

ANNA KLAMERUS-IWAN

## Intercepcja potencjalna drzew w warunkach laboratoryjnych przy zastosowaniu niskich natężeń deszczu

Potential interception in laboratory condition under simulated rain with low intensity

### ABSTRACT

Klamerus-Iwan A. 2014. Intercepcja potencjalna drzew w warunkach laboratoryjnych przy zastosowaniu niskich natężeń deszczu. Sylwan 158 (4): 292-297.

The research focuses on the potential interception that describes the amount of maximum storage capacity of the plant surface. The study regarded trees interception under simulated rain in the range of 2 to 11 mm/h. Non-linear model was proposed for estimation of the analysed parameter. Interdependence of potential interception and the intensity of rain and the size of droplets was described using exponential equation.

### KEY WORDS

potential interception, simulated rainfall, rain drop, coniferous species

### ADDRESSES

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

Katedra Inżynierii Leśnej; Uniwersytet Rolniczy; al. 29 Listopada 46; 31-425 Kraków

## Wstęp

Intercepcja roślin jest rozpatrywana jako składowa bilansu atmosfera – drzewostan – gleba, występująca w równaniu dla fazy zasilania, w której ilość wody zatrzymanej na powierzchni roślin pomniejsza przyrost zapasu wody w glebie [Suliński 1993]. W wodnych równaniach bilansowych intercepcja jest najmniej sparametryzowanym i obliczalnym elementem. W wyniku weryfikacji wzoru na intercepcję Czarnowskiego [1978], Suliński [1993] zaproponował jego postać:

$$i_d = \left( \beta i_{0d} \left( 0,157 \sum_{j=1}^n D_j H_j N_j \right) \right) \left( (1 - e^{-\varphi s}) (1 - e^{-\gamma t}) \right) \quad [1]$$

gdzie:

$i_d$  – intercepcja drzew [mm],

$i_{0d}$  – intercepcja początkowa [mm],

$D_j, H_j, N_j$  – średnie wartości dla gatunku  $j$ : pierśnicy [cm] i wysokości drzewostanu [m] oraz liczby drzew [tys. szt./ha],

$S$  – natężenie deszczu [mm/h],

$t$  – czas trwania pojedynczego opadu deszczu [godz.],

współczynniki do wyliczenia w procesie identyfikacji wzoru:

$\beta$  – charakterystyka stanu powierzchni („przelepność deszczowa”),

$\varphi, \gamma$  – parametry skalujące.

Podjęta problematyka badań koncentruje się wokół intercepcji potencjalnej. Jest to ilość wody, jaka może być maksymalnie zmagazynowana na powierzchni roślin. Najczęściej intercepcja potencjalna jest traktowana jako cecha powierzchni o stałej wartości, co można wyrazić obrazowo: „jeden deszcz – jedna stała wartość intercepcji potencjalnej” [Liu i in. 1997]. W piśmiennictwie można jednak napotkać informacje, na podstawie których prawdziwość wymienionej zasady jest do podważenia. Autorka we własnych badaniach intercepcji symulowanego opadu przez drzewka leśne stwierdziła, że intercepcję potencjalną należy traktować jako wartość indywidualną dla danego deszczu [Klamerus-Iwan 2010].

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 [Putuhena, Cordero 1996; Anzhini i in. 2007; Toba, Otha 2008], które mogłyby dostarczyć danych do identyfikacji modeli matematycznych.

Pei i in. [1993] wykonali w laboratorium symulacje opadu na stałej powierzchni drzewa, zmieniając natężenie deszczu dziesięć razy w zakresie od 47,4 do 147,6 mm/h. Keim i in. [2006] zastosowali natężenia od 20 do 420 mm/h, zmieniając także rozmiar kropeł symulowanego opadu od 1,0 do 2,8 mm. Dla położonej w strefie klimatu umiarkowanego Polsce takie natężenia opadów występują z małym prawdopodobieństwem. Między innymi dlatego bardzo trudno jest porównywać otrzymane wyniki z innymi badaniami, gdzie stosowano natężenie symulowanego opadu deszczu wielokrotnie wyższe.

Przedmiotem zaprojektowanych badań była intercepcja drzew w czasie symulowanego opadu deszczu z zachowaniem stabilnych w czasie warunków i dających się porównać parametrów deszczu, zwłaszcza natężenia i rozmiaru kropeł. Głównym celem badań było zebranie i przygotowanie bazy danych do identyfikacji budowanych wzorów w odniesieniu do niskich natężeń. Celem podrzędnym było dalsze doskonalenie postępowania badawczego oraz stosowanej aparatury.

## Materiał i metody

W prezentowanej pracy podjęto badania intercepcji drzew zraszanych symulowanym opadem deszczu w zakresie od 2 do 11 mm/h. Do wykonania takich badań zaprojektowano i zbudowano zestaw zraszający [Klamerus-Iwan, Owsiak 2013], uwzględniając trudności z uzyskaniem niskich natężeń. Grawitacyjny wpływ wody z przystosowanych do tego igieł wymieniono na wymuszony pompą hydroforową. Same igły zastąpiono ogrodniczymi końcówkami do mikrozaszaczy. Parametry uzyskiwanych opadów wynikały z właściwych przeliczeń wydatku wody na powierzchnię objętą zraszaniem. Wykonano także pomiary kontrolne, ustalające stałość i powtarzalność założonych parametrów. Kwestia 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 pod sufitem i podwieszenie na niej omawianego tunelu foliowego możliwa była ciągła rejestracja ilości zatrzymywanej na nim wody.

Badaniami objęto 2 gatunki drzew iglastych: *Abies alba* i *Picea abies*. Drzewa do badań miały prawidłowo rozwiniętą koronę. Pobrano je z bryłką ziemi, przesadzono do odpowiednio dużych donic i regularnie podlewano. Po upewnieniu się, że ich procesy życiowe nie zostały zahamowane, rozpoczęły się właściwe pomiary. W trakcie trwania kolejnych przebiegów doświadczenia prowadzona była bieżąca analiza wyników, pod kątem czynników kształtujących mierzoną inter-

cepcję, szczególnie wielkość symulowanych kropli deszczu i natężenie opadu. W schemacie doświadczenia uwzględniono te czynniki, które uznano za istotne na podstawie wcześniejszych badań autorki.

W dalszej części artykułu każdy deszcz z indywidualnymi parametrami nazywany będzie przebiegiem doświadczenia. Na każdym drzewie wykonano dziesięć przebiegów różniących się natężeniem symulowanego deszczu i rozmiarem kropli. Dwa razy zmieniono rozmiar kropli deszczu: 0,1 i 0,2 mm. Dla każdego rozmiaru zastosowano 5 zmian natężenia opadu: 2, 4, 6, 8, 11 mm/h.

Wartości intercepcji aktualnej zostały zmierzone i zapisane automatycznie z pięciosekundowym krokiem czasowym, w komputerowej bazie danych przy użyciu programu Pomiarwin. Wszystkie wartości intercepcji podano w milimetrach warstwy wody.

Zraszanie było prowadzone do momentu stabilizacji ilości zatrzymanej wody na danym drzewku. Punkt stanowiący intercepcję potencjalną – czyli maksymalnie możliwą dla danego przebiegu – ustalano dopiero na podstawie krzywej intercepcji aktualnej. Intercepcję aktualną wyodrębniono dla odróżnienia od intercepcji potencjalnej  $I_p$ . Jest to ilość wody, jaka w każdej sekundzie trwania zraszania pozostaje na powierzchni drzewka. Ustalony punkt intercepcji potencjalnej jest ściśle połączony z czasem  $T$  niezbędnym do osiągnięcia intercepcji potencjalnej w danym przebiegu doświadczenia. Każdy przebieg doświadczenia różniący się natężeniem i rozmiarem kropli osiągał indywidualną wysokość intercepcji potencjalnej i czasu potrzebnego do jej realizacji. Przeprowadzając 10 symulacji opadów na każdym drzewie, uzyskaliśmy 10 wartości  $I_p$  oraz  $T$ . Uzyskana w ten sposób baza danych posłużyła do dalszych analiz.

## Wyniki

Wartości intercepcji potencjalnej  $I_p$  oraz czas  $T$  niezbędny do jej osiągnięcia odczytywano z krzywej intercepcji  $I_{rs}=f(t)$ . Po czasie  $T$  dalsze zraszanie nie powodowało już przyrostów masy wody mierzonej na wadze. Wartości  $T$  oraz  $I_p$  dla wszystkich 20 przebiegów doświadczenia zestawiono w tabeli, uwzględniając natężenie deszczu  $S$  oraz wielkość kropli  $F_r$ . Stwierdzono, że wartości, jakie intercepcja potencjalna przybierała dla obu gatunków, bardzo dobrze korelują z wartościami odpowiadającego im czasu  $T$ , jak również z wartościami natężenia opadu deszczu  $S$  oraz wielkością kropli  $F_i$  (tab., ryc.). Jednocześnie stwierdzono silną korelację między czasem  $T$  niezbędnym do osiągnięcia intercepcji potencjalnej  $I_p$  a natężeniem  $S$  i wielkością kropli  $F_r$ . Uwidacznia się spadek wartości intercepcji wraz ze wzrostem natężenia symulowanego opadu dla obu rozpatrywanych gatunków. Wpływ rozmiaru kropli na intercepcję potencjalną jest tak samo wyraźny, dlatego wraz z natężeniem opadu deszczu musi być ujęty przy badaniu procesu intercepcji.

Stosując estymację nieliniową, zaproponowano dla uzyskanych danych model wykładniczy:

$$I_p = 9,304 + \exp(3,206 - 5,903 \cdot S - 0,159 \cdot F_i) \quad [2]$$

gdzie:

- $I_p$  – intercepcja potencjalna,
- $S$  – natężenie symulowanego opadu,
- $F_i$  – rozmiar kropli deszczu.

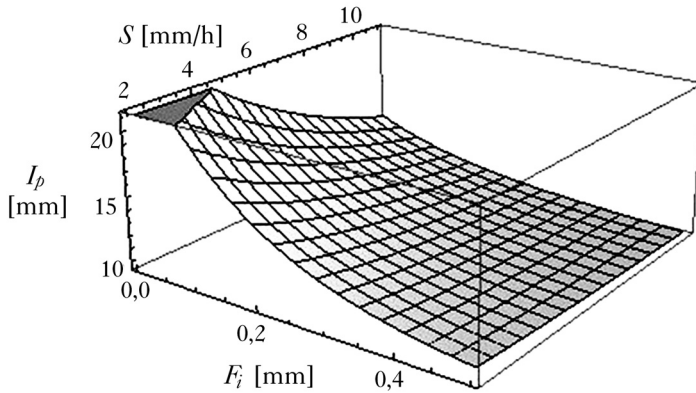
Dla tego modelu wartości obserwowane względem przewidywanych układają się liniowo. Obraz (ryc.) wygenerowany na podstawie zaproponowanego wzoru [2] potwierdza, że wraz ze wzrostem rozmiaru kropli i ze wzrostem natężenia deszczu maleje zdolność korony drzewa do zatrzymywania wody opadowej, czyli maleją wartości intercepcji potencjalnej. Wyniki identyfikacji

Tabela.

Wartości intercepcji potencjalnej  $I_p$  [mm] jodły i świerka wraz z czasem  $T$  [h] dla wszystkich zmian natężenia  $S$  [mm/h] oraz rozmiaru kropeł  $F_i$  [mm] symulowanego opadu deszczu

Potential interception  $I_p$  [mm] for silver fir and Norway spruce with time required to achieve it  $T$  [h] under rain intensity  $S$  [mm/h] and the size of droplets of the simulated rainfall  $F_i$  [mm]

Jodła				Świerk			
$F_i$	$S$	$T$	$I_p$	$F_i$	$S$	$T$	$I_p$
0,1	2	11,5	19,2	0,1	2	12,1	24,3
0,1	4	9,8	17,2	0,1	4	10,9	20,9
0,1	6	6,5	13,7	0,1	6	8,7	19,1
0,1	8	6,0	13,2	0,1	8	6,9	15,5
0,1	11	4,5	11,6	0,1	11	5,9	13,8
0,2	2	6,2	14,2	0,2	2	7,5	18,3
0,2	4	5,2	13,9	0,2	4	6,5	17,5
0,2	6	4,1	12,4	0,2	6	4,6	14,2
0,2	8	4,0	11,9	0,2	8	3,5	12,8
0,2	11	2,3	10,2	0,2	11	3,1	11,2



Ryc.

Zależność intercepcji potencjalnej od natężenia deszczu i rozmiaru kropeł w zaproponowanym modelu wykładniczym dla symulacji opadu deszczu

Relationship between potential interception and the intensity and the size of raindrops obtained on the proposed exponential model of the rainfall simulation

wzoru dla 20 przebiegów doświadczenia ( $R^2=0,98$  i wariancja 96) pozwalają uznać, że intercepcja potencjalna drzewek jest procesem dającym się przedstawić wzorami matematycznymi.

## Dyskusja

Intercepcję potencjalną można nazwać obrazowo „objętością zbiornika intercepcyjnego”. Zgodnie z koncepcją Czarnowskiego [1978] rozwiniętą przez Sulińskiego [1993] założono, że „zbiornik jest nieszczelny”, czyli jego napełnienie wymaga deszczu o odpowiednim natężeniu i czasie trwania. Jednocześnie jest duże prawdopodobieństwo, że powierzchnia roślin może z upływem czasu zmieniać swoje możliwości zatrzymywania wody. Szczególnie dotyczy to pędów pokrytych wieloletnią korą, która być może podlega temu zjawisku, dającemu się bardzo wyraźnie obserwować dopiero na powierzchni martwych części roślin [Kucza 2007].

Rozważanie tych korelacji w kategoriach przesłanek przyrodniczych uzasadnia postawienie pytania: czy „objętość zbiornika intercepcyjnego” zwiększa się wskutek przemian zachodzą-

cych na powierzchni roślin powiązanych z czasem trwania deszczu, czy też zależy od sposobu napełniania zbiornika, czyli natężenia i wielkości kropel deszczu.

Czasu trwania opadu  $T$  potrzebnego do uzyskania intercepcji potencjalnej nie da się ustalić *a priori* tak jak innych parametrów deszczu. Można go wyznaczyć dopiero z krzywej przebiegu intercepcji po zakończeniu zraszania z określonymi charakterystykami deszczu. Do ewentualnego przewidywania czasu  $T$  przy zadanym natężeniu  $S$  i rozmiarze kropel  $F_f$ , może okazać się pomocna korelacja  $T=f(S, F_f)$ . Należy jednak wziąć pod uwagę fakt, że wartości intercepcji w decydującym stopniu są wynikiem przemian sorpcyjnych powierzchni drzewa, których liczbowym ekwiwalentem jest czas  $T$  ekspozycji na opad deszczu.

Ewentualnego wpływu gatunku na intercepcję nie jesteśmy w stanie stwierdzić, ponieważ użyte do doświadczeń drzewka miały różne powierzchnie. Aby móc wnioskować o wpływie gatunkowym, należałoby precyzyjnie określić powierzchnię, a badaną intercepcję rozpatrywać w odniesieniu do jednakowej jednostki tej powierzchni. Sama wielkość powierzchni ma kluczowe znaczenie dla ilości zatrzymanej wody [Gomez 2001; Hall 2003].

Odniesienie prawidłowości występujących w procesie intercepcji drzew stwierdzonych w warunkach badań laboratoryjnych do warunków rzeczywistych w drzewostanie jest trudne. Na przykład Głogowska i Olszewski [1967], badając przenikanie opadu w lasach łąkowych, zauważyli, że czynnikiem różnicującym intercepcję jest wielkość opadu. Stwierdzili, że opady nad koronami drzew mniejsze niż 7 mm wykazują mniejsze procentowo przenikanie do dna lasu. Zależność tę związali z czasem trwania deszczu według równania regresji  $y=21,83\sqrt{x}$ , w którym  $y$  oznacza ilość deszczu docierającego pod korony,  $x$  jest czasem trwania deszczu. Nie stwierdzili natomiast istotnej korelacji między przepuszczalnością opadową łąki i natężeniem opadu nad drzewostanem. Otrzymane w badaniach własnych wyniki są odmienne od cytowanych, nie można jednak wykluczyć, że decydujące znaczenie może tu mieć krańcowo różna skala badanych obiektów – drzewostan i pojedyncze drzewka o niewielkich rozmiarach. Jak wiadomo, przenoszenie wyników między modelami fizycznymi w różnej skali wymagałoby opracowania dedykowanego dla konkretnych danych kryterium Froude'a [Czarnowski 1978]. Podniesiona tu kwestia nie jest bez znaczenia dla interpretacji, gdyż jak stwierdzili Toba i Ohta [2008], mierząc intercepcję dla 24 drzewek w warunkach kontrolowanych, rola natężenia deszczu jest istotna i kształtuje się w taki sam sposób jak w prezentowanych badaniach.

## Wnioski

- ✦ Natężenie i rozmiar kropel symulowanego opadu deszczu istotnie wpływają na wysokość osiągniętych wartości intercepcji potencjalnej.
- ✦ Zjawisko kształtowania się zdolności roślin do zatrzymywania wody zależy zarówno od dynamiki zraszania, jak i od czasu trwania zraszania.

## Literatura

- 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 łąkowych*. PWN, Warszawa.
- Głogowska J., Olszewski J. 1967. Opad deszczu w lesie liściastym. *Sylvan* 111 (5): 55-64.
- Gomez J. A., Giraldez J. V., Fereres E. 2001. Rainfall interception by Olive trees in relation to leaf area. *Applied Water Management* 49: 65-76.
- Hall R. L. 2003. Interception loss as a function of rainfall and forest types: stochastic modelling for tropical canopies revisited. *Journal of Hydrology* 280: 1-12.
- 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 – maszynopis w KIL UR.
- Klamerus-Iwan A., Owskiak K. 2013. Ocena konstrukcji prototypowego stanowiska do badań nad intercepcją drzew leśnych w warunkach laboratoryjnych. *Sylwan* 157 (6): 464-469.
- Kossowska-Cezak U., Martyn D., Olszewski K., Kopacz-Lembowicz M. 2000. Meteorologia i klimatologia. Pomiary – obserwacje – opracowania. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa – Łódź.
- Kucza J. 2007. Właściwości hydrologiczne materii organicznej gleb leśnych na przykładzie gleb pod świerczynami i srebniakami. *Zeszyty Naukowe AR* 320.
- Liu S. 1997. A new model for the prediction of rainfall interception in forest canopies. *Ecol. Model.* 99: 151-159.
- Olszewski J. 1984. Intercepcja i jej wpływ na wysokość opadów atmosferycznych docierających do powierzchni gruntu w lesie. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 288.
- 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.
- Putuhena W., Cordery I. 1996. Estimation of interception capacity of the forest floor. *J. Hydrol.* 180: 283-299.
- 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.
- Toba T., Ohta T. 2008. Factors affecting rainfall interception determined by a forest simulator and numerical model. *Hydrological Processes* 22 (14): 2634-2643.

## SUMMARY

### Potential interception in laboratory condition under simulated rain with low intensity

The research focuses on the interception of plants, which is considered as a component of the balance of stand-atmosphere-soil occurring in the equation for the phase of the water supply. The amount of water retained on the surface of plant reduces growth of water supply in the soil [Suliński 1993]. The potential interception is the maximum amount of water that can be stored on the surface of plants. The way to extend knowledge of interception determinants in forest communities are, therefore, tests under controlled conditions [Anzhini et al. 2007], which could provide data for the identification of mathematical models built using ecological criteria [Czarnowski 1978; Suliński 1993].

The similar experiments carried out by other researchers used simulated precipitation intensities of from 47 to 147 mm/h [Pei et al. 1993] and from 20 to 420 mm/h [Keim et al. 2006]. In Polish climate conditions, it gives the amount of precipitation intensity, occurring with a relatively low probability of similarity. The study regarded tree interception under simulated rain in the range of 2 to 11 mm/h. To perform such research, a set of sprinkler was designed and built [Klamerus-Iwan, Owskiak 2013] taking into account difficulties in obtaining low intensities. The subject of the proposed research was trees interception during simulated rainfall while maintaining stable conditions and parameters of rain intensity and especially the size of the droplets. The study included two coniferous species: *Abies alba* and *Picea abies*. Trees for research had properly developed crowns. For each tree, ten runs were performed of various intensity and size of the simulated rain drops (0.1 and 0.2 mm). For the obtained data the descriptive characteristics of the proposed non-linear estimation was suggested. Interdependence of potential interception and the intensity of the rain and the size of the droplets model was described using an exponential equation. The applied research methodology brought the expected results as a properly and reliable analyzed database.