INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 1/IV/2013, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 45–57
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

ZMODYFIKOWANA METODYKA BADANIA INTERCEPCJI DRZEW W WARUNKACH LABORATORYJNYCH

Anna Klamerus-Iwan, Krzysztof Adam Owsiak, Maria Szczuka
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

MODIFIED METHODOLOGY OF TREES INTERCEPTION RESEARCH UNDER LABORATORY CONDITION

Streszczenie

W warunkach polowych bezpośredni pomiar intercepcji roślinności leśnej jest nadal zadaniem bardzo trudnym do wykonania, zwłaszcza ze względu na ograniczenia metodyczne i techniczno – organizacyjne [Olszewski, 1984, Kossowska-Cezak i in., 2000].

Drogą do pogłębienia wiedzy o czynnikach kształtujących intercepcję zbiorowisk leśnych są badania w warunkach kontrolowanych [Anzhini i in., 2007], które mogły by dostarczyć danych do identyfikacji modeli matematycznych. Pei i in. [1993] wykonał w laboratorium symulacje opadu na stałej powierzchni drzewa, zmieniając dziesięć razy natężenie deszczu w zakresie od 47,4 do 147,6 mm/h. Podobnie Keim i in. [2006] zastosował natężenia od 20 do 420 mm/h zmieniając także rozmiar kropel symulowanego opadu od 1,0 do 2,8 mm. w warunkach klimatycznych Polski jest to natężenie dające wysokość opadu występującego z stosunkowo małym prawdopodobieństwem.

Istotą badań intercepcji było zraszanie drzewek symulowanym opadem deszczu o określonych parametrach, według metodyki opracowanej i przetestowanej uprzednio na makietach. Aby przeprowadzić badania intercepcji drzew zraszanych symulowanym opadem deszczu w zakresie od 2 do 11 mm/h należało zaprojektować i zbudować zestaw zraszający [Klamerus-Iwan i in., 2013] uwzględniając trudności z uzyskaniem niskich natężeń. Przyjęte ogólne założenia badawcze, jak również wypracowaną oryginalną technikę pomiaru intercepcji drzewek w warunkach laboratoryjnych można ocenić pozytywnie. Otrzymano bowiem wyniki

pomiarów dające się logicznie interpretować, przydatne do identyfikacji modeli matematycznych zbudowanych na przesłankach przyrodniczych.

Słowa kluczowe: intercepcja drzew, metodyka pomiaru intercepcji, stanowisko do symulacji opadu deszczu

Summary

In field conditions, direct measurement of plant interception is still a difficult task, especially because of methodological limitations and also that of technical and organizational nature. [Olszewski, 1984, Kossowska-Cezak et al., 2000].

The way to deepen the knowledge about the determinants of interception in forest areas is research in controlled conditions [Anzhini et al,. 2007], which could provide the data for the identification of the mathematical models. Pei et al. [1993] performed a laboratory simulation of precipitation on a set tree surface by changing the intensity of the rain ten times in the range of 47.4 to 147.6 mm/h. Similarly, Keim et al. [2006] applied a rate of 20 to 420 mm/h by changing the droplet size of the simulated precipitation from 1.0 to 2.8 mm. These amounts of precipitation are not likely to occur in the Polish climate.

The essence of the research was to spray trees with simulated rain with certain characteristics, according to the methodology previously developed and tested on mockups.

To carry out the research on trees interception of simulated rain in the range of 2 to 11 mm/h autors had to design and build a sprinkler device [Klamerus – Iwan et al., 2013] taking into account the difficulty with getting low intensities. The aim of this paper are methods of modification and testing of that device. The adopted general research assumptions, as well as the developed original technique for measuring trees interception in the laboratory conditions can be assessed positively. That is because the obtained measurement results can be logically interpreted, and can prove useful for identifying mathematical models built on sound science.

Key words: *trees interception, methodology of measure interception, sprinkler device for rain symulation*

WSTĘP

Polowe, bezpośrednie pomiary intercepcji drzew leśnych są trudne pod względem metodycznym i organizacyjnym mimo wprowadzenia na szerszą ska-

lę urządzeń radarowych i laserowych umożliwiających śledzenie przemieszczania się kropel wody przez warstwę roślin [Anzhi i in. 2007]. Drogą do pogłębienia wiedzy o czynnikach kształtujących intercepcję zbiorowisk leśnych są więc badania w warunkach kontrolowanych [Jong i Jetten 2007]. Toba i Otha [2008] do eksperymentu wykorzystali drzewko jodłowe o wysokości 60 cm, natomiast Pei i in. [1993] użyli drzewka sosnowego o wysokości około 4 m i rzucie korony 4,21m2, a Keim i in. [2006] gałęzie dziewięciu różnych gatunków drzew. Wymogiem stanowisk pomiarowych jest możliwość kontroli charakterystyki symulowanego opadu deszczu. Anzhi i in. [2007] natężenie deszczu regulowali za pomocą urządzenia sterowanego komputerem, ale w zakresie od 47,4 do 147,6 mm/h. z perspektywy warunków opadowych w Polsce należy zwrócić uwagę na bardzo wysokie natężenia symulowanego opadu deszczu.

W Katedrze Inżynierii Leśnej Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie przeprowadzono badania dotyczące intercepcji drzewek świerkowych i bukowych w warunkach kontrolowanych, zmierzające do sprecyzowania sposobu określenia „intercepcji potencjalnej" i „współczynnika jej wykorzystania" [Suliński i in. 2001]. Uzyskane wyniki oraz badania zatrzymywania wody w materii organicznej gleb leśnych [Kucza i Suliński 2000, Kucza 2007] oraz badania objęte doktoratem Klamerus-Iwan [2010] skłoniły autorów do kontynuowania badań i udoskonalenia stanowiska pomiarowego. Aby jednak przeprowadzić badania intercepcji drzew zraszanych symulowanym opadem deszczu w zakresie od 2 do 11 mm/h należało zaprojektować i zbudować zestaw zraszający [Klamerus-Iwan i Owsiak 2013] uwzględniając trudności z uzyskaniem niskich natężeń. Metodyka badań i konstrukcja urządzenia zraszającego jest przedmiotem niniejszego artykułu.

Podsumowując stan wiedzy z zakresu intercepcji roślin, rozpatrywanej jako proces zachodzący podczas dającego się wyodrębnić opadu deszczu można przyjąć, iż problematyka pozostaje w centrum uwagi hydrologów rozwiązujących bilanse wodne zlewni, jak i zajmujących się ekosystemami leśnymi.

METODY I MATERIAŁ BADAWCZY

Rozważania teoretyczne o intercepcji roślin prowadzą do wniosku, że dominującymi czynnikami wpływającymi na ten proces są: powierzchnia roślin, stopień zabrudzenia tej powierzchni, natężenie opadu, wielkość kropel deszczu oraz temperatura wody opadowej. Organizacja w warunkach laboratoryjnych

pomiarów wielkości intercepcji drzew, podstawowych gatunków lasotwórczych, wymagała uwzględnienia właśnie tych czynników.

Dla ułatwienia opisu przeprowadzonych badań ujednolicono nazewnictwo związane z ich realizacją, odnoszącą się do trzech poziomów:

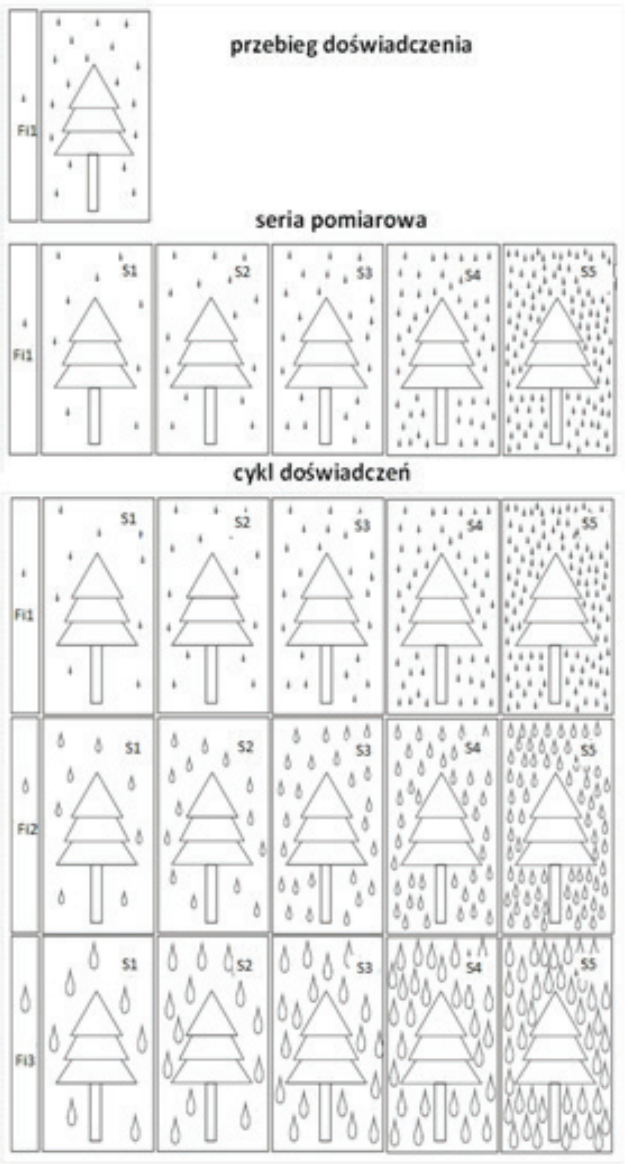
1. przebieg doświadczenia to jeden deszcz różniący się od poprzednich charakterystyką opadu (natężeniem i czasem trwania),
2. kilka przebiegów doświadczenia o tej samej charakterystyce opadu,
3. cykl doświadczeń to pełen komplet przebiegów doświadczenia na jednym osobniku (wszystkie możliwe kombinacje charakterystyk symulowanego opadu).

Schemat przebiegów doświadczenia zaprezentowano na rysunku 1.

Doświadczenia wykonywano na gatunkach żywych drzewek oraz dwóch makietkach symulujących gatunki iglaste i liściaste. Łącznie cykl doświadczeń na każdym drzewku i makiecie obejmował wyniki kompletu wszystkich możliwych kombinacji przebiegów doświadczeń. Makiety posłużyły również do cechowania charakterystyk deszczy wytwarzanych przez symulator opadu. Na makietach wykonano ponadto, poza omówionymi wyżej cyklami doświadczeń, dodatkowe symulacje opadów przy zabrudzonej powierzchni intercepcyjnej.

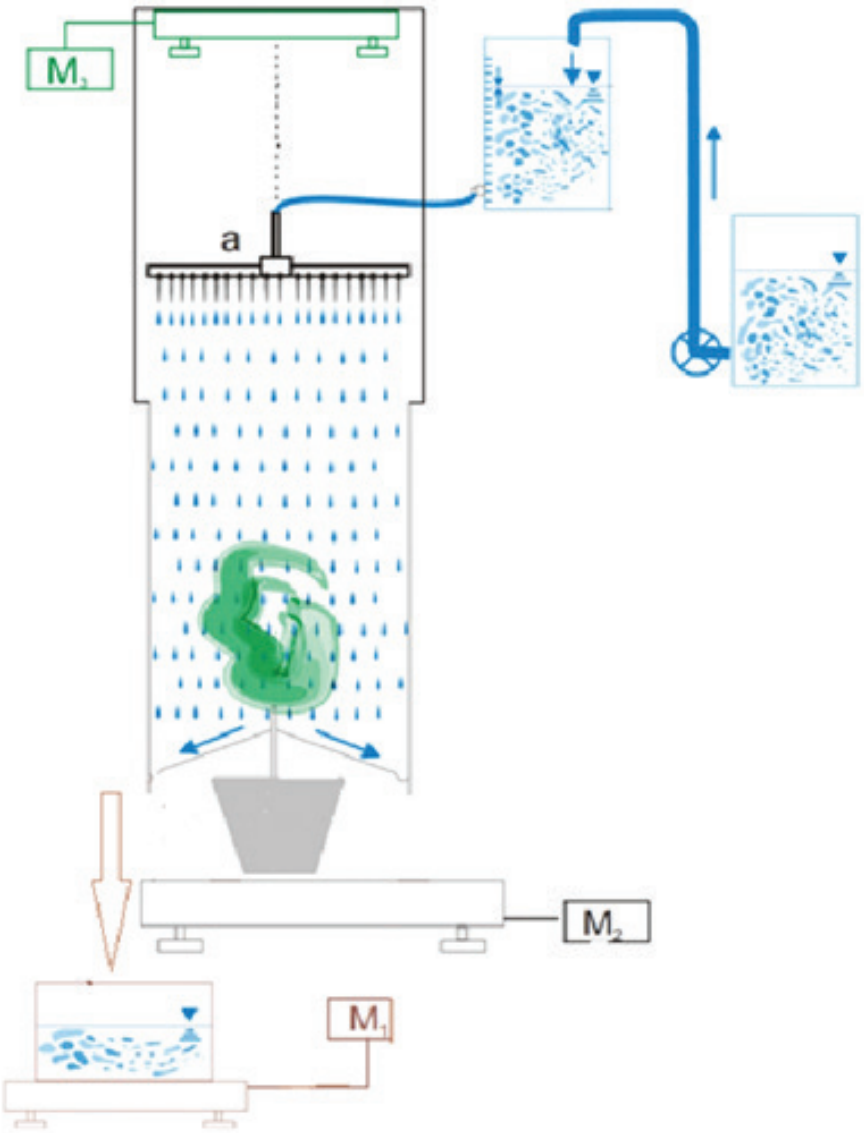
Ważnym założeniem przy wykonywaniu badań zarówno na makietach, jak i żywych drzewkach było utrzymywanie w laboratorium stałej temperatury i wilgotności. Przyjęto, że podczas wykonywania doświadczeń temperatura powietrza w laboratorium powinna mieścić się w granicach 19-23 °C przy wilgotności względnej 20-25%. Obydwa parametry zewnętrzne w czasie trwania doświadczeń były rejestrowane przez termohigrometr. Zależność gęstości właściwej wody od jej temperatury wymagała przyjęcia założenia odnośnie stabilnej w czasie trwania doświadczeń temperatury wody jak i jej jakości. Do doświadczeń używano wody destylowanej o temperaturze 21°C ±1°C przechowywanej w warunkach laboratoryjnych przedstawionych powyżej. w warunkach naturalnych również najczęściej temperatura opadu deszczu jest o 1-2°C niższa niż temperatura powietrza.

Zrealizowanie założonego celu badań wymagało opracowania szczegółowych założeń metodycznych oraz przygotowania odpowiedniego stanowiska do pomiaru intercepcji, pozwalającego na osiąganie wiarygodnych i porównywalnych wyników. Równocześnie należało doświadczalnie ustalić, w jakim stopniu opracowana aparatura pozwala na uzyskanie założonej zmienności wybranych parametrów symulowanego opadu deszczu.



Fi1, Fi2, Fi3 – rozmiar kropli symulowanego opadu [mm]; S1,S2,S3,S4,S5 – natężenie symulowanego opadu [mm/h]
Fi1, Fi2, Fi3 – the diameter of the needle used in the sprinkler [mm]; S1,S2,S3,S4,S5 – simulated rainfall intensity [mm / h]

Rysunek 1. Schemat przebiegów doświadczenia
Figure 1. The interception study plan



Rysunek 2. Schemat stanowiska pomiarowego do badania intercepcji w warunkach laboratoryjnych

Figure 2. The scheme of interception measuring set in the laboratory conditions

Zaprojektowane i wykonane we własnym zakresie stanowisko pomiarowe składa się z kilku integralnych podzespołów. Zgodnie z przedstawionym na rysunku 2 schematem, kluczowymi elementami zestawu były: (1) podzespół wytwarzający symulowany opad o zadanych wielkości kropel i natężeniu, nazywany urządzeniem zraszającym, (2) podzespół rejestrujący i kontrolujący w czasie doświadczenia natężenie i wysokość opadu, (3) podzespół rejestrujący w czasie trwania doświadczenia ilość opadu przeciekającego na poziom szyi korzeniowej badanego drzewka. Ciągła rejestracja odczytów z obu wag wchodzących w skład podzespołu 2 i 3 pozwoliła na dokładną analizę procesu intercepcji zachodzącego w czasie trwania przebiegu doświadczenia. Umożliwiał to program komputerowy WinWag Pro. Sposób uzyskiwania natężeń w zakresie 5-25 mm/h przy zastosowaniu 3 rozmiarów igieł lekarskich do wytwarzania kropel deszczu: 0,45; 0,50 i 0,60 mm opisany został przez Klamerus-Iwan i Owsiak [2013].

Podjęto także próbę badania intercepcji drzew zraszanych symulowanym opadem deszczu w zakresie od 2 do 11 mm/h. Do wykonania takich badań zaprojektowano i zbudowano zestaw zraszający uwzględniając trudności z uzyskaniem niskich natężeń. Grawitacyjny wypływ wody z przystosowanych do tego igieł wymieniono na wymuszony pompą hydroforową. Same igły zastąpiono ogrodniczymi końcówkami do mikrozraszaczy (rys. 3c). Parametry uzyskiwanych opadów wynikały z właściwych przeliczeń wydatku wody na powierzchnię objętą zraszaniem. Wykonano także pomiary kontrolne, ustalające stałość i powtarzalność założonych parametrów. Dodatkowa regulacja wysokości natężenia możliwa była dzięki zastopowaniu włącznika czasowego z sekundową dokładnością sterowania czasu zraszania (rys. 3e). Sprawa ta jest bardzo istotna dla uściślenia zależności intercepcji potencjalnej od natężenia deszczu. Wyeliminowano problem zatrzymywania się części wody na tunelu osłaniającym drzewko. Poprzez instalację dodatkowej wagi (M3) pod sufitem i podwieszenie na niej tunelu foliowego możliwa była ciągła rejestracja ilości zatrzymywanej na nim wody (rys. 3a i b). Bez tego rozwiązania przed obliczeniem właściwej ilości wody zatrzymanej na drzewku, do danych wprowadzano liczbową poprawkę. Sposób jej obliczania i postać wzoru korygującego opisano w pracy Klamerus-Iwan i Owsiak [2013].

Do badań używano gatunków drzew lasotwórczych dla polskiej strefy klimatycznej. Natężenia 5-25 mm/h testowano na dębie i sośnie zwyczajnej pobranej z Nadleśnictwa Niepołomice oraz jodle, świerku i buku z Nadleśnictwa Myślenice. Drzewka do badań wybierano spośród okazów o wysokości do 1 metra z prawidłowo rozwiniętą koroną. Pobrano je z bryłą ziemi, umiejscowio-

no w odpowiednio dużych donicach i regularnie podlewano. Po upewnieniu się, że drzewka się przyjęły rozpoczęto pomiary. Natężenia 2-11mm/h wykonano na jodle i świerku, z tym że te drzewa miały 2 m wysokości. Szyja korzeniowa drzewa, na której opierał się lejek zbierający wodę, która przeszła przez koronę badanego drzew była zabezpieczona dodatkowo sylikonem (rys. 3d).

a i b) tunel osłaniający drzewo, eliminujący ewapotranspirację i waga M_3, rejestrująca straty wody na tunel;
c) zastosowana końcówka mikrozraszacza;
d) osłona szyi korzeniowej;
e) sterownik czasowy (dokładność 1 sekunda)
a and b) tunnel protecting the tree, eliminating evapotranspiration and weight M_3, recording losses of water in the tunnel;
c) applied tip for mikro-sprinkler;
d) cover the root collar;
e) time controller (accuracy of 1 second)

Rysunek 3. Obrazy przedstawiające zastosowane rozwiązania techniczne
Figure 3. Images of technical solutions

Do wnioskowania o ilości wody zatrzymanej na powierzchni drzew konieczne jest określenie wielkości powierzchni tych drzew. Nie jest to zadanie łatwe a przez większość badaczy wykorzystywany jest współczynnik LAI (leaf area index). Sposób pomiarów powierzchni części zielonych (igieł i liści) oraz pędów zastosowany po zakończeniu symulacji opadów został opisany w pracy Owsiak i in. [2012]. Wykorzystano tam metodę skanowania i fotografii w tunelu bezcieniowym a obliczenia i analizy wykonano w programie SigmaScan.

WYNIKI

Wszystkie wartości intercepcji uzyskiwano w milimetrach warstwy wody. Do analiz używano danych z pełnych cykli pomiarowych dla każdego badanego okazu drzewka. Przykład uzyskanych wyników z jednego przebiegu doświadczenia przedstawiono w tabeli 1. Ze względów redakcyjnych wyniki zaprezentowano w formie skróconej. Dla pierwszych 10 minut trwania doświadczenia podano je dla jednominutowego kroku czasowego zaś dla pozostałego czasu z krokiem dziesięciominutowym.

Intercepcja rzeczywista, czyli intercepcja po każdej kolejnej minucie zraszania, została obliczona z różnicy między ilością wody zużytej do symulacji opadu a ilością wody, która odpłynęła z pod drzewka. Obliczenia te ilustrują przykładowe dane w tabeli 1.

Po przeprowadzeniu doświadczenia, dla kontroli parametrów symulowanego opadu, obliczano jego rzeczywistą wysokość h oraz natężenie S. Z ilości wody zużytej na symulację opadu na określoną powierzchnię przekroju tunelu badawczego obliczano wysokość opadu według wzoru:

$$h = \frac{V}{F} \tag{1}$$

gdzie:

h – wysokość opadu [cm],

V – objętość złapanej wody w pojedynczym opadzie deszczu [cm^3] dla określonej temperatury wody,

F – powierzchnia objęta zraszaniem (907,92 cm^2).

Na podstawie uzyskanej wysokości opadu h obliczano jego natężenie według wzoru:

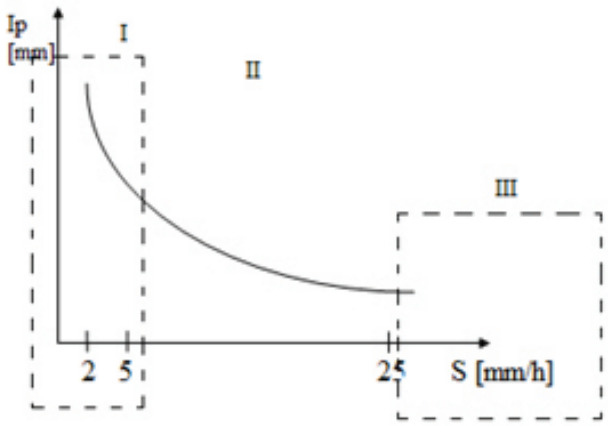
$$S = \frac{h}{t} \tag{2}$$

gdzie:

S – natężenie opadu [mm/h],
h – wysokość opadu [mm],
t – czas trwania opadu [h].

Dla zaprezentowanego przykładu uzyskano natężenie rzeczywiste 24,956 mm/h, co przy możliwościach technicznych skonstruowanego zraszacza uznano za spełniające wymogi dokładności założonych parametrów opadu. Symulowany opad rejestrowany był z jednominutowym krokiem czasowym. Automatyczny zapis danych z wagi daje możliwość ustawienia dowolnego kroku czasowego pomiaru masy wody.

Zaproponowana metodyka i konstrukcja stanowiska pomiarowego dała odpowiedź jak przebiega proces intercepcji w różnych zakresach natężeń.



Rysunek 4. Schemat uzyskanych zakresów natężenia symulowanego deszczu S w badaniach laboratoryjnych nad intercepcją drzew Ip: i – w zakresie 2-11mm/h; II – do 25mm/h [Klamerus-Iwan, 2010]; III – zależności znane z literatury dla natężeń powyżej 40mm/h [Anzhi i in. 2007]

Figure 4. Diagram obtained the range of intensity of simulated rain S in the laboratory measurement of interception Ip: i – in the range of 2-11mm/h, II – up to 25 mm/h [Klamerus-Iwan, 2010], III – depending known in the literature for intensities above 40 mm/h [Anzhi i in. 2007]

Wymiernym efektem tych badań są obszerne bazy danych i modele wykładnicze opisujące zachodzące zależności.

Tabela 1. Przykład wyników pomiarów i obliczania intercepcji
Table 1. An example of the results of measurements and calculation of interception

Czas trwania doświadczenia od startu [min]	Masa wody zużytej na zraszanie [g]	Objętość wody zużytej na zraszanie [dm^3]	Masa wody odpływającej spod drzewka [g]	Różnica mas = Intercepcja rzeczywista [g]	Wysokość intercepcji rzeczywistej [mm]
1	0	0,000	0,0	0,0	0,000
2	28	27,950	0,0	28,0	0,308
3	84	83,849	17,8	66,2	0,729
4	124	123,777	56,8	67,2	0,740
5	170	169,694	94,8	75,2	0,828
6	210	209,622	139,0	71,0	0,782
7	258	257,536	179,6	78,4	0,864
8	298	297,464	224,8	73,2	0,806
9	344	343,381	266,0	78,0	0,859
10	386	385,305	306,6	79,4	0,875
20	822	820,520	739,0	83,0	0,914
30	1260	1257,732	1175,0	85,0	0,936
40	1700	1696,940	1610,0	90,0	0,991
50	2134	2130,159	2044,8	89,2	0,982
60	2570	2565,374	2479,6	90,4	0,996
70	3005	2999,591	2912,8	92,2	1,016
80	3436	3429,815	3345,4	90,6	0,998
90	3878	3871,020	3777,2	100,8	1,110
100	4298	4290,264	4210,2	87,8	0,967
110	4698	4689,544	4606,2	91,8	1,011
120	4918	4909,148	4829,0	89,0	0,980
130	5142	5132,744	5052,8	89,2	0,982
140	5380	5370,316	5288,4	91,6	1,009
143	5410	5400,262	5317,8	92,2	1,016

PODSUMOWANIE

Istotą badań intercepcji było zraszanie drzewek symulowanym opadem deszczu o określonych parametrach, według metodyki opracowanej i przetestowanej uprzednio na makietach.

Na podstawie uzyskanych danych stwierdzono, że pojęcie intercepcji potencjalnej, jak zakładano pierwotnie, ma treść przyrodniczą gdyż jej wartości stanowią cechę charakterystyczną dla poszczególnych gatunków, modulowaną przez czas trwania zraszania. Okazało się przy tym, że czas potrzebny do osiągnięcia intercepcji potencjalnej daje się wyrazić w zależności od natężenia i wielkości kropli deszczu.

Ostatecznym efektem analizy zgromadzonych wyników jest stwierdzenie, że proces intercepcji drzewa po pojedynczym opadzie deszczu można opisać jako napełnianie nieszczelnego zbiornika a proces ten zależy zarówno od jego wielkości jak również od parametrów deszczu.

Przyjęte ogólne założenia badawcze, jak również wypracowaną oryginalną technikę pomiaru intercepcji drzewek w warunkach laboratoryjnych można ocenić pozytywnie. Otrzymano bowiem wyniki pomiarów dające się logicznie interpretować, przydatne do identyfikacji modeli matematycznych zbudowanych na przesłankach przyrodniczych. Należy dodać, że metodykę tę wzorowano na badaniach zatrzymywania wody przez materię organiczną, które pozwoliły na wyjaśnienie kilku nie znanych wcześniej ich właściwości wodnych.

BIBLIOGRAFIA

Anzhi W., Yiwei D., Tiefan P., Changjie J., Jiaojun Z. (2007). a semi-theoretical model of canopy rainfall interception for a broad-leaved tree. Hydrological Processes 21 (18): 2458 – 2463.

Jong de S. M., Jetten V. G. (2007). Estimating spatial patterns of rainfall interception from remotely sensed vegetation indices and spectral mixture analysis. International journal of geographical information science 21(5): 529-545.

Keim R. F., Skaugset A. E., Weiler M. (2006). Storage of water on vegetation under simulated rainfall of varying intensity. Advances in Water Resources 29: 974-986.

Klamerus-Iwan A. (2010). Intercepcja wybranych gatunków drzew leśnych w warunkach badań laboratoryjnych. Rozprawa doktorska, pełna wersja w KIL UR w Krakowie.

Klamerus-Iwan A., Owsiak K. A. (2013) Ocena konstrukcji prototypowego stanowiska do badań nad intercepcją drzew leśnych w warunkach laboratoryjnych, Sylwan (po recenzji).

Kossowska-Cezak U., Martyn D., Olszewski K., Kopacz-Lembowicz M. 2000. Meteorologia i klimatologia. Pomiary – obserwacje – opracowania. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa – Łódź.

Kucza J., Suliński J. (2000). Relacje pomiędzy porowatością kapilarną a gęstością objętościową i kurczliwością gruntów o różnej zawartości części organicznych, występujących na terenie zlewni doświadczalnej Potok Dupniański w Beskidzie Śląskim. Acta Agraria et Silvestria, Series Silvestris, Vol. XXXVIII: 91-106.

Kucza J. (2007). Właściwości hydrologiczne materii organicznej gleb leśnych na przykładzie gleb pod świerczynami istebniańskimi. Zeszyty Naukowe AR 320.

Olszewski J. (1984). Intercepcja i jej wpływ na wysokość opadów atmosferycznych docierających do powierzchni gruntu w lesie. Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych 288.

Owsiak K. A., Klamerus-Iwan A., Kostrzewa E. (2012). Wybrane cechy morfologiczne igieł i pędów sosny zwyczajnej w kontekście obliczania potencjalnej intercepcji pojedynczych drzew. I

T. F., Fan, S. X., Han S. W. (1993). Simulation experiment analysis on rainfall distribution process in forest canopy. Chin. J. Appl. Ecol. 4: 250–255.

Suliński J., Starzak R., Kucza J. (2001). Weryfikacja wzoru wyrażającego intercepcję drzew w zależności od natężenia i czasu trwania opadu deszczu, w warunkach eksperymentalnych. Acta Agraria et Silvestria 39: 3-16.

Toba T., Ohta T. (2008). Factors affecting rainfall interception determined by a forest simulator and numerical model. Hydrological Processes 22 (14): 2634-2643.

dr inż. Anna Klamerus-Iwan
mail: annaklamerus.iwan@gmail.com
dr inż. Krzysztof Adam Owsiak
mail: k.owsiak@ur.krakow.pl
Katedra Inżynierii Leśnej
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja
al. 29 Listopada 46
31-425 Kraków

mgr inż. Maria Szczuka
mail: szczuka.marysia@gmail.com
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Uniwersytet Rolniczy im .H. Kołłątaja
ul. Balicka 116B,
30-149 Kraków