

mgr inż. Alicja Gruszecka

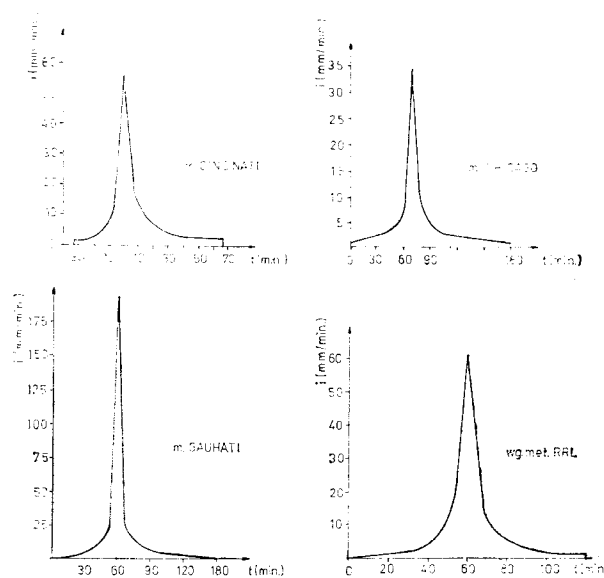
Instytut Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej
Politechniki Lubelskiej

PLUWIOGRAM SYNTETYCZNY JAKO PODSTAWA OKREŚLANIA HYDROGRAMU PRZEPŁYWU ŚCIEKÓW DESZCZOWYCH

Stosowane dotychczas metody obliczeń natężenia przepływu ścieków deszczowych w sieciach kanalizacyjnych, oparte są na dość uproszczonych założeniach, dotyczących charakterystyki opadu deszczowego oraz warunków dopływu ścieków do kanalizacji i przepływu kanałami. Obliczanie natężenia przepływu ścieków deszczowych, miarodajnego do wymiarowania przewodów kanalizacyjnych, wg takich metod jak: metoda granicznych natężeń, metody wykreślne, czy też uproszczone, opiera się na założeniach, że podstawowy parametr — natężenie deszczu — obliczany jest wg różnych formuł, zależnych od ogólnych i lokalnych warunków klimatycznych danego kraju, regionu czy nawet miasta. Podstawową wadą tych metod jest przyjmowanie do wymiarowania kanałów stałego natężenia deszczu o tzw. miarodajnym czasie trwania i określonym prawdopodobieństwie wystąpienia. Z analizy właściwości opadów deszczowych wiadomo, że natężenie deszczu w czasie jego trwania ulega ciągłym zmianom. Maksymalne natężenie występuje z reguły tylko w jednej fazie deszczu — zwanej deszczem głównym — często poprzedzanej i zakończonej deszczem o dużo mniejszym natężeniu, tzw. deszczem początkowym i końcowym. Badania właściwości opadów deszczowych dokonane na podstawie wieloletnich zapisów pluwiograficznych przez wielu autorów, pozwoliły na ustalenie udziału deszczu głównych, początkowych i końcowych w ogólnej liczbie zarejestrowanych opadów, na określenie wartości natężeń poszczególnych faz deszczu, a również na uzależnienie wartości maksymalnego natężenia deszczu od czasu w jakim wystąpiło [1—9].

W wyniku badań zależności wielkości intensywności opadów w czasie ich trwania na podstawie pomiarów pluwiograficznych, przeprowadzonych w Cincinnati, Chicago, Gauhati oraz na terenie Wielkiej Brytanii, opracowano pluwiogramy wzorcowe deszczu o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia (Rys. 1).

Pluwiogramy te odwzorowują zależność między natężeniem deszczu a czasem jego trwania i stanowią podstawę do wyprowadzenia hydrogramów przepływu ścieków deszczowych kanałem, tj. zależności wielkości natężenia przepływu ścieków deszczowych od czasu. Hydrogramy znalazły już zastosowanie w praktyce inżynierskiej na terenie Wielkiej Brytanii, USA i Norwegii, gdzie oceniono wysoko ich przydat-



Rys. 1 Przykłady pluwiogramów wzorcowych

ność dla potrzeb wymiarowania przekrojów kanałów odprowadzających ścieki deszczowe. Metody umożliwiające uzyskanie hydrogramu przepływu ścieków deszczowych przez wymiarowany odcinek kanału, na podstawie przeciętnego, dla danego czasu trwania i prawdopodobieństwa występowania pluwiogramu wzorcowego, odwzorowują bardziej dokładnie zjawiska przepływu ścieków deszczowych w kanałach niż inne metody, np. metoda granicznych natężeń. Opracowanie tych metod musi być poprzedzone zgromadzeniem i analizą odpowiedniego materiału obserwacyjnego z wielu zlewni doświadczalnych.

Obserwacje pluwiograficzne przeprowadzone w Raciborzu w latach 1953—80 dały podstawę do podjęcia próby opracowania pluwiogramów syntetycznych deszczu o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia [10]. Zapisy pluwiograficzne objęły okresy letnie, tj. miesiące od maja do września. Ze wszystkich zarejestrowanych deszczu, opracowano 1030 opadów deszczowych, których sumaryczna wysokość opadu przekraczała 1,0 mm, a natężenie było większe od 5,0 dm³/s ha (w ten sposób wyeliminowano deszcze, które nie wywołują spływu powierzchniowego).

Wartości natężeń deszczu obliczono metodą średnich i fazowych natężeń, odczytując przystosy wysokości opadu w cząstkowych czasach jego trwania.

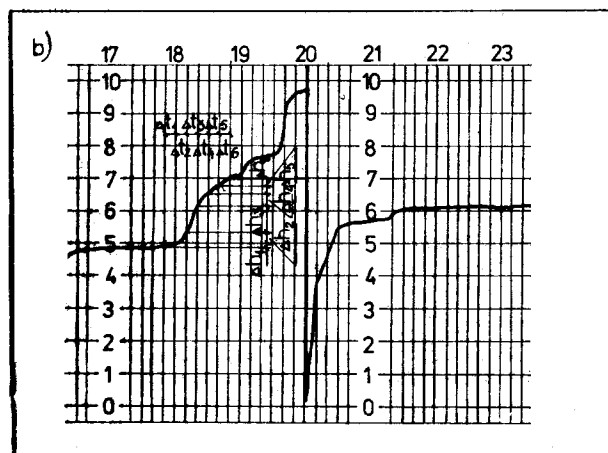
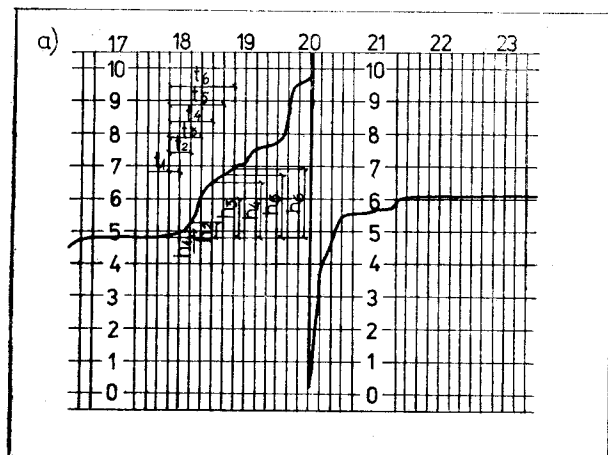
W metodzie średnich natężeń odczytywano sumaryczną wysokość opadu h , jaki spadł w czasie t , a wartości natężenia określano wg wzoru:

$$q = 166,7 \frac{h}{t}$$

Metoda fazowych natężeń polegała na określaniu wysokości opadu Δh w cząstkowych przedziałach czasowych Δt , poczynając od chwili rozpoczęcia deszczu, a wartości natężenia obliczano wg wzoru:

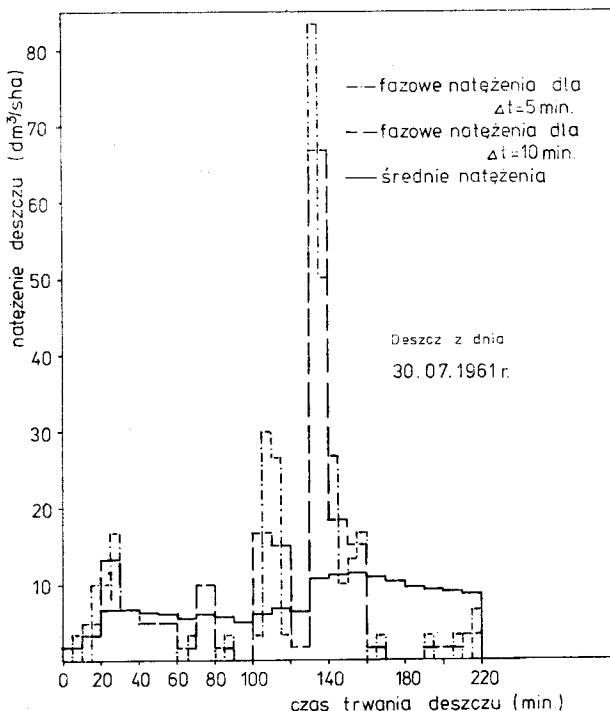
$$q = 166,7 \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Na rys. 2 przedstawiono przykłady opracowywania taśm pluwiograficznych w/w metodami, a na rys. 3 wykresy zależności $q=f(t)$ oraz $\Delta q=f(\Delta t)$ dla wybranego opadu deszczowego. Analiza otrzymanych wykresów przebiegu deszczu wykazała, że metoda określania średnich natężeń deszczu daje wykres zmienności natężenia o łagodnym przebiegu, wyrównujący ekstrema natężeń chwilowych. Do budowy pluwiogramu wykorzystano więc wartości natężeń fazowych, obliczanych dla cząstkowych czasów trwania opadu. Za podstawę czasową przyjęto przedziały 5- i 10-minutowe, przy czym czas trwania deszczu ograniczono do 300 minut (dla dłuższych czasów trwania deszczu wartości fazowych natężeń były $<5 \text{ dm}^3/\text{s ha}$).



Rys. 2 Przykład opracowywania pluwiogramów
a) metoda średnich natężeń, b) metoda fazowych natężeń

Opracowanie w omówiony sposób wyników obserwacji pluwiograficznych umożliwiło określenie zależności między fazowym natężeniem deszczu a czasem dla określonego prawdopodobieństwa wystąpienia.



Rys. 3 Natężenie deszczu jako funkcja jego czasu trwania

bieństwa wystąpienia. W każdym cząstkowym czasie trwania deszczu wybrano po 27 wartości maksymalnych natężeń fazowych i zestawiono je w kolejności malejącej. Tak uszeregowane natężenia deszczu stanowiły ciągi rozdzielcze o liczebności wyrazów równej liczbie lat obserwacji.

Prawdopodobieństwo wystąpienia maksymalnych fazowych natężeń deszczu w poszczególnych ciągach rozdzielczych obliczano wg wzoru:

$$p = \frac{k}{N+1} \cdot 100$$

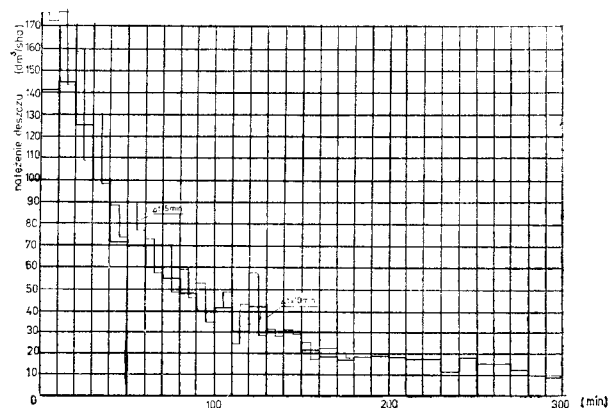
gdzie:

k — kolejność wyrazu w ciągu rozdzielczym

N — ilość wyrazów ciągu rozdzielczego

Następnie przystąpiono do opracowania krzywych prawdopodobieństwa wystąpienia maksymalnych fazowych natężeń deszczu w poszczególnych cząstkowych przedziałach czasu. Do obliczeń zastosowano rozkład prawdopodobieństwa Pearsona III typu, a parametry rozkładu szacowano metodą Kaczmarka. Weryfikacja rozkładu prawdopodobieństwa za pomocą testu Kołmogorowa wykazała zgodność rozkładu teoretycznego z empirycznym. Maksymalne fazowe natężenia deszczu zostały obliczone dla wybranych prawdopodobieństw wystąpienia tj. $p=5, 10, 20, 25, 30, 50, 100\%$ oraz poziomów ufności $P\alpha=0,00; 0,50; 0,68$ i $0,90$.

Z tabelarycznych zestawień wyników obliczeń odczytano wartości maksymalnych fazowych natężeń deszczu w poszczególnych przedziałach czasu dla określonego prawdopodobieństwa wystąpienia i poziomu ufności po czym naniesiono je na wykresy. Otrzymane w ten sposób pluwiogramy syntetyczne deszczu o danym prawdopodobieństwie wystąpienia przedstawiono na rys. 4 w postaci histogramów.



Rys. 4 Pluwiogram syntetyczny w postaci histogramu o prawdopodobieństwie wystąpienia $p=20\%$

W praktyce inżynierskiej dogodniej jest posługiwać się matematycznym opisem ustalonych zależności, szczególnie przy możliwości korzystania z obliczeń komputerowych. Z tego względu podjęto próbę znalezienia odpowiedniego typu funkcji, opisującej pluwiogram syntetyczny. Za kryterium najlepszego dopasowania funkcji matematycznej do danych empirycznych przyjęto metodę najmniejszych kwadratów. Analizując otrzymane wyniki prób opisu pluwiogramów syntetycznych za pomocą wielomianów, funkcji 3-stopnia i funkcji wykładniczej stwierdzono, że zależność między maksymalnym fazowym natężeniem deszczu a czasem dla określonego prawdopodobieństwa najlepiej odwzorowuje funkcja postaci:

$$q = a \cdot t^b \cdot e^{ct} \quad (1)$$

gdzie:

- q — maksymalne fazowe natężenie deszczu, $\text{dm}^3/\text{s ha}$
- t — czas jaki upłynął od początku wystąpienia deszczu, min
- e — podstawa logarytmu naturalnego
- a, b, c — stałe.

Dla dokładniejszego odwzorowania w/w zależności podzielono krzywą pluwiogramu syntetycznego na dwie części i oddzielnie dla każdej z nich ustalono parametry a, b i c funkcji (1). Podział przyjęto w 100 minucie czasu licząc od początku wystąpienia opadu. Podstawą takiego podziału było charakterystyczne przegięcie krzywych pluwiogramów w 100 minucie dla wszystkich prawdopodobieństw.

Wyniki obliczeń, tj. wartości parametrów a, b, c dla wyodrębnionych przedziałów czasowych oraz dla przyjętych cząstkowych przedziałów czasu i odpowiadających im maksymalnych wartości fazowych natężeń deszczu, przy założonym prawdopodobieństwie wystąpienia i po-

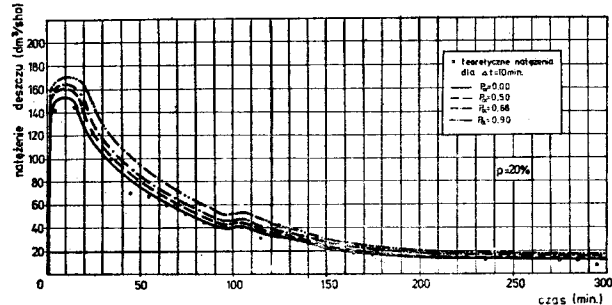
Tabela 1
ZESTAWIENIE WARTOŚCI PARAMETRÓW a, b, c FUNKCJI (6—24)
OPISUJĄCEJ SYNTETYCZNY PLUWIOGRAM W DWÓCH
PRZEDZIAŁACH CZASOWYCH PRZY ZAŁOŻONYM
PRAWDOPODOBIEŃSTWIE I POZIOMIE UFNOŚCI
DLA 10-MINUTOWYCH CZĄSTKOWYCH PRZEDZIAŁÓW CZASU

a) dla przedziału czasu $t_e (0, 100 > \text{min.})$					
Prawdopodobieństwo $p, \%$	Poziom ufności P_{α}	a	b	c	Max. błęd obliczeń $(\%)$
5	0,00	179,935	0,10	-0,015	21,8
	0,50	188,964	0,129	-0,016	25,4
	0,68	193,266	0,140	-0,016	26,7
	0,90	202,301	0,159	-0,016	29,3
10	0,00	166,049	0,072	-0,016	13,5
	0,50	171,983	0,094	-0,016	14,6
	0,68	174,859	0,104	-0,016	16,2
	0,90	180,927	0,121	-0,016	19,0
20	0,00	156,945	0,020	-0,016	18,2
	0,50	160,226	0,038	-0,016	16,9
	0,68	161,835	0,047	-0,016	16,4
	0,90	165,127	0,062	-0,016	15,5
25	0,00	153,631	0,004	-0,016	19,6
	0,50	156,252	0,021	-0,016	18,1
	0,68	157,848	0,029	-0,016	17,5
	0,90	160,656	0,043	-0,016	16,6
30	0,00	150,924	-0,016	-0,016	21,1
	0,50	152,680	0,004	-0,016	19,4
	0,68	153,756	0,011	-0,016	18,6
	0,90	155,816	0,027	-0,016	17,3
50	0,00	146,892	-0,080	-0,016	25,0
	0,50	148,362	-0,062	-0,016	23,6
	0,68	148,970	-0,054	-0,016	23,2
	0,90	150,289	-0,038	-0,016	22,2
100	0,00	150,596	-0,226	-0,013	18,8
	0,50	148,084	-0,187	-0,013	17,7
	0,68	148,022	-0,175	-0,013	17,6
	0,90	147,046	-0,145	0,013	17,0

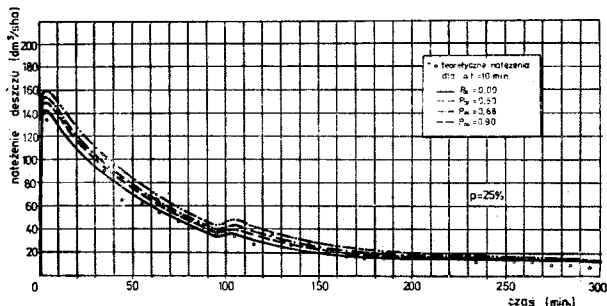
Tabela 2
b) dla przedziału czasu $(t_e < 100, 300) \text{ min.}$

Prawdopodobieństwo $p, \%$	Poziom ufności P_{α}	a	b	c	Max. błęd obliczeń $(\%)$
5	0,00	$512,54 \times 10^6$	-3,616	0,012	43,0
	0,50	$208,19 \times 10^7$	-3,915	0,014	46,1
	0,68	$376,51 \times 10^7$	-4,041	0,014	47,3
	0,90	$995,21 \times 10^7$	-4,245	0,015	49,6
10	0,00	$939,49 \times 10^4$	-2,734	0,008	37,2
	0,50	$557,61 \times 10^5$	-3,126	0,010	40,2
	0,68	$111,97 \times 10^6$	-3,278	0,010	41,7
	0,90	$387,74 \times 10^6$	-3,548	0,012	44,0
20	0,00	$299,08 \times 10^2$	-1,450	0,001	28,4
	0,50	$523,31 \times 10^3$	-4,867	0,019	40,8
	0,68	$328,52 \times 10^6$	-3,741	0,008	41,1
	0,90	$206,47 \times 10^4$	-2,396	0,006	35,4
25	0,00	$483,42 \times 10$	-1,042	-0,001	25,0
	0,50	$310,42 \times 10^2$	-1,438	0,001	28,4
	0,68	$729,67 \times 10^2$	-1,651	0,002	30,4
	0,90	$291,61 \times 10^3$	-1,959	0,004	32,0
30	0,00	$448,610 \times 10$	-0,507	-0,004	20,8
	0,50	$317,97 \times 10$	-0,947	-0,001	24,0
	0,68	$690,17 \times 10$	-1,121	0,000	26,2
	0,90	$296,52 \times 10^2$	-1,447	0,001	29,5
50	0,00	2,259	0,690	-0,010	12,9
	0,50	25,788	0,136	-0,007	15,7
	0,68	55,113	-0,040	-0,006	16,9
	0,90	263,466	-0,394	-0,004	19,1
100	0,00	0,009	2,059	-0,021	34,7
	0,50	0,967	0,957	-0,015	33,8
	0,68	4,002	0,609	-0,012	34,6
	0,90	50,445	0,017	-0,009	33,0

ziomie ufnosci, zestawiono w tabelach 1 i 2. Wykresy uzyskanych pluwiogramów syntetycznych przedstawiono na rys. 5 i 6.



Rys. 5 Pluwiogram syntetyczny deszczu o prawdopodobieństwie wystąpienia $p=20\%$



Rys. 6 Pluwiogram syntetyczny deszczu o prawdopodobieństwie wystąpienia $p=25\%$

Pluwiogramy syntetyczne uwzględniające zmienność natężenia deszczu w czasie stanowią materiał wyjściowy do opracowania hydrogramów przepływu ścieków deszczowych w kanalizacji, stwarzają podstawy do optymalnego wymiarowania przewodów kanalizacyjnych, racjonalnego projektowania przepompowni ścieków, zbiorników retencyjnych, osadników i innych obiektów sieciowych.

Rozwiązanie zagadnienia wykorzystania pluwiogramów do potrzeb ustalenia hydrogramów przepływu ścieków deszczowych w kanałach

wymaga podjęcia dalszych badań mających na celu:

- opracowanie pluwiogramów syntetycznych dla innych regionów i uogólnienie badanych zależności
- przeprowadzenie badań pozwalających na ustalenie charakterystyki odwadnianej zlewni i retencji sieci kanalizacyjnej.

LITERATURA

1. M. BANDYOPADHYAY: Synthetic storm pattern and run — off for Gauhati, India. Journal of the Hydraulic Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineers. May 1972 HY 5.
2. P. BŁASZCZYK: Ulepszone metody wymiarowania kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej. Postęp techniczny w kanalizacji. Materiały konferencyjne PZITS. Wrocław 1977.
3. Z. KACZMAREK: Metody statystyczne w meteorologii i hydrologii. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. W-wa 1970.
4. P. E. MORGAN, F. ASCE: Analysis of synthetic Unit-Graph methods. Journal of the Hydraulics Division. Proceeding of the American Society of Civil Engineers. September 1962 HY 5.
5. C. PAPADAKIS: University of Cincinnati urban runoff model. Journal of the Hydraulics Division. Proceeding of the American Society of Civil Engineers. October 1972 HY 10.
6. R. PECHER: Die Bedeutung von Vorund Nachregen in der Kanalisationstechnik. Das Gas und Wasserfach — GWF Wasser/Abwasser nr 3 1972 r.
7. Road Research Laboratory. A Guide for Engineers to the Design of storm Sewer Systems. Road Note No 35.
8. V. SIFALDA: Entwicklung eines Berechnungsregens für die Bemessung von Kanalnetzen. GWF — Wasser/Abwasser 114 (1973) H.9
9. C. P. YOUNG: Estimated Rainfall for Drainage Calculations in the United Kingdom. Transport and Road Research Laboratory. Dep. of the Environment. Report LR 595. 1973.
10. A. GRUSZECKA: Metodyka wyznaczania pluwiogramów syntetycznych dla potrzeb projektowania i analizy systemów odprowadzania ścieków deszczowych. Praca doktorska, Politechnika Wrocławska, 1984.