

KRZYSZTOF A. OWSIAK, ANNA KLAMERUS-IWAN, JANUSZ GOŁĄB

Wpływ aktualnego stanu zraszanej powierzchni na przyleganie wody deszczowej w kontekście badań laboratoryjnych nad intercepcją drzew*

Effect of current state of the sprinkled surface on rain water coherence
– laboratory research on interception by trees

ABSTRACT

Owsiak K. A., Klamerus-Iwan A., Gołąb J. 2013. Wpływ aktualnego stanu zraszanej powierzchni na przyleganie wody deszczowej w kontekście badań laboratoryjnych nad intercepcją drzew. Sylwan 157 (12): 922-928.

The research investigates if and to what extent the current state of the sprinkled surface and the temperature of the water used can influence the level of interception. The analysis was based on a series of experiments undertaken in laboratory conditions. Photographic documentation has recorded the angle at which water droplets at different temperatures hit the surface of leaves and needles of beech, oak, fir, pine and spruce.

KEY WORDS

storage capacity, size, rain drop

ADDRESSES

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

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

Janusz Gołąb – e-mail: rlgolab@cyf-kr.edu.pl

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

Wstęp

W świetle wiedzy fizycznej o procesie zwilżania i zatrzymywania wody na powierzchni różnych ciał, nie tylko materiału roślinnego, należy założyć, iż przy badaniu intercepcji konieczne jest uwzględnienie wpływu czynników zarówno związanych ze zraszaną powierzchnią, jak i z charakterystyką deszczu [Stankiewicz 1971; Czarnowski 1989; Suliński 1993; Calder 1999].

Według koncepcji przedstawionej przez Czarnowskiego i Olszewskiego [1968] oraz Czarnowskiego [1989] maksymalna ilość wody, jaka mogłaby zatrzymać się na drzewach, jest proporcjonalna do ich powierzchni oraz przylepności deszczowej (λ). Intercepcję koron (i_{dk}) można ująć wzorem:

$$i_{dk} = \lambda H \sqrt{GN} (1 - e^{-\alpha P}) \quad [1]$$

gdzie:

H – średnia wysokość drzewostanu [m],

G – pole przekroju drzew na umownej wysokości [m²/ha],

N – liczba drzew w drzewostanie [szt./ha],

P – opad na otwartej przestrzeni [mm].

* Artykuł powstał ze środków DS na badanie własne dla młodych naukowców BM4415.

Zagadnienie zatrzymywania wody przez korony drzew jest trudne do analizy, ponieważ intercepcja po pojedynczym opadzie deszczu jest stosunkowo mała. Rutter i in. [1975] określili możliwości saturacyjne koron drzew liściastych i iglastych na 0,5-2 mm, przy czym według badań Caldera i in. [1996] może to być 50-80% sumy opadu deszczu. W tym kontekście trudno rozstrzygnąć, czy jest to wpływ początkowego zwilżenia powierzchni, nazwanego intercepcją początkową [Suliński 1993], czy też wynikiem zmian właściwości przylepności deszczowej zachodzących z czasem na powierzchni roślin wskutek zwilżenia, co stwierdza się w przypadku powierzchni martwych części roślin [Kucza 2007].

Crockford i Richardson [2000] uznali gatunkową zdolność korony do zatrzymywania wody za kluczową cechę wpływającą na wielkość intercepcji. Natomiast Bryant i in. [2005] stwierdzili, że straty na intercepcję w drzewostanach różnych pod względem gatunkowym są bardzo podobne. Do czynników określających stan powierzchni roślin mających znaczenie dla intercepcji zaliczany jest stopień ich zabrudzenia, zmieniający się w czasie okresu wegetacji [Jong, Jetten 2007] lub związany z ewentualnym oddziaływaniem obecnych w powietrzu zanieczyszczeń [Gruszka 1991].

Z punktu widzenia intercepcji istotny jest kształt i kąt przylegania kropli deszczu do powierzchni roślin, co jest wynikiem głównie wielkości kropli oraz rodzaju powierzchni. Kropla w stanie swobodnym przybiera kształt idealnej kuli, gdyż jest to bryła o możliwej najmniejszej powierzchni. Wyjątkiem są miejsca styku kropli z dwoma różnymi substancjami. W odpowiednich warunkach kropla może mieć jednak niemal dowolne wymiary [Stankiewicz 1971; Respondowski 1999]. Decydujący wpływ na kształt powierzchni swobodnej kropli mają siły napięcia powierzchniowego powstające wskutek oddziaływań międzycząsteczkowych [Orzechowski, Prywer 2008]. Ciecz, stykając się z ciałem stałym, może rozplýwać się po całej jego powierzchni (hydrofilowe) lub tworzyć przylegające do niego krople (hydrofobowe). Na granicy styku cieczy, ciała stałego i gazu ciecz tworzy zawsze taki sam kąt z powierzchnią ciała stałego, który nazywa się kątem zwilżania.

Osuch [1994] wyróżni 3 stopnie zwilżalności powierzchni roślin, w zależności od kąta nachylenia kropli do powierzchni: dobrą, średnią i złą. Hall i Calder [1993] wykonali doświadczenia z symulatorem deszczu i posługując się disdrometrem laserowym, wykazali, że parametry zwilżania określające, ile wody może się zatrzymać na roślinie, zależą od wielkości kropli. Zasugerowali, że relacje pomiędzy wielkością kropli i intensywnością deszczu powinny być szerzej badane jako ważny czynnik dla obliczeń intercepcji. Wymienione czynniki niewątpliwie wpływają na proces zwilżania powierzchni, ale jak dotąd jest brak wyczerpujących opracowań, w jakim stopniu parametry tego zwilżania przekładają się na liczbowe wartości intercepcji w odniesieniu do pojedynczych drzew i drzewostanów.

Celem pracy było ustalenie wpływu stanu zwilżenia liści na proces intercepcji wody przez drzewa pięciu gatunków lasotwórczych.

Materiał i metody

Wpływ temperatury wody deszczowej i temperatury powierzchni listowia na jego właściwości intercepcyjne jest faktem znanym z doświadczeń fizycznych oraz podnoszonym przez autorów zajmujących się badaniami intercepcji roślin [Calder 1999]. W celu przybliżenia znaczenia tego zagadnienia fotografowano krople wody zatrzymujące się na liściach dębu i buka oraz igłach jodły, sosny i świerka w różnej temperaturze otoczenia i wody użytej do wytworzenia opadu deszczu. Do wykonania dokumentacji fotograficznej wykorzystano aparat Canon Eos 450D z obiektywem EF 100 mm f/2.8 Macro USM. Zdjęcia wykonano w komorze bezcieniowej, starając

się uchwycić postaci kropli wody zatrzymanych na blaszce liścia, ich wysokość oraz kąt nachylenia między powłoką kropli a powierzchnią liścia (ryc. 1). Kąty nachylenia pomierzono w programie SigmaScan 5.0 Pro.

Starano się rozpoznać zmienność przylegania kropeł wody do zraszanej powierzchni w zależności od temperatury. Do badań użyto pojedynczych gałązek drzew utrzymywanych w temperaturze 5, 15 i 21°C. Nad gałązkami wykraplano z igieł o średnicy 0,45 mm wodę o tej samej temperaturze. O wykraplaniu się wody decyduje w szerokim zakresie temperatura użytej wody. Relacje między masą, temperaturą kropli wody i średnicą igieł zraszacza można wyrazić następującym wzorem:

$$M = \alpha \cdot (1 - e^{-\varphi T}) \cdot \left(\frac{d^2}{\mu + d^2} \right)^3 \quad [2]$$

gdzie:

M – masa 10 kropeł wody [g],

T – temperatura wody [°C],

d – średnica igły [mm],

α , φ , μ – współczynniki.

Jeśli się weźmie pod uwagę powierzchnię kropli, można otrzymać wzór:

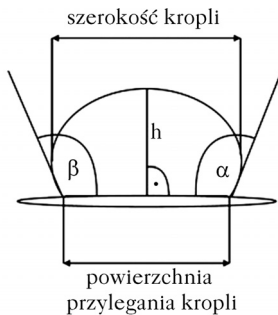
$$F = \alpha \cdot (1 - e^{-\varphi T}) \cdot \left(\frac{d^2}{\mu + d^2} \right) \quad [3]$$

gdzie:

F – powierzchnia kropli wody [cm²].

Całość doświadczenia przeprowadzono w klimatyzowanym pomieszczeniu, gałązki i woda schładzane były do założonej temperatury w lodówce.

Oprócz roli temperatury w kształtowaniu procesu intercepcji najczęściej wymienia się zabrudzenie powierzchni. W tym celu uzupełniono dokumentację fotograficzną o krople wody zatrzymujące się na zdrowych i zainfekowanych mączniakiem liściach dębu szypułkowego, a także o krople zatrzymane na sztucznie zabrudzonej powierzchni roślin żywych, jak i na 2 makietach naśladujących gatunki liściaste. Makiety wykonane były z materiału nienasiąkającego wodą, a do symulacji zabrudzenia użyto między innymi gipsu budowlanego oraz substancji oleistych w sprayu. Punktem odniesienia dla właściwości zabrudzonej powierzchni były wyniki zatrzymywania wody przez czystą powierzchnię makiety. Spodziewano się, że czynnik zabrudzenia powierzchni może zmieniać parametry krzywej intercepcyjnej, a nawet jej postać, zwłaszcza w początkowej fazie zraszania. Otrzymane wyniki nie dały się jednoznacznie interpretować. Prawdopodobną



Ryc. 1.

Parametry kształtu kropli przylegającej do liścia
Parameters of rain drop adhesive to the leaf

przyczyną było to, że woda opadowa zmywała uwodniony gips w stosunkowo krótkim czasie. Podjęte próby zastosowania innych sposobów i środków do zabrudzenia badanych powierzchni nie zapewniały powtarzalności i stałości stopnia zabrudzenia.

Wyniki i dyskusja

Wykonane pomiary pozwoliły na określenie parametrów wzorów uogólniających związek temperatury otoczenia i temperatury wody dla kształtowania się wielkości kropli wykrapających się z igieł o określonej średnicy (tab.). Podczas pomiarów powiodło się utrzymanie temperatury w założonych granicach dla wszystkich przebiegów, co potwierdzono na zapisie z termohigrografu i na podstawie pomiaru temperatury wody z krótkim krokiem czasowym.

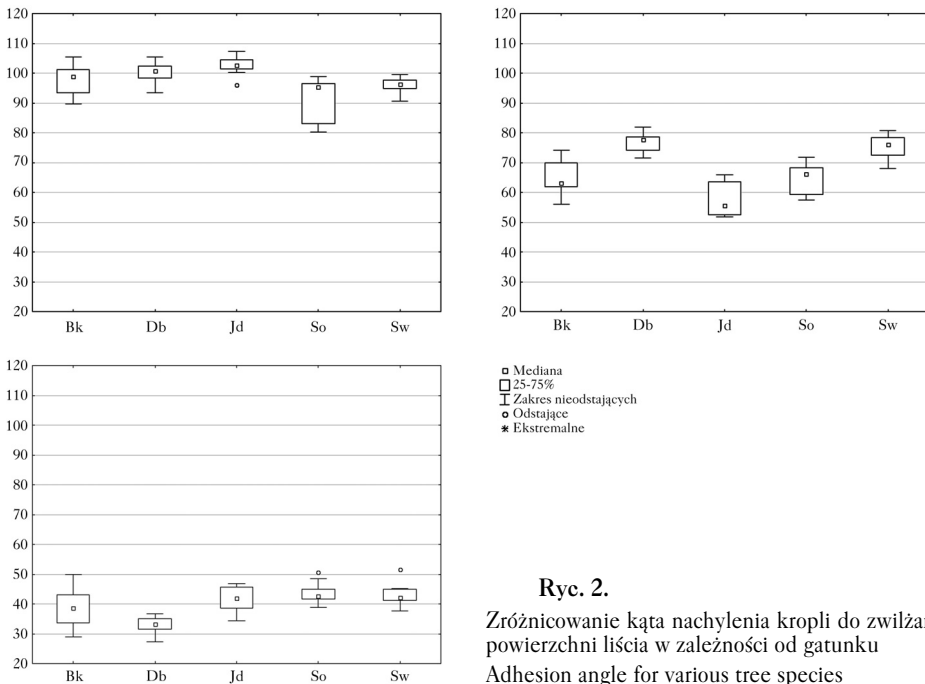
Kąty nachylenia stycznych do powierzchni kropli wyraźnie się różnią w zależności od temperatury wody (ryc. 2). Dla wszystkich badanych gatunków w temperaturze 5°C wyraźnie widać tendencję do tworzenia kropli o najmniejszej powierzchni przylegania do podłoża. Dla wszystkich

Tabela.

Współczynniki wzorów 2 i 3
Parameters of equations 2 and 3

Wzór	Współczynniki			Dopasowanie danych empirycznych i estymowanych wzorami							
	α	φ	μ	n	R ²	ν	σ	$\nu_{\text{poj.}}$			
								min	max	Q1	Q3
[2]	0,182	0,614	0,089	12	98,5	0,002	2,9	-4,4	4,7	-2,5	2,1
[3]	0,364	0,703	0,253	12	98,4	0,003	2,0	-3,2	3,5	-1,7	1,4

n – liczba obserwacji użytych do obliczenia współczynników; R² – współczynnik determinacji [%]; σ – odchylenie standardowe estymacji; ν – współczynnik zmienności [%]; $\nu_{\text{poj.}}$ – błąd pojedynczego spostrzeżenia [%]
n – number of observations; R² – coefficient of determination [%]; σ – standard deviation; ν – coefficient of variance [%]; $\nu_{\text{poj.}}$ – single observation error [%]

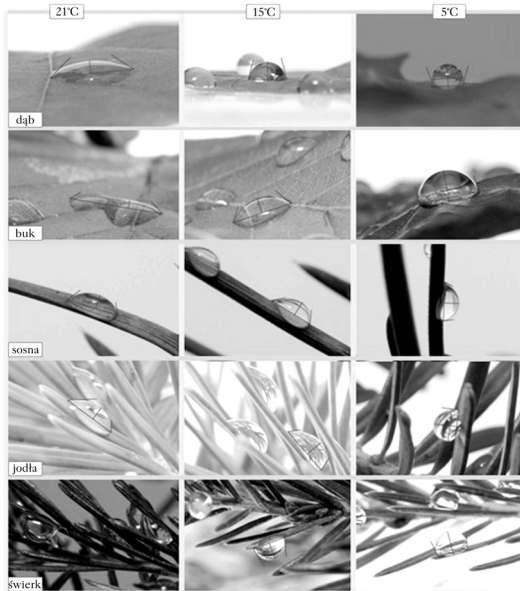


Ryc. 2.
Zróżnicowanie kąta nachylenia kropli do zwilżonej powierzchni liścia w zależności od gatunku
Adhesion angle for various tree species

gatunków poza sosną kąt przylegania był większy od 90° . W temperaturze 15°C kąty przylegania przyjmują już tylko wartości poniżej 90° . Dla dębu zaobserwowano wartości $72\text{--}82^\circ$, dla świerka $68\text{--}81^\circ$. Najmniejsze wartości stwierdzono na igłach jodły $52\text{--}66^\circ$. Kąty przylegania wyraźnie maleją przy wzroście temperatury do 21°C ($26\text{--}51^\circ$ dla wszystkich gatunków). Widać wyraźnie rosnącą wraz z temperaturą tendencję kropli do rozlewania się na powierzchni zarówno liści, jak i igieł (ryc. 3).

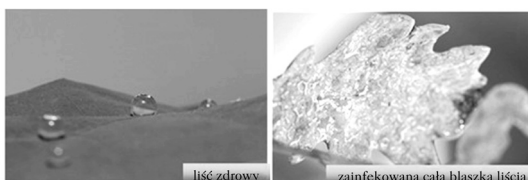
Zanieczyszczenie powietrza przyspieszają zamieranie liści [Siwecki 1987], zmieniają więc teksturę listowia, a co za tym idzie właściwości przylepności deszczowej. Wraz ze stopniem zaawansowania zmian na powierzchni liścia krople wody miały bardziej ostry kąt przylegania (ryc. 4). W środowisku leśnym narażonym na imisję zanieczyszczeń może następować obniżenie bonitacji siedlisk [Bosiak 1987], czyli tym samym zmniejszenia powierzchni intercepcyjnej. Dlatego pomijając z konieczności w opisywanych badaniach czynnik zbrudzenia powierzchni roślin, warto podkreślić, iż w warunkach ekosystemu leśnego może on mieć istotne znaczenie dla procesu intercepcji.

Fakt zmieniającego się kąta nachylenia w zależności od zmieniającej się temperatury nie jest nowatorskim odkryciem. Jednakże takie obserwacje poparte konkretnymi wynikami w kontekście prowadzonych badań nad procesem intercepcji w warunkach laboratoryjnych pokazują, że takie parametry jak temperatura wody i otoczenia muszą być stałe lub zmieniać się w sposób kontrolowany, gdyż w istotny sposób mogą oddziaływać na wysokość otrzymywanych wyników. Zastosowana metoda mogłaby posłużyć określeniu wpływu stanu powierzchni, fazy rozwojowej liścia oraz cech gatunkowych na wielkość intercepcji. Osuch [1994] oraz Osuch i in. [2005a, b]



Ryc. 3.

Kropla deszczu przylegająca do powierzchni listowia w zależności od temperatury
Rain drop adhesive to the leaf surface with regard to the temperature



Ryc. 4.

Kropla deszczu przylegająca do liści w różnym stanie powierzchni
Rain drop adhesive to the leaf surface with regard to its state

zwrócili uwagę, że zdolność powierzchni rośliny do zatrzymywania wody zmienia się w zależności od pory roku. Podobną zmienność sezonową i gatunkową zaobserwowali Zeng i in. [2000]. Obecnie jest brak dostatecznie pewnych przesłanek, czy należy to w większym stopniu wiązać z temperaturą deszczu zmieniającą się z porą roku, czy też cechami fizycznymi starzejącego się listowia. Temperatura deszczu i temperatura powierzchni listowia z teoretycznego punktu widzenia powinny być bowiem czynnikami mającymi istotne znaczenie dla przylepności deszczowej.

Literatura

- Bosiak P. 1987. Zmiany produktywności drzewostanów będących pod wpływem zanieczyszczeń powietrza. W: Siwecki R. [red.]. Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. II Krajowe Sympozjum. Kórnik, 16-19.05.1984. Poznań. 429-436.
- Bryant M. L., Bhat S., Jacobs J. M. 2005. Measurements and modeling of throughfall variability for five forest communities in the southeastern US. *Journal of Hydrology* 312: 95-108.
- Calder I. R. 1999. Dependence of rainfall interception on drop size – a reply to the comment by Uijlenhoet and Stricker. *Journal of Hydrology* 217: 164-165.
- Calder I. R., Hall R. L., Rosier P. T. W., Bastable H. G., Prasanna K. T. 1996. Dependence of rainfall interception on drops size: 2. Experimental determination of the wetting functions and two-layer stochastic model parameters for five tropical tree species. *Journal of Hydrology* 185: 379-388.
- Crockford R. H., Richardson D. P. 2000. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: Effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes* 14: 2903-2920.
- Czarnowski M. S. 1989. *Zarys ekologii roślin lądowych*. PWN, Warszawa.
- Czarnowski M. S., Olszewski J. L. 1968. Rainfall interception by a forest canopy. *Oikos* 21: 48-51.
- Gruszka A. 1991. Wpływ symulowanych kwaśnych deszczów na wybrane gatunki drzew leśnych. Praca doktorska wykonana w Katedrze Ekologii Lasu, UR w Krakowie.
- Hall R. L., Calder I. R. 1993. Drop size modification by forest canopies-measurements using a disdrometer. *J. Geophys. Res.* 90: 465-470.
- 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.
- Kuczka J. 2007. Właściwości hydrologiczne materii organicznej gleb leśnych na przykładzie gleb pod świerczynami istebniańskimi. *Zeszyty Naukowe AR* 320.
- Orzechowski Z., Prywer J. 2008. *Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy*. Wyd. Naukowo-Techniczne.
- Osuch B. 1994. Opad netto w drzewostanie na tle właściwości retencyjnych powierzchni roślin. *Zesz. Nauk. PK, Monografia* 166.
- Osuch B., Homa A., Feliks M. 2005a. Opis pojemności zbiornika intercepcyjnego sosny zwyczajnej (*Pinus silvestris*). *Czasopismo techniczne* 102 (10-Ś): 87-101.
- Osuch B., Homa A., Feliks M., Kulig M. 2005b. Zbiornik intercepcyjny brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth). *Czasopismo techniczne* 102 (10-Ś): 103-118.
- Respondowski R. 1999. *Laboratorium z fizyki*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Rutter A. J., Morton A. J., Robins P. C. 1975. A predictive model of rainfall interception in forests. II. Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. *J. Appl. Ecol.* 12: 367-380.
- Siwecki R. [red.]. 1987. Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. II Krajowe Sympozjum. Kórnik, 16-19.05.1984. Poznań.
- Stankiewicz H. 1971. *Zabezpieczenie budowli przed wilgocią, wodą gruntową i korozją*. Arkady, Warszawa.
- 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.
- Zeng N., Shuttleworth J. W., Gash J. 2000. Influence of temporal variability of rainfall on interception loss. *J. of Hydrology* 228 (3-4): 228-241.

SUMMARY

Effect of current state of the sprinkled surface on rain water coherence – laboratory research on interception by trees

The paper studies if and to what extent the current state of the sprinkled surface and the temperature of the water used can influence the level of interception. Czarnowski [1989]

concept (1989) about rain adhesiveness being part of the formula for the maximum amount of water that can be retained on the trees (eq. 1) was adopted. The analysis was based on a series of experiments undertaken in laboratory conditions. Photographic documentation recorded the angle at which water droplets at different temperatures hit the surface of leaves and needles of beech, oak, fir, pine and spruce. Pictures were taken in shadow-free chamber with Canon Eos 450D with EF 100 mm f/2.8 Macro USM. Angles were measured in the SigmaScan Pro 5.0.

At 5°C, average angle was above 90° for all species except pine (80-99° with median of 95°). At 15°C, the highest values were observed for oak, but on average they are all in the range between 51 and 82°. At 21°C average angle of adhesion to surface was 26-51°. The results confirm the hypothesis that the temperature of the water used for sprinkling trees can determine the level of potential interception. The temperature of the water used for irrigation was an important factor and would need to be maintained at a constant level throughout the whole experiment. Analysis of the influence of surface contamination could not be unambiguously interpreted. However, comparison of the adhesion and retention of water droplets on a healthy oak tree and powdery mildew infested oak clearly show that the type and current state of the surface of a sprinkled plant are important in the process of interception and the study and research towards the ratio of rain adhesiveness should be continued.