

IMPULSOWA METODA POMIARU NATĘŻENIA OPADU DESZCZU

Tomasz Śnieżek
Instytut Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska

WSTĘP

Znajomość rzeczywistej wysokości opadu deszczu docierającego do powierzchni ziemi jest istotnym elementem bilansu wodnego przyrodzie. Praktyka pomiarowa wykazuje, że - na skutek wpływu rozmaitych czynników - mierzona ilość spadłej wody opadowej nie odpowiada rzeczywistej ilości opadu docierającej do powierzchni ziemi. Pomiar wysokości opadu są uśredniane w długich okresach, otrzymywane zaś drogą rachunkową wartości natężenia opadu deszczu nie charakteryzują wystarczająco tego zjawiska. Ponadto pomiary natężenia opadu deszczu nie są w Polsce wykonywane w sposób ciągły.

Pomiary wysokości opadu deszczu prowadzi się od dawna. Ta z pozoru prosta czynność nastrożona jednak, jak wynika z publikowanych prac, dużo trudności metodycznych. Spośród badaczy, którzy zajmowali się dotychczas pomiarami opadu deszczu należy wymienić Koschmiedera [21], Reynoldsa [31], Muellera i Kiddera [29], badaczy radzieckich - Gołubieva [9-13], Bogdanową [4], Bratceva [5], Struzera [33], Struzera i in. [34], licznych badaczy polskich - Molgę [28], Chomicza [6], Baca [1], Kowalczyk [22], Koczorowską [20], Hohendorfa i Toczkiwicz [15], Klugiewiczza [19] i Kuźniara [23]. Pomiary natężenia opadu deszczu badali też m. in. Hudson [16], Lhermitte [25], Underhill [35] oraz Jones [17].

W pracach tych zajmowano się wpływem czynników meteorologicznych i konstrukcyjnych przyrządu na pomiar wysokości i natężenia opadu deszczu, oceną wartości błędów pomiaru wywołanych tymi wpływami oraz metodami polepszenia i uściślenia dokładności pomiaru.

W Polsce, jak dotychczas, nie mierzone jest natężenie opadu deszczu. Ponieważ jest to ważna dla wielu dziedzin wielkość charakteryzująca opad, a uzyskanie jej metodą różniczkowania graficz-

nego na pluwiografii jest czasochłonne, mało dokładne i dokonywane często w dużym odstępie czasu po zakończeniu opadu, istnieje konieczność podjęcia prób pomiaru tej wielkości.

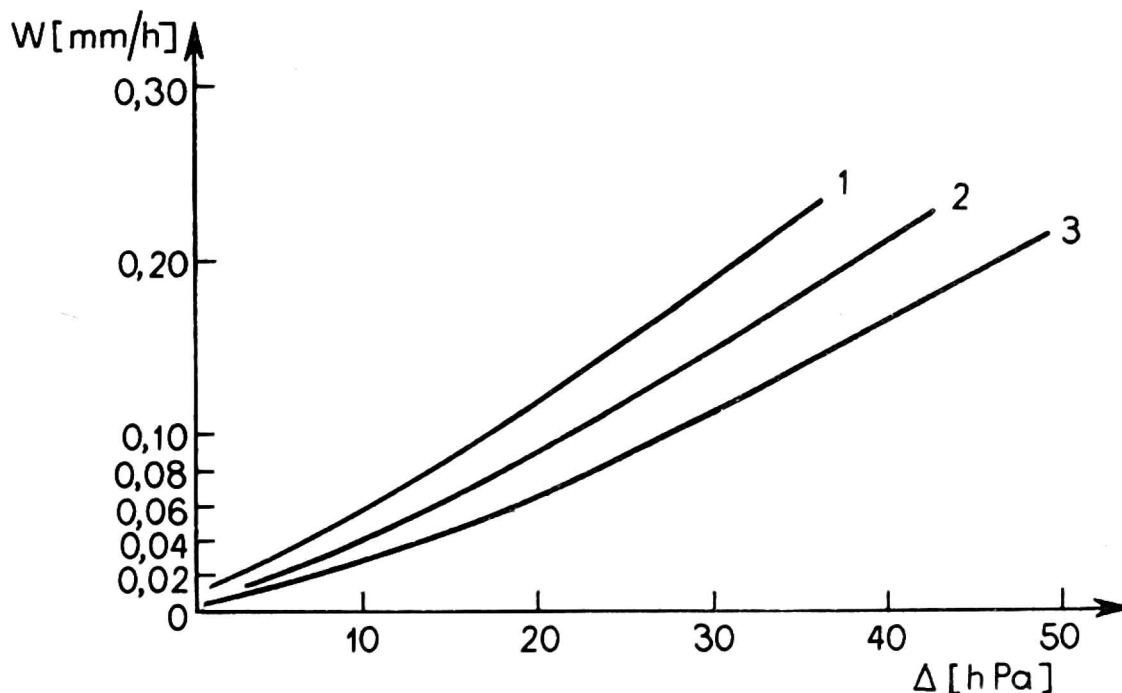
W prezentowanej pracy przedstawiono krótki przegląd metod deszczomierzowych i błędów pomiarowych z nimi związanych oraz opisano podstawy fizyczne metody pomiaru natężenia i wysokości opadu deszczu na podstawie pomiaru jego cech strukturalnych, tzn. liczby i wielkości kropeł.

METODY DESZCZOMIERZOWE POMIARU WYSOKOŚCI OPADU

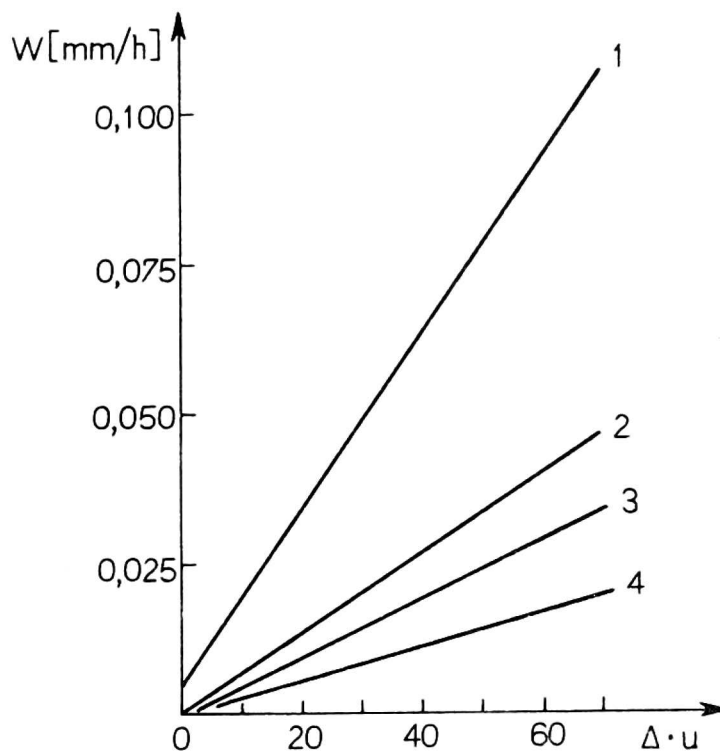
Podstawowymi przyrządami wykorzystywanymi do pomiaru wysokości opadu deszczu w polskiej sieci hydrologiczno-meteorologicznej są deszczomierze Hellmanna oraz pluwiografy DG-200. W obu tych przyrządach na dokładność pomiaru wpływają takie czynniki meteorologiczne, jak: temperatura i wilgotność powietrza oraz prędkość wiatru. Istotne znaczenie ma również konstrukcja mechaniczna przyrządu: kształt obudowy i lejka odbiorczego, a także zbiornika na wodę deszczową, kąt ścięcia pierścienia ograniczającego powierzchnię odbiorczą, wysokość tego pierścienia, szorstkość i czystość wewnętrznych elementów deszczomierza oraz materiały, z jakich wykonano te elementy. Również ekspozycja przyrządu w terenie ma wpływ na ilość wody zbieranej w czasie pomiaru.

Temperatura powietrza, niedosyt wilgotności oraz wiatr mają zasadniczy wpływ na parowanie zebranej w zbiorniku wody opadowej. Według Struzera i in. [34], wartość intensywności parowania jest funkcją niedosytu wilgotności i prędkości wiatru (rys. 1). Zależy ona również od różnicy temperatury powietrza i przyrządu. Intensywność parowania wody ze zbiornika deszczomierza dla różnych typów przyrządów w funkcji iloczynu deficytu wilgotności i prędkości wiatru ilustruje rysunek 2. Analiza tego procesu wskazuje, że poza czynnikami meteorologicznymi na parowanie wpływają stosunek powierzchni otworu zbiornika na wodę do powierzchni odbiorczej przyrządu oraz długość rurki doprowadzającej wodę zebraną w lejku odbiorczym do zbiornika. Jak wynika z powyższego rozważania, błąd parowania wody ze zbiornika jest trudny do oszacowania, a w sprzyjających okolicznościach może osiągać znaczne wartości.

Czynnikiem decydującym w istotny sposób o błędach pomiaru opadu jest wiatr. O wpływie wiatru na parowanie wody z deszczomierza



Rys. 1. Intensywność parowania wody (W) ze zbiornika deszczomierza Tretiakowa w funkcji niedosytu wilgotności (Δ) dla różnych przedziałów prędkości wiatru (u): 1 - $u = 5-8$ m/s, 2 - $u = 2-5$ m/s, 3 - $u = 0 - 2$ m/s [34]

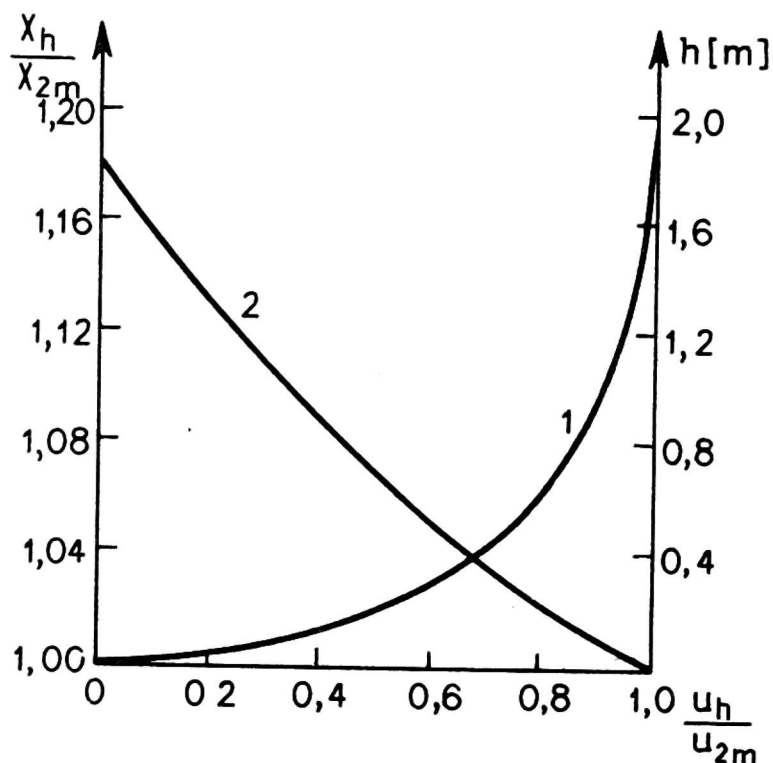


Rys. 2. Intensywność parowania wody (W) ze zbiornika deszczomierza w funkcji iloczynu niedosytu wilgotności (Δ) i prędkości wiatru (u) dla różnych typów przyrządów: 1 - Tretiakowa, 2 - Hellmanna, 3 - ukraińskiego NIGMI, 4 - amerykańskiego [12]

już powiedziano. Należy wspomnieć jeszcze o wpływie wiatru na zmianę skutecznej powierzchni odbiorczej deszczomierza oraz o zjawisku wywiewania kropli deszczu z lejka odbiorczego na skutek turbu-

lentnego opływania przyrządu strumieniem powietrza. W wyniku tego tory ruchu kropeł deszczowych ulegają odchyleniu od pionu, przy czym kąt odchylenia zależy od prędkości wiatru oraz od wielkości kropeł. Wywołuje to zmniejszenie skutecznego pola odbiorczego przyrządu o 1% dla kąta $6,5^\circ$ i o 90% dla kąta $84,1^\circ$ dla kropeł o różnych średnicach. Aby ocenić wynikające stąd błędy, należy równocześnie z pomiarem opadu prowadzić pomiary prędkości wiatru w otoczeniu deszczomierza.

Równie istotny jest wpływ kształtu obudowy deszczomierza, powodujący deformację pola wiatru wokół powierzchni odbiorczej. Chwilowy wzrost prędkości wiatru nad wlotem deszczomierza powoduje dodatkowe zmniejszenie skutecznej powierzchni odbiorczej. Na ten rodzaj błędu wpływa również wyniesienie powierzchni odbiorczej deszczomierza nad powierzchnię ziemi. Zmiany ilości zmierzonego opadu w funkcji prędkości wiatru i wyniesienia nad poziom gruntu przedstawiono na rysunku 3. Wynika z niego, że największe zmiany prędkości wiatru zachodzą w warstwie od poziomu ziemi do wysokości około 0,6 m.



Rys. 3. Krzywe ilustrujące zmiany: 1 - ilości zmierzonego opadu $\frac{x_h}{x_{2m}}$ oraz 2 - prędkości wiatru $\frac{u_h}{u_{2m}}$ w funkcji wyniesienia powierzchni odbiorczej przyrządu nad poziom gruntu (h) [9]

Według Baca [1], różnice w ilości opadów mierzonych na poziomie ziemi i na wysokości 1 m za pomocą deszczomierza o powierzchni recepcji 2500 cm^2 i deszczomierza Hellmanna nie przekraczają 6%.

T a b e l a 1

Wzrost wysokości opadu atmosferycznego zmierzony na poziomie ziemi (P_0) w stosunku do wysokości opadu zmierzony na wysokości 110 cm (P_{110}) przy różnych prędkościach wiatru [21]

Prędkość wiatru [m/s]	$\frac{P_0}{P_{110}}$
0	1,00
2	1,04
4	1,11
6	1,21
8	1,41
10	1,64

Zależność między prędkością wiatru a stosunkiem ilości opadu mierzonego na poziomie ziemi do opadu mierzonego na wysokości 110 cm przedstawiono za Koschmiederem [21] w tabeli 1. Według Molgi [28], stosunek ten w poszczególnych przypadkach osiąga wartość 2,5.

Ekspozycja przyrządu pomiarowego wpływa również bezpośrednio na efekt wtórnego wpadania do lejka odbiorczego kropeł deszczu, odbitych od ziemi i od części zewnętrznych deszczomierza. Występuje tu też zjawisko wypadania fragmentów kropeł rozpryskujących się na powierzchni lejka. Błąd mający swe źródło we wpadaniu dodatkowych kropeł odbitych od powierzchni ziemi jest w pomiarach deszczomierzem o powierzchni odbiorczej umieszczonej na poziomie 1 m nieistotny. Ważne jest natomiast odpowiednie ukształtowanie jamy w przypadku pomiaru deszczomierzem na powierzchni ziemi. Średnica jamy nie może być w zasadzie mniejsza niż 120-150 cm, a jej zbocza powinny być pokryte darnią, lub też powierzchnię górną jamy należy przykryć kratą przeciwrozpryskową. Gdy właściwie zabezpieczymy deszczomierz umieszczony w jamie przed rozpryskami, wtedy zmierzony w ten sposób opad można uważać za rzeczywisty. Należy jednocześnie uwzględnić wpływ parowania ze zbiornika deszczomierza i zmoczenie jego elementów wewnętrznych.

Zmoczenie wewnętrznych elementów deszczomierza i związany z tym błąd pomiarowy wynika z faktu, że część zebranej wody deszczowej zwilża ścianki wewnętrzne deszczomierza i nie jest mierzona.

Wartość tego błędu jest trudna do oszacowania, co wynika z wpływu wielu czynników natury materiałowo-konstrukcyjnej, jak np. stosunek powierzchni zmoczonej do powierzchni odbiorczej przyrządu, materiał pokrywania elementów zmaczanych, czas eksploatacji deszczomierza. Średnie straty przypadające na jeden opad dla niektórych typów deszczomierzy zamieszczono w tabeli 2.

T a b e l a 2

Średnie straty wynikające ze zmoczenia przypadające na jeden opad dla różnych typów deszczomierzy [12]

Typ przyrządu	Średnia wartość strat na zmoczenie [mm]
Opadomierz Tretjakowa	0,20
Deszczomierz z osłoną Niphera	0,13
Deszczomierz IRPG	0,05
Deszczomierz Hellmanna	0,08
Deszczomierz GGI-3000	0,03

W pluwiografach pływakowych, poza wymienionymi już dla deszczomierzy błędami, występują błędy wynikające z przeniesienia ruchu pływaka do rejestratora, z bezwładności elementów mechanicznych pływaka i rejestratora oraz błędy wynikające z „czasu martwego” pluwiografu podczas wylewania wody z komory pływakowej (ten ostatni błąd jest funkcją natężenia opadu i w pewnych okolicznościach może osiągnąć wartość 25-30%). W pluwiografach korytkowych, poza błędem wynikłym z „czasu martwego” pracy, występuje błąd regulacji położenia korytka pomiarowego oraz błąd braku rejestracji napełnionego częściowo korytka. Błędy te są trudne do oszacowania, zważywszy niejednoznaczność wpływających na nie czynników oraz znikomą ilość badań prowadzonych w celu ich uściślenia.

Podsumowując powyższe rozważania, można stwierdzić, że wymienione cząstkowe błędy pomiarowe składają się na trudny do ustalenia sumaryczny błąd pomiaru wysokości opadu deszczu, mogący w określonych warunkach osiągnąć wartość 80-100%. Istotny w pewnych warunkach pomiar natężenia opadu napotyka jeszcze większe trudności. Jedynie na pluwiogramie można drogą graficznego różniczkowania wyznaczyć tę wielkość. Rozdzielczość tej metody jest jednak

mała, czas uśredniania nie spada praktycznie poniżej 10 min, a dokładność odczytu wysokości opadu nie jest większa niż $\pm 0,2$ mm. Stosowane w praktyce telepluwiografy TDG-200 z korytkowym mechanizmem przechylnym pozwalają na automatyczną rejestrację wysokości i natężenia opadu deszczu, lecz ich rozdzielność jest zbyt mała.

METODA IMPULSOWA POMIARU NATĘŻENIA OPADU DESZCZU

Konieczność opracowania innej niż deszczomierzowa metoda pomiaru natężenia i wysokości opadu deszczu wynikła z kilku przyczyn, mianowicie z niemożności oceny błędu pomiaru opadu deszczu, z małej rozdzielności pomiaru oraz z trudności związanych z automatyzowaniem pomiarów wykonywanych metodą deszczomierzową.

Nową metodę oparto na pomiarze struktury opadu deszczu. Pomiarowi podlegają krople wody znajdujące się w określonej objętości powietrza, rejestrowane na powierzchni odbiorczej czujnika opadu.

Zagadnieniami pomiaru struktury, a co za tym idzie natężenia i wysokości opadu, zajmowano się od dawna. Świadczą o tym liczne prace, np. Wiesnera [36], Bentleya [3], Gunna [14], Winna [37], Lammersa [24], Coopera [7], Masona i Ramanadhama [26], Mikirova [27], Straucha [32], czy też Picci i Trouilheta [30].

Do lat czterdziestych XX w. były to metody proste, w których rejestrowano liczbę i rozmiary kropeł bądź to na bibule filtracyjnej [36], bądź na powierzchni specjalnie preparowanej mąki [3]. Opracowania zarejestrowanych opadów dokonywano przez porównanie średnic śladów kropeł z krzywą skalowania, z której odczytywano rzeczywiste średnice kropeł zarejestrowanych na znanej powierzchni odbiorczej w znanym czasie pomiaru. Natężenie opadu deszczu wyznaczano z zależności:

$$I = \frac{A\pi}{S\tau} \sum_{i=1}^n N_i d_i^3 \quad (1)$$

gdzie: i - liczba przedziałów średnic kropeł,

N_i - liczba kropeł i -tego przedziału, zarejestrowanych w czasie pomiaru,

d_i - przeciętna średnica kropli w przedziale,

S - powierzchnia odbiorcza czujnika kropeł,

τ - czas pomiaru,

A - stały współczynnik.

Od lat czterdziestych XX w. datują się początki prac nad aparaturą elektroniczną do pomiaru widma kropel. Opracowano wiele metod pomiaru wielkości kropel na drodze stykowej i bezstykowej oraz rejestracji tych kropel w przedziałach ich wielkości. Dingle i Schulte [8] podali metodę fotoelektryczną pomiaru natężenia światła rozproszonego na kropli, będącego funkcją wielkości tej kropli. Autorami podobnej metody z pomiarem światła pochłoniętego przez kroplę są Picca i Trouilhet [30]. Winn [37] opracował metodę pojemnościową, w której czujnikiem jest odpowiednio ukształtowany kondensator elektryczny zmieniający swą pojemność w momencie, gdy w pobliżu niego przechodzi kropla wody, a Kinell [18] - metodę akustyczną, w której krople opadu uderzają w membranę mikrofonu, dając impulsy elektryczne proporcjonalne do wielkości tychkropel.

W metodzie przedstawionej w niniejszej pracy zaproponowano oryginalne rozwiązanie pomiaru wielkości kropel przez pomiar ich granicznych prędkości opadania.

PODSTAWY FIZYCZNE METODY IMPULSOWEJ

Prędkość opadania kropel deszczu jest funkcją geometrycznych wymiarów kropel oraz czynników zewnętrznych wpływających na ruch kropel w powietrzu. Do czynników związanych z wymiarami kropel zalicza się przede wszystkim przeciętną średnicę kropli oraz jej kształt. Czynniki zewnętrznymi są: ciśnienie atmosferyczne oraz temperatura i wilgotność powietrza. Czynniki te oddziałują na prędkość opadania kropli i wpływają na dokładność pomiaru tej prędkości.

Z analizy ruchu kropli wynika, że suma sił działających na nią jest równa zeru:

$$\bar{P} + \bar{W} + \bar{F} = 0$$

gdzie: \bar{P} - siła ciężkości,

\bar{W} - siła wyporu,

\bar{F} - siła oporu aerodynamicznego.

Ruch kropli jest ruchem jednostajnym z prędkością graniczną V_g . Siła oporu aerodynamicznego działająca na kroplę wynosi:

$$\bar{F} = -\frac{1}{2} \pi r^2 C_x \rho_p V_g^2 \quad (3)$$

gdzie: C_x - aerodynamiczny współczynnik oporu kropli,
 ρ_p - gęstość powietrza,
 r - średni promień kropli,
 \bar{V}_g - prędkość graniczna opadania kropli.

Liczba Reynoldsa, której funkcją jest C_x wynosi:

$$Re = \frac{2\bar{V}_g r \rho_p}{\eta} \quad (4)$$

gdzie η - dynamiczny współczynnik lepkości powietrza.

Stąd:

$$\bar{p} = \frac{C_x Re}{24} 6\pi r \eta \bar{V}_g \quad (5)$$

Pierwszy człon równania reprezentuje siłę oporu czołowego, drugi - siłę lepkości styczną do powierzchni kropli. Dla kropeł o średnicy od 0,25 do 5,00 mm siła lepkości jest niewielka w porównaniu z siłą oporu czołowego.

Z powyższych równań wynika, że:

$$\bar{V}_g = \frac{16g(\rho_w - \rho_p)r^2}{3C_x Re} \quad (6)$$

gdzie: g - przyspieszenie ziemskie,

ρ_w - gęstość wody.

Równanie to nie nadaje się jednak do rozwiązywania analitycznego ze względu na zależność współczynnika C_x od prędkości V_g i liczby Re w wyniku zmian kształtu kropli wywołanego działaniem powietrza w czasie ruchu.

Prędkość graniczną opadania kropli wyznacza się z zależności [4]

$$V_g = \frac{Re \eta}{2r\rho_p} \quad (7)$$

Liczbę Reynoldsa zaś otrzymuje się z krzywej:

$$Re = f(Da) \quad (8)$$

gdzie Da - liczba Daviesa:

$$Da = C_x Re^2 = \frac{32}{3} \frac{g r^3 \rho_p (\rho_w - \rho_p)}{\eta^2} \quad (9)$$

otrzymaną z zależności (6) i (4). Funkcję (8) uzyskano na podstawie danych eksperymentalnych otrzymanych przez Bearda [2]. Graniczną prędkość opadania kropeł o wybranych średnicach w warunkach normalnych przedstawiono w tabeli 3.

T a b e l a 3

Graniczne prędkości opadania kropeł deszczu o różnych średnicach w warunkach normalnych

Średnica kropli $2r$ [mm]	Prędkość opadania kropli V_g [m/s]
0,2	0,72
0,5	2,06
1,0	4,03
2,0	6,49
3,0	8,06
4,0	8,83

Wykres zmian prędkości opadania kropeł w funkcji ich średnicy przedstawiono na rysunku 4. Na wartość tej prędkości wpływają temperatura i wilgotność powietrza oraz ciśnienie atmosferyczne na skutek oddziaływania na gęstość i współczynnik lepkości powietrza:

$$\rho_p = 1,276 \frac{p}{1000} \left(1 - \frac{t}{273}\right) \left(1 - 0,378 \frac{e}{p}\right) \quad (10)$$

oraz

$$\eta = \eta_0 \left(\frac{t + 273}{273}\right)^{0,75} \quad (11)$$

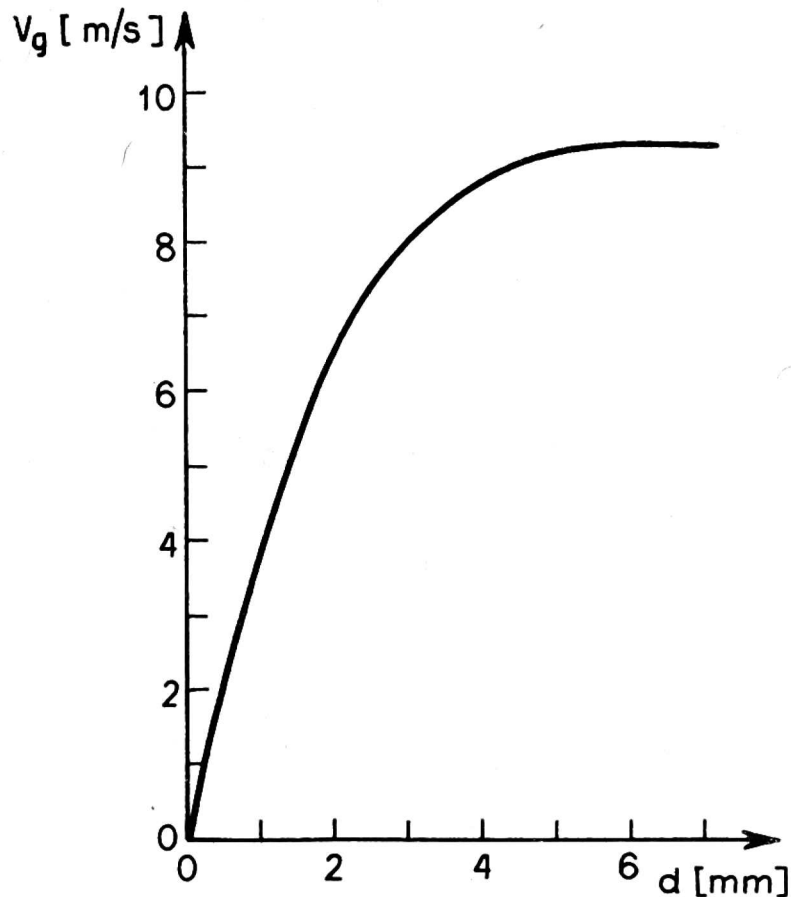
gdzie: p - ciśnienie atmosferyczne,

t - temperatura powietrza,

e - prężność pary wodnej zawartej w powietrzu,

η_0 - dynamiczny współczynnik lepkości powietrza w temperaturze 0°C .

Przeprowadzone obliczenia w zakresie temperatury od 0° do 30°C , ciśnienia od 963,25 do 1063,25 hPa oraz wilgotności względnej od 50 do 100% wykazały, że zmiana prędkości granicznej opadania kropeł w warunkach skrajnych nie przekracza 3,5%.



Rys. 4. Graniczna prędkość opadania kropeł deszczu (V_g) przy różnych przeciętnych średnicach kropeł (d) [2]

Wyznaczanie natężenia opadu deszczu odbywa się pośrednio przez pomiar i opracowanie następujących elementów:

- pomiar prędkości granicznej pojedynczej kropli,
- przeliczenie prędkości granicznej kropli na jej objętość,
- sumowanie objętości kropeł, które przetną pole pomiarowe w czasie trwania pomiaru,
- przeliczenie objętości wody zawartej w kroplach na natężenie i wysokość opadu.

Czujnik pomiarowy o powierzchni odbiorczej 150 cm^2 mierzy prędkość opadania kropli metodą fotoelektryczną, a opracowanie wyników odbywa się automatycznie. Czas trwania pomiaru jest regulowany, nie krótszy jednak niż 30 s, a powtarzalność pomiarów dowolna. Informacje o średnim natężeniu opadu deszczu w wybranym okresie mogą być rejestrowane w różny sposób, a także istnieje możliwość pracy urządzenia w automatycznej sieci pomiarowej.

ZAKOŃCZENIE

Opisana metoda charakteryzuje się następującymi właściwościami:

1. Dokonywany jest bezpośredni pomiar natężenia i wysokości

opadu, a informacja o tym jest natychmiast rejestrowana, co pozwala na korzystanie z wyniku pomiaru jeszcze w czasie trwania opadu oraz umożliwia dokładne odtworzenie przebiegu zmian natężenia i wysokości opadu w czasie.

2. Zarejestrowane dane o natężeniu i wysokości opadu deszczu mogą być przechowywane dowolnie długo i opracowane w EMC.

3. Przewidziano możliwość rejestrowania informacji o składzie widmowym opadu deszczu. Wielkość ta może być wykorzystywana np. przy badaniu procesów tworzenia się opadów lub w radarowych pomiarach opadu.

Przeprowadzona analiza wykazała, że dokładny pomiar natężenia i wysokości opadu deszczu jest możliwy w każdych warunkach. Wprowadzenie tej metody pozwala m. in. na lepsze poznanie procesów tworzenia się opadów deszczu lub na korygowanie pomiarów prowadzonych przyrządami sieciowymi.

LITERATURA

1. Bac S.: Wpływ sposobu pomiaru na oznaczenie wysokości opadu. Prz. Meteor. i Hydrol., 1950/1951.
2. Beard K. V.: Terminal velocity and shape of cloud and precipitation drops aloft. J. Atm. Sc., 33, 1976.
3. Bentley W. A.: Study of raindrops and raindrop phenomena. Mon. Weath. Rev., 32, 1904.
4. Bogdanova E. G.: Issledovanie vetrovoj pogrešnosti izmerenija osadkov. Tr. GGO, 195, 1966.
5. Bratcev A. P.: Vlijanie skorosti vetra na količestvo izmerjaemych osadkov. Meteor. i Hidrol., 8, 1963.
6. Chomicz K.: Wpływ wiatru na pomiar opadu. Prz. geof., 1, 1965.
7. Cooper B. F.: A balloon-borne instrument for telemetering raindrop-size distribution and rainwater content of clouds. Austr. J. Appl. Sc., 2, 1951.
8. Dingle A. N., Schulte J. F.: A research instrument for the study of raindrop-size spectra. J. Appl. Meteor., 1, 1962.
9. Golubev V. S.: Ob učote dožděvych osadkov rozličnymi priborami. Tr. GGI, 81, 1960.
10. Golubev V. S.: Ocenka točnosti učota židkich osadkov osadkometerom Tretjakova. Tr. GGI, 95, 1962.
11. Golubev V. S.: Nekatoryje rezultaty issledovanij na osadkometerom poligone VNIIGL. Tr. GGI, 123, 1965.
12. Golubev V. S.: Izučene točnosti učota atmosferynych osadkov. Tr. GGI, 176, 1969.
13. Golubev V. S.: Rezultaty sravnenij osadkomernych priborov. Tr. GGI, 224, 1975.
14. Gunn R.: Electronic apparatus for the determination of the physical properties of freely falling raindrops. Rev. Sc. Instr., 20.

15. Hohendorf E., Toczkiwicz W.: Pomiaru opadów atmosferycznych na powierzchni gruntu oraz na wysokości 1 i 2 m w Bydgoszczy. *Wiad. IMUZ*, 7, 4, 1970.
16. Hudson M.: Pluviomètre à intensité. *BAMS*, 1950.
17. Jones D. M. A.: Effect of housing shape on the catch of recording gages. *Mon. Weath. Rev.*, 97, 1969.
18. Kinell P. I. A.: The acoustic measurement of waterdrop impacts. *J. Appl. Meteor.*, 11, 1972.
19. Klugiewicz J.: Wpływ wzniesienia deszczomierzy nad powierzchnię terenu na objętość mierzonych opadów. *Wiad. Melior. i Łąk.*, 14, 1, 1971.
20. Koczorowska R.: Wstępna analiza wyników pomiarów opadów atmosferycznych różnymi metodami. *Gaz, Obs, IMGW*, 27, 2, 1974.
21. Koschmieder H.: Methods and results of definite rain measurements. *Mon. Weath. Rev.*, 1974.
22. Kowalczyk S.: Pomiaru porównawcze opadów atmosferycznych. *Gaz. Obs. IMGW*, 10, 1975.
23. Kuźniar K.: Wstępne wyniki badań kształtowania się wysokości opadów atmosferycznych na kilku poziomach dokonywanych pomiarów. *Zesz. nauk. WSR w Krakowie*, 17, *Melior.*, 1, 1963.
24. Lammers U. H. Electrostatic analysis of raindrop distributions. *J. Appl. Meteor.*, 8, 1969.
25. Lhermitte R.: Indirect probing of cloud precipitation by microwave radiometer. *Ins. Soc. of Am.*, 20, 1965.
26. Mason B. J., Ramanadham R.: A photoelectronic raindrops spectrometer. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 79, 1953.
27. Mikrov A. E.: A photoelectronic method of investigating the distribution of particle size of precipitation. *Izv. Nauk SSSR (Geoph.)*, 1, 1957.
28. Molga M.: O wpływie wysokości umieszczenia deszczomierza na wielkość opadów atmosferycznych. *Gaz. Obs. PIHM*, 10, 1951.
29. Mueller S., Kidder E.: Rain gage catch variation due to air-flow disturbances around a standard rain gage. *Wat. Res.*, 8, 1972.
30. Picca R., Trouilhet G.: Un pluviogramme photoélectrique. *J. Rech. Atm.*, I, 4, 1964.
31. Reynolds E. R. C.: Comparison of rain-gauge measurements. *Meteor. Mag.*, 1963.
32. Strauch E.: Metoda pomiaru opadów na podstawie ich mikrostruktury. *Wiad. Służ. Hydrol.-Meteor.*, 1, 1972.
33. Struzer L. R. Osnovnyje nedostatki i puti uluščenija metodov izmerenija atmosferycznych osadkov. *Tr. GGO*, 175, 1965.
34. Struzer L. R., Nečaev I. N., Bogdanova E. G.: Sistematičeskije pogrešnosti izmerenija atmosferycznych osadkov. *Meteor. i Gidrol.*, 10, 1965.
35. Underhill H. W.: Rainfall recorders. A comparison of different types. *Bull. Ass. Hydrol. Sc. Belg.*, 1966.
36. Wiesner I.: Beiträge zur Kenntnis des tropischen Regens. *Akad. Wiss. Vienna, Math.-Natur. Klasse*, 104, 1895.
37. Winn W. P.: A device for measuring the radii of raindrops. *J. Appl. Meteor.*, 8, 1969.

Томаш Снежек

ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ДОЖДЯ

Р е з ю м е

В труде дается краткий обзор дождемерных методов измерения величины дождевых осадков и описываются измерительные погрешности связанные с указанными методами. Обсуждается влияние метеорологических факторов и конструкционных параметров измерительного прибора на точность измерений и возможность ее оценки.

Рассматриваются физические основы импульсного метода измерения интенсивности дождевых осадков. Этот метод базируется на измерении спектра капель в осадке. Измеряется число и величина капель в известном определенном объеме воздуха. Величина капель определяется фотоэлектрическим датчиком и пересчетной системой измеряющей предельную скорость падения капель. Затем объемы капель суммируются и пересчитываются на интенсивность дождя. Представлено кратчайшее время измерения интенсивности дождя в данном моменте и обсуждаются возможности этих измерений. Полученные с помощью цифровой машины результаты представляют интенсивность и величину осадков, а также информируют о их структуре.

Применяемая в указанном методе аппаратура предусмотрена для работы в автоматической измерительной сети дождевых осадков и считается стандартной в точных измерениях интенсивности и величины осадков. Предусматривается также возможность использования информации о структуре дождевых осадков в других видах измерений атмосферных осадков, напр. в радарных измерениях.

Tomasz Śnieżek

IMPULSE METHOD OF RAINFALL INTENSITY MEASUREMENT

S u m m a r y

A short review of the rain gauge measurement methods is given and the measurement errors connected with these methods are specified in the paper. The effect of meteorological factors and of constructional parameters of the measuring device on the measurement accuracy and estimation possibility of the latter is discussed.

Physical fundamentals of the impulse method of the rainfall intensity measurement are presented. This method is based on the measurement of the droplets spectrum in precipitations. The number and size of droplets in a certain definite air volume are measured. The droplet size is determined by the photoelectric sensor and the converting system basing on the measurement of terminal droplet fall velocity. Volumes of particular droplets are then summed and converted into value corresponding with the rainfall intensity. The shortest measurement time of the momentary rainfall intensity and possibilities of ensuring repeatability of the measurements are estimated. The results obtained at use of the digital machine represent intensity and magnitude of the rainfall and inform of its structure.

The apparatus applied in this method is designated for work in an automatic rainfall measurement network and is regarded as standard one for exact measurements of the rainfall intensity and magnitude. Also a possibility of using information concerning rainfall structure in other kinds of the atmospheric precipitation measurements, as e.g. radar ones, is foreseen.