

PORÓWNANIE WYBRANYCH METOD DO OBLICZANIA WYSOKOŚCI OPADU SPŁYWAJĄCEGO PO PNIACH DRZEW

Rafał Kozłowski, Małgorzata Anna Józwiak, Emilia Borowska

Kozłowski R., Józwiak M.A., Borowska E., 2010: Porównanie wybranych metod do obliczania wysokości opadu spływającego po pniach drzew (*Comparison of selected methods for calculation of stemflow volume*), Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Vol. 11, s. 25-33, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

Zarys treści: Ekosystemy leśne są ważnymi przejściowym elementem w systemie krążenia wód pomiędzy atmosferą i pedosferą. Do dna lasu opad atmosferyczny dociera w postaci opadu podokapowego i spływając po pniach, tworzy na nich „ścieżki” odprowadzenia strumieni wody do gleb. Przeprowadzone studia literaturowe wykazały znaczące różnice w wielkości opadu docierającego do gleb wraz ze spływem po pniach. W niniejszej pracy, wykorzystując trzy metody, porównano ilości wody spływające po pniach jodeł występujących w centralnej części Gór Świętokrzyskich.

Słowa kluczowe: spływ po pniach, metody pomiarowe, jodła (*Abies Alba Mill.*), Góry Świętokrzyskie.

Key words: stemflow, measuring methods, fir (*Abies Alba Mill.*), Świętokrzyskie Mountains.

Rafał Kozłowski, Małgorzata Anna Józwiak, Emilia Borowska, Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy Jana Kochanowskiego w Kielcach, Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska, 25-406 Kielce, ul. Świętokrzyska 15, e-mail: rafalka@ujk.edu.pl

1. Wprowadzenie

W zależności od gatunku drzewa odmiennie kształtuje się zarówno ilość, jak i jakość wód spływających po pniach drzew (Butler, Likens, 1995; Balazs, 1998; Kruszyk, 2001; Kozłowski, 2001). Udział spływu po pniach w ogólnym dopływie substancji chemicznych do dna lasu jest największy w drzewostanach liściastych, znacznie niższy, nieprzekraczający zazwyczaj 5%, w drzewostanach iglastych (Grodzińska, Laskowski, 1996). Zjawisko to należy niewątpliwie wiązać z budową korony (Aboal i wsp., 1999), wiekiem drzew, porą roku (Neal i wsp., 1993) oraz morfologią kory (Bredemeier, 1988). Pomimo notowanych niewielkich wartości, rola tego źródła jest niepoślednia – zasila bowiem system korzeniowy drzew w miejscach, gdzie opad podkoronowy jest najmniejszy (Olszewski, 1984, Klein, 1979).

Pomimo że wielu autorów marginalizuje znaczenie spływu po pniach drzew z uwagi na jego niewielkie wartości w porównaniu z opadem podkoronowym (Price i wsp., 1997; Marin i wsp., 2000), ten składnik ma bardzo istotne znaczenie hydrologiczne i biogeochemiczne w dopływie substancji w najbliższym sąsiedztwie pni drzew (Levia i Herwitz, 2000, Kruszyk 2001, Kozłowski 2002). Ponadto wielu autorów wykazuje, że wielkość spływu po pniach drzew, nawet w przypadku tego samego gatunku, różni się znacząco. Badania prowadzone na bukach (*Fagus sylvatica L.*) wykazały, że wartości te zmieniają się od 2–3,5% (Małek, Węzyk, 2000), 4,5% (Chang, 1999), 15,4% (Mitzner, 1988), 19,2% (Sah, 1990) do 20,5% opadu atmosferycznego (Kozłowski, 2002).

W przypadku drzew iglastych podawane w literaturze wartości również się różnią. Grodzińska i Laskowski (1996) za Likensem i wsp. (1977) wykazują,

że udział spływu po pniach drzew iglastych stanowi poniżej 5% opadu bezpośredniego. Według badań Kleina (1979), prowadzonych w Puszczy Niepołomickiej, spływ po pniu sosny (*Pinus sylvestris* L.) stanowi 2,52% opadu atmosferycznego. Zdrubecký (1964) w Czechach stwierdził spływ stanowiący 2,4%, a Balázs (1998) w Niemczech ok. 1% opadu atmosferycznego. Tang (1996) z kolei, prowadząc badania na *Pinus elliotii*, wykazał, że po pniach spływa od 0,9–10,4% opadu atmosferycznego. Tak znaczące różnice, wahające się do 6,6–15,7% opadu bezpośredniego stwierdzili również Taniguchi i wsp. (1996), prowadząc badania na sośnie w Japonii.

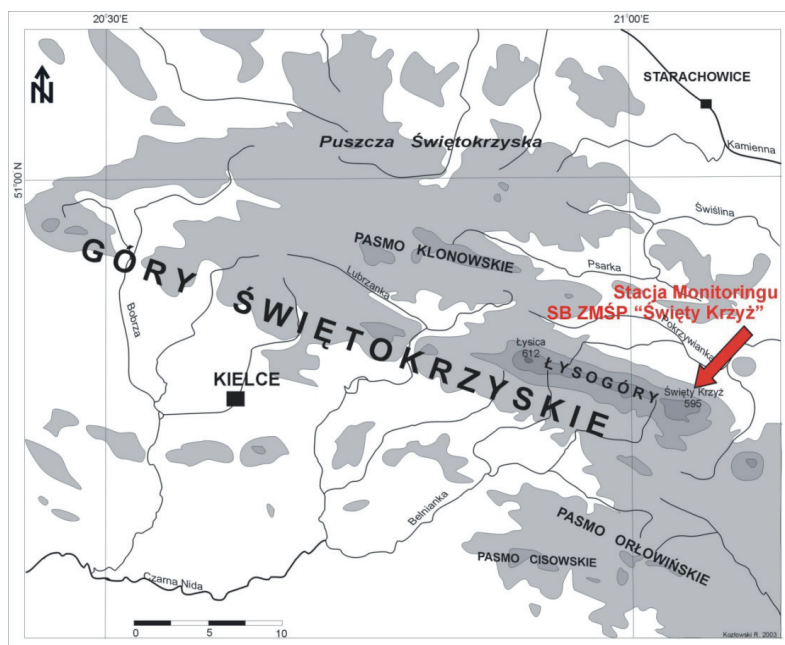
Przytoczone wartości wskazują na znaczące różnice w przypadku gatunków liściastych, jak i iglastych, które mogą wynikać z odmiennych metod przeliczania ilości wody spływającej po pniach na mm opadu bezpośredniego oraz pomiaru wielkości spływu na odmiennych pod względem wieku drzewach.

Celem niniejszego opracowania jest porównanie wybranych metod przeliczania objętości opadu spływającego po pniach jodeł (*Abies alba* Mill.) na mm opadu. Do badań wybrano dane za lata 2006–2009. Dane te pochodzą ze Stacji Monitoringu Katedry Ochrony i Kształtowania Środowiska Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego Jana Kochanowskiego w Kielcach.

2. Obszar badań

Badania ilości opadu spływającego po pniach prowadzono w centralnej części Gór Świętokrzyskich (ryc. 1) na terenie Stacji Monitoringu UJK (Stacja Bazowa Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Święty Krzyż). Stacja zlokalizowana jest na północnym stoku Łysej Góry, w ekosystemie leśnym lasu jodłowo-bukowego utożsamianego z górską formą zespołu buczyny karpackiej *Dentario glandulosae* Fagetum (Bróź, Kapuściński, 1990).

Indywidualizm termiczny, zdeterminowany przede wszystkim rzeźbą głównego masywu Łysogór, powoduje, że panujące tu warunki dużej wilgotności powietrza, wysokich na ogół sum rocznych opadów oraz stosunkowo długich okresów z małą prędkością wiatrów i ciszami atmosferycznymi stwarzają możliwość częstego i długotrwałego bezpośredniego oddziaływania zanieczyszczonych mas powietrza atmosferycznego na elementy hylo-, pedo- i hydrosfery. Według Olszewskiego (1992) szczytowe partie Łysogór otrzymują w roku średnio 800–850 mm. Opady te są znacznie wzbogacone dzięki osadom mgielnym, które dostarczają do ekosystemu leśnego dodatkowe ilości wody.



Ryc. 1. Lokalizacja powierzchni badawczej
Fig. 1. Location of study area

Tab. 1. Zestawienie wyników pomiarów terenowych
Tab. 1. Survey of field measurement results

Nr drzewa <i>Treesnumber</i>	Powierzchnia korony [m ²] <i>Tree top area</i>	Wysokość [m] <i>Height</i>	Obwód [cm] <i>Circuit</i>	Promień [m] <i>Radius</i>	Pole powierzchni bocznej – PPB [m ²] <i>Lateral area</i>
Jodła (<i>fir</i>)					
1	21,63	30,5	190,0	0,30	28,73
2	46,17	32,0	197,8	0,31	31,15
3	20,78	29,5	126,5	0,20	18,53
4	39,01	33,0	221,8	0,35	36,27
5	57,08	34,5	224,8	0,36	39,00

Średnia wartość wilgotności względnej powietrza wynosi 83,3%, z maksimum w listopadzie (91,8%) i minimum w maju (76,1%). Obszar ten ze względu na wyniesienie ok. 400 m ponad otaczające tereny znajduje się pod wpływem zarówno lokalnych, jak i zdalnych emisji przemysłowych i transportowych, szczególnie z kierunków dominujących wiatrów zachodnich oraz północno- i południowo-zachodnich (Jóźwiak, 2001).

3. Metody badań

Wodę spływającą po pniach drzew zbierano do pojemników o pojemności 60 l. W celu odprowadzenia całej ilości wody spływającej po pniach zastosowano zamontowane na wysokości pierśnicy gumowe pierścienie (fot. 1). Badania te realizowano na 5 jodłach o zróżnicowanym obwodzie pnia na wysokości pierśnicy, wahającym się od 127 do 225 cm. Do pomiarów pierśnicy wykorzystano średnicomierz. W trakcie badań terenowych wykonano również pomiary wysokości badanych drzew z odległości 20 m za pomocą wysokościomierza Blume-Leissa oraz rzutów koron na powierzchnię. Uzyskane dane zestawiono w tabeli 1.

3.1. Wybrane metody obliczania wysokości opadu spływającego po pniach drzew

W niniejszym opracowaniu dokonano porównania trzech metod do przeliczania ilości wody na mm opadu.

Metoda 1 oparta została na wytycznych monitoringu lasów w Europie (ICP-Forests) – Level II (Manual, 1999) oraz programu ZMŚP w Polsce i uwzględnia pola przekroju drzew, na których badany jest spływ oraz pola przekroju wszystkich drzew na poletku doświadczalnym. Metoda ta oparta jest na wzorze:



Fot. 1. Pomiar spływu po pniu jodły (fot. M. Szwed)
Photo 1. Stemflow measurement of fir-tree

$$A = S \cdot \frac{P_{wd}}{P_{bd}} \div P_p, \text{ gdzie:}$$

A – spływ w [mm] opadu,

S – spływ w [l] po pniu,

P_{wd} – powierzchnia (przekrój poprzeczny) w [m²] wszystkich drzew na poletku,

P_{bd} – powierzchnia (przekrój poprzeczny) w [m²] drzew, na których badany jest spływ,

P_p – powierzchnia poletka [m²].

Metoda 2 wymaga obliczenia powierzchni koron badanych drzew, które uzyskano na podstawie wykonanych w terenie pomiarów zasięgów koron.

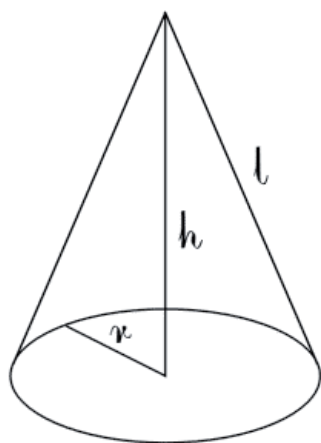
Metoda 3 traktuje drzewo jako geometryczną bryłę obrotową – stożek i wymaga wyznaczenia pola powierzchni bocznej pnia (ryc. 2) (Buchwald, 1995). Przy założeniu, że oś morfologiczna strzały stanowi linię prostą prostopadłą do podstawy drzewa, zaś przekroje poprzeczne są przekrojami kołowymi, można przyjąć, że strzała jest bryłą, która powstała z obrotu figury ograniczonej krzywą morfologiczną, osią morfologiczną i promieniem podstawy.

W metodzie zastosowano wzory:

$$S_b = \pi R l \quad \text{– pole powierzchni bocznej stożka,}$$

$$l = \sqrt{h^2 + R^2} \quad \text{– długość tworzącej stożka,}$$

$$S = \pi R^2 \quad \text{– pole koła.}$$



Ryc. 2. Schemat stożka prostego
Fig. 2. Diagram of a simple cone

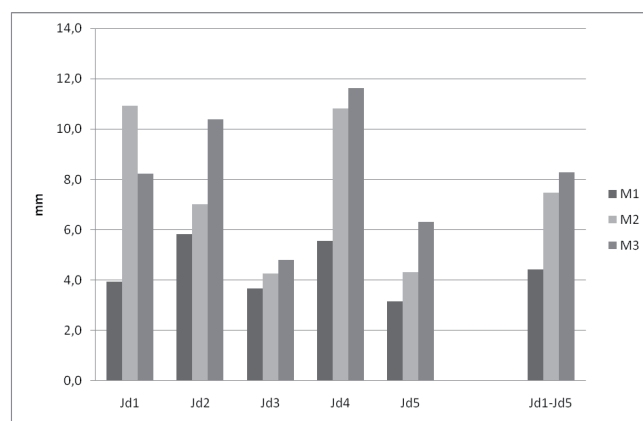
4. Wyniki badań

4.1. Porównanie analizowanych metod

W trakcie analizowanego okresu czterech lat hydrologicznych zanotowano opady atmosferyczne wahające się od 576,6 mm w roku 2006 do 835,2 mm w roku 2009. W analizowanym okresie średnioroczna suma spływu wyliczona z badanych drzew wahała się od 189,6 litra w roku 2006 do 338,1 litra w roku 2007. Najwięcej wody spłynęło po jodle nr 4, ze średnią czteroletnią wynoszącą 422 litry i wahaniami od 309,2 litra w roku 2006 do 602,7 litra w roku 2009. Najmniejszy spływ zanotowano z kolei po jodle nr 3 ze średnią czteroletnią wynoszącą jedynie 88,8 litra.

Przeprowadzona analiza z zastosowaniem trzech zaproponowanych metod wykazała, że po pniach drzew w analizowanym okresie spłynęło średnio od 4,4 mm w przypadku zastosowania metody 1, 7,5 mm w metodzie 2 do 8,3 mm w metodzie 3 (ryc. 3). Odnosząc te wartości do opadu atmosferycznego stanowią one kolejno 0,63%, 1,06% i 1,18%, wykazując znaczne zróżnicowanie między poszczególnymi latami, metodami oraz badanymi drzewami (tab. 2).

Można zatem stwierdzić, że uzyskane wartości pod względem statystycznym znacznie różnią się od siebie. Najwyższa wartość jest o 188,6% wyższa od wartości najniższej, otrzymanej w metodzie pierwszej. Jeżeli zatem przeliczymy te wartości np. na ładunek substancji wnoszony tą drogą do podłoża, możemy popełnić znaczny błąd obliczeniowy, zwłaszcza przy obliczaniu wysokości wody spływającej np. po pniach drzew liściastych.



Ryc. 3. Wysokości opadu spływającego po pniach drzew przy zastosowaniu zaproponowanych metod
Fig. 3. Stemflow volumes determined with the use of proposed methods

Przeprowadzona analiza wskazuje, że najbardziej zbliżone wyniki uzyskano między metodami 2 i 3. W metodzie 1, której wyniki najbardziej odbiegały od pozostałych, uwzględnia się wszystkie drzewa porastające analizowaną powierzchnię, również gatunki na których nieprzewodzone są badania wielkości spływu po pniach drzew. Obliczone w ten sposób pole przekroju drzew jest znacznie większe niż w przypadku tylko osobników badanych. Z kolei porównanie strzały jodły do bryły obrotowej – stożka, w metodzie 3 może okazać się zbyt dużym uproszczeniem, ponieważ takie założenie bierze pod uwagę przekroje poprzeczne jako przekroje kołowe. Może to w konsekwencji zaburzać uzyskiwane wyniki. Kolejnym problemem, na który

Tab. 2. Wyniki badań wielkości spływu po pniach drzew w latach 2006–2009

Tab. 2. Results of stemflow volume studies in the years 2006-2009

Rok <i>Year</i>	OA <i>Precipitation</i> [mm]	Spływ po pniach [litry] Stemflow [liters]	Metoda 1 <i>Method 1</i> [mm]	Metoda 2 <i>Method 2</i> [mm]	Metoda 3 <i>Method 3</i> [mm]	M1% OA	M2% OA	M3% OA
Jodła 1 <i>firtree1</i>								
2006	576,6	169,9	2,8	7,9	5,9	0,5	1,4	1,0
2007	684,1	321,1	5,3	14,8	11,2	0,8	2,2	1,6
2008	718,2	191,2	3,2	8,8	6,7	0,4	1,2	0,9
2009	835,2	263,6	4,4	12,2	9,2	0,5	1,5	1,1
Średnia 2006-2009 Mean 2006-2009	703,5	236,4	3,9	10,9	8,2	0,6	1,6	1,2
Jodła 2 <i>firtree2</i>								
2006	576,6	227,5	4,1	4,9	7,3	0,7	0,9	1,3
2007	684,1	422,0	7,6	9,1	13,5	1,1	1,3	2,0
2008	718,2	244,0	4,4	5,3	7,8	0,6	0,7	1,1
2009	835,2	400,4	7,2	8,7	12,8	0,9	1,0	1,5
Średnia 2006-2009 Mean 2006-2009	703,5	323,5	5,8	7,0	10,4	0,8	1,0	1,5
Jodła 3 <i>firtree 3</i>								
2006	576,6	96,6	4,0	4,7	5,2	0,7	0,8	0,9
2007	684,1	153,4	6,3	7,4	8,3	0,9	1,1	1,2
2008	718,2	62,1	2,6	3,0	3,4	0,4	0,4	0,5
2009	835,2	43,3	1,8	2,1	2,3	0,2	0,2	0,3
Średnia 2006-2009 Mean 2006-2009	703,5	88,8	3,7	4,3	4,8	0,5	0,6	0,7
Jodła 4 <i>firtree 4</i>								
2006	576,6	309,2	4,1	7,9	8,5	0,7	1,4	1,5
2007	684,1	439,8	5,8	11,3	12,1	0,8	1,6	1,8
2008	718,2	336,3	4,4	8,6	9,3	0,6	1,2	1,3
2009	835,2	602,7	8,0	15,4	16,6	1,0	1,8	2,0
Średnia 2006-2009 Mean 2006-2009	703,5	422,0	5,6	10,8	11,6	0,8	1,5	1,7
Jodła 5 <i>firtree 5</i>								
2006	576,6	131,2	1,6	2,2	3,2	0,3	0,4	0,5
2007	684,1	354,4	4,6	6,2	9,1	0,7	0,9	1,3
2008	718,2	178,1	2,3	3,1	4,6	0,3	0,4	0,6
2009	835,2	327,1	4,2	5,7	8,4	0,5	0,7	1,0
Średnia 2006-2009 Mean 2006-2009	703,5	247,7	3,2	4,3	6,3	0,4	0,6	0,9
Jodły 1–5 <i>firtrees 1-5</i>								
2006	576,6	186,9	3,3	5,5	6,0	0,57	0,95	1,04
2007	684,1	338,1	5,9	9,8	10,8	0,87	1,43	1,58
2008	718,2	202,3	3,4	5,8	6,3	0,47	0,80	0,88
2009	835,2	327,4	5,1	8,8	9,9	0,61	1,06	1,18
Średnia 2006-2009 Mean 2006-2009	703,5	263,7	4,4	7,5	8,3	0,63	1,06	1,18

należy zwrócić uwagę, jest powierzchnia kory jodły. Jodła ma w górnej i środkowej części pnia korę zazwyczaj gładką, białą- do srebrnoszarej. W dolnej części, niekiedy także w środkowej, jest nieregularnie splekana w prostokątne do kwadratowych płytek korowiny, natomiast w dolnej części pnia grubość korowiny rośnie (Kowalkowski i wsp., 2002). Stosowanie zatem tej metody przeliczeniowej wiązać się może z błędem niedoszacowania powierzchni pnia, a przez to zawyżaniem uzyskiwanych wyników.

W przypadku metody 2 uzyskiwane wartości bardziej ciążyą w kierunku metody 3. Niewątpliwie jej zaletą jest objęcie pomiarami jedynie drzew badanych. Nie bez znaczenia jest jej prostota obliczeń w terenie (powierzchnia koron) oraz w badaniach kameralnych. W porównaniu do pozostałych dwóch jest najmniej czasochłonna i pracochłonna. Można zatem przyjąć założenie, że jest obarczona mniejszym błędem obliczeniowym.

Porównując uzyskane wyniki poszczególnych drzew należy stwierdzić, że najbardziej zbliżone wartości spływu po pniach uzyskano dla jodły 3 (odchylenie standardowe 0,53). Drzewo to charakteryzuje się najniższymi zmierzonymi wartościami (tab. 1). Największe różnice odnotowano w przypadku jodły nr 1, gdzie odchylenie standardowe uzyskało wartość 3,5.

4.2. Czynniki wpływające na objętość opadu spływającego po pniach drzew

Każde zbiorowisko leśne wykazuje zdolność intercepcyjną, tzn. zdolność do zatrzymywania na powierzchniach organów asymilacyjnych, gałęziach i pniach części opadu atmosferycznego przenikającego do gruntu. Proces ten, zwany intercepcją, podlega w znacznym stopniu zróżnicowaniu w zależności od gatunku drzewa i może wynosić od 5 do 35%. Ważnym czynnikiem wpływającym na wielkość opadu atmosferycznego docierającego do podłoża jest kształt koron drzew, który decyduje o charakterze spływu wody po pniach. U jodły gałęzie są opuszczone, korona stożkowata, co powoduje rozpraszanie wody przenikającej przez koronę do pnia. Z kolei warunkiem rozpoczęcia spływu po pniu drzewa jest nasycenie się jego kory wodą. U jodły kora charakteryzuje się zróżnicowaną morfologią, co powoduje, że duża ilość wody pochodzącej z opadów idzie na jej zwilżenie.

Wiek drzewa i związany z nim obwód pnia stanowi ważny czynnik różnicujący ilość wody docierającej do powierzchni gleby. Średni obwód pni jodeł na Świętym Krzyżu wynosi 192,2 cm z wahaniami od 126,5 cm do 224,8 cm. Drzewa najstarsze wykazują

większe powierzchnie chwytne, a okazalsze, znacznie rozbudowane korony dostarczają znaczącą ilość wody do pnia drzewa. Zależności te znane z literatury (Kozłowski, 2002) mają postać funkcji potęgowej i dotyczą zarówno gatunków iglastych, jak i liściastych. Wraz ze wzrostem obwodu zwiększa się ilość wody spływającej po pniu drzewa (ryc. 4).

Spośród wszystkich mierzonych parametrów cecha ta odznacza się największym współczynnikiem regresji wynoszącym 0,845. Niższe wartości uzyskano porównując objętość wody spływającej po pniach z polem powierzchni bocznej (ryc. 5), wysokością (ryc. 6) i powierzchnią koron drzew (ryc. 7). Uzyskane wartości regresji wahają się od 0,403 do 0,773.

5. Podsumowanie

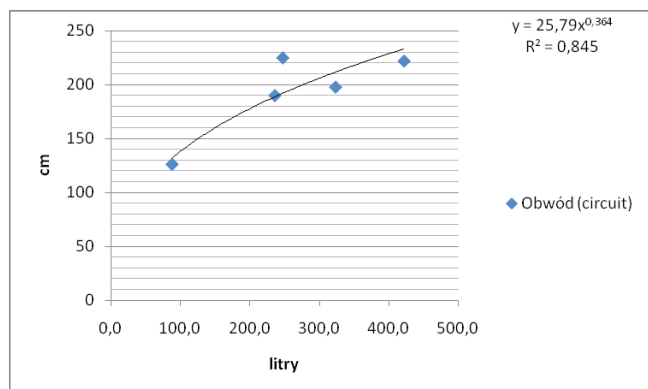
Przeprowadzona analiza wyników wielkości opadu atmosferycznego spływającego po pniach jodły przy zastosowaniu wybranych metod przeliczania objętości opadu spływającego po pniach jodeł (*Abies alba* Mill.) na mm opadu pozwoliła ustalić, że najbardziej zbliżone wyniki można uzyskać w metodzie wykorzystującej obliczenia powierzchni koron badanych drzew i w metodzie wykorzystującej wyznaczanie pola powierzchni bocznej pnia.

Metoda wymagająca obliczenia powierzchni rzutu korony bierze pod uwagę tylko drzewa badane, przez co jest obarczona mniejszym błędem obliczeniowym. Z kolei metoda wykorzystująca porównanie strzały jodły do bryły obrotowej może powodować wzrost wartości opadu z uwagi na niedoszacowanie zróżnicowanej powierzchni pnia jodły.

Różnice w ilości wody docierającej po pniach do gleb w lesie są konsekwencją zróżnicowania cech biometrycznych, głównie obwodu pni drzew. Spośród wszystkich mierzonych parametrów cecha ta odznacza się największym współczynnikiem regresji.

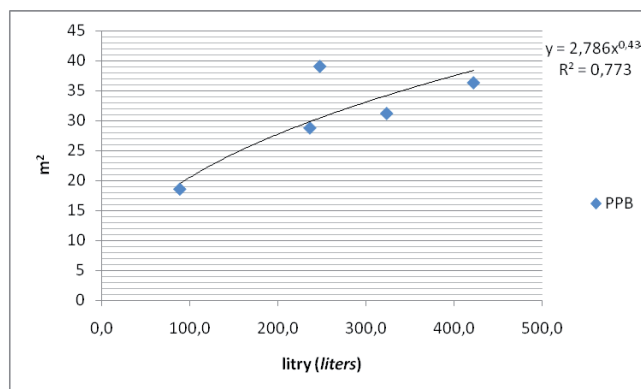
Poza cechami samego drzewa (obwód, wysokość, powierzchnia korony, morfologia pnia) na wielkość opadów docierających do podłoża mają wpływ takie czynniki, jak: suma opadów, temperatura i wilgotność względna powietrza oraz prędkość wiatru.

Pracę zrealizowano w ramach projektu badawczego nr NN 305 3622 33 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2007–2010.



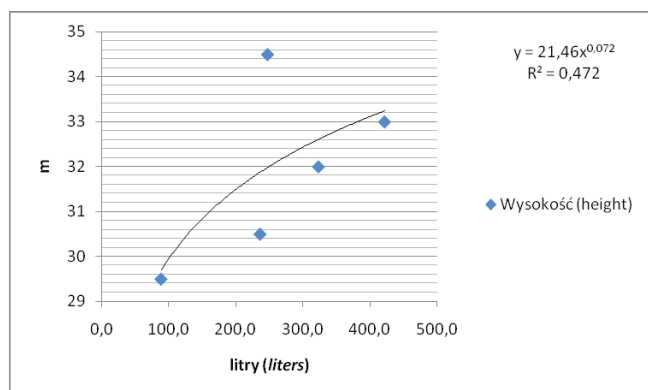
Ryc. 4. Wykres zależności pomiędzy obwodem pni drzew a objętością wody spływającej po pniach jodeł

Fig. 4. Dependency chart for tree-trunk circumference and water volume coming down fir-tree trunks



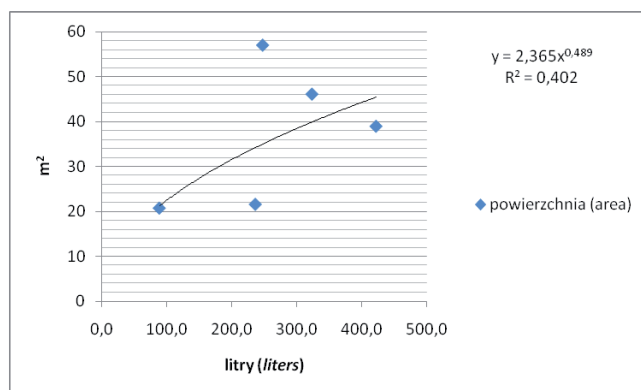
Ryc. 5. Wykres zależności pomiędzy polem powierzchni bocznej pni drzew a objętością wody spływającej po pniach jodeł

Fig. 5. Dependency chart for tree-trunk lateral area and water volume coming down fir-tree trunks



Ryc. 6. Wykres zależności pomiędzy wysokością drzew a objętością wody spływającej po pniach jodeł

Fig. 6. Dependency chart for tree height and water volume coming down fir-tree trunks



Ryc. 7. Wykres zależności pomiędzy powierzchnią koron drzew a objętością wody spływającej po pniach jodeł

Fig. 7. Dependency chart for tree crown area and water volume coming down fir-tree trunks

6. Literatura

- Aboal J.R., Morales D., Herná'ndez M., Jime'nez M.S., 1999: *The measurement and modelling of the variation of stemflow in laurel forest in Tenerife, Canary Islands*. J. Hydrol. 221: 161–175.
- Bálazs Á., 1998: *14 Jahre Niederschlagsdeposition in Hessischen Waldgebieten*, Hann, Münden: 129.
- Bredemeier M., 1988: *Forest canopy transformation of atmospheric deposition*, Water, Air and Soil Pollution, 40: 121–138.
- Bruchwald A., 1995: *Dendrometria*, Wyd. SGGW, Warszawa.
- Bróz E., Kapuściński R., 1990: *Chronione i zagrożone gatunki roślin naczyniowych Świętokrzyskiego Parku Narodowego oraz projektowanego Zespo-*

łu Parków Krajobrazowych Gór Świętokrzyskich, Rocznik Świętokrzyski 17, Warszawa–Kraków: 107–133.

- Butler T.J., Likens G.E., 1995: *A direct comparison of throughfall plus stemflow to estimates of dry and total deposition for sulfur and nitrogen*, Atmos. Environ. 29 (11): 1253–1265.
- Chang S.C., 1999: *The effect of stemflow on element fluxes and soil nitrogen transformations in a mixed beech/oak stand in the Steigerwald, Germany*, Bayreuther Forum Ökologie, Band 72.
- Grodzińska K., Laskowski R., (red.), 1996: *Ocena stanu środowiska i procesów zachodzących w lasach zlewni potoku Ratanica (Pogórze Wielickie, Polska południowa)*, PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, ss. 143.

- Klein J., 1979:** *Przenikanie opadów atmosferycznych do dla lasu grądowego Tilio-Carpinetum w północnej części Puszczy Niepołomickiej*, Fragmenta Floristica Et Geobotanica XXV: 563–578.
- Józwiak M., 2001:** *Funkcjonowanie wybranego geosystemu w Górach Świętokrzyskich w warunkach kwaśnej imisji*, Przegląd Geologiczny 49, 9: 775–779.
- Kowalkowski A., Józwiak M., Kozłowski R., 2002:** *Metoda badania wpływu wód opadowych na właściwości gleb leśnych*, Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego 3/02, KTN, Kielce: 45–51.
- Kozłowski R., 2001:** *Dopływ składników mineralnych z opadem atmosferycznym do dna lasu na Stacji Bazowej ZMŚP Święty Krzyż (Góry Świętokrzyskie)*, W: M. Józwiak, A. Kowalkowski (red.), ZMŚP Funkcjonowanie i monitoring geosystemów z uwzględnieniem zanieczyszczeń powietrza, PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Kielce: 207–218.
- Kozłowski R., 2002:** *Zróżnicowanie wielkości i jakości spływu wód opadowych po pniach drzew w wybranych ekosystemach leśnych w Górach Świętokrzyskich*, Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego 3/02, KTN, Kielce: 95–102.
- 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.
- Levia D.F. Jr., Herwitz S.R., 2000:** *Physical properties of water in relation to stemflow leachate dynamics: implications for nutrient cycling*. Can. J. For. Res. 30: 662–666.
- Likens G.E., Bormann F.H., Pierce R.S., Eaton J.S., Johnson N.M., 1977:** *Biogeochemistry of a forested ecosystem*, Springer-Verlag, New York–Heidelberg–Berlin, 146.
- 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: Małek St., Wężyk P. (red.), Monitoring procesów zachodzących w drzewostanach bukowych, w zmieniających się warunkach środowiska przyrodniczego, na przykładzie Ojcowskiego Parku Narodowego i Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Krynicy, Kraków–Nowy Sącz: 69–86.
- Manual 1999:** *Manual on methods and criteria for harmonized, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest, Measurements of Deposition and Air Pollution*, United Nations Economic Commission For Europe, Part VI.
- Marin C.T., Bouten W., Sevink J., 2000:** *Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia*. J. Hydrol. 237: 40–57.
- Matzner E., 1988:** *Acidic precipitation: case study Solling*, In: Adriano D.C., Havas M. (eds.): *Acidic precipitation*, Vol. 1, Case studies, Springer Verlag, New York: 39–82.
- Neal C., Robson A.J., Bhardwaj C.L., Conway T., Jeffery H.A., Neal M., Ryland G.P., Smith C.J., Walls J., 1993:** *Relationships between precipitation, stemflow, and throughfall for a lowland beech plantation, Black Wood, Hampshire, southern England: findings on interception at a forest edge and the effects of storm damage*. J. Hydrol. 146: 221–233.
- Olszewski J.L., 1984:** *Intercepcja i jej wpływ na wysokość opadów atmosferycznych docierających do powierzchni gruntu w lesie*, W: B. Dobrzański (red.), *Metody oceny ilości wody z opadów docierających do powierzchni gruntu*, Zeszyty Problematyczne Postępów Nauk Rolniczych 288, Wydział Nauk Rolniczych i Leśnych PAN, PWN, Warszawa: 245–268.
- Olszewski J.L., 1992:** *Indywidualizm klimatyczny Gór Świętokrzyskich*, Rocznik Świętokrzyski 19, KTN, Kielce: 153–165.
- Price A.G., Dunham K., Carleton T., Band L., 1997:** *Variability of water fluxes through the black spruce (Picea mariana) canopy and feather moss (Pleurozium schreberi) carpet in the boreal forest of northern Manitoba*. J. Hydrol. 196: 310–323.
- Sah S.P., 1990:** *Vergleich des Stoffhaushaltes zweier Buchenwaldökosysteme auf Kalkgestein und auf Buntsandstein*. Berichte des Forschungszentrums-Waldökosysteme/Waldsterben d. Univ. Göttingen, Reihe A, Bd. 59.
- Tang C., 1996:** *Interception and recharge processes beneath a Pinus elliotii forest*. Hydrol. Process. 10: 1427–1434.

- Taniguchi, M., Tsujimura, M., Tanaka, T., 1996:** *Significance of stemflow in groundwater recharge. I: evaluation of the stemflow contribution to recharge using a mass balance approach.* Hydrol. Process. 10: 71–80.
- Zdrubecký J., 1964:** *Výzkumintercepcelesních dřevin,* Vodohospod. Časopis 12 (3): 278–302.

COMPARISON OF SELECTED METHODS FOR CALCULATION OF STEMFLOW VOLUME

Summary

Forest ecosystems are a significant chain element in the water circulation system between the atmosphere and the pedosphere. The forest bottom is reached by atmospheric precipitation in the forms of throughfall and stemflow. The conducted result analysis of the atmospheric precipitation flowing down fir-tree trunks, with the use of selected methods for the conversion of precipitation volume flowing down fir-tree (*Abies alba*

Mill.) trunks into mm of precipitation has enabled the conclusion that the most similar results may be obtained with the method which relies on the calculation of crown area of the studied trees and the method which relies on the determination of the trunk lateral area.

The method which requires the calculation of the crown projection area includes only the studied trees which results in a smaller calculation error. However, the method which relies on the comparison of the fir-tree arrow trunk to a solid of revolution may show an increase in precipitation volume due to underestimation of the diversified area of the fir-tree trunk.

Differences in water amounts reaching the forest soil along tree trunks are a consequence of diversification of biometric properties, mainly the tree trunk circumference. Among all the measured parameters, this property is characterised by the highest regression coefficient. Apart from the features of the tree itself (circumference, height, crown area or trunk morphology), stemflow volume reaching the substratum is affected by factors such as precipitation total, air temperature, relative humidity and wind velocity.