolejności par Wilcozona. Sprawdzano relacje pomiędzy stanowiskami testując wyniki wszystkich pomiarów metodą każdy z każdym (tabela 3). Uzyskane rezultaty w większości przypadkach potwierdzają, że obserwowane różnice są istotne na poziomie $\alpha \leq 0,05$. Można, zatem z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że zarówno zróźnicowanie przestrzenne jak i czasowe właściwości chemicznych splywu po pniach sosny jest na tyle stabilne, że w okresie, w którym struktura drzewostanu nie ulega zmianie funkcjonują obszary wokół pni drzew, które poddane są oddziaływaniu roztworów wodnych o właściwościach chemicznych odbiegających od poziomu średniego. Stwierdzona prawidłowość jest szczególnie istotna dla procesów wietrzenia chemicznego i ługowania gleb, których dynamika zależy przede wszystkim od dopływu protonów (Trudgill 1977, Koćmit, Raczkowski 1993, Kostrzewski, Stach 1994).

Materiał badawczy dotyczący zróźnicowania przestrzennego składu jonowego splywu po pniach sosny obejmuje siedem kartowań chemicznych, które wykonano w okresie od stycznia 1996 do kwietnia 1997 roku. Głównymi czynnikami, które wpływają na przebieg, charakter i natężenie procesów transformacji właściwości składu chemicznego opadu podokapowego i splywu po pniach

w ekosystemach leśnych są procesy: zateżenia roztworu w wyniku ewapotranspiracji opadu, zmywania suchego depozytu z liści i kory przez przemieszczający się opad oraz procesy wymywania jonów z organów asymilacyjnych drzew, i absorbowania przez roślinność substancji rozpuszczonych w opadzie, które łącznie traktowane są nie jako dopływ atmosferyczny, ale jako wewnętrzny obieg materii w ekosystemie (Likens Borman, 1995, Dambrine i in. 1997, Grodzińska, Laskowski 1996, Stachurski 1987).

Średnie ważone stężenia poszczególnych jonów w splywie po pniu sosny zwyczajnej wskazują, że dominującym składnikiem splywu są siarczany, których głównym źródłem jest dopływ atmosferyczny (Draaijers i in.1997). Natomiast w grupie kationów dominują jony wodorowe oraz wapniowe. Na szczególną uwagę zasługują wartość różnicy pomiędzy zawartością kationów i anionów traktowana w procedurze laboratoryjnej jako błąd analizy. We wszystkich przypadkach stanowisk splywu po pniach różnice przyjmują znak dodatni wskazując na przewagę kationów nad anionami. Wytlumaczeniem zaistniałej dysproporcji między sumą kationów i anionów jest brak pomiaru stężeń azotanów, które jednak w przypadku opadu podokapowego i splywu po pniach w drzewostanie sosnowym nie odgrywają istotnej roli w składzie chemicznym gdyż są one absorbowane przez roślinność podczas przemieszczania się opadu przez strefę koron.



Ryc. 6. Skład chemiczny splywu po pniach sosny na poszczególnych stanowiskach pomiarowych

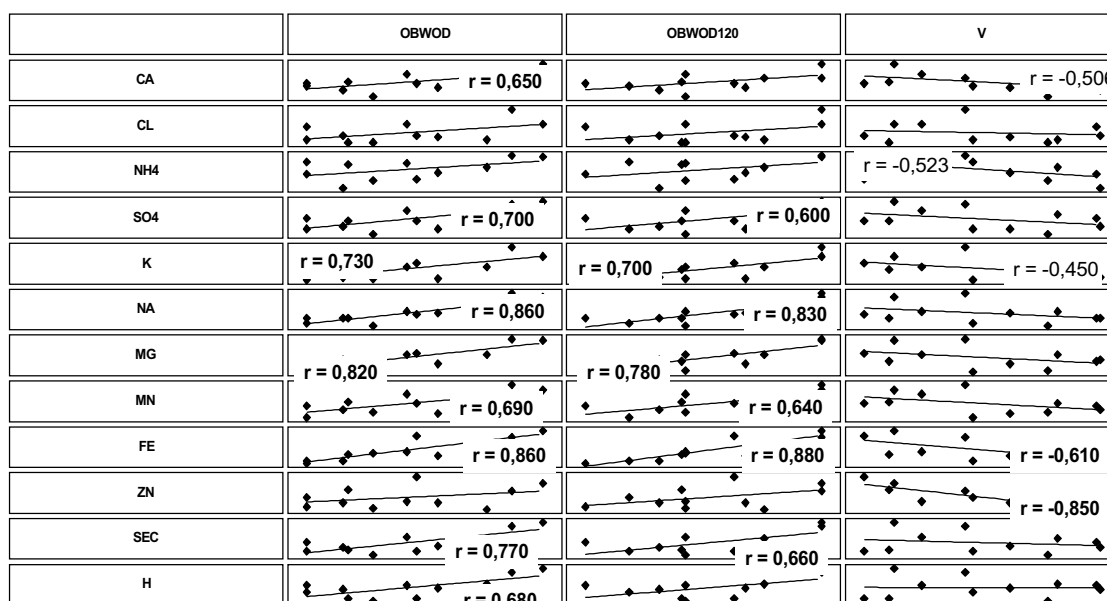
Fig. 6. Chemical composition of stemflow in Scotch pine forest for measurement points

W opracowaniach zajmujących się zasadami monitoringu opadu podokapowego i splywu po pniach drzew podkreśla się, że zaistniała dysproporcję pomiędzy kationami i anionami są rezultatem nie ujęcia słabych kwasów organicznych (Manual 1999).

Niewielkie znaczenie w składzie chemicznym mają jony potasowe, które uważa się za wyznacznik procesów jonowymiennych zachodzących pomiędzy przemieszczającym się przez strefę koron opadem atmosferycznym a roślinnością (Dambrine i in. 1997, Draaijers i in. 1997, Grodzińska, Laskowski 1996, Stachurski 1987). Obserwowane stężenia potasu w splotu po pniach sosny zwyczajnej nieznacznie przekraczają te obserwowane w przypadku opadu podokapowego. Natomiast zdecydowanie odmiennie przedstawia się rozkład jonów sodu, których stężenia w splotu po sosnach wielokrotnie przekraczają obserwowane wartości zarówno w opadzie podokapowym jak i na terenie otwartym. W przeciwieństwie do potasu jony sodowe uważane są za wyznacznik rangi dopływu atmosferycznego w kształtowaniu chemizmu opadu podokapowego i splotu po pniach (Dambrine i in. 1997, Draaijers i in. 1997, Manual 1999, Ulrich 1983). Zasadniczą jednak różnicą pomiędzy składem chemicznym splotu po pniach a opadem podokapowym jest udział jonów wodorowych, których stężenia wielokrotnie przekraczają stężenia notowane w opadzie na terenie otwartym. Jony wodorowe są podstawowym elementem w grupie kationów splotu po sosnach. Fakt ten ma istotne znaczenie dla natężenia procesów wietrzenia chemicznego i ługowania zachodzących w glebie wokół pni drzew, zwłaszcza, gdy skoncentrowany opad w tej strefie może czterokrotnie przekraczać wartości opadu na terenie otwartym. Zapewne ważne implikacje dla procesów formowania się składu chemicznego splotu po sosnach ma fakt występowania licznych gatunków porostów na korze drzew.

Skład chemiczny i obwód pnia, splot po pniach

współczynnik korelacji liniowej Pearsona



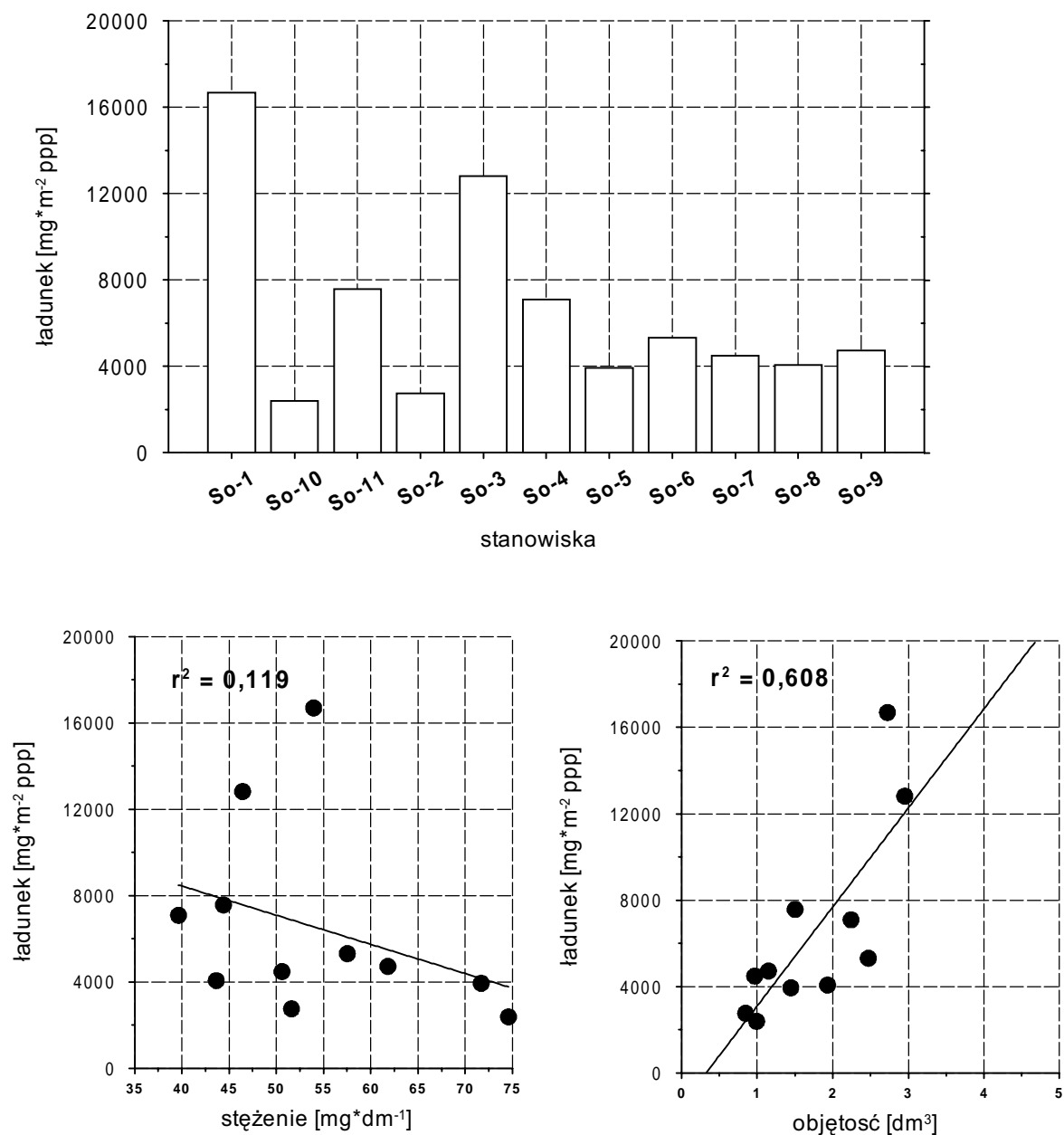
r = 0,555, poziom istotności <= 0,01

r = 0,999, poziom istotności < 0,05

Ryc. 7. Korelacje pomiędzy składem chemicznym splotu po pniach sosny zwyczajnej a obwodem pnia i objętością splotu

Fig. 7. Correlation matrix between chemical composition of stemflow in Scotch pine forest and volume of stemflow and circumference of stems

W celu określenia przyczyn różnic w stężeniach poszczególnych jonów pomiędzy stanowiskami pomiarowymi spływu po pniu podjęto próbę oszacowania istotności związków pomiędzy wartościami stężeń a zmiennymi niezależnymi – objętością spływu oraz obwodem pnia sosny, który można przyjąć za wyznacznik wieku poszczególnych drzew. W analizie wykorzystano zarówno obwód pnia na poziomie gruntu oraz na wysokości 120 cm, którego wartość służy do określenia fazy rozwojowej danego osobnika. Dla objętości spływu, jako zmiennej niezależnej uzyskano we wszyst-



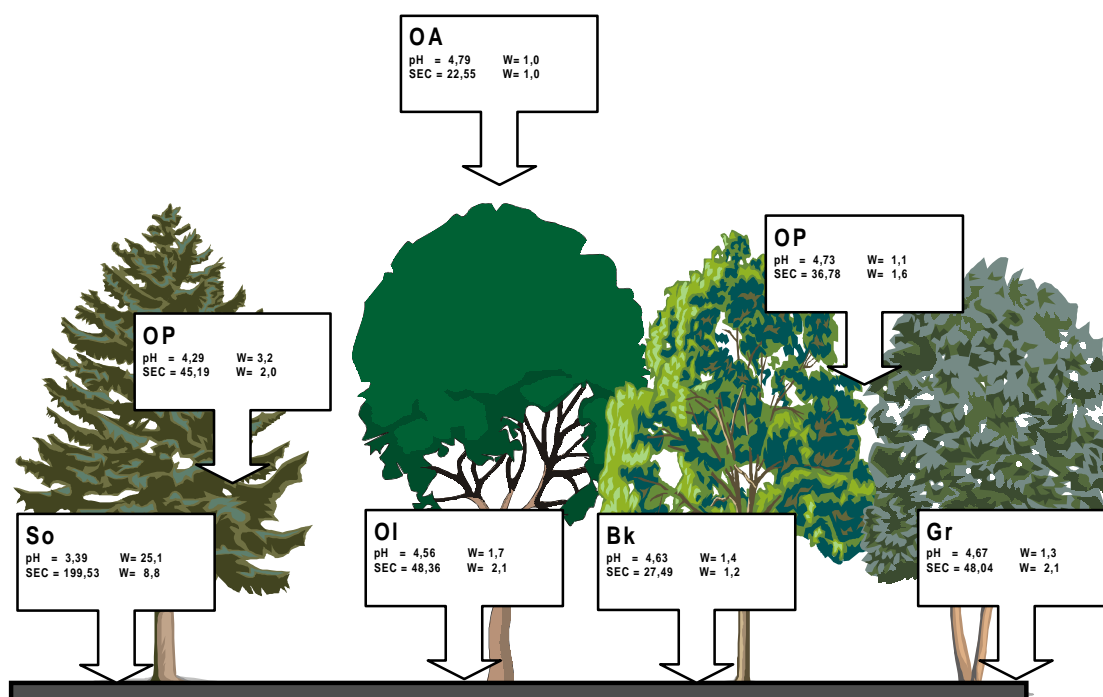
Ryc. 8. Zróżnicowanie przestrzenne ładunków siarczanów w spływie po pniach sosny zwyczajnej w przeliczeniu na przekrój poprzeczny pnia (ppp) wyniki 7 kartowań chemicznych w okresie od stycznia 96 do kwietnia 97

Fig. 8. Spatial variation loads of SO₂ of stemflow in Scotch pine forest (loads per cross-section of stem – ppp). Results of 7 chemical mapping

kich przypadkach zależności odwrotnie proporcjonalne. Analogicznie wraz z wiekiem drzewa wzrasta wartość stężeń jonów w sływie po pniu. Zależność ta ma zapewne związek z objętością sływu, który w przypadku starszego drzewostanu osiąga mniejsze wartości, powodującym tym samym większe zatężenie roztworów sływających po pniu drzewa. W przeciwieństwie do rozkładu stężeń największe ładunki poszczególnych jonów odnotowano na stanowisk, gdzie obserwowano największe wartości sływu – otrzymane współczynniki korelacji są istotne statystycznie i mają wartości dodatnie. W sytuacji korelowania ładunków z wartościami stężeń oraz obwodem pnia uzyskiwano zależności odwrotnie proporcjonalne jednak nieistotne statystycznie, na poziomie $\alpha < 0,05$ (ryc. 8). Różnice pomiędzy skrajnymi wartościami ładunków dla poszczególnych stanowisk osiągają poziom przekraczający dwukrotnie wartość średnią, uzyskaną dla wszystkich chwytaczy.

Zróźnicowanie chemizmu sływu po pniach w drzewostanach o zróźnicowanym składzie gatunkowym

W roku hydrologicznym 1999 prowadzono równoległe badania na drugiej powierzchni testowej zlokalizowanej w drzewostanie liściastym – strefie przejściowej pomiędzy zespołami Circaeo-Alnetum oraz Fago-Quercetum. W celu analizy sływu po pniach w drzewostanie liściastym chwytacze umieszczono na buku, grabie oraz olszy czarnej.



Ryc. 9. Średnie ważone pH i przewodnictwo elektrolityczne sływu po pniach sosny (So), buka (Bk) graba (Gr) i olchy (OI) oraz opadu standardowego (OA) i podokapowego (OP) w drzewostanie iglastym i liściastym w roku hydrologicznym 1999

W = stężenie w opadzie podokapowym lub sływie po pniu w stosunku do opadu na terenie otwartym

Fig. 9. Weightly mean pH and conductivity of stemflow of Scotch pine (So), beech (Bk), hornbeam (Gr), alder (OI) and rainfall (OA), throughfall in leafy forest and coniferous forest (OP), in hydrological year 1999

W = concentrations in throughfall or steamflow in relations to rainfall

W przypadku analizy wartości odczynu spływu po pniach najwyższy poziom kwasowości obserwowano w spływie po sośnie - stężenia jonów wodorowych ponad 25-krotnie przekraczają wartości notowane w opadzie na terenie otwartym (ryc. 9). Analogiczną tendencją odnotować można dla rozkładu stężeń siarczanów, sodu, oraz jonów amonowych, magnezowych i wapniowych, które zdecydowanie przekraczają poziom wartości obserwowanych u gatunków liściastych. Wyjątek stanowi potas, którego stężenia są porównywalne dla analizowanych gatunków. Najniższą mineralizacją charakteryzuje się opad spływający po pniu buka. Dysproporcja w rozkładzie przewodności elektrolitycznej pomiędzy bukiem a grabem, w przypadku, którego wartości są dwukrotnie wyższe, nie wynika za pewno z objętości spływu, który jest większy po pniu graba. W grupie gatunków liściastych największą mineralizacją odznaczał się opad spływający po pniu olchy czarnej, jednak obserwowane stężenia są zdecydowanie mniejsze niż w spływie po pniu sosny. Różnice między olchą a pozostałymi gatunkami liściastymi są rezultatem pozycji olchy w strukturze pionowej drzewostanu powierzchni testowej, która tworzy piętro okapowe najbardziej podatne na absorbowanie zanieczyszczeń atmosferycznych oraz charakterem kory, która w stosunku zarówno do graba jak i buka charakteryzuje się najbardziej spękaną powierzchnią zewnętrzną a tym samym najmniejszymi wartościami spływu po pniu.

Wnioski

- najniższe wartości wskaźnika FR (funelling ratio) obserwowano wśród najstarszych egzemplarzy sosny zwyczajnej, wartość średnia dla wszystkich stanowisk w trzyletnim okresie badawczym wyniosła 0,47,
- objętość spływu po pniu jest funkcją wysokości opadu na terenie otwartym oraz wieku drzew. W przypadku drzew najstarszych zwiększa się suma opadu konieczna do zwilżenia powierzchni kory. Zależność: wysokość opadu – objętość spływu w tej grupie drzew ma postać funkcji wykładniczej, natomiast w przypadku drzew należących do młodszych faz rozwojowych zależność ma charakter liniowy,
- straty opadu na powierzchni pnia sosny w procesie intercepcji są najwyższe przy wysokim udziale deszczy o niewielkiej wysokości – do 5 mm,
- wykorzystane testy statystyczne potwierdziły istotne różnice w rozkładzie objętości spływu, odczynu i przewodności elektrolitycznej pomiędzy poszczególnymi stanowiskami oraz wykazały podobieństwo czasowe rozkładów wymienionych parametrów,
- wraz z wiekiem drzew wzrasta mineralizacja roztworu, zależność ta związana jest z procesem zateżenia opadu, który jest determinowany przez objętość wody spływającej po pniu,
- podstawowym elementem w składzie chemicznym spływu po pniach sosny są siarczany, natomiast w grupie kationów jony wodorowe. W stosunku do opadu podokapowego niewielkie znaczenie w składzie chemicznym spływu po pniach ma potas,
- największy ładunek substancji chemicznych obserwowano w przypadku drzew najmłodszych – o największej objętości spływu po pniu. Wartość ładunku nie jest skorelowana z stężeniami poszczególnych jonów,
- z pośród analizowanych gatunków drzew największą mineralizacją charakteryzuje się spływ po pniu sosny, natomiast najniższe wartości odnotowano w przypadku buka zwyczajnego.

Literatura:

- Dambrine E., Pollier M., Bonneau M., Ignatova N.**, 1997: Use of artificial trees to assess dry deposition in spruce stands. *Atmospheric Environment* vol. 32, no. 10.
- Dojlido J.**, 1980: Instrumentalne metody badania wody i ścieków. Arkady. Warszawa

- Draaijers G. P., Erisman J. W., van Leeuwen N. F. M., Romer F. G., Te Winkel B. H., i in.,** 1997: The impact of canopy exchange on differences observed between atmospheric deposition and throughfall fluxes. *Atmospheric Environment* vol. 31, No. 3.
- Falińska K.,** 1996: *Ekologia roślin*. Wyd. PWN. Warszawa.
- Grodzińska, K., Laskowski, R.,** 1996: Ocena stanu środowiska i procesów zachodzących w lasach zlewni Potoku Ratanica (Pogórze Wielickie, Polska Południowa). Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Herwitz S. R.,** 1993: Stemflow influences on the formation of solution pipes in Bermuda eoliant. *Geomorphology*, 6 (3), 253-271.
- Klein J.,** 1979: Przenikanie opadów atmosferycznych do dna lasu grądowego Tilio-Carpinetum w północnej części Puszczy Niepołomickiej. *Frag. Flor. Geobot.* 25: 536-578.
- Koćmit A., Raczkowski B.,** 1993: Wpływ drzewostanu bukowego i zanieczyszczeń atmosferycznych na zróżnicowanie właściwości chemicznych gleb leśnych w warunkach pomorza zachodniego. [w:] A. Kostrzewski [red.] *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – monitoring ekosystemów*. Bib. Monit. Środ. Warszawa: 128-139.
- Kostrzewski A., Stach A.,** 1994: Wpływ lasu na procesy ługowania gleb na obszarze Wielkopolskiego PN [w:] L. Kozacki [red.] *Geoekosystem Wielkopolskiego PN*. Poznań.
- Kostrzewski, A., Zwoliński, Z., Tomczak, G.,** 1994. Dokumentacja przyrodnicza projektowanego rezerwatu przyrody „Jezioro Czarne”.
- Krawczyk E. W.,** 1992: Metody terenowej analityki wód krasowych. [W:] A. Kostrzewski, M. Pulina [red.] *Metody hydrochemiczne w geomorfologii dynamicznej*. *Prace Naukowe UŚ*, 1254: 65-83.
- Likens G. E., Bormann F. H.,** 1995: *Biogeochemistry of a forested ecosystem*. Springer Verlag.
- Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest. Part VI** 1999. United Nations Economic Commission for Europe.
- Markowicz M., Pulina M.,** 1979: Ilościowa półmikroanaliza chemiczna wód w obszarach krasu węglanowego. *Prace Naukowe UŚ*: 289.
- Siepak J.,** (red.) 1992: *Fizyczno-chemiczna analiza wód i gruntów*. Wyd. UAM, Poznań.
- Stachurski A.,** 1987: Nutrient control in throughfall waters of forest ecosystems. *Ekol. pol.* 35 (1): 3-69.
- Tomanek J.,** 1970: *Botanika leśna*: PWRiL. Warszawa.
- Trudgill, S. T.,** 1977: *Soil and vegetation systems*. Clarendon Press, Oxford.
- Ulrich B.,** 1983. Interaction of forest canopies with atmospheric constituents SO₂ alkali and earth alkali cations and chloride. W: B. Ulrich and J. Pankrath [red.], *Effects of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems*.

