

Karolina MAZURKIEWICZ<sup>1</sup>  
Marek SOWIŃSKI<sup>2</sup>

## WYZNACZENIE OPADÓW DESZCZU STATYSTYCZNIE NIEZALEŻNYCH NA PODSTAWIE DANYCH POMIAROWYCH

W pracy przedstawiono sposób wyodrębniania niezależnych opadów deszczu spośród danych opadowych poprzez wyznaczenie minimalnej przerwy pomiędzy opadami. Na wstępie dokonano przeglądu istniejących kryteriów wyznaczania minimalnej przerwy pomiędzy niezależnymi opadami. Podawane w literaturze wartości minimalnej przerwy pomiędzy niezależnymi opadami deszczu są znacznie zróżnicowane – mieszczą się w zakresie od jednej do kilkunastu godzin. W niniejszej pracy założono, że pojawianie się zdarzeń opadowych jest procesem Poissona, w związku z tym długość przerwy między tymi zdarzeniami podlega rozkładowi wykładniczemu. Dane opadowe pochodziły z trzech posterunków pomiarowych na terenie Poznania (1 – Rataje, 2 – Kobylepole, 3 – Ogrody). Okres badawczy obejmował osiem lat w przypadku posterunku pomiarowego Rataje, siedem lat w przypadku posterunku pomiarowego Kobylepole i dziewięć lat w przypadku posterunku Ogrody. W ramach analizy statystycznej wyznaczono dystrybuantę empiryczną (rozkład częstości) i teoretyczną dla kolejnych granicznych czasów przerw między opadami deszczu oraz sprawdzono zgodność obu dystrybuant, opierając się na nieparametrycznym teście zgodności  $\chi^2$  Pearsona. Przyjęty poziom istotności testu wynosił  $\alpha = 0,01$ . Dla wszystkich rozpatrywanych posterunków pomiarowych uzyskano zbieżne wyniki. Na podstawie analizy danych opadowych stwierdzono, że za opady statystycznie niezależne można uznać opady deszczu rozdzielone przerwą nie mniejszą niż 675 min. Uzyskana wartość przerwy między niezależnymi opadami deszczu jest znacznie dłuższa od podawanych w większości publikacji innych autorów.

**Słowa kluczowe:** niezależne zdarzenia opadowe, proces Poissona, rozkład wykładniczy, test chi-kwadrat

---

<sup>1</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Karolina Mazurkiewicz, Politechnika Poznańska, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3a, tel. 61 6652438, e-mail: karolina.mazurkiewicz@put.poznan.pl

<sup>2</sup> Marek Sowiński, Politechnika Poznańska, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3a, tel. 61 6652438, e-mail: marek.sowinski@put.poznan.pl

## 1. Wprowadzenie

Opady atmosferyczne stanowią materiał badawczy dla specjalistów z wielu dziedzin nauki. Co roku wykonywane są liczne analizy wykorzystujące podstawowe parametry opadów atmosferycznych, takie jak suma opadu, czas jego trwania, natężenie. Parametry te są określane dla odrębnych zdarzeń opadowych i wymagają określenia przerwy między nimi. Mimo to w polskiej literaturze nadal brakuje jednoznacznego kryterium stanowiącego o uznaniu kolejnych opadów deszczu za zdarzenia niezależne. Niniejsza praca stanowi próbę wydzielenia z ciągu obserwacji opadów deszczu statystycznie niezależnych zdarzeń opadowych przez wyznaczenie minimalnej przerwy między nimi.

W ostatnich latach w przedsiębiorstwach wodno-kanalizacyjnych i jednostkach uczelnianych jest widoczny wzrost zainteresowania rozbudową sieci post-runków pomiarowych opadów deszczu. Zwiększająca się liczba stacji pomiarowych skutkuje rozszerzeniem baz danych opadowych, co z kolei powoduje potrzebę poszukiwania bardziej efektywnych metod ich analizy statystycznej. Kluczowym elementem analiz statystycznych jest określenie niezależnych i niepodzielnych (na krótsze zdarzenia niezależne) zdarzeń opadowych. Dalsze rozważania zostały ograniczone do zdarzeń charakteryzujących się takimi cechami, które skrótowo będą określane w dalszej części opracowania jako niezależne z pominięciem zaznaczania drugiego ich atrybutu – niepodzielności. Zdefiniowanie zdarzenia niezależnego wiąże się z wyznaczeniem minimalnego czasu przerwy pomiędzy sąsiednimi zdarzeniami niezależnymi, co z kolei wymaga ustalenia kryteriów wyodrębniania takiego zdarzenia.

## 2. Istniejące kryteria wyznaczania minimalnej przerwy pomiędzy niezależnymi opadami deszczu

W literaturze niewiele jest informacji na temat wyznaczania jednostkowych zjawisk opadowych deszczu. Istniejące kryteria wyznaczania minimalnej przerwy między opadami deszczu można podzielić na dwie grupy:

- I – kryteria oparte na charakterystykach fizycznych opadu deszczu, takich jak wysokość, czas trwania, jego intensywność,
- II – kryteria oparte na analizie reakcji obiektów inżynierskich na opad deszczu; taka reakcja może być mierzona czasem opróżnienia sieci kanalizacyjnej po intensywnym deszczu powodującym duże wypełnienia kanałów.

W przypadku analizowania spływu ze skanalizowanej zlewni miejskiej kryterium grupy II powinno stanowić uzupełnienie kryterium grupy I. Podczas wyznaczania czasu opróżniania sieci kanalizacji deszczowej należy uwzględnić indywidualne cechy zlewni (takie jak spadek terenu, szorstkość, retencja powierzchniowa) i charakterystykę sieci kanalizacyjnej (np. jej wielkość i konfigurację, spadki kanałów, ich stan techniczny). Zadanie to można rozwiązać

na podstawie analizy wieloletnich danych pomiarowych (dla istniejących sieci kanalizacyjnych) lub na podstawie wyników symulacji przeprowadzonych z zastosowaniem modelu utworzonego dla danego systemu kanalizacyjnego opisującego proces transformacji opadu w odpływ. Oddzielne zagadnienie stanowi przyjęcie miarodajnego opadu deszczu dla takiego modelu.

Do pierwszej z wymienionych grup należy propozycja Wischmeiera i Smitha [1]. Prowadzili oni badania dotyczące erozji glebowej w Stanach Zjednoczonych. Według ich kryterium przerwa między niezależnymi opadami deszczu jest definiowana jako okres co najmniej sześciu godzin, w czasie którego wysokość opadu nie przekracza 0,05 cala (1,3 mm). Ponadto opady deszczu, których wysokość jest mniejsza od 0,5 cala (13,0 mm), w ciągu co najmniej sześciu godzin powinny być pomijane jako mało znaczące dla erozji glebowej. Wyjątek stanowią opady, których maksymalna piętnastominutowa intensywność przekracza wartość 0,95 cala/h (24,1 mm/h). Tak sformułowane kryterium nie zawsze było prawidłowo interpretowane, czego dowodem jest definicja przerwy podana przez Wu, Bradena i Johnsona [2] oraz Pitta, Clarka i Lake'a [3]. Zgodnie z tą definicją za przerwę w opadzie deszczu należy uznać okres minimum 6,0 h przy maksymalnej wysokości opadu 0,5 cala.

We wcześniejszej amerykańskiej publikacji [4], na podstawie danych opadowych dla regionu Nowej Anglii w Stanach Zjednoczonych minimalna przerwa pomiędzy jednostkowymi zdarzeniami opadowymi została określona na 2,0 h. Z kolei w publikacji Jennifer K. Wynn [5] do określenia minimalnej przerwy pomiędzy statystycznie niezależnymi opadami użyto metody współczynnika zmienności [6] oraz metody punktu przecięcia linii regresji liniowych. Dane opadowe pochodziły ze stacji pomiarowych na terenie Stanów Zjednoczonych. W zależności od pory roku oraz regionu minimalna przerwa pomiędzy jednostkowymi opadami deszczu wynosi:

- wyznaczona metodą współczynnika zmienności – od 3,0 h w okresie zimowym dla regionu wschodniego do 80,0 h w okresie jesiennym dla regionu południowo-zachodniego USA,
- wyznaczona metodą punktu przecięcia regresji liniowych – od 5,0 h w okresie wiosennym i letnim dla regionu północno-zachodniego do 45,0 h w okresie letnim dla regionu południowo-zachodniego USA.

Duńscy badacze [7], którzy analizowali opady ekstremalne w Danii, zastosowali kryterium podziału opadów na zdarzenia niezależne dla opadów o czasie trwania  $t \leq 1,0$  h minimalna przerwa pomiędzy niezależnymi zdarzeniami opadowymi została określona na 1,0 h, w którym nie może wystąpić żaden opad. W przypadku opadów o dłuższym czasie trwania ( $t > 1,0$  h) przerwa w opadach powinna być dłuższa niż dłuższy czas trwania jednego z sąsiednich zdarzeń opadowych.

Kryterium dotyczące odstępu czasu między niezależnymi opadami deszczu zostało określone również w niemieckich wytycznych ATV-A118 [8]. Należy ono do II grupy kryteriów wyznaczania minimalnej przerwy między deszczami.

Według wytycznych ATV-A118 minimalny odstęp czasowy między niezależnymi zdarzeniami powinien wynikać z czasu opróżniania się systemu kanalizacyjnego, a przerwa w opadach powinna wynosić minimum 4,0 h. Kryterium to jest zalecane w przypadku opadów nawalnych, charakteryzujących się wydajnością opadu nie mniejszą niż 10,0 mm oraz minimalnym chwilowym natężeniem deszczu wynoszącym 0,1 mm w ciągu 5 min (względnie 0,5 mm w ciągu 1 h).

W literaturze polskiej Kupczyk i Suligowski [9] proponują kryterium uzależniające przerwę pomiędzy niezależnymi zdarzeniami opadowymi od rodzaju opadów. Zalecają przyjmować minimalną długość przerwy:

- równą 2,0 h w przypadku opadów krótkotrwałych (od kilku minut do 1,5 h), pochodzących z pojedynczych, szybko przemieszczających się konwekcyjnych komórek opadowych (kryterium przyjęte na podstawie badań Eaglesona z 1978 r. [4]),
- dłuższą od dłuższego spośród czasów trwania sąsiadujących ze sobą zdarzeń opadowych w przypadku opadów średnio- i długotrwałych (trwających ponad 3,0 h).

#### **Uwagi dotyczące wymienionych kryteriów**

Badania Wischmeiera i Smitha [1] były przeprowadzane na poletkach doświadczalnych w USA, zatem stosowanie ich wyników w polskich realiach wymaga weryfikacji. Ponadto przerwa między opadami została określona ze względu na właściwości erozyjne gleby, nie świadczy o statystycznej niezależności opadów. Wyniki badań Eaglesona [4] dotyczą tylko warunków lokalnych w Nowej Anglii, nie odnoszą się do innych lokalizacji o zróżnicowanym klimacie. Z kolei badania Jeniffer K. Wynn [5] wskazują na potrzebę lokalnego określenia minimalnej przerwy pomiędzy niezależnymi zjawiskami opadowymi. Jednak jednoznacznie nie zostało wskazane, która z dwóch przedstawionych przez Wynn metod powinna służyć do uzyskania takiej informacji.

Wykorzystane przez duńskich badaczy [7] kryterium określania minimalnej przerwy pomiędzy opadami stanowiło wstępną metodę podziału na deszcze jednostkowe i nie zostało udokumentowane wynikami badań.

Proponowana w ATV-A118 [8] minimalna przerwa między opadami niezależnymi, która powinna wynikać z czasu opróżniania sieci kanalizacyjnej i wynosić nie mniej niż 4,0 h, odnosi się do opadów o dużej wysokości i natężeniu, nie ma więc uniwersalnego zastosowania. Kryterium zawarte w ATV-A118 wymaga znajomości opadów, które w sieci kanalizacyjnej powodują przekroczenie ustalonego poziomu wypełnienia kanału, co z kolei narzuca konieczność przeprowadzenia badań lub symulacji na istniejącym obiekcie. Kryterium zaproponowane przez Kupczyka i Suligowskiego [9] jest trudne do zastosowania w praktyce, gdyż wymaga znajomości charakterystyk meteorologicznych opadów.

Duże zróżnicowanie proponowanych w literaturze wartości minimalnej przerwy między niezależnymi opadami nie daje jednoznacznej odpowiedzi, jaki czas należy przyjąć podczas ich wyznaczania. Celem niniejszego opracowania

jest wyznaczenie minimalnej przerwy między niezależnymi opadami deszczu na podstawie analizy statystycznej danych pomiarowych opadów z trzech posterunków pomiarowych na terenie Poznania.

### 3. Podstawy teoretyczne zastosowanej metody wyznaczania minimalnej przerwy pomiędzy niezależnymi opadami deszczu

#### Założenia

Zastosowana metoda została oparta na następujących założeniach:

- 1) zdarzenia opadowe są zdarzeniami niezależnymi,
- 2) pojawianie się zdarzeń opadowych jest procesem Poissona, w związku z tym długość przerwy między nimi podlega rozkładowi wykładniczemu,
- 3) czas trwania zdarzeń opadowych jest pomijany jako zaniedbywalnie mały w porównaniu z długością przerw pomiędzy nimi, w związku z czym długość okresów bezdeszczowych podlega rozkładowi wykładniczemu.

Przyjęcie założeń pozwala sformułować następujący wniosek [10]: jeżeli długości okresów bezdeszczowych podlegają rozkładowi wykładniczemu, to zjawiska opadowe oddzielone tymi okresami są statystycznie niezależne.

#### Podstawy teoretyczne analizy

Prawdopodobieństwo wystąpienia w okresie  $\Delta T$  dokładnie  $k$  pojedynczych opadów opisuje rozkład Poissona:

$$P_k = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \quad \text{dla } k = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

gdzie  $\lambda$  – średnia częstość opadów,  $\lambda = \omega \cdot \Delta T$  ( $\omega$  – średnia częstotliwość opadów [1/min]).

Prawdopodobieństwo niewystąpienia żadnego opadu (czyli  $k = 0$ ), które odpowiada prawdopodobieństwu wystąpienia przerwy między opadami dłuższej niż wartość  $\Delta T$ , można otrzymać z równania:

$$P_{k=0} = P(t > \Delta T) = \frac{\lambda^0}{0!} e^{-\lambda} = e^{-\lambda} \quad (2)$$

Prawdopodobieństwo wystąpienia przerwy pomiędzy opadami o czasie trwania  $t$  [min] mniejszym od założonego granicznego czasu  $\Delta T$  [min] opisuje zatem dystrybuanta rozkładu wykładniczego:

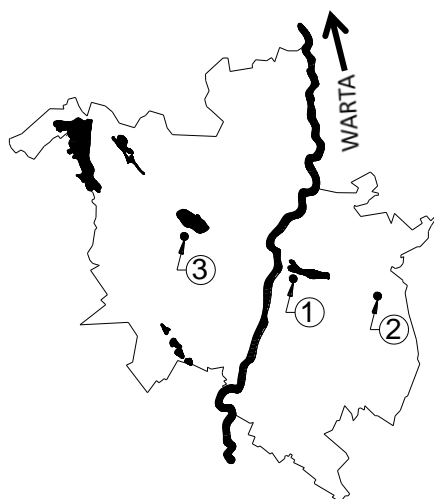
$$P(t < \Delta T) = 1 - e^{-\lambda} \quad (3)$$

Idea metody sprowadza się do sprawdzenia za pomocą nieparametrycznego testu chi-kwadrat zgodności dystrybuanty teoretycznej i empirycznej dla założonej długości przerwy pomiędzy opadami  $\Delta T$ . W przypadku uzyskania pozytywnego wyniku testu długość przerwy  $\Delta T$  rozdziela statystycznie niezależne opady.

#### 4. Praktyczna weryfikacja metody

##### Źródła pozyskania danych

Dane pomiarowe pochodziły z deszczomierzy zlokalizowanych na terenie Poznania. Posterunki nr 1 i 2 znajdowały się na prawym brzegu Warty w zlewni jej dopływu Cybiny; posterunek nr 3 zlokalizowano na lewym brzegu Warty, niedaleko Jeziora Rusalka (rys. 1.).



Rys. 1. Lokalizacja posterunków pomiarowych opadów w Poznaniu: 1 – Rataje, 2 – Kobylepole, 3 – Ogrody

Fig. 1. Location of raingauges in Poznań city: 1 – Rataje, 2 – Kobylepole, 3 – Ogrody

Na posterunku nr 1 na dolnym tarasie Rataj, w sąsiedztwie Jeziora Maltańskiego początkowo był zainstalowany deszczomierz SR49, w czerwcu 2006 r. zastąpiony przez deszczomierz ISCO. Na posterunku nr 2 na terenie osiedla Kobylepole oraz na posterunku nr 3 w dzielnicy Ogrody niedaleko Jeziora Rusalka zostały ustawione deszczomierze typu SR49. Okres badawczy obejmował lata:

- 2003-2010 w przypadku posterunku pomiarowego nr 1 (Rataje),
- 2002-2003 i 2006-2010 w przypadku posterunku pomiarowego nr 2 (Kobylepole),
- 2002-2010 w przypadku posterunku pomiarowego nr 3 (Ogrody).

Pomiary były wykonywane od maja do listopada, w pozostałym okresie (od grudnia do kwietnia) nie prowadzono badań ze względu na ujemne temperatury (brano pod uwagę tylko opady deszczu) oraz ich negatywny wpływ na zasilanie baterijne deszczomierzy.

### Dyskretyzacja danych

Dane opadowe o zróżnicowanej intensywności zarejestrowane przez deszczomierz z krokiem czasowym 1,0 min zamieniono na opady o czasie trwania stanowiącym wielokrotność przedziału 5,0 min i jednakowym natężeniu, przy czym początek opadu stanowił zawsze początek pięciominutowego przedziału. Podczas zaokrąglania czasów trwania zdarzeń opadowych do wartości stanowiącej wielokrotność pięciominutowego przedziału nie brano pod uwagę opadów o łącznej wysokości nie większej od 0,2 mm w ciągu 5,0 min, jeżeli w czasie co najmniej 60,0 min przed i po tym deszczu nie wystąpił inny opad. Odrzucenie tych opadów wynika z ich pomijalnie małego znaczenia dla odpływu powierzchniowego oraz z wysokości opadu odpowiadającej jednemu wychyleniu korytka deszczomierzy SR49 (wynoszącej 0,2 mm). Następnie przyjęto graniczne czasy przerw  $\Delta T$  pomiędzy opadami. Stanowią one górne granice dla dyskretnej wartości argumentów dystrybuanty rozkładu tych czasów. Opady rozdzielone przerwą o czasie  $\Delta T$  mniejszą od 30,0 min (0,5 h) uznano za jeden niepodzielny opad, natomiast opady rozdzielone przerwą o czasie  $\Delta T$  większą od 975,0 min (ponad 16,0 h) uznano za opady niezależne.

Dla każdego  $j$ -tego czasu granicznego przerwy  $\Delta T_j$  wyznaczono przedział czasów przerw pomiędzy opadami zgodnie z relacją:

$$(\Delta T_j - 30) \leq t \leq (\Delta T_j - 1) \quad \text{dla } j = 2, 3, \dots, 32 \quad (4)$$

Minimalna długość granicznego czasu przerwy wynosiła  $\Delta T_1 = 45,0$  min. Przerwę tę zwiększano dla kolejnych wartości  $j > 1$  o kolejne 30 min w celu uzyskania kolejnych czasów  $\Delta T_j$ , aż do osiągnięcia maksymalnej długości przerwy 975,0 min (dla  $j = 32$ ) (tab. 1.).

Tabela 1. Przykładowe wartości granicznych czasów przerw  $\Delta T_j$  i odpowiadających im granic przedziałów czasów przerw

Table 1. Examples values of limiting time intervals  $\Delta T_j$  and corresponding limits of intervals of break between storms

$j$	$\Delta T_j$ [min]	$\Delta T_j - 30$ [min]	$\Delta T_j - 1$ [min]
1	45	30	44
2	75	45	74
3	105	75	104
4	135	105	134
...	...	...	...
32	975	945	974

Dla pierwszego ( $j = 1$ ) przedziału ograniczenie jego lewego brzegu wynikające z równania (4) ulegało zmianie zgodnie z relacją:

$$(\Delta T_j - 15) \leq t \leq (\Delta T_j - 1) \quad (5)$$

Po podstawieniu  $\Delta T_1 = 45,0$  min otrzymano:  $30 \leq t \leq 44$ .

## 5. Analiza statystyczna

Analiza statystyczna polegała na wyznaczeniu dystrybuanty empirycznej (rozkładu częstości) i teoretycznej dla kolejnych granicznych czasów przerw pomiędzy opadami deszczu i sprawdzeniu ich zgodności na podstawie nieparametrycznego testu zgodności  $\chi^2$  Pearsona.

Przyjęto poziom istotności testu  $\alpha = 0,01$ . Testy przeprowadzono kolejno dla każdego posterunku pomiarowego, zwiększając stopniowo wartość  $\Delta T_j$ , aż do uzyskania ich pozytywnych wyników. Podczas przeprowadzania testów konieczne było zastąpienie granicznych czasów przerw  $\Delta T_j$  przez skorygowane czasy graniczne  $\Delta T_j^{mod}$ , tak aby w każdym zestawie danych dla danego testu długość pierwszego przedziału była jednakowa ( $\Delta T_1^{mod} = 45,0$  min). Wynika to z analizy równania dystrybuanty teoretycznej rozkładu wykładniczego (równanie (4)). Dla zerowej wartości argumentu  $\Delta T_0$  wartość dystrybuanty przyjmuje wartość zerową:

$$F(\Delta T = 0) = 1 - e^{-\omega \cdot 0} = 1 - 1 = 0 \quad (6)$$

Zatem teoretyczna dystrybuanta zmiennej  $\Delta T$  powinna przechodzić przez początek układu współrzędnych. Jeżeli dla pierwszego przedziału przyjmie się długość przerwy pomiędzy opadami ( $\Delta T_1 - \Delta T_0$ )  $\neq 45,0$  min, to warunek ten nie zostanie spełniony.

W tabeli 2. przedstawiono wyniki testu  $\chi^2$  Pearsona dla posterunku pomiarowego nr 3 (Ogrody). Symbole zamieszczone w kolejnych kolumnach tabeli oznaczają odpowiednio:

- $m$  – liczbę granicznych czasów przerw  $\Delta T_j$  pomiędzy opadami deszczu,
- $\Delta T_j$  – długość przerwy pomiędzy opadami,
- $\Delta T_j^{mod}$  – skorygowany czas graniczny przerwy pomiędzy opadami,
- $n_j$  – liczbę zmierzonych przerw pomiędzy opadami w przedziale przynależnym  $\Delta T_j$ ; gdzie  $j = 1, 2, 3, \dots, m$ ,
- $P_{emp}(\Delta T_j^{mod})$  – prawdopodobieństwo empiryczne zmiennej  $\Delta T_j^{mod}$ ,
- $F_{emp}(\Delta T_j^{mod})$  – dystrybuantę empiryczną zmiennej  $\Delta T_j^{mod}$ ,
- $F_{teo}(\Delta T_j^{mod})$  – dystrybuantę teoretyczną zmiennej  $\Delta T_j^{mod}$ ,
- $p_j$  – prawdopodobieństwo teoretyczne zmiennej dyskretnej  $\Delta T_j^{mod}$ ,
- $N$  – sumę zmierzonych przerw pomiędzy opadami (we wszystkich przedziałach).

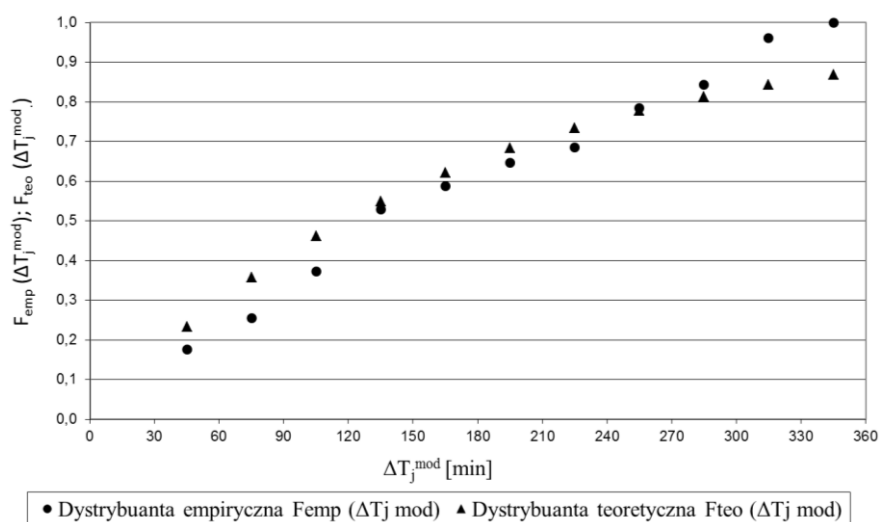


Rysunek 2. przedstawia wykres dystrybuanty teoretycznej i empirycznej uzyskanej dla posterunku pomiarowego nr 3 (Ogrody) dla wartości początkowej granicznego czasu przerwy  $\Delta T_1 = 675,0$  min (wynik testu pozytywny).

Tabela 2. Test  $\chi^2$  Pearsona – posterunek pomiarowy nr 3 (Ogrody) dla wartości początkowej przerwy  $\Delta T_1 = 675,0$  min

Table 2. The  $\chi^2$  Pearson test – measuring station number 3 (Ogrody) for beginning value of break between storms  $\Delta T_1 = 675,0$  min

$m$	$\Delta T_j$ [min]	$\Delta T_j^{mod}$ [min]	$n_j$	$P_{emp}$ ( $\Delta T_j^{mod}$ )	$F_{emp}$ ( $\Delta T_j^{mod}$ )	$F_{teo}$ ( $\Delta T_j^{mod}$ )	$p_j$	$\frac{(n_j - N \cdot p_j)^2}{N \cdot p_j}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	675	45	9	0,176	0,176	0,233	0,233	0,698
2	705	75	4	0,078	0,255	0,357	0,124	0,863
3	735	105	6	0,118	0,373	0,461	0,104	0,089
4	765	135	8	0,157	0,529	0,549	0,087	2,830
5	795	165	3	0,059	0,588	0,622	0,073	0,143
6	825	195	3	0,059	0,647	0,683	0,061	0,005
7	855	225	2	0,039	0,686	0,734	0,051	0,146
8	885	255	5	0,098	0,784	0,777	0,043	3,586
9	915	285	3	0,059	0,843	0,814	0,036	0,733
10	945	315	6	0,118	0,961	0,844	0,030	12,901
11	975	345	2	0,039	1,000	0,869	0,025	0,389
Suma			51	1,000	Suma		0,869	22,382



Rys. 2. Dystrybuanta empiryczna i teoretyczna – posterunek pomiarowy nr 3 (Ogrody) dla wartości początkowej przerwy  $\Delta T_1 = 675,0$  min

Fig. 2. Empirical and theoretical distribution- measuring station number 3 (Ogrody) for the beginning value of dry period  $\Delta T_1 = 675,0$  min

W tabeli 3. przedstawiono wyniki testów  $\chi^2$  przeprowadzonych dla wszystkich posterunków pomiarowych. Symbole zawarte w kolumnach tabeli oznaczają odpowiednio:

- $\overline{\Delta T}$  – wartość średnią ważoną zmiennej  $\Delta T$  obliczoną ze wzoru

$$\overline{\Delta T} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^m \Delta T_j \cdot n_j \quad (7)$$

- $\omega$  – parametr rozkładu wykładniczego, średnia częstotliwość opadów,
- $\chi^2_{\alpha=0,01}$  – wartość statystyki  $\chi^2$  odczytaną z tablicy rozkładu  $\chi^2$  dla poziomu istotności  $\alpha = 0,01$ ,
- $\chi^2_{\text{zaobs}}$  – wartość statystyki  $\chi^2$  obliczoną z zależności

$$\chi^2_{\text{zaobs}} = \sum_{j=1}^m \frac{(n_j - N \cdot p_j)^2}{N \cdot p_j} \quad (8)$$

Tabela 3. Wyniki testów  $\chi^2$  Pearsona dla poszczególnych posterunków pomiarowych i wartości początkowych ( $j = 1$ ) przerwy  $\Delta T_j$

Table 3. The results of  $\chi^2$  Person tests for raingauge stations and the values  $\Delta T_1$  at which dry period starts

Posterunek pomiarowy	$\Delta T_1$ [min]	$\overline{\Delta T}$	$\omega$	$\chi^2_{\alpha=0,01}$	$\chi^2_{\text{zaobs}}$	Wynik testu
Rataje (nr 1)	45,0	160,07	0,0062	50,892	441,833	negatywny
	675,0	156,06	0,0064	23,209	19,846	pozytywny
Kobyle-pole (nr 2)	45,0	172,25	0,0057	50,892	376,193	negatywny
	675,0	160,38	0,0062	23,209	16,208	pozytywny
Ogrody (nr 3)	45,0	169,73	0,0059	50,892	378,477	negatywny
	675,0	160,71	0,0059	23,209	22,382	pozytywny

Wyniki pozytywne testu  $\chi^2$  Pearsona uzyskano jednakowo dla wszystkich posterunków pomiarowych dla czasu  $\Delta T_j = 675,0$  min.

## 6. Wnioski

Dla wszystkich posterunków pomiarowych uzyskano zbieżne wyniki – statystycznie niezależne opady powinny być rozdzielone przerwą o minimalnym czasie  $\Delta T_j = 675,0$  min. Wartość ta jest zbliżona do wartości podawanych przez Jennifer K. Wynn [5], jednakże jest znacznie dłuższa od przyjmowanych do analiz zjawisk opadowych przez większość innych autorów. Wyznaczona przerwa

$\Delta T_j$  odpowiada czasowi opróżniania dużej sieci kanalizacyjnej (odwadniającej dużą zlewnię) po intensywnych opadach deszczu wykorzystujących przepustowości kanałów. W przypadku zlewni mniejszych, o krótszym czasie opróżniania sieci kanalizacyjnych wymagany czas pomiędzy opadami jest zatem krótszy. Oznacza to, że przy wyznaczaniu niezależnych opadów deszczu decydującą rolę odgrywa I kryterium oparte na charakterystykach fizycznych zjawisk opadowych, a nie kryterium II oparte na analizie reakcji obiektów inżynierskich. Uzasadnione jest zatem dalsze prowadzenie badań nad określeniem minimalnej długości przerwy pomiędzy opadami, które mogą doprowadzić do skrócenia czasu tej przerwy, a w związku z tym do rozszerzenia zbioru danych opadowych obejmujących analizowany okres i konsekwencji stąd wynikających.

Podczas wykonywania analizy podjęto próbę wyznaczenia minimalnej przerwy pomiędzy statystycznie niezależnymi opadami tylko dla lat o zwiększonej liczbie opadów, bez tzw. lat „suchych” (lata 2002-2003). Nie stwierdzono jednak żadnych zmian długości okresów bezdeszczowych.

Na uzyskane wyniki może mieć wpływ kilka czynników metodycznych:

- 1) przyjęcie za Schillingiem [10] założenia, że czas pomiędzy opadami deszczu można utożsamiać z okresami bezdeszczowymi, co oznacza pominięcie w analizie czasów trwania opadów,
- 2) model Poissona, choć ciągle szeroko stosowany, należy do najprostszych modeli wykorzystywanych w analizie procesów losowych. Rozszerzenia tego modelu zostały opracowane (i w licznych przypadkach lepiej opisują rzeczywistość) przez m.in. Coxa, Barletta- Lewisa, Neymana-Scotta [11-14]. Są one jednak bardziej skomplikowane, dlatego też podjęto próbę zastosowania stosunkowo prostego narzędzia.

Uzyskane wyniki należy oceniać z dużą ostrożnością i poddać weryfikacji z zastosowaniem innych modeli.

Przerwa pomiędzy statystycznie niezależnymi opadami jest dla trzech posterunków pomiarowych taka sama (675 min). Świadczy to o braku czynnika obszarowej zmienności opadów (w badanym zakresie na terenie Poznania) na wielkość przerwy pomiędzy nimi.

Posterunki pomiarowe, z których pochodziły dane wykorzystane w badaniach, leżą w jednej linii prostopadłej do osi doliny Warty (oraz samej rzeki) i są oddalone od siebie o ok. 4,0 km. Mogło to mieć wpływ na brak różnic pomiędzy długością przerw pomiędzy opadami dla badanych posterunków pomiarowych.

Podczas przygotowania danych do analizy korzystano z funkcji dostępnych w arkuszu kalkulacyjnym Microsoft Excel. Mimo to, ze względu na dużą liczbę danych procedura ta wymagała dużego nakładu pracy.

Dane wykorzystane w badaniach pochodziły ze stosunkowo krótkiego okresu, tj. od 7 lat dla posterunku pomiarowego nr 2 (Kobylepole) do 9 dla posterunku pomiarowego nr 3 (Ogrody) oraz z niewielkiej liczby posterunków pomiarowych. Wyniki badań powinny więc być potwierdzone dla większej liczby lat i posterunków pomiarowych.

## Literatura

- [1] Wischmeier W.H., Smith D.D.: Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537, USDA/Science and Education Administration, US. Government. Printing Office, Washington 1978.
- [2] Wu Pei-Ing, Braden J.B., Johnson G.V.: Economic differences between cumulative and episodic reduction of sediment from cropland. Project Report No. S-099-ILL, Water Resources Center, 2535 Hydrosystems Laboratory, Urbana, IL61801, September 1986.
- [3] Pitt R., Clark S.E., Lake D.: Construction site erosion and sediment controls. Planning, design and performance. DEStech Publications, Lancaster 2006.
- [4] Eagleson P.S.: Climate, soil and vegetation, 2. The distribution of annual precipitation derived from observed storm sequences. Water Resource Research, no 14, 1978, pp.713-721.
- [5] Wynn J.K.: Seasonal and geographic variability in rainstorm parameter distributions. Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, May 1994.
- [6] Eagleson P.S., Restrepo-Posada P.J.: Identification of independent rainstorms. Journal of Hydrology, no 55, 1982, pp. 303-319.
- [7] Madsen H., Mikkelsen P.S., Rosbjerg D., Harremoës P.: Estimation of regional Intensity-Duration-Frequency curves from extreme precipitation, Water, Science and Technology, vol. 37, no.11, 1998, pp. 29-36.
- [8] Komentarz do ATV – A 118: Hydrauliczne wymiarowanie systemów odwadniających ATV. Wydaw. Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa 2000.
- [9] Kupczyk E., Suligowski R.: Statystyczny opis struktury czasowej opadów atmosferycznych jako elementu wejścia do modeli hydrologicznych, [w:] Predykcja opadów i wezbrań o zadanym okresie powtarzalności, red. U. Soczyńska. Wydaw. UW, Warszawa 1997, s. 21-86.
- [10] Schilling W.: Univariate versus multivariate rainfall statistics- problems and solutions (A discussion), Water Science and Technology, vol. 16, 1984, p. 139-146.
- [11] Cox D.: Some statistical methods connected with series of events. Journal of the Royal Statistical Society, no 17 (2), 1955, pp.129-164.
- [12] Neyman J., Scott E.: Statistical approaches to problems of cosmology. Journal of the Royal Statistical Society B 20, 1958, p.1-43.
- [13] Rodriguez-Iturbe I., Cox D., Isham V.: Some models for rainfall based on stochastic point processes. Proc. of the Royal Society A, 410, 1987, p. 269-288.
- [14] Rodriguez-Iturbe I., Cox D., Isham V.: A point process model for rainfall: further developments, Proc. of Royal Society of London Series, 417, 1988, p. 283-298.

## DETERMINATION OF STATISTICAL INDEPENDENT RAINFALL EVENTS ON THE BASIS OF RAINFALL DATA

### Summary

The paper presents a method to determinate independent rainfalls by defining the minimum break between them. The paper also contains a review of existing criteria for determining

the minimum interval between independent rains and comments on those criteria. In the literature a minimum breaks between independent rainfalls are much varied in the range from one to several hours. In the paper it is assumed that the appearance of rain events is a Poisson process and the length of the intervals between these events is exponentially distributed. The rainfall data are provided from three measuring stations in Poznan (1 – Rataje, 2 – Kobylepole, 3 – Ogrody). Research period included eight years in the case of a measuring station Rataje, seven years in the case of a measuring station Kobylepole and nine years in the case of a measuring station Ogrody. In the statistical analysis, an empirical and theoretical distribution functions were determined for the subsequent time intervals between rains and the compatibility of both distribution functions was checked by  $\chi^2$  test. The accepted significance level test was  $\alpha = 0.01$ . For all concerned measuring stations convergent results were obtained. On the basis of an analysis of rainfall data, it was found that the statistically independent rainfall can be separated by an interval of not less than 675 min. This obtained value is much longer than in most other authors publications.

**Keywords:** independent rainfall events, Poisson process, exponential distribution, chi-squared ( $\chi^2$ ) test

*Przesłano do redakcji: 4.02.2014 r.*

*Przyjęto do druku: 02.06.2014 r.*

DOI: 10.7862/rb.2014.10