ZRÓŻNICOWANIE OPADU PODKORONOWEGO W WYBRANYCH EKOSYSTEMACH LEŚNYCH W GÓRACH ŚWIETOKRZYSKICH I W BESKIDZIE NISKIM

Witold Bochenek*, Marek Jóźwiak**, Małgorzata Kijowska*, Rafał Kozłowski**

Bochenek W., Jóźwiak M. Kijowska M., Kozłowski R., 2008: Zróżnicowanie opadu podkoronowego w wybranych ekosystemach leśnych w Górach Świętokrzyskich i w Beskidzie Niskim (*Differentiation of throughfall in select sylvan ecosystems in Świętokrzyskie Mountains and Low Beskids*), Monitoring Środowiska Przyrodniczego nr 9, s. 47-55, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce

Zarys treści: W pracy przedstawiono zróżnicowanie transformacji opadu atmosferycznego przenikającego przez korony jodeł w drzewostanie jodłowo-bukowym w centralnej części Gór Świętokrzyskich oraz świerków w drzewostanie świerkowo-grabowym w Beskidzie Niskim. Analizie poddano wysokość opadów atmosferycznych oraz ich podstawowe właściwości fizykochemiczne (pH, konduktywność) i zawartość jonów (SO_4, NO_3, Cl, Na, K, Mg, Ca). Na podstawie zebranego materiału przeprowadzono analizę charakteru i korelacji związków funkcyjnych pomiędzy zmiennymi. Najwyższe współczynniki korelacji i statystycznie najbardziej istotne występują pomiędzy wskaźnikami opadów atmosferycznych i podkoronowych. W centralnej części Gór Świętokrzyskich stwierdzono ujemne i porównywalne współczynniki korelacji między wysokością opadów atmosferycznych a ich przewodnością właściwą oraz pH i ANCaq. W opadzie podkoronowym pod jodłami obserwuje się wzrost SEC i ANC aq ze wzrostem ilości wody przenikającej przez korony drzew. Na badanym obszarze w Beskidzie Niskim występuje ujemna zależność między wskaźnikiem opadów atmosferycznych a ANCaq, która przybiera dodatni charakter dla opadów podkoronowych.

Słowa kluczowe: geoekosystem, transformacja opadów atmosferycznych, opad podkoronowy, pH, SEC, ANCaq.
Key words: *geoecosystem, transformation of rainfall, throughfall, pH, SEC, ANCaq.*

**Witold Bochenek*, *Małgorzata Kijowska*, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Stacja Naukowo-Badawcza w Szymbarku,
***Marek Jóźwiak*, *Rafał Kozłowski*, Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy Jana Kochanowskiego w Kielcach, Samodzielny Zakład Ochrony i Kształtowania Środowiska, ul. Świętokrzyska 15 bud. G, 25-406 Kielce

1. Wprowadzenie

Właściwości fizyko-chemiczne i chemizm opadów atmosferycznych będących pod wpływem zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, jest jednym z głównych elementów wpływających na współczesną degradację środowiska przyrodniczego. Wiadomo bowiem, że woda poza funkcją partnera reakcji fizycznych jest także nośnikiem antropogenicznego przekształcania środowiska przyrodniczego (Kowalkowski, Jóźwiak 2000a).

Zarówno w literaturze zagranicznej, jak i krajowej (Reuss, Johnson 1986, Kram i wsp. 1997, Kowalkowski i wsp. 2002) wiele miejsca poświęca się problemowi kwaśnych deszczy i ich negatywnego wpływu na ekosystemy leśne. Należą one do najbardziej wrażliwych na atmosferyczną depozycję siarki w glebach, w postaci jonu SO_4^{2-} biorącego udział w reakcji innych pierwiastków, zwłaszcza H^+ i Al^{3+} (Mitchell, Lindberg 1992). W bardziej wrażliwych ekosystemach regionów umiarkowanych ten przyśpieszony dopływ siarki po-

woduje duże zmiany w składzie chemicznym roztworów glebowych i jest częściowo odpowiedzialny za rozprzestrzeniające się zamierania lasów (Kowalkowski, Jóźwiak 2000b).

Negatywny wpływ kwaśnej depozycji stwierdzono również w wodach powierzchniowych (Wróbel, Szczęsny 1990, Lorz i wsp. 2005). Zakwaszenie opadów i gleb ma związek przyczynowy z trwającym od dwudziestolecia obumieraniem starodrzewia jodłowego, uważanego za formę degeneracyjną żyznych, kwaśnych górskich buczyn, grądów i lasów mieszanych oraz chorobą buka (Kowalkowski i wsp. 2002).

Celem badań jest przedstawienie przestrzennego zróżnicowania opadu podkoronowego w wybranych ekosystemach leśnych w Górach Świętokrzyskich i w Beskidzie Niskim.

2. Obszar badań

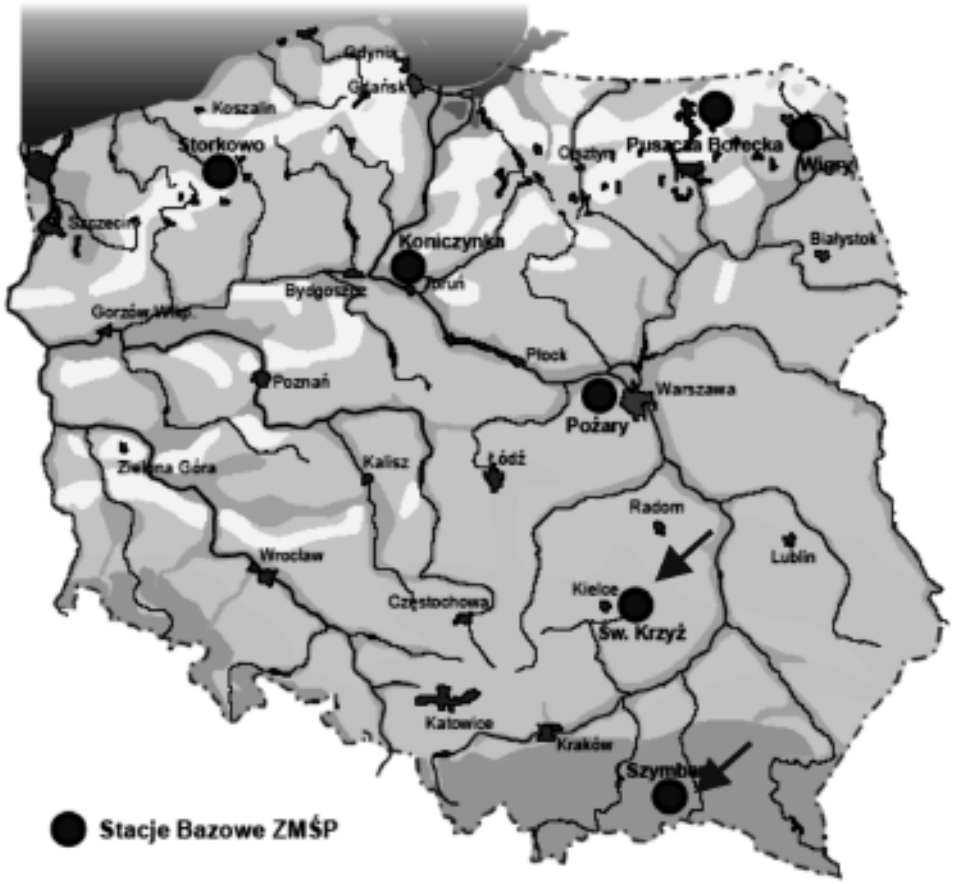
Badania prowadzono w dwóch geoekosystemach: w Górach Świętokrzyskich na terenie Stacji Bazowej ZMŚP „Święty Krzyż" oraz w Beskidzie Niskim na terenie Stacji Naukowo-Badawczej IGiPZ PAN w Szymbarku (ryc.1). Stacja Święty Krzyż zlokalizowana jest na północnym stoku Łysej Góry, w ekosystemie leśnym, lasu jodłowo-bukowego (Bróż, Kapuciński 1990, Głazek, Wolak 1991). Stacja ta znajduje się pod wpływem lokalnych i zdalnych imisji przemysłowych i transportowych ze względu na wyniesienie ponad otaczające tereny (Jóźwiak 2000, 2001).

Stacja w Szymbarku położona jest w geoekosystemie gór niskich i pogórza (Starkel 1972), gdzie największą powierzchnię zajmują lasy zespołu buczymy karpackiej – *Dentario glandulosae Fagetum*, stanowiąc główne zbiorowisko lasów piętra regla dolnego. Badania prowadzono w drzewostanie świerkowo-grabowym. Główne zanieczyszczenia docierające na teren zlewni mają charakter lokalny i pochodzą z punktowych emitorów na obszarze zlewni oraz przy wiatrach wiejących z południa, z terenu Słowacji.

3. Metody badań

Badania terenowe obejmujące pomiar właściwości fizykochemicznych (pH, SEC) opadu podkoronowego realizowano w cyklu tygodniowym.

W analizie wskaźnika zobojętniania kwasów ANC aq uwzględniono wyniki średnich miesięcznych stężeń



Ryc. 1. Lokalizacja obszarów badań na tle pozostałych stacji ZMŚP
Fig. 1. Location of the research areas versus other ZMŚP (Integrated Monitorng of Natural Environment) stations

jonów oznaczanych w próbach wody opadu atmosferycznego oraz podkoronowego (jodła – Św. Krzyż, świerk – Szymbark) w latach 2004-2007. Próby oznaczane były w laboratorium IOŚ w Warszawie oraz w laboratoriach Małopolskiego WIOŚ w Nowym Sączu i Krakowie. Zestawienie jonów oraz metod oznaczenia przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Metody oznaczania stężeń jonów
Table 1. Methods of determination of ion concentrations

Jon ***Ion***	**Metoda oznaczenia** ***Method of denotation***
SO_4, NO_3, Cl	chromatografia jonowa
Na, K, Mg, Ca	spektrometria absorpcji atomowej

Według Fegera (1994), Heinrichsa i wsp. (1994) oraz Lorza (1999) pojemność zobojętniania kwasów ANCaq oblicza się wg wzoru:

$$ANCaq = (K^+)+(Na^+)+(2Mg^{2+})+(2Ca^{2+})-(NO_3^-)-(Cl^-)-(2SO_4^{2-})$$

Wskaźnik wyrażany jest w $\mu Eq*dm^{-3}$.

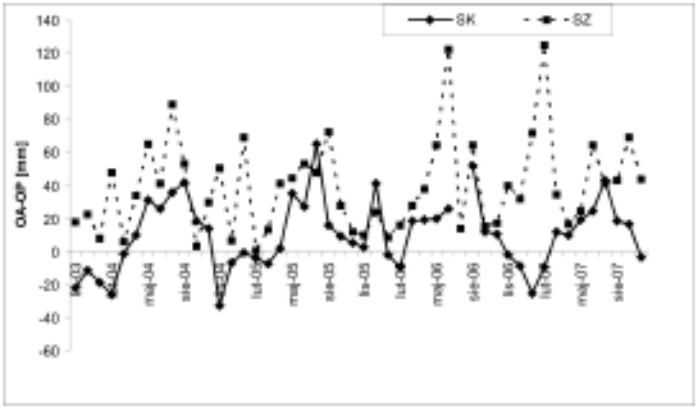
4. Wyniki

Roczne sumy opadów atmosferycznych na Stacji Święty Krzyż w analizowanym okresie wieloletnim zamknęły się w granicach od 453,0 do 684,1 mm, przy średniej w wieloleciu 1994-2007 wynoszącej 709,9 mm.

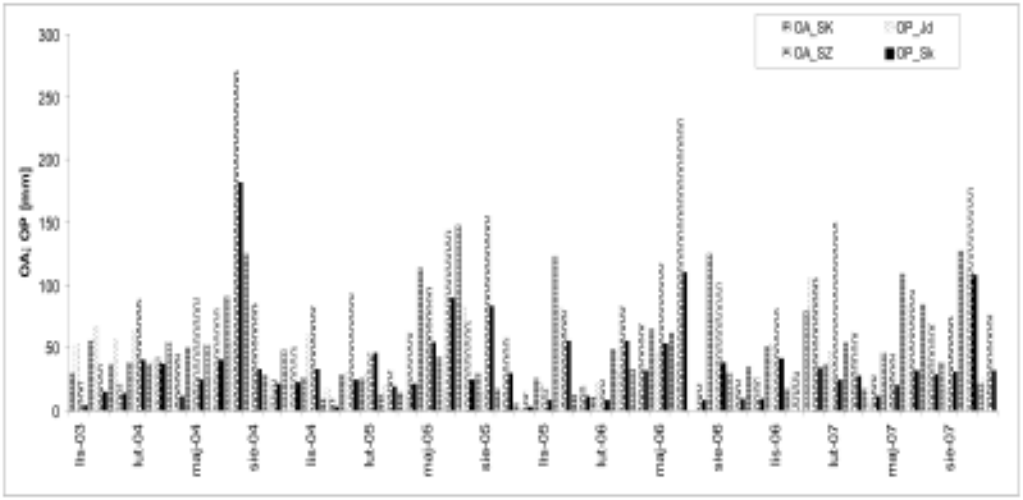
Roczne sumy opadów atmosferycznych na Stacji Szymbark kształtowały się od 820,5 do 998,3 mm przy średniej rocznej sumie z lat 1994-2007 wynoszącej 853,6 mm.

Roczne wskaźniki opadu podkoronowego w drzewostanie jodłowo-bukowym, wynoszące od 370,7 do 590,1, stanowiły od 67-86% opadu na otwartej przestrzeni. W drzewostanie świerkowo-grabowym zakres zmian rocznych wskaźników opadu podkoronowego zamknął się w granicach od 327,6 do 414,8 mm, stanowiąc od 38-49%. Podstawowe charakterystyki ilościowe opadów atmosferycznych i podkoronowych zestawiono w tabeli 2 i ryc. 2.

Dokonano porównania miesięcznych sum opadów podkoronowych i na otwartej przestrzeni na obydwu Stacjach, poprzez obliczenie różnic pomiędzy miesięcznymi wskaźnikami (ryc. 3). Tylko w 4 przypadkach na Świętym Krzyżu zaobserwowano wieksze różnice niż w Szymbarku. Szczególną „odmienność" różnic stwierdzono w miesiącach zimowych. Wyzsze sumy opadów podkoronowych w drzewostanie jodłowo-bukowym na Świętym Krzyżu są związane z wysoką częstotliwością występowania opadów atmosferycznych, procesem „wyczesywania" i kondensacji pary wodnej z mgieł. Tak dużej frekwencji zjawiska mgły i towarzyszącym jej procesom nie obserwuje się w drzewostanie świerkowo-grabowym w Szymbarku.



Ryc. 3. Różnice miesięcznych sum opadów atmosferycznych (OA) i podkoronowych (OP) w drzewostanie jodłowo-bukowym na Świętym Krzyżu (SK) i świerkowo-grabowym w Szymbarku (SZ)
Fig.3. Differences in monthly totals of atmospheric precipitation (OA) and throughfall (OP) in fir-beach stand on Święty Krzyż (SK) and spruce-hordbeam stand in Szymbark (SZ)



Ryc. 2. Miesięczne sumy opadów atmosferycznych (OA) i podkoronowych (OP) w drzewostanie jodłowo-bukowym (Jd) (Sk) na Świętym Krzyżu (SK) i świerkowo-grabowym w Szymbarku (SZ)
Fig. 2. Monthly total of atmospheric precipitation (OA) and throughfall (OP) in fir-beach stand (Jd) on Święty Krzyż (SK) and spruce-hordbeam stand (Sk) in Szymbark (SZ)

Tabela 2. Podstawowe cechy ilościowe opadów atmosferycznych i podkoronowych w badanych ekosystemach
Table 2. Basic quantitative features of rainfall and throughfall in tested ecosystems

Parametry meteorologiczne ***Meteorological parameters***	**Ekosystem leśny w Górach Świętokrzyskich** ***Sylvan ecosystems in Świętokrzyskie Mountains***		**Ekosystem leśny w Beskidzie Niskim** ***Sylvan ecosystems in Low Beskids***	
	Opad atmosferyczny (OA) *Rainfall*	Opad podkoronowy jodła (OP-Jd) *Throughfall fir*	Opad atmosferyczny (OA) *Rainfall*	Opad podkoronowy świerk (OP-Sk) *Throughfall spruce*
Średnia roczna suma opadu [mm] (zakres zmian)	590,3 (453,0-684,1)	475,4 (370,7-590,1)	888,2 (820,5-998,3)	384,5 (327,6-414,8)
Najwyższa średnia miesięczna suma opadu (miesiąc)[mm]	107,7 (VI)	59,6 (VI)	138,6 (VII)	68,6 (VII)
Najniższa średnia miesięczna suma opadu (miesiąc)[mm]	22,5 (II)	21,6 (X)	39,2 (XII)	16,0 (XII)
Zakres zmian sum miesięcznych	2,6-147,4	0,8-111,2	9,3-270,8	2,0-182,0
Udział opadu podkoronowego w opadzie atmosferycznym [%]		80 67-86		44 38-49

Tabela 3. Podstawowe charakterystyki właściwości fizykochemicznych wód opadu atmosferycznego i podkoronowego (na podstawie średnich miesięcznych)
Table 3. Basic characteristics of physiochemical properties of water of rainfall and throughfall (based on monthly averages)

Parametry fizykochemiczne ***Physicochemical parameters***	**Ekosystem leśny w Górach Świętokrzyskich** ***Sylvan ecosystems in Świętokrzyskie Mountains***		**Ekosystem leśny w Beskidzie Niskim** ***Sylvan ecosystems in Low Beskids***	
	Opad atmosferyczny (OA) *Rainfal*	Opad podkoronowy jodła (OP-Jd) *Throughfall fir*	Opad atmosferyczny (OA) *Rainfall*	Opad podkoronowy świerk (OP-Sk) *Throughfall spruce*
pH				
średnia	5,16	3,81	4,66	4,35
zakres zmian	3,61-6,46	2,50-6,41	3,48-7,17	3,43-6,69
Współczynnik zmienności*	534	308	245	200
SEC				
średnia	3,54	10,02	2,14	10,84
zakres zmian	0,95-19,87	2,84-29,44	0,60-5,72	2,27-45,54
Współczynnik zmienności	94	71	58	80
ANC aq				
średnia	114,4	-245,6	-28,7	363,1
zakres zmian	-101,9 – 3045,0	-5656,7-1392,2	-178,9-674,1	-2125,5-4149,7

– obliczone na podstawie stężenia H^+
– *calculated based on H^+ concentration*

pH

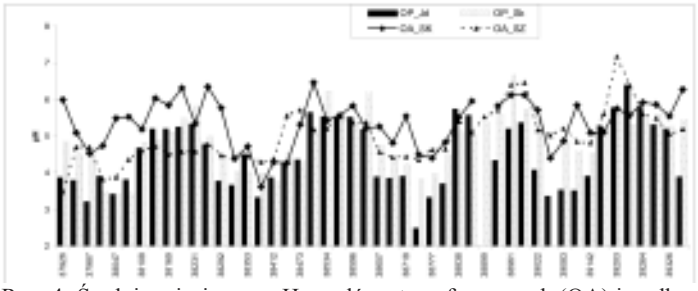
PH opadów atmosferycznych charakteryzował się wyższą wartością (5,16) na stacji Święty Krzyż, w porównaniu ze stacją Szymbark (4,66). Współczynnik zmienności obliczony na podstawie stężenia H^+ wskazuje na znaczną transformację opadów w strefie koron jodeł w centralnej części Gór Świętokrzyskich, co objawia się spadkiem wartości pH.

W mniejszym stopniu zmiany te dotyczą badanego obszaru Beskidu Niskiego. W drzewostanie jodłowo-bukowym w ekosystemie leśnym w Górach Święto-

krzyskich stwierdzono niższą średnią wartość pH (3,81) niż w drzewostanie świerkowo-grabowym w ekosystemie leśnym w Beskidzie Niskim (4,35).

W okresie od 2004-2007 odmiennie kształtowały się wartości pH w badanych geoekosystemach. W opadzie pod koronami jodeł (Św. Krzyż) wartości pH wahałys się od 2,50 do 6,41, natomiast pod koronami świerków (Szymbark) od 3,43 do 6,69 (tabela 3, ryc. 4). Współczynnik zmienności stężeń H^+ był 1,5-krotnie wyższy w drzewostanie jodłowym niż w drzewostanie świerkowym. Analiza sezonowych zmian pH w ciągu rocznym wskazuje na permanentne zakwaszanie wody opadowej przez organy asymilacyjne jodły (ryc. 4). W drzewostanie świerkowym taki proces występuje głównie w okresie zimowym. Potwierdzeniem istniejącego stanu jest dynamika stężeń H^+ zmierzonego w opadzie podkoronowym odniesiona do H^+ wody opadowej (ryc. 5). Przyrost aktywności H^+ w wodzie przenikającej przez korony jodły jest w przeważającej części kilkudziesięciokrotny (10-100-krotny), podczas gdy w drzewostanie świerkowym jedynie 1-10-krotny.

Skośność, obliczona dla badanych obszarów, która informuje o stopniu asymetrii rozkładu wartości wokół średniej, wskazuje że rozkład wyników pH w opadzie atmosferycznym na Świętym Krzyżu jest lewoskośny (-0,518), natomiast w Szymbarku prawoskośny (0,729) (ryc. 6). Rozkłady pH w obydwu drzewostanach charakteryzowały się symetrią. Współczynniki skośności wynosiły w pobliżu 0,03.



Ryc. 4. Średnie miesięczne pH opadów atmosferycznych (OA) i podkoronowych (OP) w drzewostanie jodłowo-bukowym (Jd) na Świętym Krzyżu (SK) i świerkowo-grabowym (Sk) w Szymbarku (SZ)

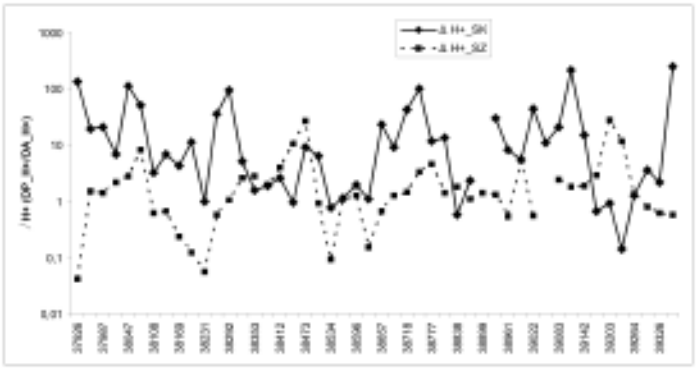
Fig. 4. Monthly totals of rainfall pH (OA) and throughfall pH (OP) in fir-beach stand on Święty Krzyż (SK) and spruce-hordbeam stand in Szymbark (SZ)

Przewodność elektrolityczna właściwa

Średnia przewodność elektrolityczna właściwa wody opadu atmosferycznego wyniosła na Stacji Święty Krzyż 3,54 $mS*m^{-1}$, natomiast na Stacji Szymbark była niższa - 2,14 $mS*m^{-1}$. Współczynniki zmienności

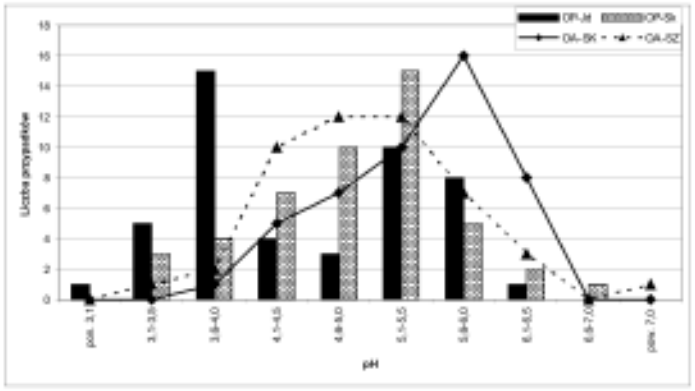
Ryc. 7. Przewodność elektrolityczna właściwa (SEC) opadów atmosferycznych (OA) i podkoronowych (OP) w drzewostanie jodłowo-bukowym (Jd) na Świętym Krzyżu (SK) i świerkowo-grabowym (Sk) w Szymbarku (SZ)

Fig. 7. Specific electrolytic conductivity (SEC) of rainfall (OA) and throughfall (OP) in fir-beach stand on Święty Krzyż (SK) and spruce-hordbeam stand in Szymbark (SZ)



Ryc. 5. Dynamika protonu H^+ w wyniku przejścia wody przez korony drzew na stacji Święty Krzyż (SK) i Szymbark (SZ)

Fig. 5. Dynamics of H^+ proton resulting from penetration of water through tree-crowns on Święty Krzyż (SK) and Szymbark (SZ) stations



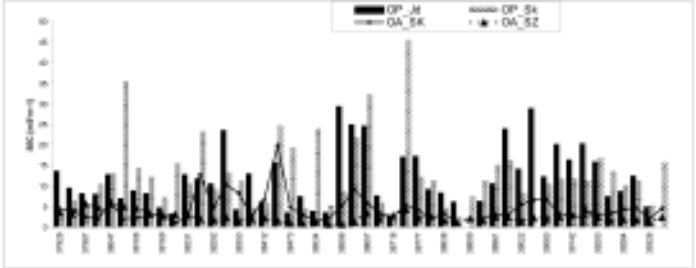
Ryc. 6. Liczebność średnich miesięcznych wartości pH w poszczególnych przedziałach

Fig. 6. Abundance of average monthly pH values in particular ranges

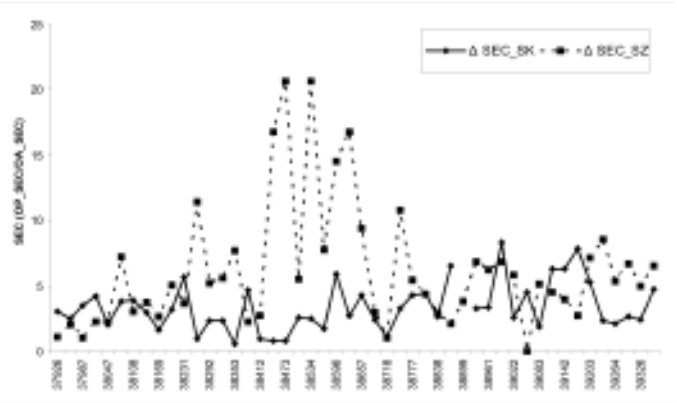
SEC w opadzie atmosferycznym na obydwu Stacjach wykazują duże zróżnicowanie (tabela 3), którego nie obserwuje się w przewodności w opadzie podkoronowym. Średnie SEC w opadzie podkoronowym charakteryzowała się podobnymi wartościami (10-11 $mS*m^{-1}$) i współczynnikami zmienności (70-80%).

Na podstawie 4-letniej serii pomiarów ciągu roku stwierdzono większą dynamikę SEC w wodzie opadowej na Świętym Krzyżu (ryc. 8) i wyższe średnie miesięczne wartości SEC w opadzie podkoronowym w okresie zimowym (ryc. 7). Przez pozostałą część roku wyższe wartości notowano w Szymbarku. Dowodzi to wpływu odmiennej grupy jonów na kształtowanie tego parametru na Świętym Krzyżu zimą i alkalizacji przez zanieczyszczenia pyłowe w Szymbarku w pozostałej części roku.

Współczynniki skośności rozkładów wartości SEC we wszystkich przypadkach były dodatnie (rozkłady prawoskośne), osiągając najwyższą wartość dla po-

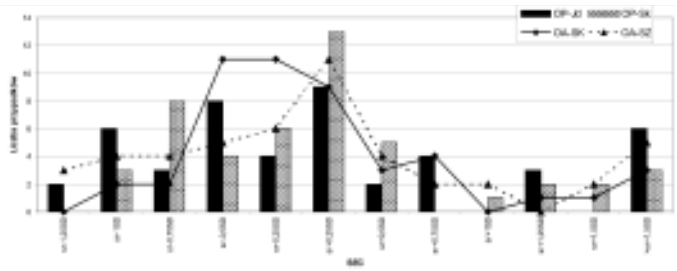


miarów w opadzie atmosferycznym na Świętym Krzyżu (2,71) i w opadzie podkoronowym w drzewostanie świerkowo-grabowym w Szymbarku (1,81) – rycina 9.



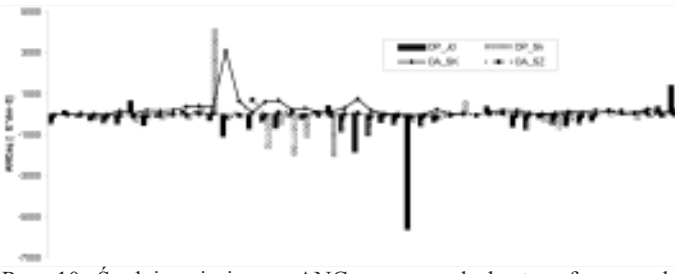
Ryc. 8. Dynamika przewodności elektrolitycznej właściwej (SEC) w wyniku przejścia wody przez korony drzew na stacji Święty Krzyż (SK) i Szymbark (SZ)

Fig. 8. Dynamics of specific electrolytic conductivity (SEC) resulting from water penetrating through tree-crowns on Święty Krzyż (SK) and Szymbark (SZ) stations



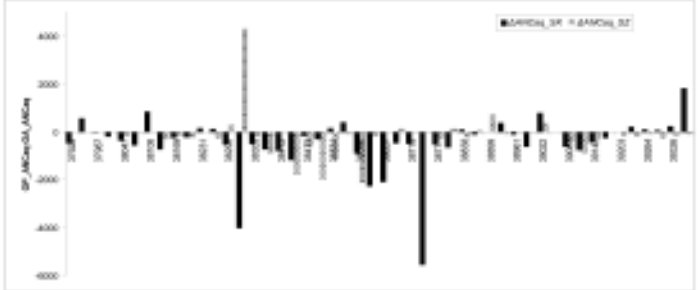
Ryc. 9. Liczebność średnich miesięcznych wartości SEC w poszczególnych przedziałach odchylenia standardowego (SD) od średniej (sr)

Fig. 9. Abundance of average monthly SEC values in particular ranges of standard deviation (SD) from average (sr)



Ryc. 10. Średnie miesięczne ANC aq w opadach atmosferycznych (OA) i podkoronowych (OP) w drzewostanie jodłowo-bukowym (Jd) na Świętym Krzyżu (SK) i świerkowo-grabowym (Sk) w Szymbarku (SZ)

Fig. 10. Average monthly ANC aq values in rainfall (OA) and thrughfall (OP) in fir-beach stand on Święty Krzyż (SK) and spruce-hordbeam stand in Szymbark (SZ)



Wskaźnik zobojętniania kwasów ANC *aq*

Przy dominacji anionów silnych kwasów wartości ANCaq są ujemne, natomiast przewaga jonów zasadowych wskazuje na wartości dodatnie. Średnie ważone względem sumy opadu wartości ANC aq obliczone dla wielolecia 2004-2007 wskazują, że na kształtowanie się właściwości chemicznych mają wpływ zanieczyszczenia o odmiennym charakterze wód opadu atmosferycznego; średni ANC aq na Św. Krzyżu wyniósł 114,4, zaś w Szymbarku -28,7. Analogicznie obliczone wartości wskaźnika w opadzie podkoronowym wykazują mniejsze zróżnicowanie; średni ANC aq w drzewostanie jodłowo-bukowym (Św. Krzyż) wyniósł -258,3, natomiast w drzewostanie świerkowo-grabowym (Szymbark) -363,1.

Absolutne wartości osiągnęły w drzewostanie świerkowo-grabowym 4150 $\mu E*dm^{-3}$, a drzewostanie jodłowo-bukowym -5657 $\mu E*dm^{-3}$ (ryc. 10).

Maksymalne miesięczne wartości ANC aq w opadzie atmosferycznym i podkoronowym (ryc. 11) wynosiły od -5553 $\mu E*dm^{-3}$ (drzewostan jodłowo-bukowy) do 4312 $\mu E*dm^{-3}$ (drzewostan świerkowo-grabowy).

Tabela 4. Współczynniki beta korelacji wielokrotnej między miesięcznymi wartościami ANC aq a ekwiwalentnymi stężeniami jonów

Table 4. Beta coefficients of multiple correlation between monthly values of ANC aq and equivalent concentrations of ions

Jony *Ions*	**OA_SK**	**OP_Jd**	**OA_SZ**	**OP_Sk**
K^+	0,269	0,173	0,039	0,143
Na^+	0,078	0,011	0,112	0,399
Mg^{2+}	0,022	0,533	0,234	0,430
Ca^{2+}	0,589	0,516	0,641	0,252
NO^{3-}	-0,104	-0,376	-0,194	-0,117
Cl^-	-0,117	-0,152	-0,079	-0,057
SO_4^{2-}	-0,099	**-0,686**	**-0,331**	**-0,597**

Współczynniki *Beta* (tabela 4). Porównanie współczynników *Beta*, które informują o „wkładzie" danego jonu w kształtowaniu wskaźnika w opadach atmosferycznych i podkoronowych wskazuje na odmienny udział jonów w badanych ekosystemach (tabela 4).

W drzewostanie jodłowo-bukowym (Święty Krzyż) decydującą rolę w kształtowaniu ANCaq odgrywają: anion SO_4^{2-} i kationy Mg^{2+} i Ca^{2+}, a zasadnicze zmiany wskaźnika w stosunku do wody opadu atmosferycz-

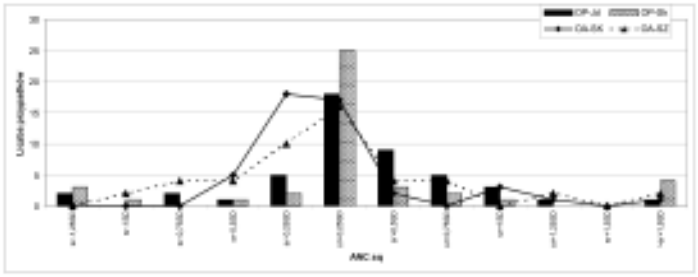
Ryc.11. Dynamika wskaźnika zobojętniania kwasów ANC aq w wyniku przejścia wody przez korony drzew na stacji Święty Krzyż (SK) i Szymbark (SZ)

Fig. 11. Dynamics of acid neutralizing capacity ANC aq resulting from penetration of water through tree-crowns on Święty Krzyż (SK) and Szymbark (SZ) stations

Tabela 5. Macierz korelacji między parametrami opadów atmosferycznych i podkoronowych (lin – liniowy, log – logarytmiczny, wiel – wielomianowy, pot – potęgowy, wyk – wykładniczy)
Table 5. Correlation matrix between parameters of atmospheric precipitation and throughfall (lin – linear, log – logarithmic, wiel – multinomial, pot – power, wyk – exponential)

Św.Krzyż	OP_Jd		pH_OA_SK		SEC_OA_SK		ANC_OA_SK		pH_OP_Jd		SEC_OP_Jd		ANC_OP_Jd	
OA_SK	lin	0,82	log	-0,31	log	-0,44	log	-0,4						
		<0,001		0,046		0,004		0,009						
pH_OA_SK					wyk	0,23			log	0,42	wiel	0,49		
						0,148				0,006		0,001		
SEC_OA_SK							wiel	0,47	wiel	-0,3	lin	-0,35		
								0,002		0,057		0,025		
OP_Jd									wiel	-0,21	lin	0,39	wiel	0,26
										0,182		0,107		0,963
ANC_OA_SK											wiel	-0,12	lin	-0,09
												0,455		0,576
SEC_OP_Jd									wyk	0,44			log	-0,51
										0,004				<0,001

Szymbark	OP_Jd		pH_OA_SZ		SEC_OA_SZ		ANC_OA_SZ		pH_OP_Sk		SEC_OP_Sk		ANC_OP_Sk	
OA_SZ	wykl	0,79	wiel	0,38	pot	0,34	wiel	-0,16						
		<0,001		0,014		0,03		0,318						
pH_OA_SZ					log	0,56			wiel	0,74	wiel	0,18		
						<0,001				<0,001		0,26		
SEC_OA_SZ							wiel	-0,44	wiel	-0,14	wiel	0,22		
								0,004		0,348		0,167		
OP_Sk									log	-0,07	log	0,44	wiel	0,15
										0,640		0,004		0,349
ANC_OA_SZ											wiel	0,35	wiel	-0,32
												0,025		0,041
SEC_OP_Sk									wiel	0,26			wiel	0,4
										0,101				0,005



Ryc. 12. Liczebność średnich miesięcznych wartości ANC aq w poszczególnych przedziałach odchylenia standardowego (SD) od średniej (śr)

Fig. 12. Abundance of average monthly ANC aq values in particular ranges of standard deviation (SD) from average (sr)

nego dotyczą wypłukiwania z koron drzew anionów SO_4^{2-} i NO^{3-}, przy równoczesnej asymilacji kationu K^+. W drzewostanie świerkowo-grabowym (Szymbark) nie następują zmiany jakościowe, lecz wpływ głównych składników ANCaq w opadzie atmosferycznym tj. SO_4^{2-}, Mg^{2+} i Na^+ wzrasta, a Ca^{2+} maleje.

Udział poszczególnych składników w kształtowaniu ANCaq opisać można następującymi równaniami regresji wielokrotnej:

OP-SK

*ANC aq = **2,594 K**+1,311 Na+0,318 Mg+**0,939 Ca**-1,038 NO_3+0,756 Cl-0,470 SO_4-0,076, R=0,959*

OP-Jd

*ANC aq = 0,433K-0,383 Na+1,918 Mg+**1,379 Ca**-**0,735 NO_3**-0,502 Cl-**1,473 SO_4**, R=0,925*

OP-SZ

*ANC aq = 0,761 K+**1,092 Na**+**2,273 Mg**+**1,757 Ca**-**1,028 NO_3**-1,047 Cl-**1,743 SO_4**-0,001, R=0,965*

OP-Sk

*ANC aq = 0,847 K+**2,422 Na**+**1,186 Mg**+**1,192 Ca**-0,600 NO_3-0,480 Cl-**1,694 SO_4**-0,034, R=0,951*

Współczynnik skośności rozkładów średnich miesięcznych ANC aq są wielokrotnie wyższe niż pozostałych dwóch analizowanych parametrów, osiągając 5,28 w opadzie atmosferycznym na Świętym Krzyżu (ryc. 12).

5. Analiza interakcji wybranych parametrów

Na podstawie zebranego materiału przeprowadzono analizę charakteru i korelacji związków funkcyjnych pomiędzy zmiennymi (tabela 5).

Związki funkcyjne pomiędzy analizowanymi zmiennymi wykazują różny charakter zarówno na badanych obszarach, jak i drzewostanach. Najwyższe współczynniki korelacji i statystycznie najbardziej istotne występują pomiędzy wskaźnikami opadów atmosferycznych i podkoronowych. W centralnej części Gór Świętokrzyskich stwierdzono ujemne i porównywalne współczynniki korelacji między wysokością opadów atmosferycznych a ich przewodnością właściwą oraz pH i ANC aq. W opadzie podkoronowym pod jodłami obserwuje się wzrost SEC i ANC aq ze wzrostem ilości wody przenikającej przez korony drzew. Na badanym obszarze w Beskidzie Niskim występuje ujemna zależność między wskaźnikiem opadów atmosferycznych a ANC aq, która przybiera dodatni charakter dla opadów podkoronowych. Na tej podstawie można stwierdzić, że w koronach badanych drzew z ich organów asymilacyjnych następuje wypłukiwanie kationów.

Ścisła zależność korelacyjna, chociaż o odmiennym charakterze, występuje między przewodnością elektrolityczną właściwą (SEC) i wskaźnikiem ANCaq. Zarówno w opadach atmosferycznych, jak i podkoronowych w obydwu drzewostanach obserwuje się podobne wartości współczynnika korelacji *r* (0,40-0,51), statystycznie istotne na poziomie $p<0,01$. Tak ścisły związek funkcyjny spowodowany jest stopniem zmineralizowania wody, który wpływa na wielkość obydwu zmiennych. Zmiana znaków współczynników korelacji wskazuje kierunki zmian jakim ulega woda pochodząca z opadów atmosferycznych po przejściu przez korony jodeł (wzrasta udział anionów) i świerka (wzrasta udział kationów).

6. Wnioski

1. Analiza wysokości opadów atmosferycznych oraz ich właściwości fizykochemicznych wskazuje na zróżnicowanie ich cech, wynikające z odmiennych źródeł imisji zanieczyszczeń.
2. W ekosystemie leśnym w centralnej części Gór Świętokrzyskich w strefie koron jodeł, a w ekosystemie leśnym w Beskidzie Niskim w strefie koron świerków następuje zróżnicowana transformacja cech chemicznych wody przenikającej przez korony, spowodowana wiekiem drzew tworzących drzewostan oraz cechami morfologicznymi koron obydwu gatunków.
3. Na zróżnicowanie właściwości fizykochemicznych wody opadów podkoronowych wpływają opady poziome; ich wysoka frekwencja w centralnej części Gór Świętokrzyskich kształtuje cechy wód opadów podkoronowych pod jodłami, podobnego zjawiska nie obserwuje się w okolicach Szymbarku w Beskidzie Niskim.

Pracę zrealizowano w ramach projektu badawczego nr N N305 3622 33 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2007-2010.

7. Literatura

Bróż E., Kapuściński R., 1990: *Chronione i zagrożone gatunki roślin naczyniowych Świętokrzyskiego Parku Narodowego oraz projektowanego Zespołu Parków Krajobrazowych Gór Świętokrzyskich, Rocznik Świętokrzyski XVII*, PWN, Warszawa, Kraków: 107-133.

Feger K.H., 1994: *Influence of soil development and management practices on freshwater acidification in Central European forest ecosystems*, In: C. Steinberg, R.F. Wright (Eds.): Acidification of Freshwater Ecosystems. Envir. Sci. Res. Rep. 14, London: 68-82.

Głazek T., Wolak J., 1991: *Zbiorowiska roślinne Świętokrzyskiego Parku Narodowego i jego strefy ochronnej*, Monographiae Botanicae 72, Warszawa.

Heinrichs H., Siewers U., Böttcher G., Matschullat J., Roostai A.H., Schneider J., Ulrich B., 1994: *Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Gewässer im Einzugsgebiet der Seetalsperre*, In: J. Matschullat, H. Heinrichs, J. Schneider, B. Ulrich (Eds.): Gefahr für Ökosysteme und Wasserqualität. Springer Verl., Berlin: 233-259.

Jóźwiak M., 2000: *Zanieczyszczenie powietrza w środkowej części Gór Świętokrzyskich*, Studia Kielekie, nr 4, KTN, Kielce: 67-80.

Jóźwiak M., 2001: *Funkcjonowanie wybranego geoekosystemu w Górach Świętokrzyskich w warunkach kwaśnej imisji*, Przegląd Geologiczny, 49, 9: 775-779.

Kowalkowski A., Jóźwiak M., 2000a: *Skład chemiczny wód opadowych*, W: St. Cieśliński, A. Kowalkowski (red.), Monografia Świętokrzyskiego Parku Narodowego, Bodzentyn-Kraków: 407-414.

Kowalkowski A., Jóźwiak M., 2000b: *Wpływ warunków środowiska na zdrowotność jodły*, W: St. Cieśliński, A. Kowalkowski (red.), Monografia Świętokrzyskiego Parku Narodowego, Kraków-Bodzentyn: 455-470.

Kowalkowski A., Jóźwiak M., Kozłowski R., 2002: *Zmiany jakości wód opadowych w ekosystemie leśnym w Świętokrzyskim Parku Narodowym*, Czasopismo Techniczne Inżynieria Środowiska, Zeszyt 4-ś/2002: 97-110.

Kram P., Hruška J., Wenner B.S., Driscoll C.T., Johnson C.E., 1997: *The biogeochemistry of basic cations in two forest catchments with contrasting lithology in the Czech Republic*, Biogeochemistry 37: 173-202.

Lorz C., 1999: *Gewässerversauerung und Bodenzustand in Westerzgebirge*, UFZ – Bericht Nr 14. Dissertation, Leipzig.

Mitchell, M.J., Lindberg S.E., 1992: *Sulfur Chemistry, Deposition and Cycling in Forests*, In: D.W. Johnson and S.E. Lindberg (eds.), Atmospheric Deposition and Nutrient Cycling in Forest Ecosystems. Chapter 5. Springer-Verlag, New York: 72-149.

Reuss J.O., Johnson D.W., 1986: *Acid deposition and the acidification of soils and water*. Ecological tudies 59. Springer Verlag, New York etc: 1-120.

Starkel L., 1972: *Karpaty zewnętrzne*, (w:) Geomorfologia Polski 1, PWN, Warszawa: 52-150.

Wróbel S., Szczęsny B., 1990: *Zakwaszenie wód w Polsce i próby ich neutralizacj*i. W: Z. Kajak (red.), Funkcjonowanie ekosystemów wodnych i ich ochrona i rekultywacja. Cz.II.: 194-206.

DIFFERENTIATION OF THROUGHFALL IN SELECT SYLVAN ECOSYSTEMS IN ŚWIĘTOKRZYSKIE MOUNTAINS AND LOW BESKIDS

Summary

Physiochemical properties and chemistry of atmospheric precipitation being influenced by air pollution are key elements contributing to present degradation of natural environment. The purpose of this study is to present spatial diversity of throughfall in sylvan ecosystem of Świętokrzyskie Mountains and Low Beskids. The measurements of physiochemical properties (pH, SEC) of throughfall were performed in 7-day cycle during research in the field.

It was observed that in fir-stand and spruce-stand a versatile transformation of chemical properties of water penetrating tree-crowns takes place which is caused by the age of the trees forming a beech-stand and morphological features of tree-crowns of both species.

Horizontal distribution of rainfall contributes to diversity of physiochemical properties of water of throughfall. Their high frequency in Świętokrzyskie Mountains forms properties of water of throughfall beneath firs. No similar effect is observed in spruce-stand in Low Beskids.