

OKREŚLENIE ROLI OSADÓW MGIELNYCH W KSZTAŁTOWANIU WYSOKOŚCI OPADU PODKORONOWEGO

Rafał Kozłowski

Kozłowski R., 2009: Określenie roli osadów mgielnych w kształtowaniu wysokości opadu podkoronowego (*Determining the role of fog deposits as conditioners of throughfall volume*), *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, Nr 10, s. 65-72, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

Zarys treści: Na terenie centralnej części Gór Świętokrzyskich mamy do czynienia z istotnym wpływem drzewostanu na transformację opadu podkoronowego. Wpływ ten wyraża się nie tylko poprzez modyfikację wysokości opadu, ale również jego składu chemicznego. Jak wykazały wyniki przeprowadzonych badań, w przestrzennym rozkładzie wysokości opadu przenikającego przez korony na szczególną uwagę zasługują obszary tuż pod koroną jodeł, które uzyskują znacząco wyższe ilości wody, niż obszary pod koronami buków. Stwierdzono, że istotnym źródłem dodatkowej ilości wody są tzw. osady mgielne.

Słowa kluczowe: Góry Świętokrzyskie, opad podkoronowy, osady mgielne
Key words: *Świętokrzyskie (Holy Cross) Mountains, throughfall, fog deposits*

Rafał Kozłowski, Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy Jana Kochanowskiego w Kielcach, Samodzielny Zakład Ochrony i Kształtowania Środowiska, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce

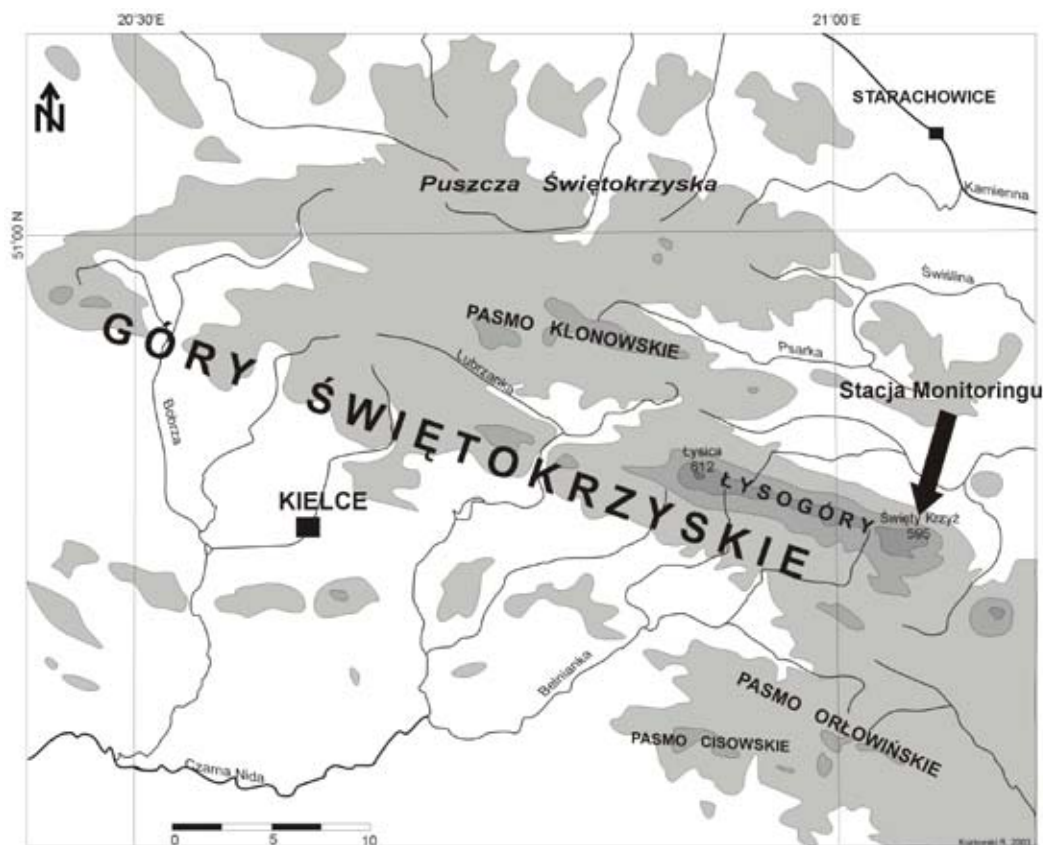
1. Wprowadzenie

Rola roślinności w modyfikacji właściwości fizykochemicznych, składu chemicznego oraz ilości opadów atmosferycznych związana jest z czterema podstawowymi procesami. Przez proces intercepcji szata roślinna odgrywa istotną rolę w kształtowaniu wielkości opadu docierającego do dna lasu w postaci opadu podkoronowego i spływającego po pniach drzew. W wyniku zmywania depozytów nagromadzonych w koronach drzew przez opad atmosferyczny następuje modyfikacja właściwości fizykochemicznych i chemicznych opadów docierających do gleb (Parker 1990).

Opady atmosferyczne, których wielkość zwiększa się wraz ze wzrostem wysokości n.p.m., są jednym z głównych czynników przyczyniających się do tworzenia specyficznych warunków siedliskowych (Małek,

Wężyk 2000). Na obszarach górskich istotnym elementem wpływającym na ilość opadu docierającego do dna lasu w postaci m.in. opadu podkoronowego są osady poziome (Błaś, Sobik 2002). Ten dodatkowy przychód wody z mgły może odbywać się wskutek sedymentacji kropelek mgły lub zderzeń inercyjnych. W warunkach, gdy temperatura przedmiotu, na którym następuje jego osadzanie, jest niższa od 0°C tworzy się sadz, w dodatnich osad ciekły.

Potencjalna rola mgły w dodatkowym przychodzie wody jest wypadkową oddziaływania czynników meteorologicznych i morfologicznych. Do najważniejszych z nich zaliczyć można częstość występowania mgły, jej wodność oraz prędkość wiatru (Błaś, Sobik 2002), wysokość n.p.m. (Baumgartner 1958 za Puchalski; Prusinkiewicz 1975), ekspozycję, typ formy terenu oraz różnorodność typów pokrycia terenu (Błaś i wsp.



Ryc.1. Lokalizacja Stacji Monitoringu UJK – Stacja Bazowa ZMŚP Święty Krzyż
 Fig. 1. Location of the Jan Kochanowski University Monitoring Station: the Natural Environment Integrated Monitoring Base Station at Święty Krzyż

2002). Jednakże zasadniczym modyfikującym jego ilość jest skład gatunkowy drzewostanu.

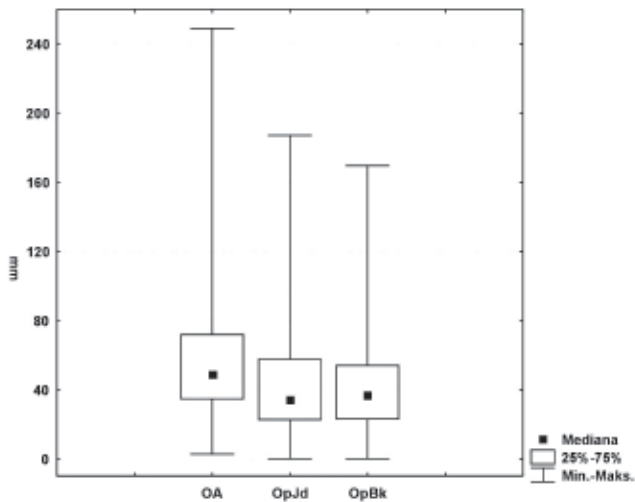
Ponadto kropelki mgły, szczególnie na obszarach zanieczyszczonych, są nieco bardziej zakwaszone niż opad atmosferyczny. Względna powierzchnia drobnych kropli jest duża, co pozwala na zwiększone przyłączenie gazów zakwaszających. Zanieczyszczone aerozole mogą zachowywać się jak jądra kondensacji, przez co koncentracje zanieczyszczeń we mgle i chmurach mogą być 10-krotnie wyższe niż w opadzie atmosferycznym (Cape 1993). W warunkach wysokiej wilgotności powietrza oraz niewielkich zasobach składników odżywczych w glebach wrażliwość roślin na zanieczyszczenia, w tym dwutlenek siarki wzrasta. Problem ten jest szczególnie istotny na terenie Gór Świętokrzyskich, gdzie mamy do czynienia ze stosunkowo wysokimi wartościami stężeń zanieczyszczeń gazowych (SO_2) w powietrzu atmosferycznym (Jóźwiak i wsp. 2006).

2. Obszar i metody badań

Dotychczas przeprowadzone badania wykazały, iż środowisko przyrodnicze ŚPN znajduje się w fazie różnokierunkowych, zaawansowanych i mających cechy

narastających przemian ewolucyjnych (Kowalkowski, Józwiak 1998). Źródłami bezpośrednimi części zanieczyszczeń powietrza, mierzonymi w ŚPN są elektrownie, gospodarstwa domowe, ciepłownie, zakłady przemysłowe i komunikacja. Z lokalizacją Stacji, zarówno ze względu na jej usytuowanie na wysokości 513,5 m n.p.m, jak i na kierunek przepływu zanieczyszczonych mas powietrza związana jest rejestracja stężeń gazów i pyłu pochodzących z transportu dalekiego (ponad 100 km), średniego (50-100 km) i bliskiego (do 50 km).

Badania prowadzone na terenie Stacji Monitoringu Samodzielnego Zakładu Ochrony i Kształtowania Środowiska UJK – SB ZMŚP Święty Krzyż obejmowały lata 2000-2008. Realizowane były na terenie zlewni, której centralnym punktem jest powierzchnia badawcza zlokalizowana w drzewostanie jodłowo-bukowym zespołu *Dentario glandulosae-fagetum* (Bróz, Kapuściński 1990). Stacja położona jest na północnym stoku Łysej Góry w Świętokrzyskim Parku Narodowym (Ryc.1). Do badań wytypowano dwie powierzchnie testowe z drzewostanem jodłowo-bukowym i bukowym, na których zainstalowano po 5 chwytacze ustawionych w kształcie litery x. Ponadto założono eksperyment polowy mający na celu określenie przestrzennego zróżnicowania opadu podkoronowego. Do tego celu



Ryc. 2. Rozkład miesięcznych wartości opadu bezpośredniego i przenikającego przez korony drzewostanu
 Fig. 2. Distribution of monthly values of bulk precipitation and precipitation penetrating stand crowns

wykorzystano 40 chwytaczy ustawionych na planie siatki prostokątnej. Stosowane metody pomiarowe były zgodne z wymaganiami Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (Kostrzewski i wsp. 1995) i zostały szczegółowo opisane m.in. przez Józwiaka i Kowalkowskiego (2003, 2004), Kowalkowskiego i wsp. (2003) oraz Kozłowskiego (2003).

3. Wyniki badań

Zmienność wysokości opadu podkoronowego

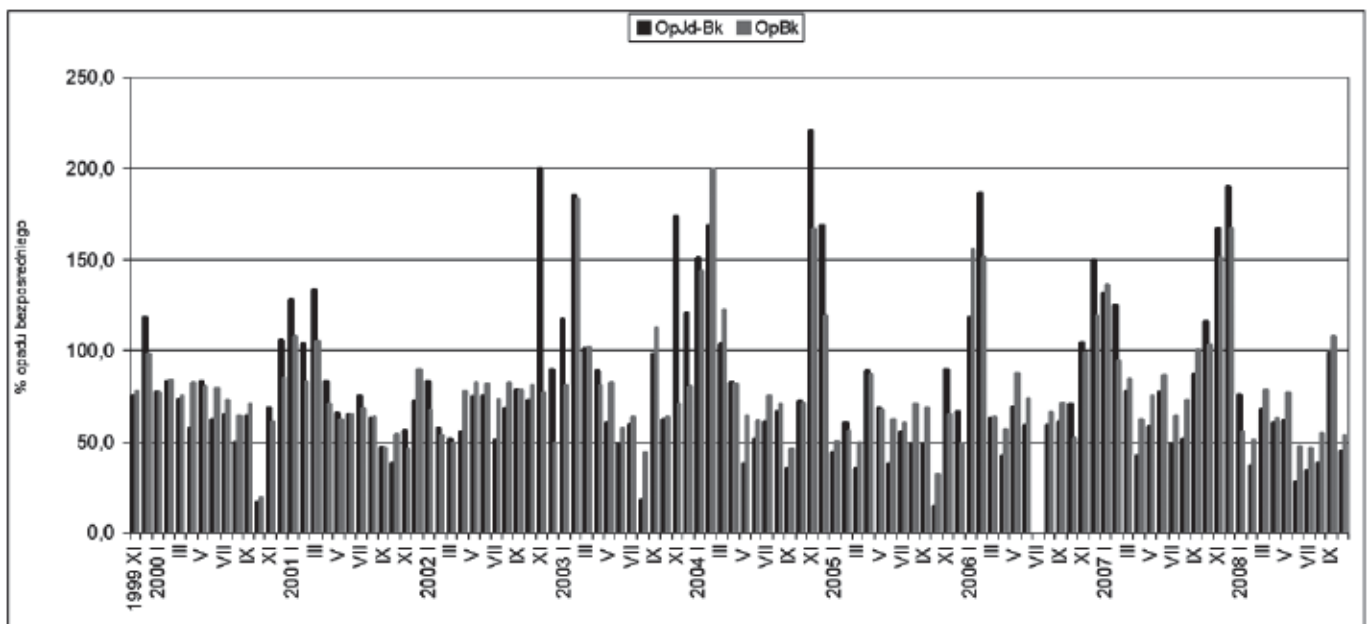
Z ilości opadu atmosferycznego mierzono bezpośrednio ponad koronami drzew, część wody zatrzymuje

się na powierzchniach drzew, część spływa po pniach, a reszta przenikając przez korony dociera do dna lasu w postaci opadu podkoronowego. Wyniki badań prowadzonych w centralnej części Gór Świętokrzyskich wykazały istotne różnice w ilościach wody docierającej do dna lasu (Ryc. 2). Na poletku z drzewostanem jodłowo-bukowym, średnio do dna lasu dotarło 74,1% opadu bezpośredniego, na powierzchni z drzewostanem bukowym 75,5%, wykazując sezonowe zróżnicowanie.

W trakcie obserwacji, szczególnie w miesiącach jesiennych, zimowych i wczesnowiosennych, stwierdzono opady podkoronowe w wielkości przekraczającej opady bezpośrednie. Źródłem dodatkowej ilości jest tzw. osad z mgły. Proces ten szczególnie zaznacza się u gatunków iglastych, które ze względu na większą powierzchnię recepcyjną mają dogodniejsze warunki do wyczesywania kropli wody z mgły. Zjawisko to jest charakterystyczne dla lasów górskich. W Polsce opisali je m.in. Ermich i Orlicz (1969), Ermich i wsp. (1967, 1972) oraz Błaś i Sobik (2002).

Na szczególną uwagę zasługuje listopad, kiedy wielkość opadów docierających do dna lasu w drzewostanie jodłowo-bukowym była znacząco wyższa od opadu bezpośredniego. Miesięczne sumy opadu podkoronowego wykazały, że maksimum tego zjawiska występowało w listopadzie 2004 roku, kiedy przy opadzie bezpośrednim wynoszącym 27,2 mm zanotowano opad podkoronowy wynoszący odpowiednio: 60,1 mm pod koronami drzewostanu jodłowo-bukowego (220,9%) i 45,4 mm pod koronami drzewostanu bukowego (167,0 %) (Ryc. 3).

Sumy opadu podkoronowego przewyższające opad atmosferyczny notowano w analizowanym okresie



Ryc. 3. Wielkość opadu przenikającego przez korony drzewostanu jodłowo-bukowego (OpJd-Bk) i bukowego (OpBk) wyrażona jako procent opadu bezpośredniego.

Fig. 3. Volume of precipitation penetrating the crowns of fir-beech (OpJd-Bk) and beech (OpBk) stands as percentage of bulk precipitation

w drzewostanie jodłowo-bukowym od października do marca. W drzewostanie bukowym zjawisko to występowało już we wrześniu i trwało tak jak w drzewostanie jodłowo-bukowym do marca. Na intensywność tego zjawiska wpływa niewątpliwie okres zwiększonej częstotliwości występowania mgły w stosunku do sąsiednich obszarów, który trwa od października do kwietnia, z maksimum w listopadzie (Żarnowiecki 2001). Notowane wartości wilgotności w miesiącach styczeń-marzec bardzo często osiągały wartości bliskie 100%. Notowane ilości wody pochodzące z tego źródła stanowią istotną rolę w bilansie wodnym.

Badania w centralnej części Gór Świętokrzyskich wykazały, że maksymalne tygodniowe wartości sięgały nawet 1250% opadu bezpośredniego w drzewostanie jodłowo-bukowym i ponad 650% w bukowym.

Jak już wcześniej wspomniano, pomimo że uzyskane średnie dziewięcioletnie wartości opadu podkoronowego w obu drzewostanach, nie wykazały istotnych różnic, to jednak w ujęciu sezonowym daje się zaobserwować pewną zmienność.

Tab. 1. Sezonowa zmienność średnich miesięcznych sum opadów docierającego do dna lasu z opadami podkoronowymi w latach 2000-2008

Table 1. Seasonal variation of mean monthly precipitation totals reaching the forest floor with throughfall in the years 2000-2008

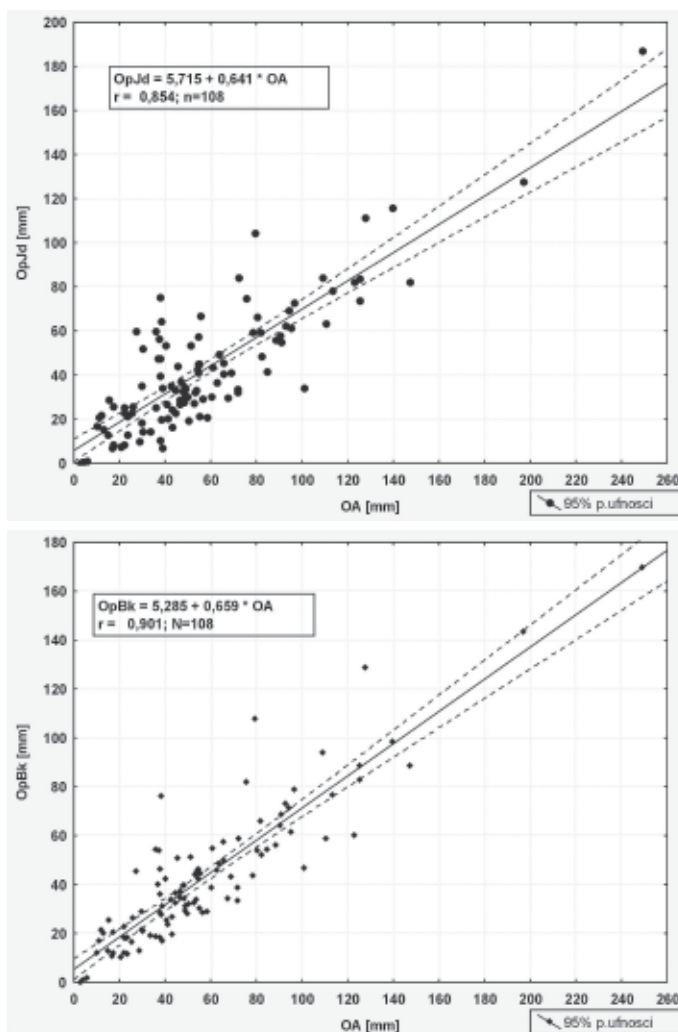
Miesiące months	OA	OpJd-Bk		OpBk	
	mm	mm	%OA	mm	% OA
I	58,8	57,1	97,1	51,2	87,2
II	39,6	36,0	90,9	34,7	87,7
III	56,5	41,5	73,4	43,6	77,2
IV	48,7	34,7	71,1	35,4	72,6
V	57,9	37,5	64,7	43,5	75,1
VI	64,9	39,8	61,4	46,5	71,6
VII	111,0	66,6	60,0	72,9	65,7
VIII	67,7	37,5	55,4	44,7	66,0
IX	59,3	43,9	74,1	49,2	83,0
X	38,2	24,5	64,0	25,4	66,5
XI	39,3	47,0	119,5	34,3	87,4
XII	43,2	42,0	97,1	33,8	78,1
ROK	685,2	508,0	74,1	515,2	75,2

OA – opad atmosferyczny (atmospheric precipitation)

OpJd – opad podkoronowy w drzewostanie jodłowo-bukowym (throughfall in fir-beech stand)

OpBk – opad podkoronowy w drzewostanie bukowym (throughfall in beech stand)

W okresie dziewięciu lat hydrologicznych w drzewostanie bukowym średnie miesięczne sumy opadów w okresie od listopada do lutego były znacząco niższe niż



Ryc. 4. Wykresy zależności między opadem bezpośrednim a przenikającym przez korony drzewostanów jodłowo-bukowego i bukowego

Fig. 4. Charts of dependencies between bulk precipitation and precipitation penetrating fir-beech and beech stand crowns

w drzewostanie z udziałem jodły. Potwierdza to wyniki badań prowadzonych przez Błasia i Sobika (2002) w Sudetach, Lovett (1984) w USA i Ermicha i Orlicza (1969, 1975) w Tatrach o większej zdolności recepcyjnej drzewostanów iglastych w procesie wyczesywania wody z mgły.

Jak wynika z wyliczeń, również w Górach Świętokrzyskich w miesiącach zimowych oraz jesiennych w drzewostanie jodłowo-bukowym notuje się wyraźnie wyższe średnie wieloletnie sumy opadu docierającego do dna lasu, niż w drzewostanie bukowym (Tab. 1). Notowana np. w listopadzie wartość stanowi 119,5% opadu bezpośredniego. W miesiącach od listopada do lutego w badanym drzewostanie średnia wysokość opadu podkoronowego przekracza 90%, z jednostkowymi maksimumi przekraczającymi 200%. Tak wysokich wartości nie notowano natomiast w drzewostanie bukowym.

Wyniki te jednoznacznie dowodzą, że również w Górach Świętokrzyskich istotnym elementem w kształtowaniu ilości opadów w lesie są osady po-

Tab. 2. Wyniki testowania statystycznego przy użyciu testu korelacji Spearmana ($\alpha < 0,01$)

Table 2. Statistical testing results obtained with the use of Spearman's rank correlation test ($\alpha < 0.01$)

Zmienna	Korelacja rang Spearmana Spearman's rank correlation		
	N	R	T(N-2)
OA/OpJd	108	0,747	11,563
OA/OpBk	108	0,854	16,883

OA – opad atmosferyczny (*atmospheric precipitation*)

OpJd – opad podkoronowy w drzewostanie jodłowo-bukowym (*throughfall in fir-beech stand*)

OpBk – opad podkoronowy w drzewostanie bukowym (*throughfall in beech stand*)

ziome. Niewielki wpływ tego źródła w drzewostanie bukowym, w miesiącach jesienno-zimowych, wynika z mniejszej powierzchni recepcyjnej, na której następowała proces adsorpcji kropel mgły.

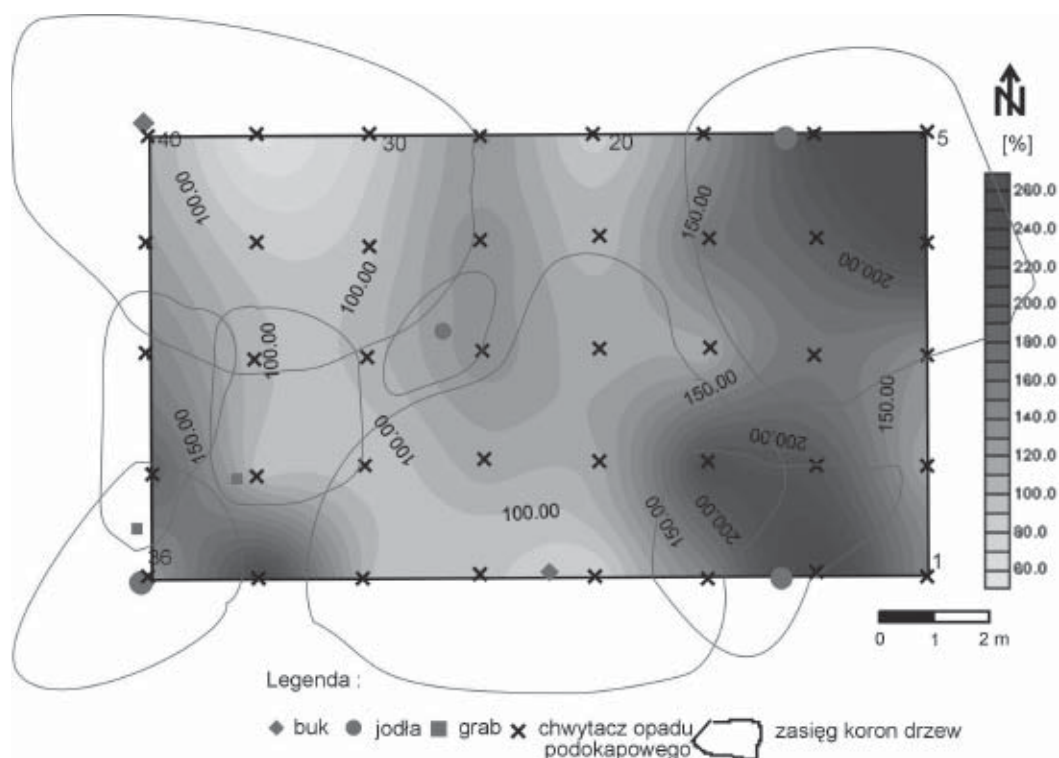
Przestrzenne i czasowe zróżnicowanie wielkości opadu przenikającego przez korony drzew jest uzależnione od szeregu czynników. Oprócz wymienionych wcześniej wysokości n.p.m., częstotliwości występowania mgieł, temperatury i wilgotności powietrza, istotny wpływ odgrywa także struktura i zwarcie koron oraz przede wszystkim wielkość opadu bezpośredniego (Ryc. 4).

Notowane wartości współczynnika korelacji pomiędzy opadem bezpośrednim a podkoronowym, przy poziomie istotności $p < 0,05$, wyniosły $r = 0,901$ dla drzewostanu bukowego i $r = 0,854$ dla drzewostanu jodłowo-bukowego. Zależności te potwierdzają również wyniki przeprowa-

dzonych testowań statystycznych. W tym celu wykorzystano test korelacji rang Spearmana. Uzyskane wartości we wszystkich przypadkach potwierdzają istotnie statystyczne zależności pomiędzy analizowanymi zmiennymi na poziomie istotności $\alpha < 0,01$ (Tab. 2).

4. Zróżnicowanie przestrzenne wysokości opadu podkoronowego

Jakkolwiek na wielkość opadu podokapowego decydujący wpływ ma wielkość opadu bezpośredniego, to jednak jego przestrzenny rozkład zależy od szeregu elementów. Zaliczyć do nich należy przede wszystkim strukturę drzewostanu, jego skład gatunkowy, zwarcie, piętrowość, kształt koron (Olszewski 1984, Otto 1994), stopień zagęszczenia liści i igieł oraz odległość od pnia drzewa (Whelan i wsp. 1998). Badania przeprowadzone przez Kozłowskiego (2003) na powierzchni badawczej w drzewostanie jodłowo-bukowym, którego zwarcie koron określono na 77%, wykazały istotne zróżnicowanie przestrzenne. Najwyższe opady notowano pod skrajem koron, gdzie uzyskane średnie wartości stanowiły ponad 176% opadu ponad lasem. Najmniejsze opady notowano przy pniu oraz pod częścią środkową koron buka – poniżej 70%. Opad podokapowy mierzony na poszczególnych stanowiskach wykazywał bardzo duże zróżnicowanie. Maksymalny pomierzony jednost-



Ryc. 5. Wielkość opadu podokapowego wyrażona jako procent opadu bezpośredniego w dniu 18 października 2002 r.

Fig. 5. Canopy drip volume as percentage of bulk precipitation on October 18, 2002

kowy opad wyniósł ponad 540% opadu bezpośredniego. Wartość tę zanotowano w chwytaczu zlokalizowanym pod skrajem korony jodły. Minimalny jednostkowy opad wynoszący 19% opadu atmosferycznego pomierzono w chwytaczu usytuowanym tuż przy pniu jodły (Ryc. 5 - zob. kolorowa wkładka). Uzyskany rozkład wielkości opadu określany jest mianem efektu parasola (Olszewski 1984) i został opisany m.in. przez Otto (1994), Puchalskiego i Prusinkiewicza (1975) oraz Whelan i wsp. (1998).

Jak wykazały wyniki badań, w okresie od 10 do 18 października 2003 roku w dniach 13 i 14 października zanotowano najwyższą wartość wilgotności względnej powietrza (97%) oraz najniższą temperaturę wynoszącą $-0,8^{\circ}\text{C}$ (w dniu 13.10) i $1,2^{\circ}\text{C}$ (w dniu 14.10). Jednocześnie stwierdzono, że wartościom tym towarzyszyła mała prędkość wiatru, wynosząca średnio $1,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. W takich warunkach wystąpiło znaczące zróżnicowanie opadu podkoronowego. Największe ilości zanotowano pod koronami jodeł, gdzie maksymalna wartość wyniosła 264,1%, co oznaczało wzrost ilości opadu w stosunku do opadu ponad lasem o 59,9 mm. Uzyskane wartości wyraźnie wskazują na znaczący udział osadów pochodzących z mgły w bilansie wodnym tego geokościsystemu.

5. Podsumowanie

Reasumując należy podkreślić, że w centralnej części Gór Świętokrzyskich mamy do czynienia ze znaczącym wpływem drzewostanu na transformację opadu podkoronowego. Wpływ ten wyraża się nie tylko poprzez modyfikację wielkości opadu, ale również jego składu chemicznego (Kowalkowski, Józwiak 2000a, Kozłowski 2001, Józwiak, Kozłowski 2004, Kozłowski 2006).

Jak wykazały wyniki przeprowadzonych badań, w przestrzennym rozkładzie wielkości opadu przenikającego przez korony na szczególną uwagę zasługują obszary tuż pod koroną jodeł, które uzyskują znacząco wyższe ilości wody niż obszary pod koronami buków. Przyczyną takiego rozkładu jest niewątpliwie dodatkowe źródło opadu, jakim są osady mgielne. Można zatem z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że gdy zróżnicowanie czasowe i przestrzenne opadu podkoronowego jest na tyle stabilne w okresie, w którym drzewostan nie ulega znaczącym zmianom, pod koronami drzew funkcjonują obszary, które uzyskują znacząco różne wielkości opadu. Zjawisko to jest niezwykle ważne przy rozpatrywaniu tempa ługowania gleb (Kostrzewski i wsp. 1994, Kruszyk 2001).

Jak wskazują wyniki pomiarów prowadzonych w różnych częściach świata, osady mgielne poza ilo-

ściowym wpływem mogą również przyczyniać się do wzrostu depozycji zanieczyszczeń atmosferycznych. Zakres reakcji drzew na stężenia SO_2 zależy od czynników biotycznych, jak i abiotycznych. Do czynników biotycznych zaliczyć można zależności genetyczne, stadium rozwoju, stopień odżywienia rośliny, obecność pasożytów i choroby. Czynniki abiotyczne obejmują żyzność gleby, temperaturę i wilgotność powietrza, promieniowanie słoneczne, opady, jak również obecność innych zanieczyszczeń powietrza (Bell, Treshow 2004). Przy otwartych aparatach szparkowych, w komorach podszparkowych na ich wewnętrznych błonach, gromadzą się cienkie warstewki adsorbowanego kwaśnego roztworu, umożliwiającego wydyfundowanie z parenchymy liścia kationów potasu, wapnia i magnezu (Kowalkowski, Józwiak 2000b). Jak wskazują badania prowadzone na tym obszarze przy zastosowaniu modelu Ulricha (1983), udział drzewostanu w kształtowaniu np. ładunku potasu docierającego do dna lasu, wynosi w drzewostanie bukowym 83,5%, a w jodłowym 75,3% (Kozłowski 2003). Wyniki te wskazują, że na analizowanym obszarze mamy do czynienia z intensywnym wymywaniem jonów potasu z organów asymilacyjnych drzew. Uzyskane wyniki poddano testowaniu statystycznemu przy użyciu testu Walda-Wolfowitza. Wykazały one istotne statystyczne różnice w wielkości ładunków docierających z opadem bezpośrednim i przenikającym przez analizowany drzewostan.

Zakwaszone opady docierające do gleb powodują przemywanie profilu glebowego, połączonego z procesem uruchamiania składników. Uruchomione jony o kwasowym działaniu uszkadzają system korzeniowy drzew i działają destrukcyjnie na florę glebową, doprowadzając do napięć i zakłóceń w funkcjonowaniu drzewostanu.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2010 jako projekt badawczy własny nr NN 305 3622 33.

6. Literatura

- Baumgartner A., 1958:** *Nebel und Nebelniederschlag als Standortsfaktor am Gr. Falkenstein*, Fw. Cbl., nr 77: 257-272.
- Bell J.N.B., Treshow M., 2004:** *Zanieczyszczenie powietrza a życie roślin*. Wydawnictwo Nauk.-Techn., Warszawa: 1-526.
- Błaś M., Sobik M., 2002:** *Znaczenie lasu w kształtowaniu przychodu wody z mgły w Sudetach*, Czasopismo Techniczne Inżynieria Środowiska: 129-140.

- Błaś M., Sobik M., Quiel F., Netzel P., 2002:** *Temporal and spatial variations of fog in the Western Sudety Mts., Poland*. Atmospheric Research, 64: 19-28.
- Bróz 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.
- Cape J.N., 1993:** *Direct damage to vegetation caused by acid rain and polluted cloud: definition of critical levels for forest trees*. Environ. Pollution, 82: 167-180.
- Ermich K., Orlicz M. 1969:** *Ilości wody dostarczane przez osady z mgły na Kasprowym Wierchu w Tatrach*. Problemy Zag. Ziem Gór., Z 5 (18), PAN: 155-182.
- Ermich K., Bednarz Z., Feliksik E., 1967:** *Wstępne badania nad osadami z mgły w karpackim obszarze leśnym*. Probl. Zagosp. Ziem Górskich PAN, 3 (16): 123-143.
- Ermich K., Bednarz Z., Feliksik E., 1972:** *Badania nad ilością osadów z mgły w Beskidzie Małym, Sądeckim i w Gorcach*. Problemy Zagospodarowania Ziem Górskich. 10: 173-189.
- Józwiak M., Kowalkowski A., 2003:** *Rozwinięta koncepcja monitoringu leśno-rolnego ekosystemu regionu świętokrzyskiego*. Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 3/02: 17-24.
- Józwiak M., Kowalkowski A., 2004:** *Realizacja koncepcji Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w regionie świętokrzyskim w 10-lecie jego inauguracji*. Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 4/03: 9-22.
- Józwiak M., Kozłowski R., Wróblewski H., 2006:** *Stacja Bazowa Święty Krzyż*. W: R. Kruszyk (red.). Stan, przemiany i funkcjonowanie geosystemów Polski w latach 1994-2006 na podstawie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 213-258.
- Kostrzewski A., Mazurek M., Stach A. (red.), 1995:** *Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Kowalkowski A., Józwiak M., 1998:** *Plan ochrony Świętokrzyskiego Parku Narodowego. Operat ochrony gleb, waloryzacja gleb*. Bodzentyń-Jelenia Góra.
- Kowalkowski A., Józwiak M., 2000a:** *Skład chemiczny wód opadowych*. W: S. Cieśliński, A. Kowalkowski (red.). Monografia Świętokrzyskiego Parku Narodowego. Bodzentyń-Kraków: 407-414.
- Kowalkowski A., Józwiak M., 2000b:** *Stan zanieczyszczenia powietrza*, W: St. Cieśliński, A. Kowalkowski (red.). Monografia Świętokrzyskiego Parku Narodowego. Bodzentyń-Kraków: 391-406.
- Kowalkowski A., Józwiak M., Kozłowski R., 2003:** *Wpływ drzewostanu jodłowo-bukowego na transformacje opadu atmosferycznego w centralnej części Gór Świętokrzyskich*. W: W. Bochenek, E. Gil (red.). Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 104-113.
- Kozłowski R., 2001:** *Dopływ składników mineralnych z opadem atmosferycznym do dna lasu na Stacji Bazowej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Święty Krzyż (Góry Świętokrzyskie)*. W: M. Józwiak, A. Kowalkowski (red.). Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i monitoring geosystemów z uwzględnieniem zanieczyszczenia powietrza. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Kielce: 207-218.
- Kozłowski R., 2003:** *Uwarunkowania i zmienność chemizmu opadów atmosferycznych i ich skutki w wybranych geosystemach Gór Świętokrzyskich*, Rozprawa doktorska, maszynopis. Akademia Świętokrzyska, Kielce: 1-212.
- Kozłowski R., 2006:** *Ilościowa transformacja opadów atmosferycznych w drzewostanie jodłowo-bukowym w latach hydrologicznych 2000-2004*. Polska Asocjacja Ekologii Krajobrazu, t. XVII: 259-268.
- Kruszyk R., 2001:** *Zróżnicowanie przestrzenne właściwości fizykochemicznych spływu po pniach sosny zwyczajnej w zespole Pino-Quercetum, zlewnia Jeziora Czarnego, Pomorze Zachodnie*. W: M. Józwiak, A. Kowalkowski (red.). Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i monitoring geosystemów z uwzględnieniem zanieczyszczenia powietrza. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Kielce: 191-206.
- Lovett G.M., 1984:** *Rates and mechanisms of cloud water deposition to a subalpine balsam fir forest*. Atmospheric Environment, 18: 361-371.
- Małek St., Wężyk P., 2000:** *Zmiany ilościowe i jakościowe opadów atmosferycznych na powierzchniach doświadczalnych w drzewostanach bukowych Ojcowskiego Parku Narodowego i Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Krynicy w latach 1997 i 1998*. W: S. Małek, P. Wężyk (red.). Monitoring procesów zachodzących w drzewostanach bukowych, w zmieniających się warunkach środowiska

- ska przyrodniczego, na przykładzie Ojcowskiego Parku Narodowego i Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Krynicy. Kraków-Nowy Sącz: 69-86.
- Olszewski J. L., 1984:** *Intercepcja i jej wpływ na wysokość opadów atmosferycznych docierających do powierzchni gruntu w lesie*. Zeszyty Postępów Nauk Rolniczych, 288: 245-270.
- Otto W., 1994:** *Waldökologie*, Stuttgart: 1-391.
- Parker G.G., 1990:** *Evaluation of dry deposition, pollutant damage, and forest health with throughfall studies*. In: A.A. Lucier, S.G. Heines (Eds.). Mechanisms of forest response to acid deposition, Springer-Verlag, New York-Berlin-Heidelberg-London-Paris-Hong Kong: 5-32.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z., 1975:** *Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego*. PWRiL, Warszawa.
- Toffel A., Wolski K., 1996:** *Migracje zanieczyszczeń przemysłowych nad Kielecczyną*. Aura 6: 10-12.
- Ulrich B., 1983:** *Interaction of forest canopies with atmospheric constituents: SO₂, alkali and earth alkali cations and chloride*. W: B. Ulrich, J. Pankrath, Effect of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems: 33-45.
- Whelan M.J., Sanger L.J., Baker M., Anderson J.M., 1998:** *Spatial patterns of throughfall and mineral ion deposition in a Lowland Norway spruce (Picea Abies) plantation at the plot scale*. Atmospheric Environment, 20: 3493-3501.
- Żarnowiecki G., 2001:** *Występowanie dni z mgłą na stacjach meteorologicznych Święty Krzyż, Kielce i Nowa Słupia*. Rocznik Świętokrzyski, Ser. B Nauki Przyr. 27: 265-279.

DETERMINING THE ROLE OF FOG DEPOSITS AS CONDITIONERS OF THROUGHFALL VOLUME

Summary

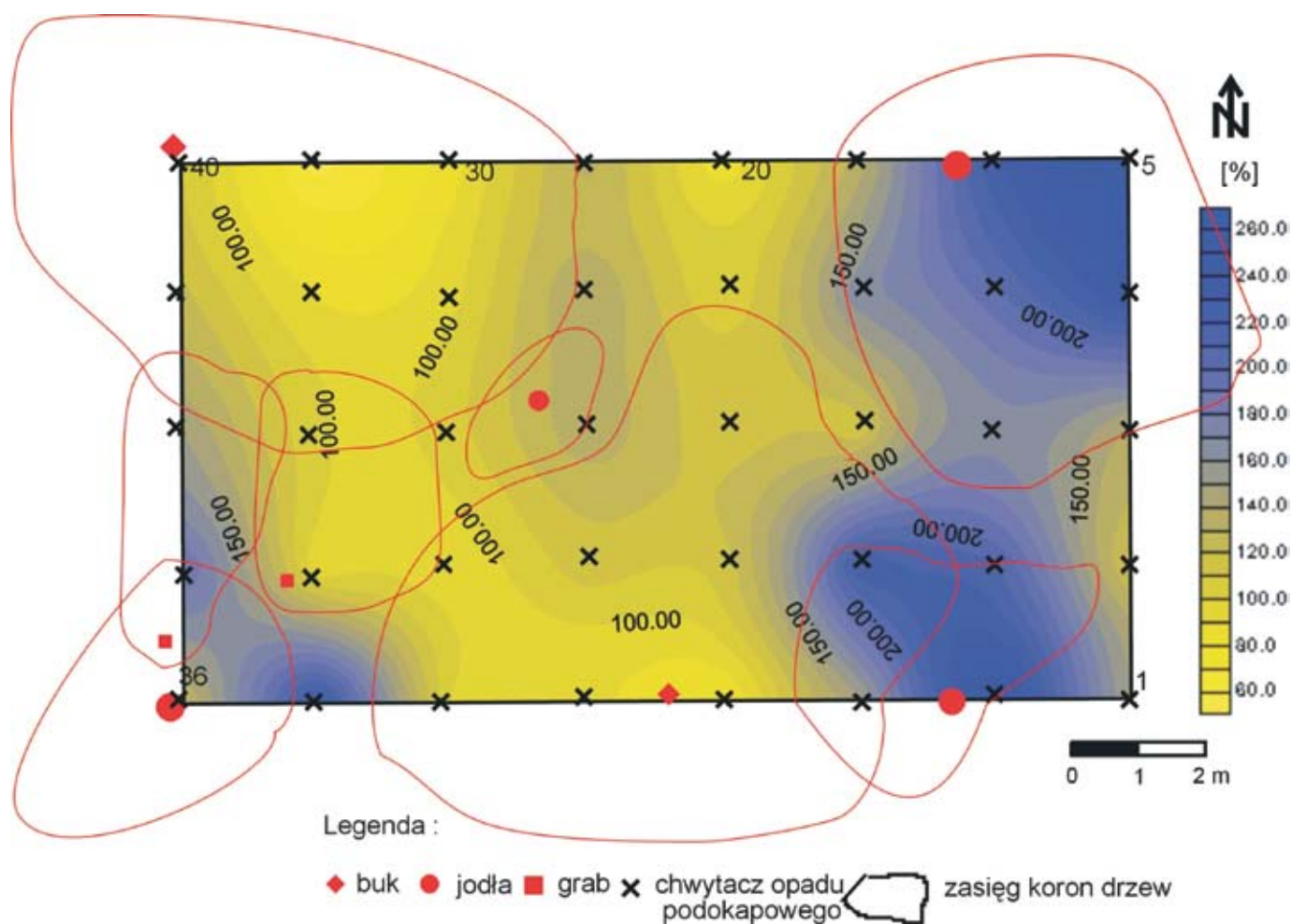
In the central part of the Świętokrzyskie (Holy Cross) Mountains, tree stands affect throughfall transformation considerably. On average, in the years 2000-2008, throughfall in the beech stand amounted to 75.2%, and in the fir-beech stand – to 74.1% of bulk precipitation, displaying considerable seasonal variation. From October to March, cases of throughfall exceeding bulk precipitation volume were recorded. The cause of this phenomenon is the so-called fog deposits.

The results of studies into spatial distribution of precipitation which penetrates tree crowns draw special attention to areas right below fir tree crowns, which receive markedly larger amounts of water than the areas below beech crowns. Undoubtedly, the reason for this distribution is an additional source of precipitation which is, as already indicated, fog deposits. The highest volume of precipitation was recorded below crown edges where the average values obtained accounted for over 176% of bulk precipitation. The lowest precipitation, under 70%, was recorded next to the trunk and below the central part of beech crowns. This phenomenon is referred to as „the umbrella” in fir trees and „the funnel” in beech trees.



Fot. 1. Plecha *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (Fot. M.A. Józwiak)
 Phot. 1 Thalli structure of *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (photo. M.A. Józwiak)

Rafał Kozłowski



Ryc. 5. Wielkość opadu podokapowego wyrażona jako procent opadu bezpośredniego w dniu 18 października 2002 r.
 Fig. 5. Canopy drip volume as percentage of bulk precipitation on October 18, 2002