

ANNA KLAMERUS-IWAN, WIKTOR SZYMAŃSKI

Przestrzenno-czasowe zróżnicowanie pojemności wodnej koron drzew leśnych na przykładzie buka zwyczajnego*

Spatio-temporal variability of water storage capacity in forest canopies of European beech

ABSTRACT

Klamerus-Iwan A., Szymański W. 2017. Przestrzenno-czasowe zróżnicowanie pojemności wodnej koron drzew leśnych na przykładzie buka zwyczajnego. Sylwan 161 (2): 142-148.

The study presents plant interception understood as a process of retaining rainfall over the entire surface of the plant. The objective was to collect and prepare data presenting changes in the amount of rainwater reaching the forest floor, and to inference on the diversity of water capacity within canopy of a single tree. A characteristic feature of an interceptive tank is the lack of tightness, which provides the possibility for the determination of horizontal distribution of water that reaches the forest floor. The amount of throughfall depends on direct rainfall and humidity, while its spatial distribution depends on the structure and species composition, the shape of crowns, the degree of compaction of foliage in the crowns and the distance from the tree trunk. Increase in rainfall was reported at specified time points, which, in combination with the distribution of rain gauges in the square grid, provided spatio-temporal image describing changes of water capacity of the treetops. Single tree and biogroups influence the specific mosaic of soil properties that change even on a small scale. This kind of interaction is somewhat important for the stand regeneration. The studies were carried out in Węgierska Górka Forest District (southern Poland). Changes in the amount of rainwater reaching the forest floor after successive time points during 47 individual rainfall events were controlled. Spatio-temporal distribution of rainfall was related to the distance from the trunk, but primarily to the construction of the treetop. As a result, the graphic interpolation of spatial data describing the amount of water retained in the treetop after a single rainfall was provided. The distance from the trunk, the branch system and construction of the treetop significantly affected the amount of water reaching the forest floor. The morphology of the treetop and root system, as well as the characteristics of beech trunk are causes, and simultaneously, consequences of penetration of rainfall into the forest floor that is characteristic for this species. The increasing attention is paid to determine the spatial variability of studied phenomena, which is a kind of physical-mathematical model, which takes into account the local variation of the analyzed traits.

KEY WORDS

throughfall, interception, stemflow, *Fagus sylvatica*

ADDRESSES

Anna Klamerus-Iwan – e-mail: a.klamerus@ur.krakow.pl
Wiktor Szymański

Zakład Inżynierii Leśnej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

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

Wstęp

Zjawisko intercepcji (I) roślin rozumiane jest jako proces zatrzymywania opadu deszczu przez całą powierzchnię roślin. Wysokość opadu podkoronowego (TF) zależy od opadu bezpośredniego i wilgotności względnej powietrza, natomiast rozkład przestrzenny uzależniony jest od wielu czynników, takich jak: struktura i skład gatunkowy, zwarcie, piętrowość, kształt korony, stopień zagęszczenia liści i igieł w koronie oraz odległość od pnia drzewa [Kozłowski 2003; Fathizadeh i in. 2013].

W bilansie wodnym zbiorowiska leśnego intercepcja drzew stanowi składową równania dla fazy zasilania. Ilość wody zatrzymanej na powierzchni drzew pomniejsza przyrost zapasu wody w glebie [Suliński 1993] oraz w znacznym stopniu zależy od cech związanych ze zmianami gatunkowymi [Klamerus-Iwan 2014]. Zróżnicowanie ilości wody docierającej do dna lasu zależy przede wszystkim od morfologii drzewa, głównie ułożenia gałęzi w stosunku do strzały [Kowalkowski i in. 2002]. Analizowany w tej pracy buk ma koronę lejkowatą, w odróżnieniu od sosny (korona stożkowata lub parasolowa), jodły i świerka (stożkowata) czy grabu (kulista). W większości ekosystemów leśnych ilość wody zatrzymanej w koronach drzew to średnio 10-50% rocznego opadu zarejestrowanego ponad ich koronami [Gash i in. 1995; Carlyle-Moses i in. 2004]. Wartość intercepcji zależy od gatunku, wieku drzew oraz od czynników meteorologicznych i charakterystyki opadu deszczu [Hall, Calder 1993; Toba, Ohta 2005; Staelens i in. 2006; Sadeghi i in. 2014].

W warunkach polowych pomiar intercepcji jest trudny do wykonania ze względu na trudności metodyczne i techniczno-organizacyjne. Do udanych prób w tym zakresie należy zaliczyć prace Pypker i in. [2005] oraz Nanko i in. [2006]. Fathizadeh i in. [2013, 2014] przedstawili sezonowe zmiany pojemności koron drzew i w bardzo podobny sposób zanalizowali przestrzenno-czasowe zmiany ilości wody pod pojedynczym dębem.

W literaturze jest wiele opracowań wykazujących, że wody opadu podkoronowego i spływające po pniach powodują zmianę właściwości gleb, np. pH [Murphy, Sigmon 1989; Walna i in. 2001; Kowalkowski i in. 2002; Gruba 2009; Kozłowski i in. 2011]. Miler i in. [2015] na przykładzie Puszczy Zielonka wykazali, że zmienność krótkoterminowa stanów wód gruntowych wynika ze zmienności warunków pogodowych, natomiast długoterminowa głównie ze zmian klimatu. Dlatego coraz większą wagę przywiązuje się do określenia zmienności przestrzennej badanych zjawisk, będącej swojego rodzaju modelem fizyczno-matematycznym, który uwzględnia lokalne zróżnicowanie analizowanej cechy.

Jak dotąd metody geostatystyczne przedstawiały przestrzenną zmienność parametrów fizykochemicznych gleb czy klimatu [Usowicz i in. 2004], rzadziej zaś używano ich do oceny przestrzenno-czasowego wahania ilości wody docierającej do dna lasu, a co za tym idzie do określania przestrzennych zmian pojemności wodnej korony drzewa. Jest to istotne dla lepszego zrozumienia natury zjawiska intercepcji.

Ilość wody zatrzymanej w koronie drzewa obliczano z różnicy wartości uzyskanych na otwartym terenie (P) i w różnych miejscach pod koroną (p). Doświadczenie przeprowadzono pod selekcyjną koroną pojedynczego drzewa. Taki zabieg pozwoli w przyszłości na komputerowe modelowanie wyników w zależności od zadanego zwarcia dla całego drzewostanu.

Materiał i metody

LOKALIZACJA BADAŃ I CHARAKTERYSTYKA WYBRANEGO DRZEWA. Badania zrealizowano w drzewostanie bukowym na terenie Nadleśnictwa Węgierska w południowej Polsce (49°37'54,54"N

i 19° 5'56,01"E), na wysokości 680 m n.p.m. Obszar nadleśnictwa należy do strefy klimatu umiarkowanego kontynentalnego. Średnia roczna temperatura zależy od wysokości nad poziomem morza i waha się w granicach od +7 do około +4°C. Średnie roczne opady na omawianym terenie również są silnie zróżnicowane: od 750 do ponad 1400 mm. Największa częstotliwość opadów przypada na okres od maja do sierpnia, natomiast najmniejsza na luty-marzec i wrzesień-październik.

Wybrane do badań drzewo buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica*) należy do młodego drzewostanu bukowego. Jego pierśnica wynosi 19 cm, a wysokość zmierzona wysokościomierzem marki Suunto 12 m. Wysokość korony drzewa to 8,5 m, szerokość korony wzdłuż linii warstwic 5,5 m, a wzdłuż linii spadku stoku 6,7 m. Seria pomiarów LAI została wykonana w zasięgu pnia drzewa we wszystkich kierunkach geograficznych. Uzyskano wartość LAI 0,30 przy błędzie pomiaru na poziomie 0,01 m²/m².

Dzięki wykonaniu pomiarów opadu pod koroną jednego drzewa jego powierzchnię intercepcyjną możemy traktować jako wartość stałą, a porównywać tylko ilość wody docierającą do dna lasu.

ORGANIZACJA DOŚWIADCZENIA. Pojedynczy opad był poprzedzony 24 godzinami bez opadów. Temperatura powietrza, wilgotność względna, średnie ciśnienie zredukowane do poziomu morza oraz prędkość wiatru były rejestrowane na stacji meteorologicznej Skrzyczne (49°41'04"N, 19°01'49"E). Dbano, aby parametry klimatyczne i stan przesuszenia korony były jak najbardziej zbliżone, żeby móc je ze sobą porównywać.

W celu pomiaru ilości wody opadowej docierającej do strefy podkoronowej ustawiono 16 deszczomierzy korytkowych. Punkty pomiarowe zostały rozłożone równomiernie w siatce kwadratów. Dwa dodatkowe deszczomierze zostały wykorzystane do zmierzenia spływu wody opadowej po pniu drzewa oraz do zmierzenia wysokości opadu poza drzewostanem.

Doświadczenie w punktach pomiarowych wykonano przy pomocy deszczomierzy otwartych, niegromadzących wody opadowej, o mechanizmie korytkowo-wywrotowym (ang. tipping bucket rain gauge), wyposażonych w elektroniczny system zliczania przelewów. Czytniki z wynikami umieszczone były na jednym panelu odczytowym, co umożliwiała jednoczesny odczyt ze wszystkich kolektorów deszczu. Opis kalibracji i testowych pomiarów opisano w pracy Klamerus-Iwan i Szymańskiego [2017].

OPRACOWANIE WYNIKÓW. Na podstawie pomiaru ilości wody opadowej docierającej do strefy podkoronowej oraz znając ilość wody docierającej do deszczomierza na otwartej przestrzeni, można obliczyć intercepcję korony drzewa w rozkładzie przestrzennym analogicznym do ilości wody docierającej do dna lasu:

$$Ik(X_n, Y_n) = P - p(X_n, Y_n)$$

gdzie:

$Ik(X_n, Y_n)$ – intercepcja korony w miejscu o współrzędnych (X_n, Y_n) [mm],

P – opad na otwartej powierzchni [mm],

$p(X_n, Y_n)$ – opad docierający do deszczomierza pod koroną w miejscu o współrzędnych (X_n, Y_n) [mm].

Wartości intercepcji otrzymano, dzieląc masę wody przez powierzchnię wylapującą wodę (obwód zraszacza). W opracowaniu wyników badań skorzystano z najpowszechniejszych i podstawowych metod geostatystycznych. Dane, w oparciu o które wykonano analizę, składały się z trzech wartości: X i Y określały współrzędne każdego miejsca poboru próbki, zaś zmienna Z opisywała ilość opadu docierającą do dna lasu. Ten sam schemat miejsc ustawienia deszczomierzy spowo-

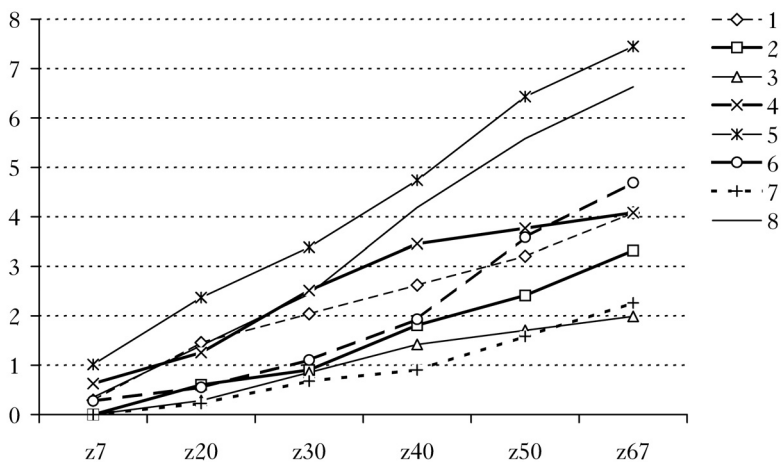
dował przyporządkowanie odpowiadającym sobie punktom powierzchni tych samych współrzędnych. Zmierzone dane z poszczególnych punktów pomiarowych zostały wykorzystane – przy użyciu metody krigingu – do wykreślenia map rozkładu przestrzennego badanych cech w obrębie danych obiektów. Do analizy geostatystycznej wykorzystano program Surfer 9 Golden Software. 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]. W warunkach polowych wyodrębnienie i opisanie charakterystyki pojedynczego opadu uzyskano z odczytów z deszczomierza umieszczonego poza koroną badanego drzewa.

Wyniki

Zapis opadu docierającego do poszczególnych deszczomierzy trwał do zakończenia opadu deszczu. Odczyty ze wszystkich deszczomierzy następowały w takich samych odstępach czasowych: po 7, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120 i 140 min. Łącznie w okresie od maja do sierpnia zarejestrowano 47 opadów deszczu o różnym natężeniu i długości trwania. Podzielono je na 5 grup pod względem natężenia. Uzyskano następujące charakterystyki opadów: klasa 0-3 mm/h – 5 zarejestrowanych opadów (10,63% analizowanych opadów); klasa 4-7 mm/h – 11 zdarzeń deszczowych (23,40%); klasa 8-10 mm/h – 19 deszczy (40,42%); klasa 11-14 mm/h – 9 opadów (19,15%) oraz klasa powyżej 15 mm/h – 3 opady (6,40%).

W prezentowanym przypadku zanotowano bardzo wysokie ilości wody spływające po pniu, nawet do 125 mm, podczas gdy opad na otwartej przestrzeni wynosił poniżej 7 mm dla odczytu nazwanego pomiar I i ponad 160 mm przy opadzie na otwartej przestrzeni równym ponad 7 mm dla odczytu nazwanego pomiar II.

Analizując ilość wody docierającej do dna lasu w funkcji czasu trwania deszczu, uzyskujemy krzywe charakteryzujące proces napełniania się korony drzewa, zwanej zbiornikiem intercepcyjnym (ryc. 1). Wyraźnie widać konsekwencję, z jaką w określonym miejscu pod koroną drzewa

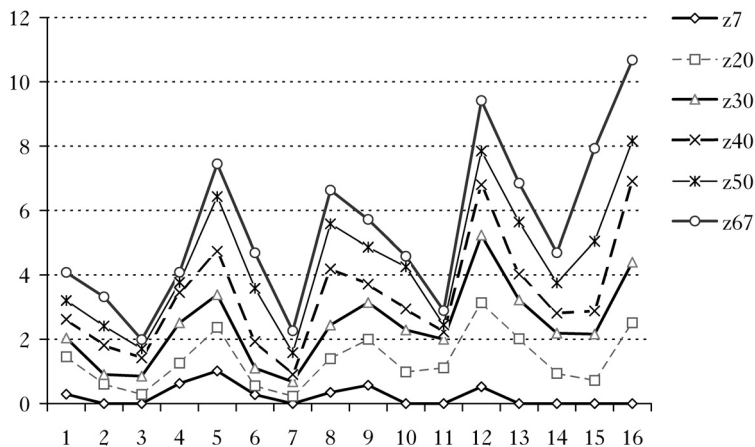


Ryc. 1.

Ilość [mm] wody docierającej do dna lasu w czasie deszczu nawalnego w zależności od czasu rejestracji pomiaru (pomiar III, deszczomierze 1-8)

Amount [mm] of water reaching the forest floor during the heavy rain in relation to measurement time (measurement III, rain gauges 1-8)

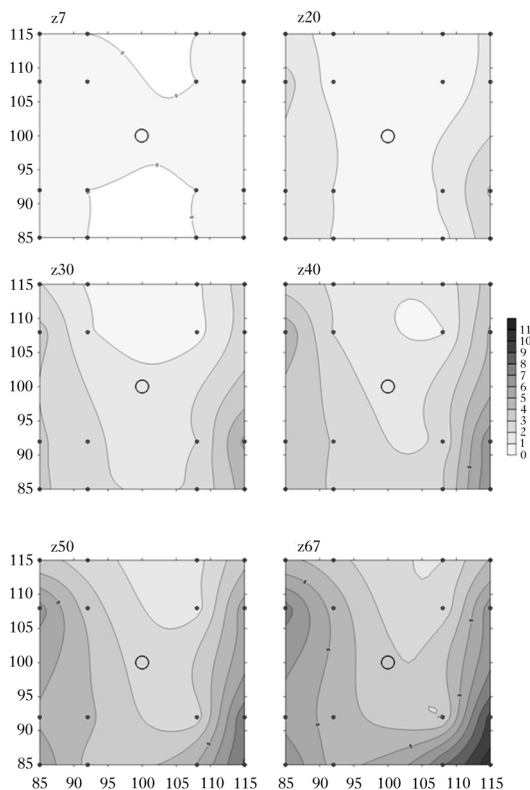
w kolejnych minutach trwania deszczu rozkłada się wysokość opadu (ryc. 2). Ilość wody docierająca do dna lasu nie jest przypadkowa, ale wyraźnie powiązana z miejscem pod koroną buka (ryc. 3).



Ryc. 2.

Ilość [mm] wody zatrzymanej pod koronami drzew w zależności od czasu rejestracji pomiaru (pomiar III, deszczomierze 1-16)

Amount of water [mm] retained under the crowns in relation to measurement time (measurement III, rain gauges 1-16)



Ryc. 3.

Ilość [mm] wody opadowej docierającej do dna lasu dla deszczu zarejestrowanego jako pomiar III w zależności od czasu rejestracji pomiaru
Throughfall for the rain [mm] registered as the measurement III in relation to measurement time

Dyskusja

Uzyskane wyniki pozytywnie zweryfikowały tezę, że intercepcję roślin można przedstawić jako proces napełniania umownego nieszczelnego zbiornika. Powierzchnia tego zbiornika została określona wymiarami korony drzewa. Otrzymane wyniki pozwoliły na analizę graficzną przestrzennego rozmieszczenia ilości wody docierającej do dna lasu oraz na zarejestrowanie tych zmian w układzie czasowym. Na tej podstawie można wnioskować o poziomych, ale też czasowych zmianach w pojemności wodnej koron drzew.

Właściwe okazało się łączenie ilości wody docierającej do dna lasu z przestrzenną budową korony. Kształt korony pośrednio możemy zobaczyć na grafach prezentujących ilość wody docierającej do dna lasu (w lukach więcej wody dociera do dna lasu, krańce korony z wyraźnie większą ilością wody). Ilość opadu podkoronowego zmienia się w czasie rosnąco, ale w każdym deszczomierzu proporcjonalnie (ryc. 3). Stanowi to dodatkowe potwierdzenie związku pojemności wodnej korony drzew z przestrzenno-czasowym rozmieszczeniem opadu podkoronowego. Stwierdzona zmienność przestrzenna jest charakterystyczna dla drzewostanów liściastych [Carlyle-Moses i in. 2004; Fathizadeh i in. 2013] i określana jest mianem „efektu parasola” [Kozłowski 2003]. Pojedyncze drzewa i biogrupy kształtują specyficzną mozaikę właściwości gleb, które zmieniają się nawet w niewielkiej skali [Conyers, Davey 1990]. Być może ten rodzaj oddziaływania jest w pewnym stopniu istotny dla odnowienia drzewostanu, a więc stanowiłby rodzaj naturalnego przygotowania gleby pod wzrost przyszłego odnowienia [Boettcher, Kalisz 1990; Gil 1995]. Jest to tym bardziej interesujące zjawisko, że – jak podają niektóre źródła – zakwaszenie gleby jest korzystne z punktu widzenia procesu odnowienia, a właśnie ono jest jednym z objawów wpływu pojedynczych drzew na glebę [Finzi i in. 1998; Januszek i in. 2015]. Jeśli zakwaszenie jest związane z rozkładem opadu, to warto umieć ocenić przestrzenne rozmieszczenie ilości wody opadowej docierającej do dna lasu. Dysproporcje w ilości wody docierającej do dna lasu po pniach drzew w stosunku do ilości wody rejestrowanej w pozostałych deszczomierzach można wytłumaczyć morfologią kory buka oraz lejkowatą koroną, co w znaczący sposób ułatwia przepływ wody z gałęzi do pnia. Tą samą aparaturą Klamerus-Iwan i Szymański [2017] uzyskali dla jodły dużo niższe wyniki (około 1 mm dla opadu poza drzewostanem 5 mm). Podobne obserwacje zanotowali dla buka Otto [1994] oraz Kozłowski [2002, 2003].

Metody geostatystyczne analizy danych okazały się bardzo przydatne przy ocenie (czasowej i przestrzennej) zmienności pojemności wodnej koron drzew. Metoda kriginu jest procedurą interpolacyjnego wyznaczania regularnej siatki wartości i pozwala oszacować wartości w miejscach nieobjętych badaniami. Daje ona najlepsze nieobciążone oszacowanie wartości badanej zmiennej regionalizowanej. Podczas procesu estymacji za pomocą tej metody otrzymujemy również minimalną wariancję.

Literatura

- Boettcher S. E., Kalisz P. J. 1990. Single tree influence on soil properties in the mountains of eastern Kentucky. *Ecology* 71 (4): 1365-1372.
- Carlyle-Moses D. E., Flores Laureano J. S., Price A. G. 2004. Throughfall and throughfall spatial variability in Madran oak forest communities of northeastern Mexico. *J. Hydrol.* 297: 124-135. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2004.04.007.
- Conyers M. K., Davey B. G. 1990. The variability of pH in acid soil of the southern highlands of New South Wales. *Soil Science* 150 (4): 695-704.
- Fathizadeh O., Attarod P., Keim R. F., Stein A., Amiri G. Z., Darvishsefat A. A. 2014. Spatial heterogeneity and temporal stability of throughfall under individual *Quercus brantii* trees. *Hydrological Processes* 28: 1124-1136.
- Fathizadeh O., Attarod P., Pypker T. G., Darvishsefat A. A., Zahedi Amiri G. 2013. Seasonal Variability of Rainfall Interception and Canopy Storage Capacity Measured under Individual Oak (*Quercus brantii*) Trees in Western Iran. *J. Agric. Sci. Tech.* 15: 175-188.

- Finzi A. C., Canham C. D., Von Breemen N. 1998. Conopy tree-soil interactions within temperate forests species effects on pH and cations. *Ecological Society of America* 447-454.
- Gash J. H. C., Loyd C. R., Lachaud G. 1995. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology* 170: 79-86.
- Gil W. 1995. Przestrzenne zróżnicowanie gleby leśnej, jego charakter i związki z drzewostanem. *Sylwan* 139 (4): 33-39.
- Gruba P. 2009. Wpływ drzew na przestrzenną zmienność pH w wierzchnich poziomach gleb leśnych. *Sylwan* 153 (5): 332-337.
- Hall R. L., Calder I. R. 1993. Drop size modification by forest canopies-measurements using a disdrometer. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 90: 465-470.
- Januszek K., Błońska E., Długa J., Socha J. 2015. Dehydrogenase activity of forest soils depend on the used assay. *International Agrophysics* 29 (1): 47-59.
- Klamerus-Iwan A. 2014. Potential interception of sprayed tree in relations to tree species and changes occurring during single rainfall. *Sylwan* 158 (11): 867-874.
- Klamerus-Iwan A., Szymański W. 2017. Terenowy pomiar opadu deszczu pod koroną pojedynczego drzewa. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 1: 71-83.
- Kowalkowski A., Józwiak M., Kozłowski R. 2002. Metoda badania wpływu wód opadowych na właściwości gleb leśnych. *Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego* 3: 45-51.
- Kozłowski R. 2002. Zróżnicowanie wielkości i jakości spływu wód opadowych po pniach drzew w wybranych ekosystemach leśnych w górach Świętokrzyskich, *Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego* 3: 95-102.
- Kozłowski R. 2003. Przestrzenne zróżnicowanie opadu podokapowego w drzewostanie jodłowo-bukowym w centralnej części Gór Świętokrzyskich. *Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego* 4: 99-106.
- Kozłowski R., Józwiak M., Józwiak M. A., Rabajczyk A. 2011. Chemism of atmospheric precipitation as a consequence of air pollution: the case of Poland's Holy Cross Mountains. *Polish J. of Environ. Stud.* 20 (4): 919-924.
- Kruszyk R. 2001. Zróżnicowanie przestrzenne właściwości fizykochemicznych spływu po pniach sosny zwyczajnej w zespole *Pino-Quercetum*, zlewnia Jeziora Czarnego, Pomorze Zachodnie. W: Józwiak M., Kowalkowski A. [red.]. *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i monitoring geookosystemów z uwzględnieniem zanieczyszczenia powietrza*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Kielce. 191-206.
- Miler A. T., Czerniak A., Grajewski S., Okoński B. 2015. Zmiany poziomu płytkich wód gruntowych w głównych siedliskach Puszczy Zielonka. *Sylwan* 159 (5): 435-440.
- Murphy C., Sigmon J. 1989. Dry deposition on sulfur and nitrogen oxide gases to forest vegetation. W: Lindberg S. [red.]. *Acid precipitation. Vol. 3. Sources, deposition and canopy interactions*. 217-240.
- Nanko K., Hotta N., Suzuki M. 2006. Evaluating the influence of canopy species and meteorological factors on throughfall drop size distribution. *J. Hydrol.* 329: 422-431. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2006.02.036.
- Otto W. 1994. *Waldökologie*. Stuttgart.
- Pyper 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.
- Sadeghi S. M. M., Attarod P., Pyper T. G., Dunkerley D. 2014. Is Canopy Interception Increased in Semiarid Tree Plantations? Evidence from a Field Investigation in Tehran, Iran. *Turk. J. Agric. For.* 38: 792-806.
- Staelens J., Schrijver A. D., Verheyen K., Verhoest N. E. C. 2006. Spatial variability and temporal stability of throughfall water under a dominant beech (*Fagus sylvatica* L.) tree in relationship to canopy cover. *J. Hydrol.* 330: 651-662. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2006.04.032.
- 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.
- Urowicz B., Hajnos M., Sokółowska Z., Józefaciuk G., Bowanko G., Kossowski J. 2004. Przestrzenna zmienność fizycznych i chemicznych właściwości gleby w skali pola i gminy. *Acta Agrophysica* 103: 6-13.
- Walna B., Siepak J., Drzymała S. 2001. Soil degradation in the Wielkopolski National Park (Poland) as an effect of acid rain simulation. *Water Air Soil Poll.* 130: 1727-1732.