

ANNA KLAMERUS-IWAN, KRZYSZTOF A. OWSIAK

Ocena konstrukcji prototypowego stanowiska do badań nad intercepcją drzew leśnych w warunkach laboratoryjnych*

Assessment of the design of the prototype experimental station for the research on forest trees interception in the laboratory conditions

ABSTRACT

Klamerus-Iwan A., Owsiak K. A. 2013. Ocena konstrukcji prototypowego stanowiska do badań nad intercepcją drzew leśnych w warunkach laboratoryjnych. Sylwan 157 (6): 464-469.

Quantity approach of forest trees interception necessary for build mathematical formulas need to be measured in continuously controlled conditions. We developed original methodology and build all equipment for measure interception in laboratory, which allows to achieve comparable results. It was also experimentally found to what extent the prepared apparatus allows for the assumed variability of selected parameters of simulated rainfall.

KEY WORDS

interception, simulated rainfall, sprinkler, laboratory conditions

ADDRESSES

Anna Klamerus-Iwan – e-mail: annaklamerus.iwan@gmail.com

Krzysztof A. Owsiak – e-mail: k.owsiak@ur.krakow.pl

Katedra Inżynierii Leśnej; Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; Al. 29 Listopada 46; 31-425 Kraków

Wstęp

Bezpośrednie polowe pomiary intercepcji drzew i roślinności runa leśnego są trudne pod względem metodycznym i organizacyjnym, mimo wprowadzenia na szerszą skalę urządzeń radarowych i laserowych umożliwiających śledzenie przemieszczania się kropeł wody przez warstwę roślin. Drogą do pogłębienia wiedzy o czynnikach kształtujących intercepcję zbiorowisk leśnych są więc badania w warunkach kontrolowanych [Anzhi i in. 2007], które mogłyby dostarczyć danych do identyfikacji modeli matematycznych [de Jong, Jetten 2007] zbudowanych przy użyciu kryteriów ekologicznych [Czarnowski 1978; Suliński 1993; Suliński i in. 2001]. Badania wykonywane są na pojedynczych drzewkach, o wymiarach umożliwiających ustawienie ich w laboratorium. Toba i Otha [2008] do eksperymentu wykorzystali drzewko jodłowe o wysokości 60 cm, natomiast Pei i in. [1993] użyli sosny o wysokości około 4 m i rzucie korony 4,21 m². Z kolei Keim i in. [2006] zastosowali gałęzie dziewięciu różnych gatunków drzew. Wymogiem stanowisk pomiarowych jest możliwość kontroli charakterystyki symulowanego opadu deszczu. Anzhi i in. [2005] regulowali za pomocą urządzenia sterowanego komputerem natężenie deszczu 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.

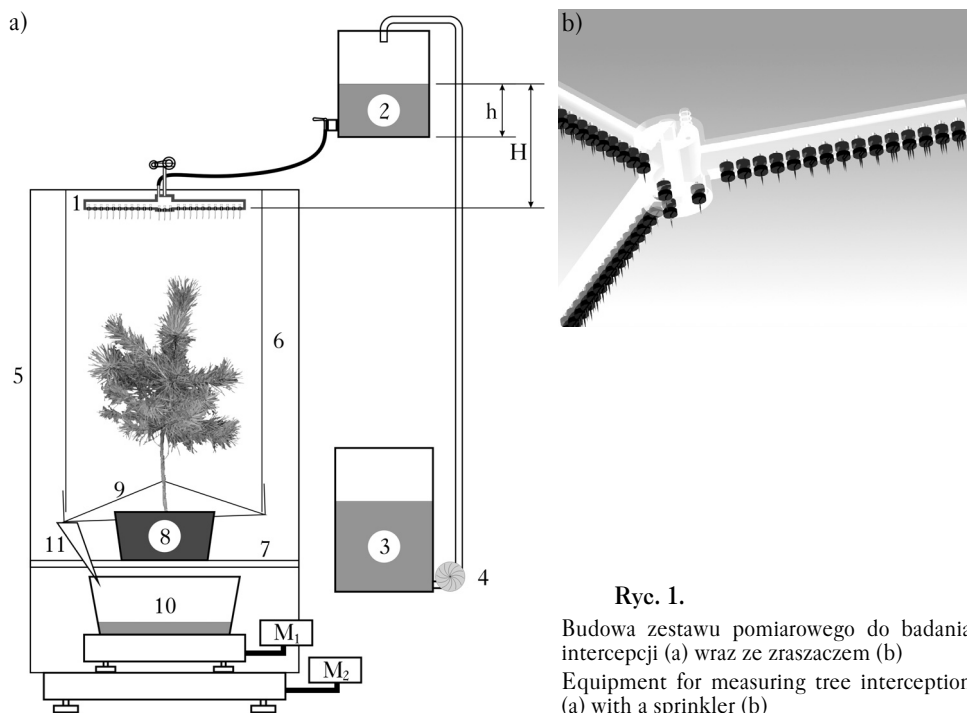
* Artykuł powstał w ramach Stypendium JM Rektora Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie z Własnego Funduszu Stypendialnego.

Trzeba zaznaczyć, iż przejście od intercepcji pojedynczej rośliny lub większego nawet drzewa do intercepcji drzewostanu nie jest oczywiste [Czarnowski, Olszewski 1968]. Należy pamiętać również o ryzyku pominięcia czynników mało istotnych w warunkach laboratoryjnych, natomiast o dużym znaczeniu w warunkach polowych (np. ewapotranspiracja) [Liu 1997].

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 zatrzymywania wody w materii organicznej gleb leśnych [Kucza, Suliński 2000; Kucza 2007] skłoniły autorów do kontynuowania badań i udoskonalenia stanowiska pomiarowego.

Konstrukcja stanowiska badawczego

Parametry zraszacza i uzyskiwane wyniki musiały być podporządkowane wymogom istniejących wzorów na obliczenie intercepcji. Ilość wody użytej do symulowania deszczu nad drzewkiem oraz objętość wody przeciekającej przez koronę drzewka notowano z minutowym krokiem czasowym. Wartości tej różnicy, obliczone za określony czas trwania przebiegu doświadczenia, przeliczono na wartości intercepcji. Stanowisko pomiarowe składa się z (1) podzespołu wytwarzającego symulowany opad o zadanej wielkości kropeł i natężeniu, nazywany urządzeniem



Ryc. 1.

Budowa zestawu pomiarowego do badania intercepcji (a) wraz ze zraszaczem (b)

Equipment for measuring tree interception (a) with a sprinkler (b)

1 – element zraszający; 2 – pojemnik dostarczający wodę do elementu zraszającego; 3 – pojemnik z zapasem wody destylowanej; 4 – pompa wodna; M_2 – waga elektroniczna 60/120 kg o dokładności $\frac{2}{5}$ g; 5 – aluminiowy stelaż; 6 – tunel badawczy wykonany z plexi-glasu; 7 – półka, na której stawiano donicę z badanymi drzewkami o maksymalnej wysokości 1 m; 8 – doniczka z drzewkiem; 9 – kołnierz zbierający wodę; M_1 – waga elektroniczna 12 kg o dokładności 0,2 g; 10 – pojemnik (zbiornik) zbierający wodę opadającą; 11 – lejek

zraszającym, (2) podzespołu rejestrującego i kontrolującego w czasie doświadczenia natężenie i wysokość opadu oraz (3) podzespołu rejestrującego w czasie trwania doświadczenia ilość opadu przeciekającego na poziom szyi korzeniowej badanego drzewka (ryc. 1a). Ciągłą rejestrację odczytów z wag wchodzących w skład podzespołów 2 i 3 umożliwił program komputerowy WinWag Pro. Podstawą urządzenia zraszającego był trójramienny symetryczny element zraszający o średnicy 34 cm, obracający się wahadłowo w zakresie 120° względem swojej osi. Żądaną prędkość oraz kąt obrotu uzyskano przez zastosowanie silnika komutatorowego i przekładni. Ramiona elementu zraszającego wykonano z polimetakrylanu metylu (plexiglas) o średnicy wewnętrznej 1,5 cm. Jako dysze zraszające zastosowano igły iniekcyjne umieszczone w gumowych korkach w odstępach co 1 cm (ryc. 1b). Żadaną wielkość natężenia opadu uzyskano poprzez różnicę wysokości położenia zwierciadła wody H w pojemniku w stosunku do poziomu dysz zraszających. W czasie doświadczenia zwierciadło wody w pojemniku utrzymywano na stałym poziomie h w zakresie $\pm 0,5$ cm dzięki zainstalowanym czujnikom elektronicznym. Gdy poziom H obniżał się o 0,5 cm, włączała się pompa wodna pobierająca wodę z pojemnika, w którym utrzymywano zapas wody destylowanej.

Na wadze elektronicznej M_2 zamocowano platformę z aluminiowym stelażem, którego konstrukcja pozwalała na umocowanie tunelu badawczego. Zapobiegał on wydostawaniu się wody odbijającej się od powierzchni drzewka poza stanowisko badawcze oraz ograniczał parowanie w czasie doświadczenia. W środku tunelu umieszczane były donice z badanymi drzewkami o maksymalnej wysokości 1 m. W skład tego podzespołu wchodził również stożkowy kołnierz zbierający wodę, która nie została zatrzymana na powierzchni drzewka. Zapobiegał on również przedostawaniu się ściekającej wody do donicy. W skład podzespołu rejestrującego masę wody przenikającej przez drzewka wchodziła waga elektroniczna M_1 , na której umieszczono pojemnik z lejkiem, do którego spływała woda z kołnierza zbierającego. Wytarowanie wagi M_2 przed rozpoczęciem zraszania pozwalało na rejestrowanie przyrostu masy wody symulującej opad. Masa ta podzielona przez powierzchnię przekroju tunelu objętą zraszaniem wyrażała wysokość opadu. Podzielona następnie przez aktualny czas trwania doświadczenia stanowiła kontrolę osiągnięcia założonego natężenia deszczu. Należy tu dodać, że wartość intercepcji wyrażona masą wody, jaką uzyskuje się z bezpośredniej różnicy między odczytami z dwóch wag, jest zawyżona o ilość wody zatrzymanej na powierzchni tunelu oraz kołnierza zbierającego. Ponieważ udział tej wody mógł mieć istotne znaczenie dla obliczonej intercepcji, zwłaszcza w pierwszych 30 minutach zraszania, przy opracowaniu wyników wprowadzono poprawki według wzoru:

$$i_t = 0,9708 \cdot (1 - e^{-0,5015 T}) + 0,00465 \cdot A \cdot t \quad [1]$$

gdzie:

- i_t – stosunek ilości wody zatrzymanej po czasie t do maksymalnej ilości wody zatrzymanej do 30 minuty od chwili zraszania;
- A – powierzchnia drzewka;
- t – czas liczony od początku zraszania.

Wzór [1] opracowano na podstawie dodatkowych pełnych serii pomiarowych, stosując natężenia opadu 5, 15 i 25 mm/h oraz wielkości kropeł odpowiadających igłom o średnicach 0,45, 0,50 i 0,60 mm. Symulacje opadu wykonano na makietach z tworzywa sztucznego, które dawały możliwość redukcji ich powierzchni oraz odbijania się kropeł wody od drzewek. Wartość współczynnika determinacji dla tego wzoru wyniosła 99,8% (przy kwartylach $\pm 1,2\%$), co uwiarygodnia otrzymane wyniki i pozwoliło na obliczenie intercepcji badanych gatunków.

Kalibracja modułu zraszającego

Opisane wyżej urządzenie zraszające wymagało kalibracji i sprawdzenia, czy założone na etapie konstrukcyjnym przyrodnicze czynniki wpływające na proces intercepcji są właściwie realizowane i utrzymywane na stałym poziomie. Wyrównanie ilości wody przypadającej na jednostkę zraszanej powierzchni osiągnięto przez umieszczenie w gumowym korku 1, 2 lub 3 igieł iniekcyjnych (tab. 1, ryc. 2a). Drugim sposobem kontroli równomiernego rozkładu symulowanego opadu był podział zraszanej powierzchni na 4 sektory (tab. 2, ryc. 2b).

W ramach testowania przeprowadzono symulację natężenia deszczu dla rozmiarów igieł wynoszących 0,45, 0,50 i 0,60 mm i przy każdym ustalonym poziomie wody w pojemniku. Kontrolowano uzyskany efekt przez pomiar objętości wody wykroplonej do pojemnika 10. Po wykonaniu testowych serii pomiarowych stwierdzono, że praktycznie można uzyskać stabilne warunki wykrapiania wody z natężeniem od 5 do 25 mm/h z dokładnością do $\pm 0,1$ mm/h. Testowano również możliwość utrzymania podczas trwania doświadczenia temperatury o zadanej wartości. Wobec negatywnego wyniku utrzymania temperatury poniżej 15°C , zdecydowano się na pomiary intercepcji w stałej temperaturze $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$. W oparciu o wyniki przeprowadzonej kontroli stwierdzono prawidłowe działanie i możliwość uzyskania w pełni kontrolowanego, stałego natężenia deszczu, rozłożonego równomiernie na całej powierzchni objętej zraszaniem.

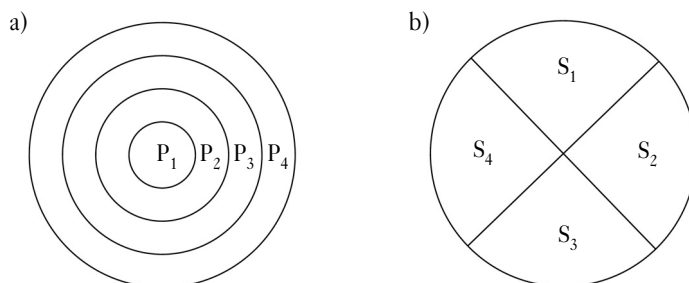
Ocena metodyki i założenia konstrukcyjnego

Na zaprojektowanym stanowisku wykonano pomiary dla pięciu gatunków drzew (dębu szypułkowego, buka zwyczajnego, sosny pospolitej, jodły pospolitej i świerka pospolitego) oraz dla dwóch makiet z tworzywa sztucznego, naśladujących drzewka liściaste i iglaste. Na każdym drzewku i makietach przeprowadzono po 15 powtórzeń doświadczenia, zmieniając 5 razy natężenie deszczu dla każdego z 3 wariantów średnicy igieł zraszacza. W sumie do dalszych analiz użyto danych

Tabela 1.

Charakterystyka powierzchni objętej zraszaniem
Characteristics of areas subjected to sprinkling

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
Powierzchnia [cm ²]	78,54	175,93	276,46	376,99
Promień [cm]	5	9	13	17
Liczba otworów	9	12	12	12
Liczba igieł	9	18	27	36
Powierzchnia przypadająca na 1 igłę [cm ²]	8,73	9,77	10,24	10,47



Ryc. 2.

Układ powierzchni testowych
Structure of the test surfaces

Tabela 2.

Kontrola ilości deszczu spadającego na zraszana powierzchnię
Control of precipitation falling onto sprinled area

Lp	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
1	47,38	49,31	48,53	48,50
2	48,55	48,23	48,07	47,97
3	48,77	47,64	47,92	48,74
4	47,98	48,09	47,55	47,54
5	48,17	48,14	48,00	48,00
6	47,46	47,52	47,98	48,15
7	47,96	48,02	48,00	47,95
8	48,24	48,02	48,06	48,24
9	47,99	47,97	48,24	47,63
10	48,08	47,56	48,50	48,09
Średnia	48,06	48,05	48,09	48,08

z 75 przebiegów zraszania drzewek i 30 dla makiet. Uzyskano wyniki dla intercepcji chwilowej (rzeczywistej) w każdej minucie trwania doświadczenia oraz dla intercepcji potencjalnej (maksymalnie możliwej) dla całego pojedynczego deszczu. Wyniki pomiarów zatrzymywania symulowanego opadu deszczu posłużyły do weryfikacji wzorów empirycznych opisujących intercepcję roślin zgodnie z koncepcją Sulińskiego [1993] „napełniania nieszczelnego zbiornika” [Klamerus-Iwan 2010].

Biorąc pod uwagę charakter metodyczny tej pracy, należy podkreślić, że rozwiązania techniczno-organizacyjne w dużym stopniu określają wiarygodność otrzymanych rezultatów. Odnosząc się do skuteczności przyjętych procedur i sprawności technicznej wykonanego we własnym zakresie stanowiska pomiarowego, można uznać, że spełniło ono swoje zadanie. Przebieg prac, badania testowe, jak również otrzymane wyniki pozwalają na stwierdzenie, że wartości intercepcji mierzone były przy założonych i stabilnych w czasie parametrach. Natomiast w przyszłych badaniach należy udoskonalić sam zraszacz, aby możliwe było uzyskanie opadu o natężeniu niższym od 5 mm/h oraz o charakterystykach opadu zmieniających się podczas zraszania. Na konieczność odwzorowania symulowanego opadu do zmieniającego się opadu w warunkach naturalnych zwrócili uwagę Torres i in. [1994] oraz Uijlenhoet i Stricker [1999]. Przełamanie trudności w tej sprawie mogłoby wydatnie ułatwić odniesienie wyników badań laboratoryjnych do warunków ekosystemu leśnego.

Zastosowana w opisywanych badaniach poprawka redukująca wysokość intercepcji o ilość wody zatrzymanej na powierzchni tunelu spełniła oczekiwania, tym niemniej sprawa ta ma decydujący wpływ na poprawne wyodrębnienie faz przebiegu intercepcji rzeczywistej i musi być przedmiotem szczególnej uwagi. Na stanowisku pomiarowym można było badać drzewka małe, o maksymalnej wysokości 1 m, dlatego wydaje się w kontekście przeprowadzonych badań konieczność powiększenia stanowiska pomiarowego tak, aby można było badać drzewka o wysokości do 3 m.

Literatura

- Anzhi W., Jinzhong L., Jianmei L., Tiefan P., Changjie J. 2005. A semi-theoretical model of canopy rainfall interception for *Pinus korraiensis nakai*. Ecological Modelling 184: 355-361.
- 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.
- Czarnowski M. S. 1978. Zarys ekologii roślin lądowych. PWN, Warszawa.
- Czarnowski M. S., Olszewski J. L. 1968. Rainfall interception by a forest canopy. Oikos 21: 48-51.
- de Jong 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. KIL, UR w Krakowie.
- Kucza J. 2007. Właściwości hydrologiczne materii organicznej gleb leśnych na przykładzie gleb pod świerczynami istebniańskimi. *Zeszyty Naukowe AR* 320.
- 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* 38: 91-106.
- Liu S. 1997. A new model for the prediction of rainfall interception in forest canopies. *Ecol. Model.* 99: 151-159.
- Pei 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. 1993. Modelowanie bilansu wodnego w wymianie między atmosferą, drzewostanem i gruntem przy użyciu kryteriów ekologicznych. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie. Rozpr. hab.* 179.
- 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.
- Torres Sempere D., Porr J. M., Creutin J. D. 1994. A general formulation for raindrop size distribution. *J. Appl. Meteor.* 33: 1494-1502.
- Uijlenhoet R., Stricker J. 1999. A consistent rainfall parametrization based on the exponential raindrop size distribution. *Journal of Hydrology* 218: 101-127.

SUMMARY

Assessment of the design of the prototype experimental station for the research on forest trees interception in the laboratory conditions

Direct field measurements of forest tree interception are difficult as far as methodology and organization are concerned even though radar and laser equipment were introduced on a larger scale. Therefore the quantity approach to interception do not have the required accuracy and the generalizations necessary for the hydrological research. Research in laboratory conditions is a way to improving knowledge about factors forming the interception of forest habitats [Anzhini i in. 2007]. Pei i in. [1993] i Keim i in. [2006] reach the precipitation over 47 mm/h, even 420 mm/h, therefore research was undertaken at the Department of Forest Engineering at the University of Agriculture in Krakow, aiming at construction of equipment for measuring tree interception in the conditions adapted to the volume of precipitation in Poland.

The sprinkle's parameters and the methodology of getting and recording readings have been submitted to the assumed requirements that result from the already existing mathematical formulas. The device is composed of three units. 1) the unit that creates stimulated rainfall of a defined droplet size and intensity, called the sprinkler. 2) the unit that registers and controls the intensity and volume of rainfall 3) the unit that registers in real time the amount of rainfall that seeps through down to the root level of the examined tree (fig. 1) . The continuous readout of the scales that are a component in the units 2 and 3 is possible thanks to the computer software WinWag Pro. Before we began the proper phase of measurements of water retention, we have calibrated the measurement device. This way we have ensured the repeatability and stability of the parameters throughout the duration of the whole series of experiments. Taking into account methodological nature of this research it must to be emphasized that the technological and organizational solutions are essential to define the credibility of the achieved results.