

ZMIENNOŚĆ PARAMETRÓW ROZKŁADU GAMMA WIELKOŚCI KROPEL DESZCZU NATURALNEGO DLA RÓŻNYCH INTENSYWNOŚCI OPADU

**Joanna KAMIŃSKA¹⁾, Anna MACHOWCZYK¹⁾,
Szymon SZEWRĄŃSKI²⁾**

¹⁾ Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Matematyki

²⁾ Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Gospodarki Przestrzennej

Słowa kluczowe: intensywność opadu, rozkład gamma, rozkład średnicy kropeł deszczu (DSD)

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki analiz zależności między parametrami rozkładu kropeł deszczu z zastosowaniem funkcji gamma dla 16-miesięcznego okresu badawczego oraz charakterystykę rozkładów gamma w zależności od intensywności opadu.

Charakterystykę opadu deszczu naturalnego wyznaczono w oparciu o bezpośrednie pomiary średnicy i prędkości opadania pojedynczych kropeł deszczu wykonane z wykorzystaniem disdrometru laserowego firmy Thies-Clima. Rejestracja danych pluwiometrycznych odbywała się w 1-minutowych interwałach czasowych na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii we Wrocławiu-Swojcu.

WSTĘP

Rozkład wielkości kropeł deszczu (ang. DSD – drop size distribution) jest jedną z najbardziej precyzyjnych i kompletnych charakterystyk jakościowych i ilościowych deszczu. Macierze pluwiometryczne DSD zawierają szczegółowe informacje dotyczące średnicy oraz prędkości opadania kropeł deszczu naturalnego. Pionierami badań empirycznych nad rozkładem wielkości kropeł deszczu byli Bentley [BLANCHARD, 1977], LAWS i PARSONS [1943], MARSHALL i PALMER [1948],

Adres do korespondencji: dr J. Kamińska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Matematyki, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław; tel. +48 (71) 320-56-15, e-mail: joanna.kaminska@up.wroc.pl

GUNN i KINZER [1949] oraz JOSS i WALDVOGEL [1967]. Obecnie obserwacje DSD deszczów naturalnych są prowadzone z wykorzystaniem metod optycznych i zaawansowanych technologicznie disdrometrów laserowych [DELAHAYE i in., 2006; KRAJEWSKI i in., 2006; NANKO i in., 2004; LÖFFLER-MANG, JOSS, 2000; SALLES i in., 1999]. Z powodzeniem wykorzystuje się również techniki wideo [FIŠER i in., 2002], nagrań hydroakustycznych [NYSTUEN, 1996] oraz obserwacji radarowych [ZHANG i in., 2001]. Dane empiryczne wielkości kropel deszczu są opisywane różnymi rozkładami statystycznymi. Najczęściej spotykanymi funkcjami DSD są rozkłady: eksponentyjalny [MARSHALL, PALMER, 1948], gamma [KOZU, NAKAMURA, 1991; SU, CHU, 2007; ULBRICH, 1983;], Poissona [JOSS, WALDVOGEL, 1969], logarytmiczno-normalny [FEINGOLD, LEVIN, 1987; MENEGHINI i in., 2003], Weibullla [WILKS, 1989], Gaussa [MAGUIRE, AVERY, 1994].

Uzyskanie precyzyjnych danych pluwiometrycznych, pochodzących z pomiarów rozkładu wielkości i prędkości kropel deszczu, umożliwia bezpośrednie obliczenie energii kinetycznej opadu, która jest główną miarą zdolności opadu do odpajania i odrzucania cząstek gruntu. Ta z kolei pozwala na szacowanie i modelowanie zjawisk erozji rozbryzgowej gleb [REJMAN, 2006; SZEWRĄŃSKI, 2009]. Rozbryzg, wywołany kroplami deszczu uderzającymi w glebę z fragmentami obumarłych roślin, jest jedną z przyczyn rozprzestrzeniania się chorób roślin. Zjawisko przenoszenia mikroorganizmów chorobotwórczych tą drogą jest przedmiotem badań prowadzonych przez fitopatologów i specjalistów ochrony roślin [KUNA-BRONIOWSKI, KUNA-BRONIOWSKA, 2001; LOVELL i in., 2002]. Badania nad mechanizmem powstawania powyższych zagrożeń środowiskowych, obejmujące m.in. analizy DSD deszczów naturalnych, stanowią ważny przyczynek do skutecznej ochrony gleb przed degradacją oraz przyczyniają się do ograniczania szkód w produkcji rolnej.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono przez 16 miesięcy – od września 2006 r. do grudnia 2007 r. Za pojedyncze deszcze uznano opady ciągłe, oddzielone co najmniej 10-minutową przerwą czasową. Zarejestrowano 288 takich zdarzeń pluwialnych. Najdłuższy zaobserwowany opad ciągły trwał prawie 24 godziny.

Pomiary średnicy i prędkości kropel oraz intensywności średniej i 1-minutowego natężenia chwilowego opadu były prowadzone z wykorzystaniem disdrometru laserowego firmy Thies-Clima. Powierzchnia pomiarowa urządzenia wynosi 45,6 cm². Urządzenie to emituje podwójną wiązkę światła o długości fali 780 nm i grubości 0,75 mm. Spadające krople osłabiają siłę odbieranego sygnału, a zakres tej zmiany jest pochodną wielkości kropli przechodzącej przez wiązkę. Czas przejścia kropli przez wiązkę pozwala wyznaczyć prędkość, z jaką kropla się porusza. Disdrometr firmy Thies-Clima pozwala na zarejestrowanie kropel o średnicach od

0,16 do 8 mm oraz o prędkościach od 0,2 do 20 m·s⁻¹. Rozpoznawalna intensywność opadu wynosi od 0,005 do 250 m·h⁻¹.

Pomiary wykonywano podczas trwania opadu w minutowych odstępach. Urządzenie zapisuje informacje dotyczące średnic, prędkości oraz liczebności kropeł w postaci macierzy DSD opadu naturalnego. Tak precyzyjna rejestracja danych pluwiometrycznych, z ponad rocznego okresu, była podstawą do dyskusji na temat statystycznego rozkładu wielkości kropeł opadów.

Najbardziej popularny rozkład prawdopodobieństwa, stosowany do opisu średnicy kropeł deszczu, to rozkład gamma w postaci:

$$N(D) = N_0 D^\beta e^{-\alpha D} \quad (1)$$

gdzie:

$$N_0 = \frac{\alpha^{\beta+1}}{\Gamma(\beta+1)} \quad \text{– parametr rozkładu;}$$

$$D \quad \text{– średnica kropli, mm;}$$

$$\alpha \quad \text{– parametr skali;}$$

$$\beta \quad \text{– parametr kształtu rozkładu gamma;}$$

$$\Gamma(\cdot) \quad \text{– funkcja gamma.}$$

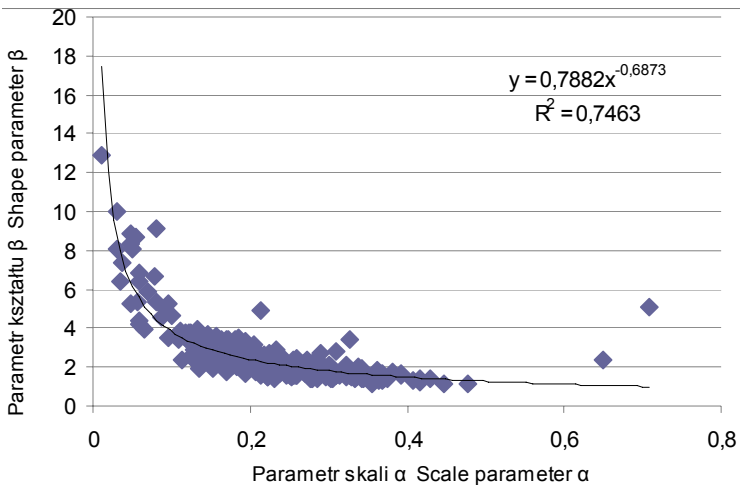
WYNIKI BADAŃ

Dla każdego badanego opadu wyznaczono histogram częstości występowania kropeł według ich średnicy. Na podstawie otrzymanych histogramów przeprowadzono testy zgodności z różnymi rozkładami prawdopodobieństwa i jako najlepiej dopasowany wybrano rozkład gamma. Zweryfikowano dopasowanie testem chi-kwadrat dobroci dopasowania i odnotowano parametry: skali α i kształtu β . Wartości otrzymanych parametrów α , β dla wszystkich 288 rozważanych opadów przedstawiono na rysunku 1.

Zależność między wartościami parametrów dla rozważanych deszczów jest wyraźnie potęgowa. Ujemny wykładnik w równaniu regresji wskazuje na odwrotnie proporcjonalny charakter zależności pomiędzy parametrami rozkładu gamma średnic kropeł deszczu naturalnego. Na podstawie tej obserwacji dokonano transformacji parametrów rozkładów wg następujących równań:

$$\mu = \frac{1}{\alpha}, \quad \Lambda = \beta - 1$$

Zgodnie z CHU i SU [2008] dla otrzymanych par wartości wyznaczono równanie regresji wielomianem stopnia drugiego. Dopasowanie regresji mierzone para-



Rys. 1. Parametry rozkładu gamma wyznaczonego dla rozkładu średnic kropeł

Fig. 1. Gamma distribution parameters calculated for rain drop diameters

metrem dopasowania R^2 dla wartości po transformacji było lepsze niż dla oryginalnych postaci parametrów (0,8135 oraz 0,7463 odpowiednio).

Taka transformacja pozwoliła również porównać otrzymane wyniki badań z wynikami ZHANG i in. [2003].

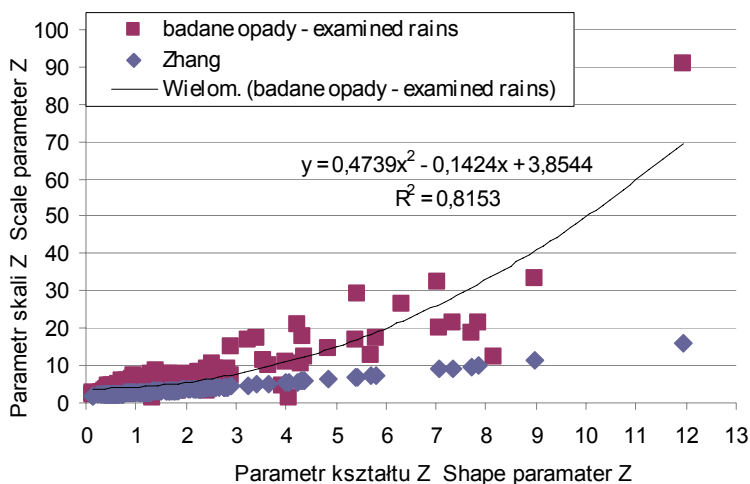
Na rysunku 2. przedstawiono zestawienie wartości otrzymanych parametrów μ oraz Λ dla rozważanych opadów i opisanych równaniem (2) zaproponowanym przez Zhanga.

$$\Lambda = 0,0365\mu^2 + 0,735\mu + 1,935 \quad (2)$$

Dwa opady, charakteryzujące się najwyższymi wartościami parametru skali, wystąpiły 10.04.2007 r. (22 minuty) oraz 11.07.2007 r. (27 minut).

Wartości parametru skali, otrzymane ze wzoru Zhanga (2), okazały się mniejsze od wyznaczonych w pracy, co oznacza, że w warunkach Wrocławia obserwuje się więcej kropeł o najmniejszej średnicy, powodujących smukły kształt histogramu częstości, a w konsekwencji kształtu rozkładu gamma. Należy podkreślić, że zależność (2) opisuje relację między parametrami rozkładu gamma dla intensywności przekraczających $5 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, a w niniejszej pracy z wystarczającą dokładnością dopasowano wielomian drugiego stopnia dla wszystkich występujących w badanych rozkładach intensywności (od $0,02$ do $17,4 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$).

Kolejnym etapem badań było wyznaczenie charakterystyki rozkładu gamma w zależności od intensywności opadu. Z 288 badanych opadów wybrano 34, dla których dopasowanie rozkładu gamma było istotne statystycznie na poziomie 99%.



Rys. 2. Wykres rozrzutu dla parametrów rozkładu gamma badanych opadów oraz z zależności określonej przez Zhanga

Fig. 2. Scatter plot for gamma distribution parameters calculated for studied rainfalls and estimated from the Zhang's equation

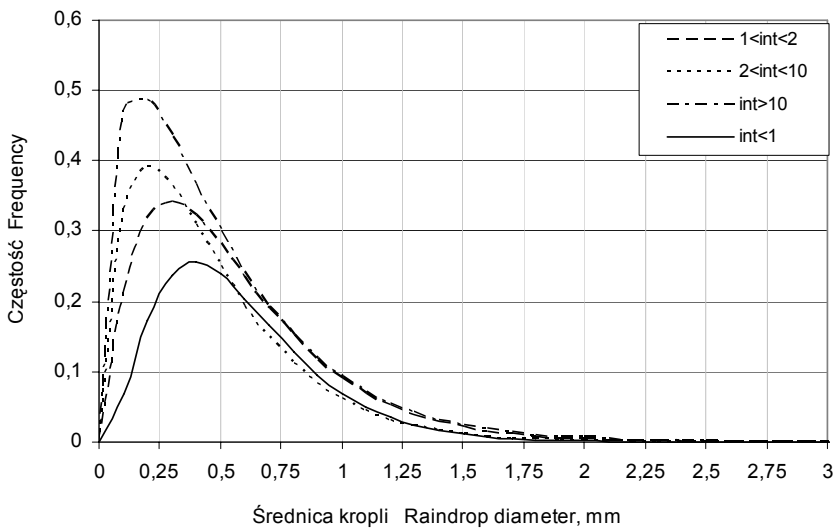
Następnie wyznaczono średnie wartości parametrów rozkładów dla określonych przedziałów intensywności (tab. 1).

Tabela 1. Wartości parametrów rozkładu gamma dla deszczu naturalnego i różnych intensywności

Table 1. Value of gamma distribution parameters for different rainfall intensities

Intensywność, mm·h ⁻¹ Intensity, mm·h ⁻¹	Parametr skali α Scale parameter α	Parametr kształtu β Shape parameter β	Wariancja Variance
(0,1]	0,1853	3,1165	0,1034
(1,2]	0,2596	2,1301	0,1724
(2,10]	0,2525	1,8075	0,1495
(10,+∞)	0,3290	1,4750	0,2550

Wyraźnie zaznacza się zależność wskazująca na znaczące różnice w strukturze opadu w zależności od jego intensywności (rys. 3). Wraz ze wzrostem intensywności zwiększa się zróżnicowanie wielkości kropeł (mierzone wariancją). Podczas opadów o najmniejszym stopniu intensywności najczęściej występują krople o średnicy 0,4 mm, a podczas opadów o największym stopniu intensywności najliczniejsze są krople o średnicy 0,2 mm.



Rys. 3. Rozkład gamma DSD dla deszczu naturalnego i różnych intensywności opadu (int)

Fig. 3. DSD gamma distribution for different rainfall intensities (int)

WNIOSKI

1. Rozkład gamma dobrze opisuje wielkość kropeł deszczu naturalnego odnotowanego na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii we Wrocławiu-Swojcu.

2. Zależność między parametrami skali i kształtu dla rozkładu gamma można opisać za pomocą wielomianu stopnia drugiego bez konieczności dolnego ograniczenia intensywności opadu na poziomie $5 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$.

3. Wraz ze zmianą intensywności opadu zmienia się charakterystyka rozkładu gamma opisującego udział kropeł o zadanej średnicy.

4. Wraz ze wzrostem intensywności opadu zwiększa się zróżnicowanie wielkości kropeł oraz zmniejszają średnice kropeł najczęściej występujących.

LITERATURA

- BLANCHARD D.C., 1977. Od kropeł deszczu do wulkanów. Warszawa: Wiedza Powszechna ss. 208.
- CHU Y.-H., SU C.-L., 2008. An investigation of the slope-shape relation for gamma raindrop size distribution. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* vol. 47 no 10 s. 2531–2544.
- DELAHAYE J.-Y., BARTHÈS L., GOLÉ P., LAVERGNAT J., VINSON J.P., 2006. A dual-beam spectropluviometer concept. *Journal of Hydrology* vol. 328 iss. 1–2 s. 110–120.
- FEINGOLD G., LEVIN Z., 1987. Application of the lognormal raindrop distribution to differential reflectivity radar measurement (Z_{DR}). *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* vol. 4 s. 377–382.

- FIŠER O., SCHÖNHUBER M., PEŠICE P., 2002. First results of DSD measurement by videodistrometer in the Czech Republic in 1998–1999. *Studia Geophysica et Geodaetica* vol. 46 no 3 s. 485–505.
- GUNN R., KINZER G.D., 1949. The terminal velocity of fall for water drops in stagnant air. *Journal of Meteorology* 6 s. 243–248.
- JOSS J., WALDVOGEL A., 1967. Ein Spektrograph für Niederschlagstropfen mit automatischer Auswertung. *Pure and Applied Geophysics* 68 s. 240–246.
- JOSS J., WALDVOGEL A., 1969. Raindrop size distribution and sampling size errors. *Journal of Atmospheric Sciences* vol. 26 Iss. 3 s. 566–569.
- KOZU T., NAKAMURA K., 1991. Rainfall parameter estimation from dual-radar measurements combining reflectivity profiles and path-integrated attenuation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* vol. 8 s. 259–270.
- KUNA-BRONIOWSKI M., KUNA-BRONIOWSKA I., 2001. The use of comparators for automatic classification of the splashed rain drops. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Agricultural Engineering* vol. 4 Iss. 2.
- KRAJEWSKI W.F., KRUGER A., CARACCILO C., GOLÉ P., BARTHES L., CREUTIN J.-D., DELAHAYE J.-V., NIKOLOPOUOS E.I., OGDEN F., VINSON J.-P., 2006. DEVEX-disdrometer evaluation experiment: Basic results and implications for hydrologic studies. *Advances in Water Resources* vol. 29 (2) s. 311–325.
- LAWS J.O., PARSONS D.A., 1943. The relation of raindrop-size to intensity. *Transactions, American Geophysical Union* 24 s. 452–460.
- LOVELL D.J., PARKER S.R., VAN PETEGHEM P., WEBB D.A., WELHAM S.J., 2002. Quantification of raindrop kinetic energy for improved prediction of splash-dispersed pathogens. *Phytopathology* vol. 92 nr 5 s. 497–503.
- LÖFFLER-MANG M., JOSS J., 2000. An optical disdrometer for measuring size and velocity of hydrometeors. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* vol. 17 Iss. 2 s. 130–139.
- MAGUIRE W.B., AVERY S.K., 1994. Retrieval of raindrop size distribution using two Doppler wind profilers. Model sensitivity testing. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* vol. 33 1623–1635.
- MARSHALL J.S., PALMER W. MCK., 1948. The distribution of raindrops with size. *Journal of Meteorology* vol. 5 Iss. 4 s. 165–166.
- MENEGHINI R., RINCON R., LIAO L., 2003. On the use of the log-normal particle size distribution to characterize global rain. *Proceedings International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 21–25 July 2003 Toulouse, France* s. 1707–1709.
- NANKO K., HOTTA N., SUZUKI M., 2004. Assessing raindrop impact energy at the forest floor in a mature Japanese cypress plantation using continuous raindrop-sizing instruments. *Journal of Forest Reserch* vol. 9 no 2 s. 157–164
- NYSTUEN J.A., 1996. Acoustical rainfall analysis: Rainfall drop size distribution using the underwater sound field. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* vol. 13 s. 74–84.
- REJMAN J., 2006. Wpływ erozji wodnej i uprawowej na przekształcenie gleb i stoków lessowych. *Acta Agrophysica* 136 Rozprawy i Monografie 3 ss. 91.
- SALLES C., POESEN J., BORSELLI L., 1999. Measurement of simulated drop size distribution with an optical spectro pluviometer: sample size consideration. *Earth Surface Processes and Landforms* vol. 24 s. 545–556.
- SU C.-L., CHU Y.-H., 2007. Analysis of terminal velocity and VHF backscatter of precipitation particles using Chung-Li VHF radar combined with ground-based disdrometer. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences* vol. 18 no. 1 s. 97–116.
- SZEWRAŃSKI SZ., 2009. Rozbryzg jako forma erozji wodnej gleb lessowych. *Monografie* 78 Wrocław: Wydaw. UP ss. 138.
- ULBRICH C.W., 1983. Natural variations in the analytical form of the raindrop size distribution. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* vol. 22 s. 1764–1775.

- WILKS D.S., 1989. Rainfall intensity, the Weibull distribution and estimation of daily surface runoff, *Journal of Applied Meteorology and Climatology* vol. 28 s. 52–58.
- ZHANG G., VIVEKANANDAN J., BRANDES E., 2001. A method for estimating rain rate and drop size distribution from polarimetric radar measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* vol. 39 no. 4 s. 830–841.
- ZHANG G.F., VIVEKANANDAN J., BRANDES E.A., MENEGHINI R., KOZU T., 2003. The shape-slope relation in observed gamma raindrop size distributions: Statistical error or useful information? *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* vol. 20 no 8 s. 1106–1119.

Joanna KAMIŃSKA, Anna MACHOWCZYK, Szymon SZEWRANŃSKI

**THE VARIATION OF DROP SIZE GAMMA DISTRIBUTION PARAMETERS
FOR DIFFERENT NATURAL RAINFALL INTENSITY**

Key words: drop size distribution (DSD), gamma distribution, rainfall intensity

S u m m a r y

Natural rainfall characteristics had been described based on direct measurements of raindrops diameters and its terminal velocity with the use of laser disdrometer made by Thies-Clima. Pluviometric data were recorded every 1 minute. Monitoring was carried out in Agro- and Hydrometeorological Observatory of the Wrocław University of Environmental and Life Sciences. The variation of gamma distribution parameters for different DSD of natural rainfalls from 16 months study period is presented in this article. The gamma distribution analyses were also made for different rainfall intensities.

Recenzenci:

prof. dr hab. Andrzej Ciepielowski

dr inż. Tomasz Rozbicki

Praca wpłynęła do Redakcji 07.06.2010 r.