



TERENOWY POMIAR OPADU DESZCZU POD KORONĄ POJEDYNCZEGO DRZEWA

Anna Klamerus-Iwan, Wiktor Szymański
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

FIELD PRECIPITATION MEASUREMENT UNDER SINGLE TREE CANOPY

Streszczenie

Proces przenikania wody opadowej z atmosfery do pedosfery składa się z wielu przejściowych elementów. Jednym z nich jest ekosystem leśny. Zróżnicowanie ilości wody docierającej do dna lasu zależy przede wszystkim od wielkości i budowy koron drzew ale także od odległości od pnia. Zdolność do czasowego zatrzymania wody opadowej to proces intercepcji. W warunkach polowych pomiar intercepcji jest ze względu na trudności metodyczne i techniczno – organizacyjne, zadaniem trudnym do wykonania.

Celem prezentowanych badań było skonstruowanie aparatury do pomiaru ilości wody docierającej pod korony drzew, precyzyjna kalibracja i testowanie przyjętej metodyki. Szesnaście urządzeń pomiarowych ustawiono pod koroną każdego analizowanego drzewa, siedemnaście urządzeń zostało zmodyfikowane do badania spływu wody opadowej po pniu a osiemnaste mierzyło opad poza drzewostanem. Przyrosty opadu zapisywano w określonych krokach czasowych co w rezultacie dawało przestrzenno czasowy obraz pojemności wodnej koron drzew. Do realizacji tego etapu wykonano deszczomierze zawierające zbiorniczek przelewowy. Rejestrator zliczał liczbę przechyleń skalibrowanego zbiorniczka i na tej podstawie określono objętości (wysokość) opadu w czasie. Jednocześnie doświadczenie celowo przeprowadzono pod koroną pojedynczego drzewa. Taki zabieg będzie pozwalał w przyszłości na komputerowe

modelowanie wyników w zależności od zadanego zwarcia. Efektem wykonanych pomiarów jest graficzna interpolacja danych przestrzennych.

Badania zrealizowano na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Krynicy Zdroju (Południowa Polska). Do badań wybrano drzewo z prawidłowo rozwiniętą koroną. W przyszłości planowane jest wykorzystanie wytworzonej aparatury i rozszerzenie badań na powierzchnie zawierające zbiorowiska leśne.

Słowa kluczowe: intercepcja, deszczomierze, geostatystyka, pojemność wodna koron drzew, jodła pospolita

Abstract

The process of penetration of rainwater from the atmosphere into the pedosphere consists of a multitude of transitional elements. One of them is the forest ecosystem. Variation in the amounts of water reaching the forest floor depends primarily on the size and construction of tree crowns (canopies), but also on the distance from the trunk. The ability to temporarily catch the rainwater is called interception. In the field, measurement of the interception, due to the methodological and technical complication is a difficult task to perform.

The aim of the present study was to construct an apparatus for measuring the amount of water reaching under the crowns of trees, precise calibration and testing accuracy of methodology. 16 measuring devices were set under the crown of each of the trees included in the study, the 1th apparatus was modified to test the rainwater runoff on the trunk, while the 18th measured rainfall outside the beech stand. Increases in precipitation were recorded at certain intervals, which in turn provided a spatial-temporal image of the water storage capacity of tree canopies. For the realization of this stage, rain gauges containing overflow cylinders were prepared. The counter counted the number of tilts of the calibrated cylinder, and on this basis the volume (amount) of precipitation during a given time interval was determined. Once, the test was intentionally carried out under the canopy of a single tree. This treatment will allow in the future for computer modeling of the results, depending on the desired leaf canopy size. The result of measurement work carried out is a graphical interpolation of the spatial data.

The study was carried out in Experimental Forests of University of Agriculture in Krynica Zdrój (southern Poland). For the study, the tree with well-developed canopy were selected. In the future,

it is planned to use the equipment manufactured as part of the present study and extend the study to cover other forest tree species.

Key words: *interception, rain gauge, geostatistics, crown water storage capacity, European silver fir*

WSTĘP

Ilość wody zatrzymanej przez korony drzewa w oczywisty sposób pomniejsza ilość wody docierającą do dna lasu. W bilansie wodnym ekosystemu leśnego pojemność wodna roślin stanowi składową równania dla fazy zasilania (Czarnowski i Olszewski 1978, Suliński 1993, Olejnik i in. 2014). Ilość wody zatrzymanej na powierzchni drzew pomniejsza przyrost zapasu wody w glebie, dlatego istotne jest wypracowanie skutecznej metodyki pomiaru tych wartości zarówno w ujęciu przestrzennym jak i czasowym. Ze względu na trudności metodyczne i techniczno – organizacyjne nie jest to zadanie łatwe wykonania (Kosowska – Cezak i in. 2000). Do udanych prób w tym zakresie należy zaliczyć badania różnych autorów (Kowalkowski i in. 2002, Toba i Ohta 2005, Pypker i in. 2005, Olejnik i in 2015)

Wysokość opadu podkoronowego zmienia się zarówno w wymiarze przestrzennym jak i czasowym. Jak dotąd metody geostatystyczne przedstawiały przestrzenne zmienności parametrów fizyko-chemicznych gleb czy klimatu (Urowicz i in. 2004), rzadziej zaś oceny przestrzenno-czasowego wahania ilości wody docierającej do dna lasu. Takie ujęcie jest istotne dla lepszego zrozumienia natury zjawiska intercepcji.

Celem prezentowanych badań było skonstruowanie aparatury do pomiaru ilości wody docierającej w różne miejsca pod korony drzew. Przyrosty opadu zapisywano w określonych krokach czasowych co w rezultacie dawało przestrzenno-czasowy obraz pojemności wodnej koron drzew. Aby mówić właśnie o przestrzenno – czasowej zmienności, istotną kwestią było uzyskiwanie stabilnych odczytów jednocześnie ze wszystkich deszczomierzy.

Do realizacji celu badań wykonano deszczomierze zawierające zbiorniczek przelewowy wraz z rejestratorem zliczającym liczbę przechyleń skalibrowanego zbiornika. Na tej podstawie określono objętość (wysokość) opadu.

Celem dodatkowym była weryfikacja i ocena uzyskiwanych danych oraz testowanie dalszej procedury postępowania.

METODYKA

W celu pomiaru ilości wody opadowej docierającej do strefy podkoronowej zaprojektowano doświadczenie badawcze. Jego celem było wykonanie szesnastu punktowych pomiarów wysokości opadu pod koroną wybranego drzewa w trakcie wystąpienia opadu.

Rozłożenie punktów pomiarowych testowane było w 2 wariantach: promieniście w głównych kierunkach geograficznych oraz w regularnej siatce kwadratów. Ze względu na planowane użycie danych do analiz przestrzennych, po wstępnych próbach obu wariantów zdecydowano się na ustawienie deszczomierzy w siatce kwadratów. Uzyskiwany obraz czytelniej oddawał możliwe relacje ilości wody docierające do dna lasu i budowę korony.

Dwa dodatkowe deszczomierze wykorzystano do zmierzenia spływu wody opadowej po pniu drzewa oraz do pomierzenia wysokości opadu poza drzewostanem. Przeprowadzenie doświadczenia w punktach pomiarowych zostało wykonane przy pomocy deszczomierzy otwartych, nie gromadzących wody opadowej. Zestaw osiemnastu urządzeń został zbudowany i skalibrowany specjalnie dla celów tego badania a w przyszłości pozwoli na prowadzenie dalszych doświadczeń.



Rysunek 1. Deszczomierz typu „tipping bucket” z mechanizmem przechyłowo wywrotowy zamontowany w korpusie deszczomierza (Fot. Szymański W.)

Figure 1. The rain gauge of „tipping bucket” with a subversive tilting mechanism mounted on the body of the rain gauge . (Photo. Szymanski W.)

Do badań użyto deszczomierzy o mechanizmie korytkowo-wywrotowym (ang. tipping bucket rain gauge) wyposażonych w elektroniczny system zlicza-

nia przelewów. Jako obudowę do deszczomierzy wykorzystano trójnik PCV 110 stosowany w budownictwie wodnym. Materiał PCV, z którego jest wykonany gwarantuje wytrzymałość konstrukcji. (Rysunek. 1).

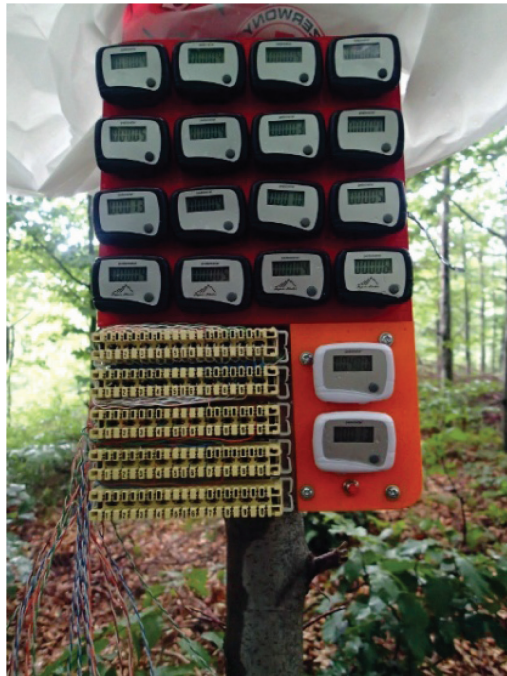
Jednokomorowy zbiorniczek wykonano z plastikowej łyżki stołowej. Odcięto nadmiar trzonka uchwyty w taki sposób aby całość pozostałego elementu mieściła się w poprzek przewodu obudowy.

Zwrócono również uwagę na umieszczenie stałego punktu obrotu poprzez wklejenie niewielkiej rurki prostopadle do trzonka zbiorniczka jako miejsce przejścia osi obrotu przelewu. Jako przeciwwagę dla zbiorniczka ze zgromadzoną wodą opadową wykorzystano magnes ferrytowy średnicy 8mm i długości 20 mm, który niezbędny jest do mechanizmu zliczania zdarzeń przelewów. W części elektronicznej deszczomierza tj. w systemie zliczania jako medium przenoszące mechaniczny ruch zbiorniczka na sygnał zwarcia układu, posłużył kontaktron.

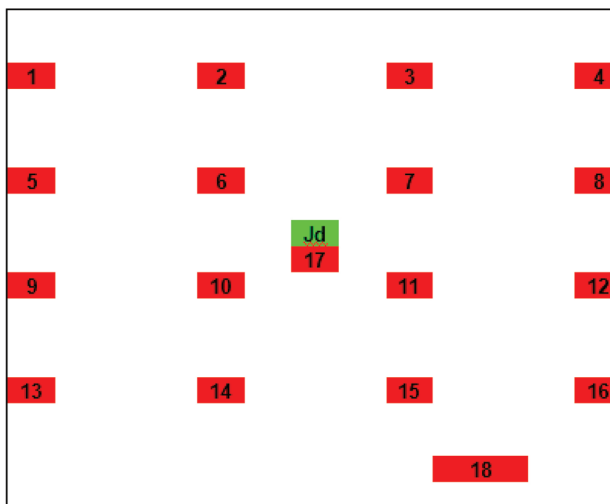
Po przyłożeniu pola magnetycznego znany stan kontaktronu zmienia się na przeciwny co oznacza, że blaszki w stanie zwartym się rozwierają, a rozwarne stykają się powodując zwarcie. Zastosowanie tego elementu elektronicznego jako czujnika stanu zbiorniczka umożliwiło wyeliminowanie stosowania napięcia do zliczania przelewów. Czujnik zamontowany w miejscu spoczynku zbiorniczka pozostaje pod stałym wpływem pola magnetycznego przeciwwagi. W momencie przelewu zbiorniczek opada pod ciężarem wody przeważając przeciwwagę, która unosi się do góry oddalając pole magnetyczne od czujnika. Ten zmienia stan zwarcia. Gdy zbiorniczek wraca do spoczynku czujnik zmienia swój stan na pierwotny dla tego układu. Do zliczania zmian wyżej opisanych stanów czujnika położenia zbiorniczka wykorzystano krokomierz. Każda pełnocyklowa zmiana stanu zwarcia kontaktronu, powoduje w układzie krokomierza dodanie „+1” do wyniku wyświetlanego na wyświetlaczu segmentowym tego urządzenia (Rysunek. 2.).

Po wykonaniu wszystkich deszczomierzy przeprowadzono kalibrację. Każde urządzenie zostało poddane próbie pomierzenia określonej wagi ilości wody (Tabela.1). Waga wody podzielona przez ilość zdarzeń przelewów dała pojemność jednego przelewu. Następnie deszczomierze zostały umiejscowione w drzewostanie pod koroną według wcześniej opisanego schematu (Rys.3). Po podłączeniu wszystkich czujników do liczników impulsów oraz nałożeniu lejków nad światło zbiorniczka przelewowego cały zestaw był gotowy do pomiarów. W momencie odczytu pomiarów zostało wykonane zdjęcie panelu z wszystkim licznikami impulsów.

Do analizy geostatystycznej wykorzystano program Statistica 10. Każdemu deszczomierzowi przypisano współrzędne w układzie X i Y a wysokość opadu oznaczono jako Z.



Rysunek 2. Panel sterujący do zestawu pomiarowego. (Fot. Szymański W.)
Figure 2. The control panel of the measurement set. (Fig. Szymanski W.)



Rysunek 3.. Rozmieszczenie deszczomierzy pod koroną testowego drzewa
Figure 3. Distribution of the rain gauges under the crown of the tested tree.

WYNIKI I ANALIZA BADAŃ

Badania mają w znacznej części charakter metodyczny. Główne założenia badawcze skonfrontowano z wynikami badań intercepcji zaczerpniętymi z piśmiennictwa. Przyjęte rozwiązania konstrukcyjne stanowiska pomiarowego mają charakter autorski, dlatego wykonano szereg badań wstępnych mających na celu doprecyzowanie sposobu przeprowadzenia pomiarów. Odpowiednia kalibracja była warunkiem uzyskania porównywalnych wyników.

W wyniku kalibracji, w warunkach laboratoryjnych, każdego urządzenia otrzymano współczynniki do obliczania ilości wody docierającej do dna lasu (Tabela 1).

Tabela 1. Zestawienie danych po testowym ważeniu wody zbieranej przez deszczomierze oraz współczynników do dalszych obliczeń.

Table 1. Summary of test data after weighing the water consumed by rain gauge and coefficients for further calculations.

nr kolektora		ilość dawek opadu symulowanego deszczu								m sj [g]
		25	50	75	100	125	150	175	200	
1	m [g]	65,3	125,7	200,2	284,7	366,6	449,5	525,7	603,7	3,187
	m jed [g]	2,612	2,416	2,98	3,38	3,276	3,316	3,048	3,12	
2	m [g]	72,5	157,4	240,9	324,8	411,7	494,6	576,7	659,9	3,3
	m jed [g]	2,9	3,396	3,34	3,356	3,476	3,316	3,284	3,328	
3	m [g]	84,9	76,5	152,6	229,4	304,7	382,4	460,1	536,5	3,107
	m jed [g]	3,396	3,06	3,044	3,072	3,012	3,108	3,108	3,056	
4	m [g]	79,1	164,5	253,7	342,8	430,3	506,3	591,3	677,2	3,435
	m jed [g]	3,164	3,416	3,568	3,564	3,5	3,375	3,4	3,436	
5	m [g]	91,8	184,2	278,8	373,5	466	556,1	649,2	740,5	3,703
	m jed [g]	3,672	3,696	3,784	3,788	3,7	3,604	3,724	3,652	
6	m [g]	71,7	147,2	222,4	297,5	373,4	451,1	527,9	-	3,017
	m jed [g]	2,868	3,02	3,008	3,004	3,036	3,108	3,072	-	
7	m [g]	61,1	129,7	61,8	121,5	183,1	241,4	307,5	365,1	2,474
	m jed [g]	2,444	2,744	2,472	2,388	2,464	2,332	2,644	2,304	
8	m [g]	152,3	252,5	372,1	112,7	208	301,5	394,5	492,3	3,796
	m jed [g]	4,092	4,008	4,784	4,508	3,812	3,74	3,72	3,912	
9	m [g]	79,8	156,8	232,7	308,1	381	461,2	543,3	625,4	3,127
	m jed [g]	3,192	3,08	3,036	3,016	2,916	3,208	3,284	3,284	

nr kolektora		ilość dawek opadu symulowanego deszczu								m sj [g]
		25	50	75	100	125	150	175	200	
10	m [g]	89,5	177,8	264,8	353,9	83,5	177,1	269,4	362,1	3,58
	m jed [g]	3,58	3,532	3,48	3,564	3,34	3,744	3,692	3,708	
11	m [g]	77,2	129,6	191,5	254,4	313,5	373,1	431,7	490,7	2,431
	m jed [g]	2,573	2,592	2,476	2,516	2,364	2,384	2,344	2,36	
12	m [g]	144,8	288,9	431,4	574,6	718	-	-	-	5,721
	m jed [g]	5,792	5,764	5,7	5,728	5,736	-	-	-	
13	m [g]	99,5	127,55	228,4	341,3	452,6	504,2	572,7	679,5	3,330
	m jed [g]	3,98	2,551	3,045	3,413	3,621	3,361	3,273	3,398	
14	m [g]	80,3	165,1	252,6	340	427,2	511,5	596,4	684,1	3,421
	m jed [g]	3,212	3,392	3,5	3,496	3,488	3,372	3,396	3,508	
15	m [g]	98,2	195,24	222,4	339,1	398,55	457,82	-	-	3,405
	m jed [g]	3,928	3,905	2,965	3,391	3,188	3,052	-	-	
16	m [g]	107,2	170,9	214,6	316,8	399,56	-	-	-	3,386
	m jed [g]	4,288	3,418	2,861	3,168	3,196	-	-	-	
17	m [g]	89,145	125,8	254,2	304,7	419,7	494,7	507,88	589	3,128
	m jed [g]	3,566	2,516	3,389	3,047	3,358	3,298	2,902	2,945	
18	m [g]	84,9	153,2	249,87	298,9	386,95	448,99	527,95	607,6	3,116
	m jed [g]	3,396	3,064	3,332	2,989	3,096	2,993	3,017	3,038	

m [g] – masa wody po kolejnych symulacjach opadu

m jed [g] – masa wody w przeliczeniu na jedno przechylenie zbiorniczka

m sj [g] – średnia masa wody dla jednego przechylenia zbiorniczka dla danego deszczomierza

m [g] – mass of water after subsequent precipitation

m jed [g] – weight of water based on one tilting container

m sj [g] – the average weight of water for one tank tipping for the rain gauge

Badania wykonano na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Krynicy Zdroju (20°57'14''N; 49°23'56''E; 680m.npm.)

Deszczomierze ustawiono pod jodłą pospolitą. Było to drzewo o charakterystycznym stożkowym pokroju, dla którego dało się wyselekcjonować koronę niestykającą się i nie zachodzącą na inne. Badane drzewo miało 17cm pierśnicy i 10m wysokości. Długość korony drzewa wynosiła 8,5m. Rozpiętość korony zmierzona w czterech głównych kierunkach wynosiła: N 3,5m; S 4,0m; E 3,5 i W 3,5m.

Wszystkie wartości ilości zgromadzonej wody podano w milimetrach warstwy wody. Otrzymano je dzieląc masę wody przez powierzchnię wyłapującą wodę (powierzchnia lejka). Na etap testowania deszczomierzy składało się 19 pełnych cykli pomiarowych różniących się natężeniem. Charakterystykę zarejestrowanych opadów przedstawia tabela 2.

Tabela.2. Charakterystyka zarejestrowanych opadów deszczu
Table.2. Characteristics of registered rainfall

Przedział natężeń	1-3 mm/h	4-6 mm/h	7-9 mm/h	10-15 mm/h
Ilość deszczu	4	7	6	2
Średnie natężenie [mm/h]	2,15	4,95	8,20	12,00

Ilościowym wskaźnikiem koncentracji wody wokół pnia drzewa jest tzw. funelling ratio (FR), będący stosunkiem wysokości opadu w przeliczeniu na przekrój poprzeczny pnia do opadu na terenie otwartym (Kruszczyk 2001).

Przykładowe zestawienie ilości wody spływającej po pniu rejestrowanej równoległe z opadem poza koroną drzewa przedstawia tabela 3.

Tabela.3. Charakterystyka ilości wody spływającej po pniu w czasie trwania pomiarów
 (b.o – brak odczytu)

Table.3. Characteristics of the amount of water flowing down by the trunk during measurements (b.o. – no reading)

czas pomiaru [min]		z7	z20	z30	z40	z50	z60	z80	z100
pomiar I	spływ po pniu [mm]	0,00	0,00	1,10	1,35	1,87	1,12	b.o	b.o
	Opad poza lasem [mm]	2,10	3,36	4,14	4,16	4,65	4,88	b.o	b.o
pomiar II	spływ po pniu [mm]	0,00	2,12	2,32	2,25	2,58	2,64	2,44	2,50
	Opad poza lasem [mm]	5,55	5,83	6,34	6,66	5,69	6,82	6,79	6,23

Dysproporcje w wielkości wody docierającej do dna lasu po pniach drzew w stosunku do ilości wody rejestrowanych w pozostałych deszczomierzach są procentowo zgodne z uzyskiwanymi przez innych badaczy tego zjawiska (Kozłowski i in. 2010).

W warunkach opisywanych badań wyodrębnienie i opisanie charakterystyki pojedynczego deszczu dawały odczyty z deszczomierza umieszczonego poza koroną badanego drzewa. Zapis trwał do zakończenia opadu deszczu. Możemy mówić o uzyskanych wartościach aktualnych – zmierzonych z określonym krokiem czasowym. Zestawiając tabelarycznie uzyskane wartości ilości wody docierającej do dna lasu (Przykład tab.4.) uzyskujemy bazę danych do dalszych analiz. Znając położenie każdego deszczomierza w siatce kwadratów pod badanym drzewem jesteśmy w stanie ustalić ich współrzędne do dalszych analiz w programie Statistica.

Odczyty ilości wody jakie dotarły do deszczomierzy wykonywane były z określonymi skokami czasowymi: w 7, 20,30,40,50 minucie trwania deszczu

i tak dalej co 10 min aż do zakończenia opadu deszczu (chyba, że wcześniej poza okapem drzewostanu zarejestrowano zakończenie opadu).

Analizując ilości wody docierające do dna lasu w funkcji czasu trwania deszczu możemy uzyskać krzywe charakteryzujące proces napełniania się korony drzewa, zwanej zbiornikiem intercepcyjnym.

W dowolnym miejscu krzywej można odczytać wysokość ilości wody jaka dotarła do dna lasu w każdej minucie trwania deszczu. Analiza zmian pojemności wodnej koron drzew będzie przedmiotem odrębnej publikacji.

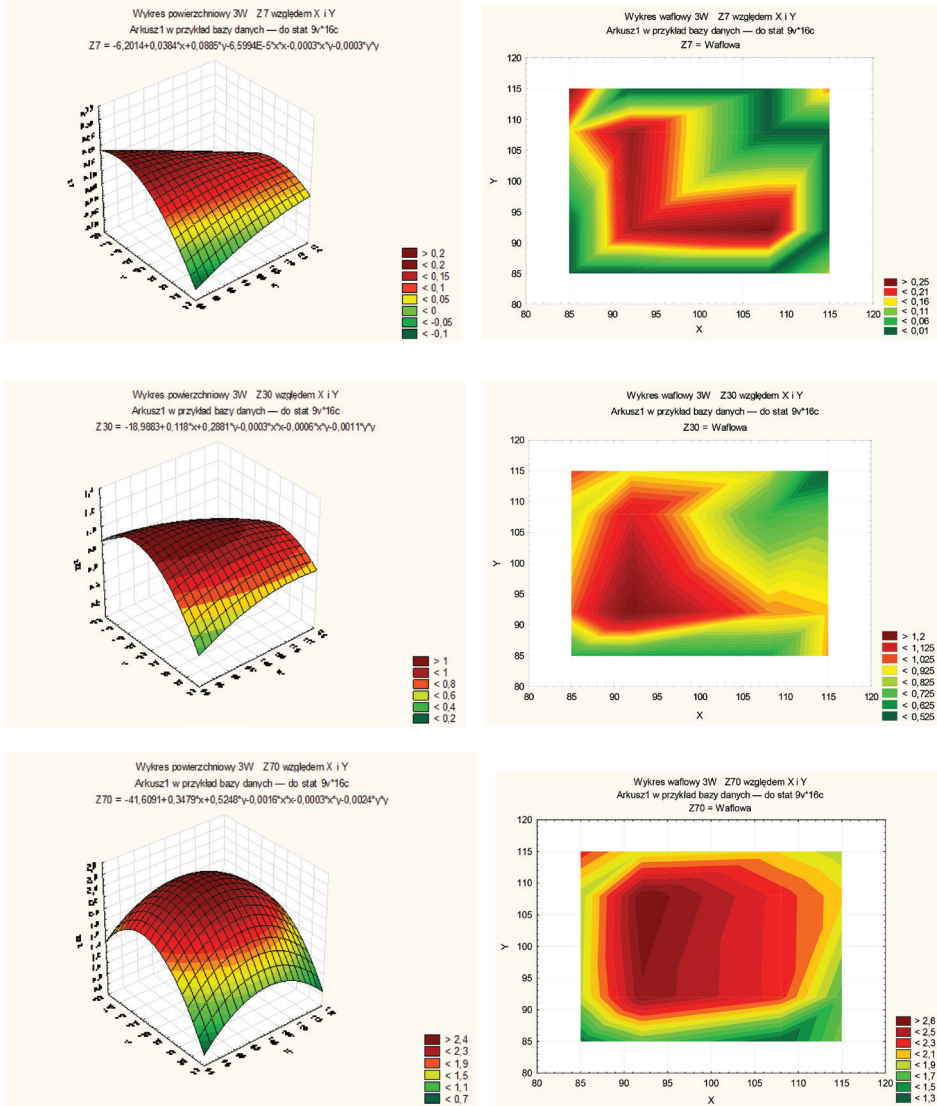
Tabela 4. Zestawienie ilości wody docierającej do dna lasu w czasie pomiaru (dane dla pomiar I z tab.3)

Table 4. The amounts of water that reaches the bottom of the forest during the measurement (data from pomiar I-tab.3).

nr deszczomierza	współrzędne deszczomierzy		wartości ilości wody docierające do dna lasu po czasie z [mm]					
	X	Y	z7	z20	z30	z40	z50	z67
1	85	115	0,290	0,650	1,030	1,623	1,970	2,270
2	92	115	0,000	0,600	0,905	1,110	1,613	1,910
3	108	115	0,000	0,280	0,850	1,420	1,704	1,988
4	115	115	0,180	0,250	0,513	0,956	1,169	1,830
5	85	108	0,150	0,369	0,856	1,073	1,433	1,833
6	92	108	0,270	0,677	1,103	1,931	2,559	2,689
7	108	108	0,000	0,226	0,679	0,905	1,584	2,262
8	115	108	0,000	0,396	0,746	1,188	1,834	2,031
9	85	92	0,000	0,155	0,999	1,217	1,609	1,873
10	92	92	0,255	0,982	1,292	1,946	2,256	2,583
11	108	92	0,300	0,664	0,979	1,169	1,987	2,254
12	115	92	0,000	0,640	0,941	1,021	1,267	1,642
13	85	85	0,000	0,141	0,629	0,784	0,960	1,327
14	92	85	0,000	0,230	0,634	0,815	1,029	1,692
15	108	85	0,000	0,207	0,622	1,010	1,172	1,278
16	115	85	0,120	0,512	0,961	1,193	1,423	1,763

Przestrzenną interpolację ilości wody opadowej docierającej do dna lasu wykonano w programie Statistica 10 (Rysunek 2.). Rozkład opadu przedstawiony na wykresach wafłowych jak i przestrzennych może posłużyć do dalszego interpretowania wpływu korony drzewa i czasu trwania deszczu. Stożkowa korona jodły powoduje rozpraszanie wody przenikającej przez koronę. Warun-

kiem rozpoczęcia spływu po pniu jest nasycenie się kory wodą. U jodły kora charakteryzuje się zróżnicowaną morfologią, co powoduje, że duża ilość wody pochodzącej z opadów wykorzystywana jest na jej zwilżenie a nie spływ po pniu (Kozłowski i in. 2010).



Rysunek 4. Przykłady przestrzennej interpolacji ilości wody opadowej docierającej do dna lasu

Figure 4. Examples of spatial interpolation amount of rainwater that reaches the forest floor

Uzyskiwane wysokości opadów podkoronowych nie odbiegają od uzyskiwanych przez innych badaczy tego zjawiska (Kozłowski 2003; Olejnik i in. 2015) co świadczy o skuteczności zaprojektowanego stanowiska do badań opadu podkoronowego.

WNIOSKI

Przenikanie opadu przez korony drzew jest procesem złożonym, zależnym od wielu właściwości fizycznych powierzchni roślinnej oraz od czynników meteorologicznych. Dlatego rzetelność i dokładność samego opadu docierającego do dna lasu nie może budzić wątpliwości.

Wymiernym rezultatem przedstawionych badań jest wytworzona aparatura/deszczomierze – odpowiednio skalibrowana, która może posłużyć do przeniesienia opisanej metodyki na pomiary pod koronami innych gatunków lasotwórczych lub w całych drzewostanach.

Korony drzew stanowią złożony zbiornik intercepcyjny. Nawet w obrębie jednego drzewa opad nie przenika równomiernie. Przyjęte procedury pomiarowe: kalibrowanie deszczomierzy, rozstawienie ich pod drzewem w równomiernej siatce kwadratów oraz odczyty wykonywane w kilkuminutowych odstępach czasowych pozwoliły na uzyskanie przestrzenno czasowego obrazu zjawiska intercepcji.

Uzyskane wyniki dla deszczomierzy bliżej pnia i tych usytuowanych na końcu korony pozwalają na stwierdzenie, że mierzone wartości opadu podkoronowego można ze sobą porównywać w obrębie jednego drzewa. Właściwe okazało się łączenie ilości wody docierającej do dna lasu z przestrzenną budową korony. Metody geostatystyczne okazały się bardzo przydatne przy opracowaniu uzyskanych wyników i ocenie przestrzennego rozmieszczenia ilości wody docierającej do dna lasu

LITERATURA

Czarnowski M. S., Olszewski J. L. (1968). Rainfall interception by a forest canopy. *Oikos*, 21: 48

Kossowska-Cezak U., Martyn D., Olszewski K., Kopacz-Lembowicz M. (2000). *Meteorologia i klimatologia. Pomiary – obserwacje – opracowania*, PWN

Kowalkowski A., Józwiak M., Kozłowski R. (2002). Metoda badania wpływu wód opadowych na właściwości gleb leśnych. *Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce: 45–52.

Kozłowski R. (2003). Przestrzenne zróżnicowanie opadu podokapowego w drzewostanie jodłowo-bukowym w centralnej części Gór Świętokrzyskich. Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, nr 4, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce: 99–106.

Kozłowski R., Józwiak M.A., Borowska E. (2010). Porównanie wybranych metod do obliczania wysokości opadu spływającego po pniach drzew. Monitoring Środowiska Przyrodniczego 11: 25–33.

Kruszczyk R., 2001: Zróżnicowanie przestrzenne właściwości fizykochemicznych spływu po pniach sosny zwyczajnej w zespole Pino Quercetum, zlewnia Jeziora Czarnego, Pomorze Zachodnie

Olejniki J., Ziemblińska K., Miler A., Krysztofiak A. (2014). Składowe bilansu wodnego w pionowym profilu dla sześćdziesięcioletniego drzewostanu sosnowego w Nadleśnictwie Tuczo. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 2014/ II (3 (Jun 2014)

Olejniki J., Miler A., Krysztofiak-Kaniewska A., Ziemblińska K. (2015). Rainfall interception for sixty-year-old pine stand at the Tuczo forest district. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 2015/ II (2 (Jun 2015)

Pypker T. G., Bond B. J., Link T. E., Marks D., Unsworth M. H. (2005). The importance of canopy structure in controlling the interception loss of rainfall: examples from a young and an old-growth Douglas-fir forest. Agricultural and Forest Meteorology 130: 113–129

Suliński J. (1993). Modelowanie bilansu wodnego w wymianie między atmosferą, drzewostanem i gruntem przy użyciu kryteriów ekologicznych. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie, Rozprawy, 179

Toba T., Ohta T. (2005). An observational study of the factors that influence interception loss in boreal and temperate forests. Journal of Hydrology 313: 208–220.

Usovicz B., Hajnos M., Sokołowska Z., Józefaciuk G., Bowanko G., Kossowski J. (2004). Przestrzenna zmienność fizycznych i chemicznych właściwości gleby w skali pola i gminy. Acta Agrophysica 103, Lublin, s.6-13

*Badania zostały sfinansowane z dotacji przyznawanej przez MNiSW
na działalność statutową.*

Dr inż. Anna Klamerus-Iwan
Mgr inż. Wiktor Szymański
Uniwersytet Rolniczy; Al. 29 Listopada 46; 31-425 Kraków
Wydział Leśny; Zakład Inżynierii Leśnej
tel: 12 662 53 56
aklamerus-iwan@ar.krakow.pl

Wpłynęło: 22.01.2016

Akceptowano do druku: 7.07.2016