



Rafał Kozłowski

Akademia Świętokrzyska, Stacja Monitoringu
Instytut Geografii, Zakład Ochrony i Kształtowania Środowiska
ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce
rafalka@pu.kielce.pl

Regionalne Studia Ekologiczno-Krajobrazowe
Problemy Ekologii Krajobrazu, tom XVI
Warszawa 2006

Ilościowa transformacja opadów atmosferycznych w drzewostanie jodłowo-bukowym w latach hydrologicznych 2000–2004

Quantity transformation of precipitations
in fir-beech forest stands
in hydrological years 2000–2004

Abstract: The research carried out in the examined geoecosystem revealed a significant participation of humid deposition in quantity of water that reaches the forest bottom in a form of the throughfall. The intensity of this process is influenced not only by the species composition but also by configuration and topography of the area and prevalent meteorological conditions. The spatial variability of the hydrogen load delivered to soils shows that there exist areas in the forest bottom which are subject of acidic deposition. The quantity of this deposition significantly differs from the average level. The highest loads under the fir-tree crowns contribute to the fastest acidification of soils in the tree trunk surrounding.

Key words: Świętokrzyskie Mountains, precipitation, throughfall, stemflow, transformation of precipitation

Słowa kluczowe: Góry Świętokrzyskie, opad atmosferyczny, opad podkoronowy, spływ po pniach drzew, transformacja opadu

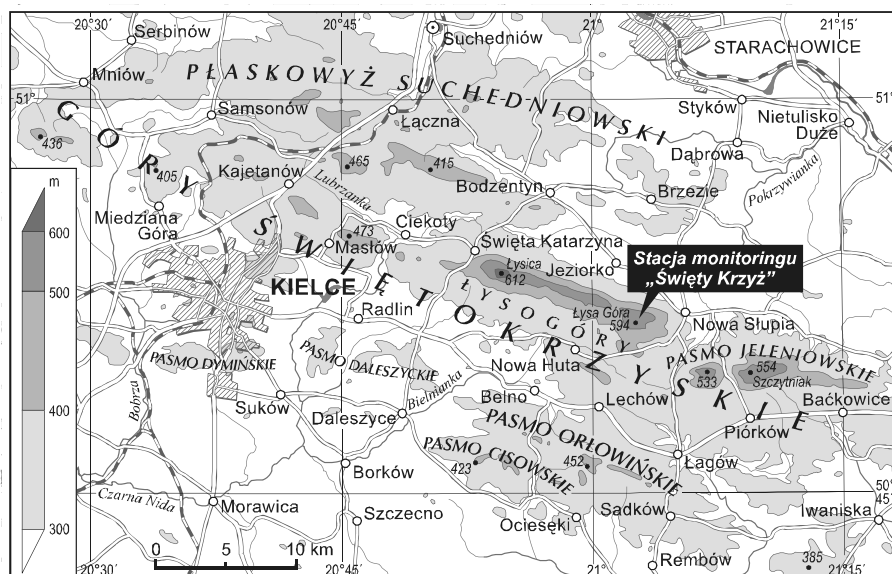
Wstęp

Rola roślinności w modyfikacji właściwości fizykochemicznych, składu chemicznego oraz ilości opadów atmosferycznych związana jest z czterema podstawowymi procesami. Poprzez 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, wymywania składników z wewnętrznych tkanek roślin oraz pobierania substancji rozpuszczonych przez organy asymilacyjne, następuje natomiast modyfikacja właściwości fizykochemicznych i chemicznych opadów docierających do gleb (Parker 1990).

Obszar i metody badań

Badania wpływu drzewostanu na procesy ilościowej transformacji opadu atmosferycznego prowadzono w drzewostanie jodłowo-bukowym zespołu *Dentario glandulosae-Fagetum* (Bróż, Kapuściński 1990) na terenie Stacji Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej, położonej na północnym stoku Łysej Góry (ryc. 1) w Świętokrzyskim Parku Narodowym. Badany geosystem ze względu na swoje położenie poddawany jest oddziaływaniu zanieczyszczonych mas powietrza z dominujących kierunków wiatrów – S, SW i W (Jóźwiak i in. 2005). Ponadto równoległy układ grzbietów górskich i dolin oraz wysokości nad poziom morza określają indywidualizm klimatu tego obszaru (Olszewski 1992), który charakteryzuje się m.in. wyższą wilgotnością powietrza oraz wyższą częstotliwością występowania mgieł w stosunku do sąsiednich, niżej położonych obszarów (Żarnowiecki 2001).

Zakres pomiarów obejmował ilość opadu, analizę właściwości fizykochemicznych i składu chemicznego wód w układzie pionowym: opad atmosferyczny, podkoronowy i spływający po pniach drzew. Stosowane metody pomiarowe były zgodne z wymaganiami Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (Kostrzewski i in. 1995) i zostały szczegółowo opisane m.in. przez Jóźwiaka i Kowalkowskiego (2003) oraz Kozłowskiego (2003a). Poddany analizie materiał obejmuje lata hydrologiczne 2000–2004. Opis powierzchni badawczej zamieszczono w tabeli 1.



Ryc. 1. Lokalizacja badanego geosystemu

Fig. 1. Location of geosystem investigated

Tab.1. Opis powierzchni badawczej

Tab. 1. Description of investigation plot

Święty Krzyż Geokosystem w centralnej części Gór Świętokrzyskich Geocosystem in central part of Świętokrzyskie Mountains			
Położenie <i>Location</i>	21°03'10" E, 50°51'20" N		
Powierzchnia <i>Area</i>	1,26 km ²		
Wysokość <i>Height</i>	268–595 m n.p.m.		
Opad (TF+SF/BP) <i>Precipitation</i>	550,6 + 17,6 (jodła, <i>fir</i>), 539,7 + 200,6 (buk, <i>beech</i>)/720,7 mm a ⁻¹ ^a		
Temperatura <i>Temperature</i>	6,7°C ^a		
Gleby <i>Soils</i>	Rdzawe bielcowe opadowo-glejowe		
Geologia <i>Geology</i>	Kwarcyty kambryjskie		
Roślinność <i>Vegetation</i>	<i>Dentario glandulosae</i> – <i>Fagetum</i> [Buk (<i>Fagus sylvatica</i>), Jodła (<i>Abies alba</i>), Klon (<i>Acer pseudoplatanus</i>), Grab (<i>Carpinus betulus</i>)]		
Hydrologia <i>Hydrology</i>	Wydajność 10,2 l s ⁻¹ ^b		
pH ^a	BP	TF jodła, <i>fir</i> buk, <i>beech</i>	SF jodła, <i>fir</i> buk, <i>beech</i>
	pH 5,08	pH 4,24 pH 4,80	pH 3,29 pH 4,27
Depozycja ^a <i>Deposition</i>	BP	TF+SF (drzewostan iglasty)	TF+SF (drzewostan liściasty)
	H ⁺ 119,6 g ha ⁻¹ a ⁻¹	H ⁺ 923,5 g ha ⁻¹ a ⁻¹	H ⁺ 674,6 g ha ⁻¹ a ⁻¹
	S-SO ₄ 9,4 kg ha ⁻¹ a ⁻¹	S-SO ₄ 30,5 kg ha ⁻¹ a ⁻¹	S-SO ₄ 18,1 kg ha ⁻¹ a ⁻¹
	N-NO ₃ 10,0 kg ha ⁻¹ a ⁻¹	N-NO ₃ 29,6 kg ha ⁻¹ a ⁻¹	N-NO ₃ 23,3 kg ha ⁻¹ a ⁻¹
	Ca ²⁺ 15,7 kg ha ⁻¹ a ⁻¹	Ca ²⁺ 48,4 kg ha ⁻¹ a ⁻¹	Ca ²⁺ 29,1 kg ha ⁻¹ a ⁻¹
	Mg ²⁺ 11,2 kg ha ⁻¹ a ⁻¹	Mg ²⁺ 21,0 kg ha ⁻¹ a ⁻¹	Mg ²⁺ 20,5 kg ha ⁻¹ a ⁻¹

^a= RH 2000-2004 *hydrological years*, BP – opad atmosferyczny (suchy+mokry) *bulk precipitation (dry+wet)*, TF+SF – opad podkoronowy i spływu po pniach drzew, *throughfall and stem-flow*, ^b = RH 2000–2002 *hydrological years*

Opracowanie statystyczne i graficzne

W celu określenia trendów, korelacji oraz poziomów istotności statystycznej między analizowanymi parametrami, zebrane dane poddano opracowaniu statystycznemu przy użyciu programu Statistica 6.0 oraz Origin 7.0.

W opracowaniu zastosowano również ilościowy wskaźnik koncentracji wody wokół pnia drzewa, tzw. *funneling ratio* (FR).

Transformacja opadów atmosferycznych

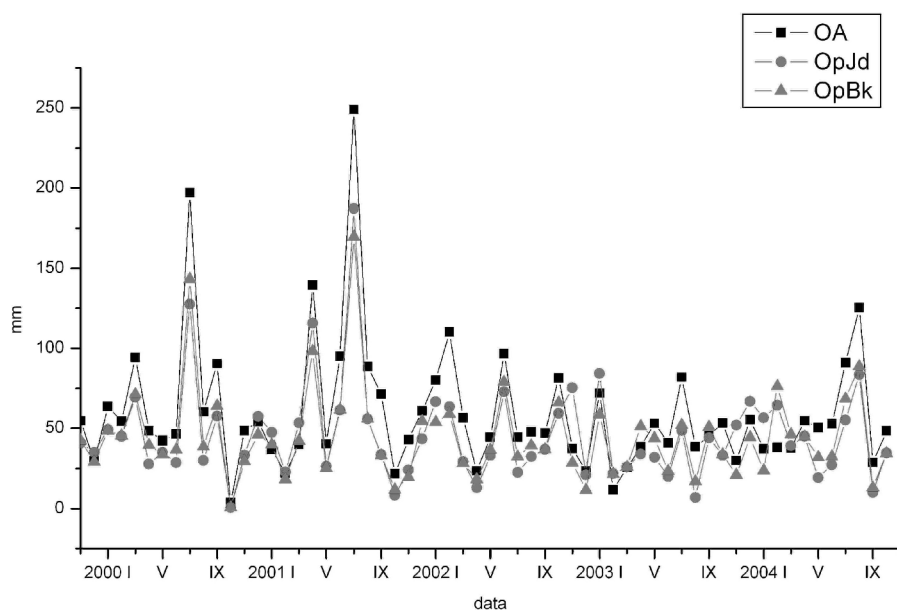
Uzyskane w trakcie pięcioletnich badań wyniki wykazały, że średnia suma opadu atmosferycznego wyniosła 720,7 mm. Najwyższe sumy opadów odnotowano w roku 2001 z 908,1 mm, najniższe w roku 2003 z 522,8 mm. Z ilości opadu mierzonego ponad koronami drzew, część wody zatrzymuje się w koronach drzew i na pniu, pozostała natomiast dociera do dna lasu w postaci opadu podkoronowego i spływającego po pniach.

Średnio w okresie badawczym w drzewostanie jodłowym do dna lasu dotarło 550,6 mm opadu, co stanowiło 76,4% opadu bezpośredniego, z wahaniami od 67,7 do 85,7% w poszczególnych latach. Odpowiednio w drzewostanie bukowym do dna lasu dotarło 539,7 mm (74,9%), z wahaniami w poszczególnych latach od 69,7 do 81,0% opadu bezpośredniego. Uzyskane średnie wartości opadu podkoronowego nie wykazały istotnych różnic pod względem składu gatunkowego drzewostanów. Niemniej jednak w ujęciu sezonowym dają się zaobserwować pewne prawidłowości. W miesiącach wiosennych w drzewostanie bukowym notowano wyższe wartości opadu podkoronowego, niż w jodłowym, co wynika z braku ulistnienia (ryc. 2).

Obserwowane czasowe zróżnicowanie wielkości opadu podkoronowego uzależnione jest od szeregu czynników. Do najważniejszych należą: wysokość n.p.m., częstotliwość występowania mgieł, temperatury i wilgotności powietrza, struktura i zwarcie koron oraz przede wszystkim wielkość opadu bezpośredniego. Przeprowadzone procedury testowania statystycznego przy użyciu testu korelacji rang Spearmana, wykazały istotnie statystyczną zależność, na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ (tab. 2).

Zależności między opadem bezpośrednim a opadem przenikającym przez korony drzewostanu bukowego (OpBk) i jodłowego (OpJd) są również doskonale widoczne na ryc. 3a–d, przedstawiających wykresy regresji liniowej.

W trakcie obserwacji, zwłaszcza w miesiącach zimowych i wiosennych, stwierdzono opady podkoronowe w wielkości przekraczającej opady bezpośrednie. Dodatkowym źródłem w bilansie wodnym są tzw. osady poziome. W literaturze określane są one mianem procesu wyczesywania i są charakterystyczne dla obszarów górskich (Ermich i in. 1967) (ryc. 2). Proces ten szczególnie zaznacza się w przypadku gatunków iglastych, które ze względu na większą powierzchnię recepcyjną mają dogodniejsze warunki do wyczesywania kropeł z mgły. Zjawisko to opisywane było w Polsce m.in. przez Ericha i wsp. (1967), Błasia i Sobika (2002) oraz Kozłowskiego (2003a). Potencjalna rola mgły w dodatkowym przychodzie wody jest wypadkową oddziaływania czynników meteorologicznych i morfologicznych. Do najważniejszych z nich zaliczyć można częstotliwość występowania mgieł lub chmur o niskim pułapie, ich wodność, prędkość wiatru, wysokość nad poziomem morza, ekspozycję, typ formy oraz różnorodność typów pokrycia terenu (Baumgartner 1958, Błaś, Sobik 2002).



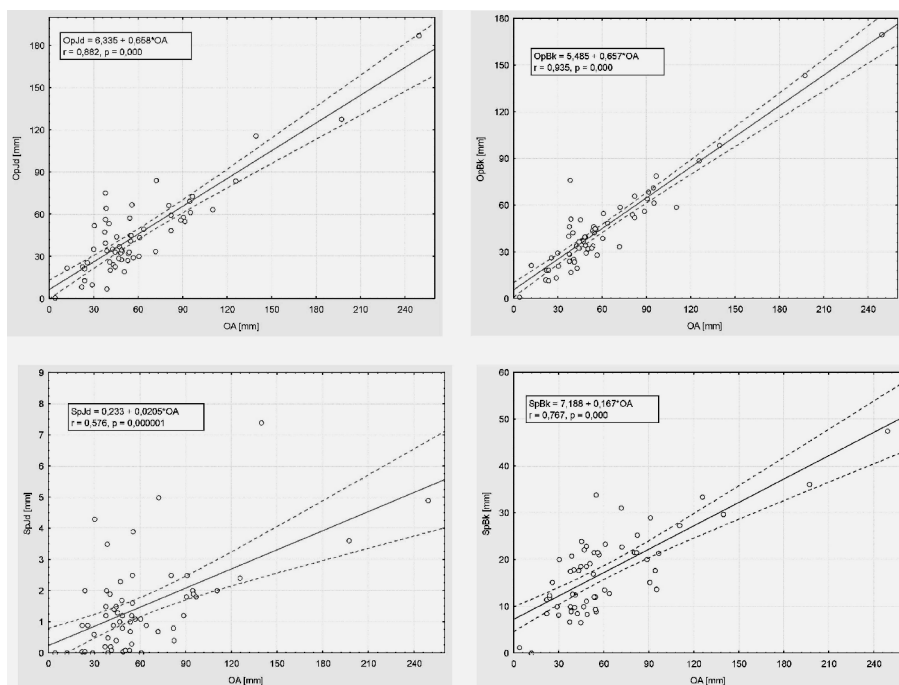
Ryc. 2. Miesięczne sumy opadu bezpośredniego (OA) i podkoronowego w drzewostanie jodłowym (OpJd) i bukowym (OpBk) w latach hydrologicznych 2000–2004

Fig. 2. Sum of monthly precipitation (OA) and throughfall in fir stand (OpJd) and beech (OpBk) in hydrological years 2000–2004

Spływ po pniach drzew

Rozkład przestrzenny opadu docierającego do gleb w lesie związany jest nie tylko z mozaikowością opadu podkoronowego (Kozłowski 2003b), ale również ze spływem wody po pniach drzew (Klein 1979, Kruszyk 2001, Kozłowski 2002). Szybkość i intensywność spływu wody zależy przede wszystkim od gatunku, szorstkości kory oraz wielkości opadów. Pomimo notowanych niewielkich ilości wody, szczególnie u gatunków iglastych, jest to zjawisko mające duże znaczenie hydrologiczne. Jest to bowiem punktowy dopływ wody do powierzchni gleby wokół pnia drzewa, co wpływa na przebieg tempa denudacji chemicznej oraz zachodzących w tej strefie procesów biogeochemicznych (Koćmit, Raczkowski 1993, Haase, Neumeister 1999, Kowalkowski i in. 2002).

W wytypowanym geosystemie w ŚPN w okresie badawczym, średnio w okresie badawczym po pniach buków spłynęło 27,8% opadu bezpośredniego, a w przypadku drzew iglastych spływ po pniach jodeł wyniósł 2,4% opadu bezpośredniego. Są to wartości zbliżone do podawanych w literaturze (Balázs 1998).



Ryc. 3. Wykresy regresji liniowej przedstawiające zależność między opadem bezpośrednim (OA) a opadem podkoronowym w drzewostanie jodłowym (OpJd) i bukowym (OpBk) oraz splywem po pniach jodeł (SpJd) i buków (SpBk) w geokoosystemie w centralnej części Gór Świętokrzyskich

Fig. 3. The graph linear regression presented relationship between precipitation (OA) and throughfall in fir stand (OpJd) and beech (OpBk) as well as stemflow of fir (SpJd) and beech (SpBk) in geocoosystem in central part of Świętokrzyskie Mountains

Tab. 2. Wyniki testowania statystycznego przy użyciu testu korelacji rang Spearmana ($\alpha = 0,05$) (opis pod ryc. 3)

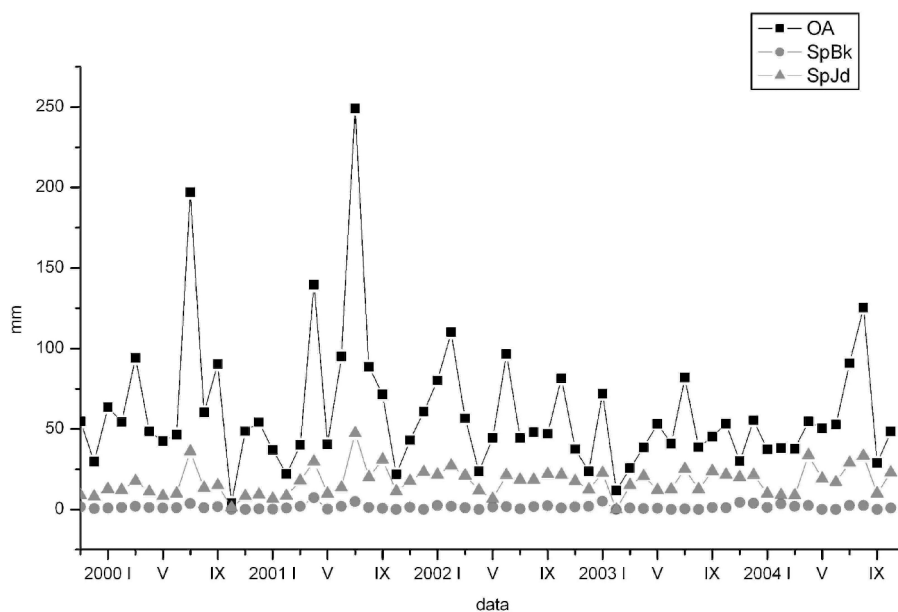
Tab. 2. The statistical results of the values testing by using the R-Spearman test ($\alpha = 0,05$) (description under fig. 3)

Zmienna	Korelacja rang Spearmana	
	n	r
OA/OpJd	60	0,667
OA/OpBk	60	0,809
OA/SpJd	58	0,466
OA/SpBk	60	0,671

Dysproporcje w ilości wody docierającej do dna lasu po strzałach drzew wybranych gatunków drzew iglastych i liściastych można wytłumaczyć różną morfologią kory, „lejkowatą” koroną buka, co w znaczący sposób ułatwia przepływ wody z gałęzi do pnia oraz wiekiem poszczególnych badanych drzew.

Maksymalne wartości spływu po pniu buka na Świętym Krzyżu notowano w miesiącach X–IV, kiedy brak jest liści – zachodzi mniejsza intercepcja (ryc. 4). W okresie tym wielkość wody spływającej po pniu osiągała wartości powyżej 50% opadu bezpośredniego. Przyczyną tak wysokich ilości są niewątpliwie sadz oraz opady mgielne. Przepływ do powierzchni gleby ułatwia również zamrznięta, gładka kora, po której woda pochodząca z opadów atmosferycznych jak i z roztopiana osadzonego na gałęziach śniegu lub sadzi bardzo szybko spływa w dół.

Najniższe wartości notowano od maja do lipca, kiedy spływ wynosił średnio 21,8% opadu bezpośredniego. Mniejsze ilości spowodowane są niewątpliwie obecnością liści, wyższymi temperaturami powietrza atmosferycznego, sporadycznym występowaniem opadów mgielnych oraz niską wilgotnością powietrza. Uzyskane wyniki testowania statystycznego potwierdziły, że zasadniczym elementem kształtującym ilość wody spływającej po pniach drzew są sumy opadu bezpośredniego (tab. 2).



Ryc. 4. Miesięczne sumy opadu bezpośredniego (OA) i spływającego po pniach jodeł (SpJd) i buków (SpBk) w latach hydrologicznych 2000–2004

Fig. 4. Sum of monthly precipitation (OA) and stemflow of fir (SpJd) and beech (SpBk) in hydrological years 2000–2004

Ilościowym wskaźnikiem koncentracji wody wokół pnia jest tzw. *funneling ratio* (FR), będący stosunkiem wysokości opadu w przeliczeniu na przekrój poprzeczny pnia do opadu na terenie otwartym (Kostrzewski i in. 1994, Krużyk 2001). W okresie przyjętym do badań najwyższe wartości tego wskaźnika notowano w przypadku drzew o największych obwodach, zarówno dla gatunków liściastych jak i iglastych (tab. 3).

Tab. 3. Wartości wskaźnika FR dla poszczególnych gatunków drzew

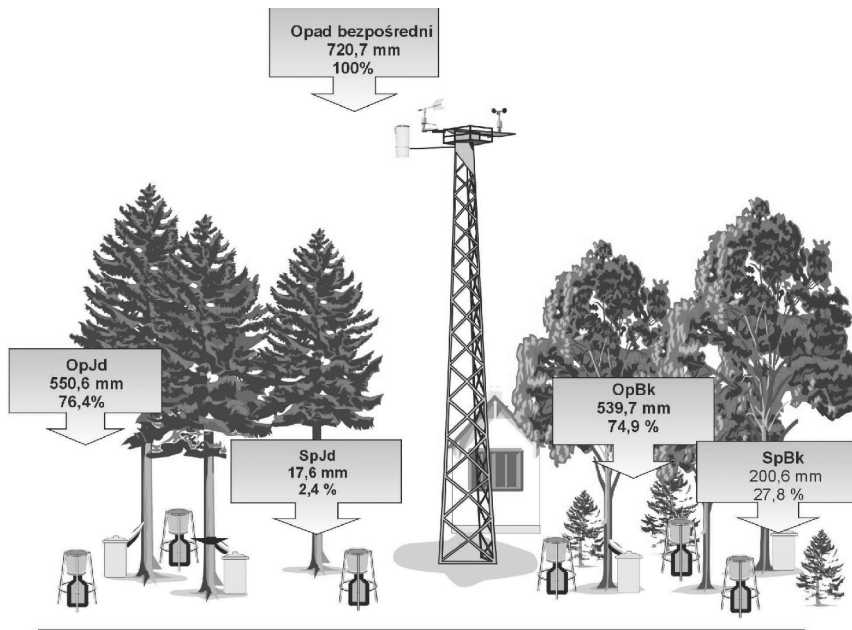
Tab. 3. Variability of the FR coefficient for chosen species of trees

Gatunek	Obwód pnia (cm)	FR średnie	FR min–maks
Jodła	116	1,0	0,01–4,8
	157	1,5	0,01–10,5
	190	1,4	0,00–19,2
	190	1,5	0,01– 19,2
	218	0,7	0,01–11,8
Buk	108	14,3	0,0–48,2
	130	14,5	0,3–74,6
	135	8,2	1,1–22,4
	147	12,7	0,3–61,0
	160	14,7	0,1–104,4

W przypadku jodeł średnie wartości współczynnika FR kształtowały się w przedziale od 0,7 do 1,5. Wielokrotnie wyższe wartości stwierdzono u buków, gdzie zakres średnich wartości dla poszczególnych drzew wahał się w przedziale 8,2 do 14,7, co wskazuje na znaczną koncentrację wody wokół pni. W większości przypadków najwyższymi średnimi wartościami odznaczały się drzewa o największych pierśnicach.

Wnioski

- Wody opadowe docierające do gleb w lesie ulegają znaczącej transformacji ilościowej w obrębie hylosfery.
- Na wielkość opadu podkoronowego i spływającego po pniach drzew decydujący wpływ ma wielkość opadu bezpośredniego.
- W badanym geosystemie w okresie badawczym z opadem podkoronowym do gleb dotarło średnio 550,6 mm opadu w drzewostanie iglastym i 539,7 mm w drzewostanie liściastym, co stanowiło odpowiednio 76,4% i 74,9% opadu bezpośredniego (ryc. 5).
- Średnioroczny spływ po pniach jodeł wyniósł 17,6 mm, a po pniach buków 200,6 mm, co stanowi odpowiednio 2,4% i 27,8% opadu ponad lasem.
- Najwyższe wartości spływu po pniach drzew notowano w okresie późnozimowym oraz wczesnowiosennym (II–III), co związane było z mniejszą intercepcją.
- Wiek i gatunek drzewa oraz wysokość opadu bezpośredniego decydują o wielkości opadu spływającego po pniach drzew oraz o wartości współczynnika FR (*funneling ratio*).



Ryc. 5. Ilościowa transformacja opadu atmosferycznego w drzewostanie jodłowo-bukowym w geosystemie w centralnej części Gór Świętokrzyskich

Fig. 5. Quantity transformation of precipitation in fir-beech forest stand in geosystem in central part of Świętokrzyskie Mountains

- Drzewa liściaste charakteryzują się wyższymi wartościami FR niż iglaste. Maksymalne wartości tego współczynnika dla jodły kształtowały się w przedziale od 0 do 19,2, natomiast dla buka od 0 do 104,4.

Niniejsza praca realizowana jest w ramach tematu 252/w Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach.

Literatura

- Bálazs Á., 1998: *14 Jahre Niederschlagsdeposition in Hessischen Waldgebieten*. Hann, Münden: 1–129.
- Baumgartner A., 1958: *Nebel und Nebelniederschlag als Standortsfaktor am Gr.Falkenstein*. „Forstwissenschaftliches Zentralblatt”, nr 77: 257–272.
- Błaś M., Sobik M., 2002: *Znaczenie lasu w kształtowaniu przychodu wody z mgły w Sudetach*. „Czasopismo Techniczne Inżynieria Środowiska”: 129–140.
- Bredemeier M., 1988: *Forest canopy transformation of atmospheric deposition*. „Water, Air and Soil Pollution”, 40: 121–138.
- 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 W-wa, Kraków: 107–133.
- Ermich K., Bednarz Z., Feliksik E., 1967: *Wstępne badania nad osadami z mgły w karpackim obszarze leśnym*. „Probl. Zagosp. Ziemi Górskich PAN”, 3 (16): 123–143.

- Haase D., Neumeister H., 1999: *Stoffdynamik in waldbestanden Auenökosystemen. Erfassung und Bewertung*. Leipziger Geowissenschaften. Bd.11. Leipzig: 9–17
- Jóźwiak M., Kowalkowski A., 2003: *Realizacja koncepcji Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w regionie świętokrzyskim w 10-lecie jego inauguracji*. „Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego” 4/03, KTN Kielce: 9–22
- Jóźwiak M., Kowalkowski A., Kozłowski R., Wróblewski H., 2005: *Raport Stacji Bazowej ZMŚP „Święty Krzyż” za rok 2004*. Akademia Świętokrzyska, Kielce, maszynopis.
- Klein J., 1979: *Przenikanie opadów atmosferycznych do dna lasu grądowego Tilio-Carpinetum w północnej części Puszczy Niepołomickiej*. „Fragmenta Floristica”, XXV: 563–578.
- Koćmit A., Raczkowski B., 1993: *Wpływ drzewostanu bukowego i zanieczyszczeń atmosferycznych na zróżnicowanie właściwości chemicznych gleb w warunkach Pomorza Zachodniego*. W ZMŚP – Monitoring ekosystemów [w:] Kostrzewski A. (red.), Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 128–139.
- Kostrzewski A., Dzbanuszek J., Stach A., 1994: *Wpływ lasu na proces ługowania gleb na obszarze Wielkopolskiego Parku Narodowego* [w:] Kozacki L. (red.) *Geoekosystem Wielkopolskiego Parku Narodowego jako obszaru chronionego podlegającego antropopresji*: 55–88.
- Kostrzewski A., Mazurek M., Stach A., (red.), 1995: *Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Kowalkowski A., Jóźwiak M., Kozłowski R., 2002: *Metoda badania wpływu wód opadowych na właściwości gleb leśnych*. „Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego”, 3/02: 45–52.
- Kozłowski R., 2002: *Zróżnicowania wielkości i jakości spływu wód opadowych po pniach drzew w wybranych ekosystemach leśnych w Górach Świętokrzyskich*. „Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego”, 3/02: 95–102.
- Kozłowski R., 2003a: *Uwarunkowania i zmienność chemizmu opadów atmosferycznych i ich skutki w wybranych geoekosystemach Gór Świętokrzyskich*. Maszynopis rozprawy doktorskiej, Akademia Świętokrzyska, Kielce: 1–212.
- Kozłowski 2003b: *Przestrzenne zróżnicowanie opadu podokapowego w drzewostanie jodłowo-bukowym w centralnej części Gór Świętokrzyskich*. „Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego”, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce: 99–106.
- Kruszyk R., 2001: *Zróżnicowanie przestrzenne właściwości fizykochemicznych spływu po pniach sosny zwyczajnej w zespole Pino-Quercetum, zlewnia Jeziora Czarnego, Pomorze Zachodnie* [w:] Jóźwiak M., Kowalkowski A. (red.) *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów z uwzględnieniem zanieczyszczenia powietrza*. „Biblioteka Monitoringu Środowiska”, Kielce: 191–206.
- Olszewski J.L., 1992: *Indywidualizm klimatyczny Gór Świętokrzyskich*. „Rocznik Świętokrzyski”, 19: 153–165.
- Parker G.G., 1990: *Evaluation of dry deposition, pollutant damage, and forest health with throughfall studies* [w:] Lucier A.A., Heines S.G. (Eds.) *Mechanisms of Forest Response to Acid Deposition*. Springer-Verlag, New York-Berlin-Heidelberg-London-Pars-Hong Kong: 5–32.
- Żarnowiecki G., 2001: *Występowanie dni z mgłą na stacjach meteorologicznych Święty Krzyż*. *Kielce i Nowa Słupi*. „Rocznik Świętokrzyski”, seria B, Nauki Przyr., 27: 265–279.