

Paweł Błaszczyk

METODY OKREŚLANIA NATĘŻEŃ PRZEPŁYWÓW ŚCIEKÓW OPADOWYCH MIARODAJNYCH DO WYMIAROWANIA KANAŁÓW

Określenie przepływów ścieków opadowych w kanałach i kolektorach deszczowych oraz ogólnospławnych jest podstawowym zadaniem, przed którym staje projektant przystępując do modernizacji i rozwoju istniejących systemów kanalizacyjnych, bądź projektowania takich układów kanalizacyjnych w nowych systemach. Aby zrealizować to zadanie wykorzystuje się określone w różny sposób dla danej zlewni kanalizacyjnej zależności opadów i odpływów, ujęte w postaci zapisu matematycznego.

Na zjawisko „opadu i odpływu” składają się:

- opad,
- odpływ powierzchniowy obejmujący:
 - przekształcenie opadu w opad efektywny (tzn. tę część opadu, której objętość jest równa objętości odpływu siecią kanalizacyjną) na skutek strat na parowanie, infiltrację i zatrzymanie części opadu na powierzchni terenu (retencja powierzchniowa),
 - spływ powierzchniowy i jego transformacja zachodząca na drodze od miejsca upadku kropli deszczu do miejsca dopływu do kanału,
- przepływ w sieci i jego transformacja na drodze do rozpatrywanego przekroju.

Modele zjawiska opad-odpływ

Modelem zjawiska opad-odpływ, a ściślej symulacyjnym modelem matematycznym, określa się metodę matematycznego przedstawiania procesów składających się na zjawisko opad-odpływ, umożliwiającą generowanie wartości wyjściowych na podstawie różnych danych wejściowych.

W Polsce stosowany jest w projektowaniu kanalizacji od połowy lat 30-tych prosty model zjawiska opad-odpływ, zwany metodą granicznych natężeń [1—4]. Model ten zalecany był również do stosowania w obowiązujących do 1982 r. „Wytycznych technicznych projektowania miejskich sieci kanalizacyjnych” [5]. Metoda granicznych natężeń, w postaci zalecanej uchylonymi wytycznymi, pochodzi z przełomu XIX i XX wieku i stosowana była w krajach anglojęzycznych pod nazwami *Rational Method* lub *Lloyd Method* [4]. Powszechnie wiadomo, że stosowanie tej metody prowadzi do zawyżania wymiarów kanałów, co stanowiło przyczynę poszukiwania innych modeli zjawiska opad-odpływ. Sprzyjał temu rozwój hydrologii miejskiej, który umożliwił lepsze poznanie zja-

wisk opadowych i procesów związanych z odpływem i spływem powierzchniowym, a także rozwój metod i techniki komputerowej.

Pierwsze nowe modele zjawiska opad-odpływ zaproponowane zostały przez Watkinsa w Anglii w 1962 r. (RRL Method) oraz przez Keifera, Tolina i Clinta 1959 r. (Chicago Hydrograph Method) [4], lecz prawdziwy rozwój tych modeli nastąpił dopiero w latach 70-tych. Obecnie funkcjonuje ponad 30 modeli zjawiska opad-odpływ. Są to modele [6]:

- fizyczne, których struktura oparta jest na fizycznych równaniach procesów składających się na zjawisko,
- konceptualne (konceptyjne), których struktura oparta jest na pewnych koncepcjach procesów składających się na zjawisko,
- systemowe, w których nie identyfikuje się poszczególnych procesów lecz na podstawie wejścia do modeli określa się informacje wyjściowe.

Wśród modeli, które znalazły najszerze zastosowanie, należy przede wszystkim wymienić: RRL (TRRL), SWMM, Illudas, University of Cincinnati, STORM, OTTHYMO, model Desbordes'a, Wallingford Procedure, SVK System i Belgrad. Rezultaty zastosowania tego ostatniego modelu prezentowane były w Polsce przez prof. Maksimoviča w 1987 i 1988 roku. Nadrzędne zasady stosowania modeli są następujące [6]:

- parametry modeli muszą być identyfikowalne, a modele zweryfikowane na podstawie obserwacji związków opad-odpływ w istniejących układach kanalizacyjnych, deszczowych lub ogólnospławnych,
- do rozwiązywania określonego zadania powinny być stosowane modele proste, dające zadowalające wyniki,
- żaden z modeli nie zapewnia wysokiej dokładności symulacji zjawiska we wszystkich warunkach.

Ten ostatni warunek jest między innymi przyczyną opracowania modeli dla poszczególnych systemów kanalizacyjnych. Zastosowaniu modeli w Polsce sprzyjać będzie upowszechnienie komputerów kompatybilnych z IBM PC, które przy wyposażeniu w twardy dysk i koprocessor mogą być stosowane do symulacji zjawiska opad-odpływ za pomocą skomplikowanych modeli.

Podstawowymi progami, które ograniczają zastosowanie tych modeli do projektowania układów kanalizacyjnych w Polsce, są:

- brak szczegółowych informacji o opadach,
- brak danych o zjawiskach opad-odpływ, zaobserwowanych w istniejących układach kanalizacyjnych i procesach odpływu, spływu i transformacji, umożliwiających identyfikację parametrów występujących w modelach, a także ich weryfikację.

Informacje o opadach

W projektowaniu układów kanalizacyjnych w Polsce wykorzystuje się dotychczas zależności natężenia opadu od czasu jego trwania i częstotliwości pojawiania się, w postaci ogólnej:

$$q = f(t, c) \quad (1)$$

gdzie:

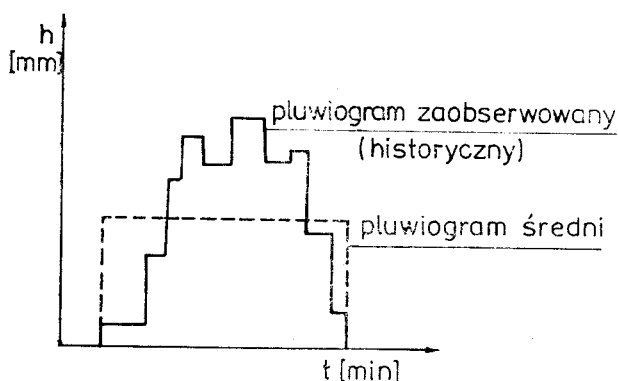
- q — średnie natężenie deszczu w czasie t ,
- t — czas trwania deszczu,
- c — częstotliwość występowania.

Z zależności tych najczęściej stosowany jest wzór W. Błaszczyka, pochodzący z 1954 r.:

$$q = \frac{470 \sqrt[3]{c}}{t^{0,67}} \quad (2)$$

Wzór ten powstał w wyniku opracowania 67-letniego zbioru obserwacji pluwiograficznych z terenu Warszawy. Były to obserwacje punktowe, tzn. natężenie i czas opadu określone były dla całej Warszawy na podstawie notowań przyrządu umieszczonego w jednym punkcie. W przypadku notowań opadu w kilku punktach obserwacyjnych, wybierano do zbioru obserwacje charakteryzujące się największym średnim natężeniem. Na podstawie podobnie dobranych obserwacji opracowali swoje wzory: Wołoszyn dla Wrocławia, Rosłowski dla Krakowa, Gruszecki dla Raciborza, Sowiński dla Poznania oraz Lambor dla całej Polski. Jednakże opad jest zjawiskiem znacznie bardziej złożonym, ponieważ [4]:

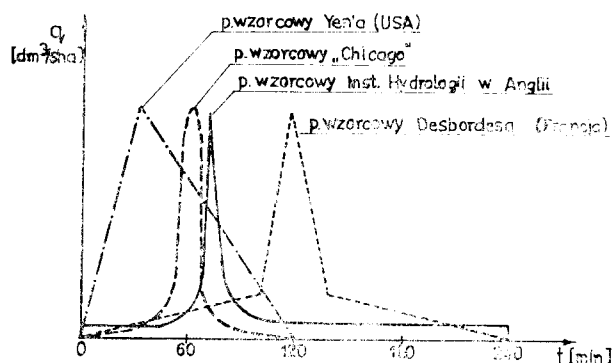
- jest zależny od ogólnych warunków klimatycznych i zjawiska klimatycznego, a na terenie miasta również od warunków mikroklimatycznych, wynikających ze środowiska przyrodniczego i zabudowy terenu,
- jest przede wszystkim zmienny w czasie i przestrzeni,
- jest zależny od częstości występowania (punktowej i przestrzennej).



Rys. 1. Pluwiogramy opadów

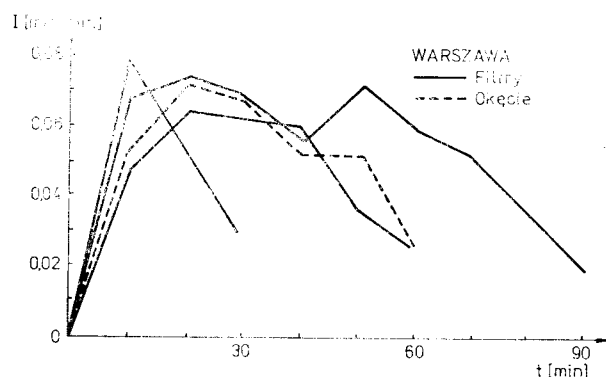
Czynnikiem dodatkowo komplikującym zjawisko opadu jest jego przemieszczanie się w czasie z różnymi prędkościami i po różnych trajektoriach. W celu uwzględnienia w modelach choć częściowo złożoności zjawiska opadów, jako dane wejściowe stosowane są dane historyczne oraz pluwiogramy wzorcowe.

W publikacjach zagranicznych w ostatnich latach pojawiło się wiele informacji na temat metod określania pluwiogramów opracowanych (histogramów wzorcowych — rys. 2) [8].

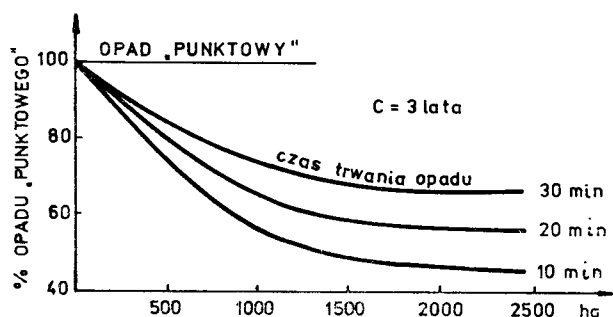


Rys. 2. Pluwiogramy wzorcowe opadów [8]

W Polsce prace w tym zakresie prowadzone były w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie oraz w Politechnice Wrocławskiej. Kształt pluwiogramów opracowanych dla różnych stacji opadowych zależny był od lokalizacji stacji i czasu trwania deszczu [9].



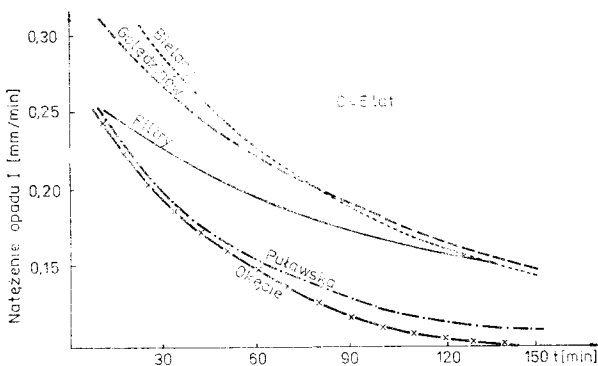
Rys. 3. Przeciętne pluwiogramy opadów o czasie trwania 30, 60 i 90 min. dla różnych stacji opadowych w Warszawie [9]



Rys. 4. Redukcja średniego natężenia deszczu w zależności od jego zasięgu; częstość deszczu 1 raz na 3 lata [12]

Badania dotyczące przestrzennej zmienności opadów prowadzono w różnych ośrodkach badawczych w Anglii, Szwecji, Francji i USA [4, 10–12]. Z badań tych wynika, że punktowy pomiar opadu może być miarodajny dla zasięgu deszczu nie przekraczającego 60 : 250 ha, natomiast przy większych zasięgach deszczów (rys. 4), jego średnie natężenie na obszarze jest znacznie mniejsze od tzw. natężenia punktowego.

W Polsce badania dotyczące przestrzennej zmienności opadu prowadzone były w końcu lat 20-tych przez prof. K. Pomianowskiego w Przedsiębiorstwie Wodociągów i Kanalizacji w Warszawie [13] oraz w ostatnich latach, w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej [14, 15] i w Instytucie Ochrony Środowiska [16, 17]. Z badań tych wynika wyraźnie, że niektóre obszary miasta są uprzywilejowane pod względem opadów oraz, że zależności $q=f(t, c)$, opracowane dla różnych stacji opadowych na podstawie co najmniej 10-letnich ciągów obserwacji prowadzonych w tym samym czasie, różnią się w sposób bardzo wyraźny pomiędzy sobą, dla częstości deszczów istotnych do projektowania sieci kanalizacyjnych (c od 1 roku do 10 lat) (rys. 5).

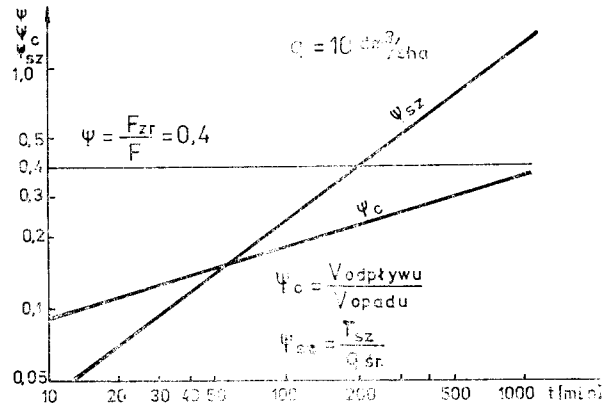


Rys. 5. Krzywe $q=f(t)$ z okresu 10-lecia dla różnych stacji opadowych w Warszawie; częstość deszczu raz na 5 lat [16, 17]

Odptyw powierzchniowy

W projektowaniu kanalizacji w Polsce stosuje się do określenia spływu wód opadowych po powierzchni terenu współczynnik spływu Ψ , który określa stosunek powierzchni szczelnej (nieprzepuszczalnej) zlewni do całej jej powierzchni. Współczynnik ten jest utożsamiany ze stosunkiem wysokości opadu, który spłynął siecią kanalizacyjną ze zlewni w czasie trwania deszczu do wysokości opadu, który spadł na zlewnię w czasie opadu. Wyniki obserwacji wskazują, że przyjmowanie tej tożsamości jest błędne (rys. 6).

Czynnikiem, który jest również uwzględniany w modelach stosowanych w Polsce, jest czas koncentracji powierzchniowej przyjmowany w granicach od 2 do 12 min. Jedynie Usakiewicz [18] wyznaczał czas spływu po powierzchni na podstawie uproszczonego równania St. Venanta (3).



Rys. 6. Wyniki badań współczynników: szczelności zlewni — Ψ (współczynnik spływu), odpływu całkowitego Ψ_c , odpływu szczytowego Ψ_{sz} (r_{sz} = natężenie max. w czasie zaobserwowanego zjawiska); Zlewnia 300 ha, liczba zarejestrowanych zjawisk opad-odpływ — 94 (wg M. Fidała-Szope)

W literaturze światowej na temat zjawiska opad-odpływ bardzo dużo uwagi poświęca się procesowi formowania odpływu powierzchniowego, a przede wszystkim metodzie określania opadu efektywnego. Do najprostszych sposobów wyznaczania tego opadu zalicza się przyjmowanie stałej wartości strat przy założeniu, że odpływ odbywa się tylko z powierzchni szczelnej (dachy, jezdnie, chodniki, itp.), a całość opadu, który spada na tereny przepuszczalne (zielen, drogi żwirowe itp.), nie odpływa do sieci kanalizacyjnej. Istnieje wiele innych metod określenia opadu efektywnego, uwzględniających procesy parowania, infiltracji i retencji powierzchniowej [19, 20].

Przekształcenie opadu efektywnego w spływ powierzchniowy i jego transformacja na powierzchni zlewni, jest określane zazwyczaj na podstawie równania fali kinematycznej (uproszczone równanie dla warunków spływu powierzchniowego St. Venanta):

$$i - S_f = 0 \quad (3)$$

w którym:

i — spadek powierzchni terenu,
 S_f — spadek linii tarcia.

Jednakże stosowanie tej metody związane jest z przyjęciem bardzo wielu założeń upraszczających, dotyczących kształtu zlewni i przepływu wód deszczowych do kanału. Przyjęcie szczegółowego modelu fizycznego zlewni i procesu odpływu (np. [19]) stwarza ogromne trudności w identyfikacji parametrów modelu i bardzo ogranicza jego stosowalność. Różnice pomiędzy poszczególnymi modelami zagranicznymi zależą w dużej mierze od metody modelowania odpływu powierzchniowego.

Przepływ siecią kanalizacyjną i jego transformacja

Stosowana w Polsce metoda natężeń granicznych (oraz metody podobne) oparta jest na założeniu jednostajnego, tłokowego przepływu ścieków w sieci kanalizacyjnej od najdalszego

punktu zlewni do przekroju obliczeniowego. Transformacja przepływu przez sieć określana jest w takim przypadku poprzez wydłużenie czasu przepływu o czas potrzebny na osiągnięcie pełnego napełnienia kanału w przekroju obliczeniowym [21, 22] lub potraktowanie sieci jako zbiornika retencyjnego i jej napełnienie do poziomu nie powodującego zalewania piwnic oraz zagłębień drogowych i terenowych [23—25].

W wielu modelach zagranicznych przepływ w sieci kanalizacyjnej traktowany jest jako nieustalony wolnozmienny, opisywany układem równań Saint Venanta:

równanie ciągłości:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

równanie dynamiki:

$$\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} = i - S_f \quad (5)$$

gdzie:

- Q — natężenie przepływu,
- A — powierzchnia czynna przekroju kanału,
- x — składowa pozioma,
- y — napełnienie,
- v — prędkość przepływu,
- t — czas,
- g — przyspieszenie ziemskie,
- i — spadek dna kanału,
- S_f — spadek linii tarcia.

W równaniach tych nie uwzględniono dopływu „po drodze”. Rozwiązanie równań metodami numerycznymi stało się możliwe w wyniku zastosowania techniki komputerowej.

W wielu modelach transformacja przepływów w sieci określana jest na podstawie badań statystycznych odpływów z istniejących układów sieci. Często w badaniach tych uwzględnia się również przekształcenie opadu w spływ po po-

wierzchni zlewni. Przykładami takich modeli stosowanych w bardzo ograniczonym zakresie w Polsce jest model statystyczny oraz model Nash'a [20, 21].

Porównanie metod określania przepływów w kanałach

Zawyżanie natężeń przepływów ścieków opadowych w wyniku stosowania metody granicznych natężeń, a tym samym wymiarów kanałów i kosztów budowy, a także potrzeba ciągłej symulacji przepływów w kanałach dla celów projektowania obiektów i urządzeń kanalizacyjnych, były powodem podjęcia również w Polsce prac nad nowymi metodami modelowymi zjawiska opad-odpływ i ich zastosowaniem. Wśród tych modeli należy wymienić: ulepszoną metodę granicznych natężeń, model statystyczny, model Nash'a, model W. Błaszczyka, i Ząbek-Krawczyk, model Usakiewicza [21]. W Zakładzie Systemów Kanalizacyjnych Instytutu Ochrony Środowiska — w ramach CPBR 13.1 — podjęto prace nad porównaniem wyników obliczeń uzyskiwanych przy pomocy tych modeli i ich weryfikacją na podstawie badania związków opad-odpływ w istniejących układach sieci kanalizacyjnej [21]. Wyniki zestawiono w tabeli 1.

Z porównań tych wynika, że:

- wartości miarodajnego natężenia przepływu ścieków do wymiarowania przekroju uzyskiwane różnymi metodami są bardzo zróżnicowane, różnią się niekiedy między sobą kilkakrotnie,
- szczególnie małe natężenia (nie zweryfikowane na podstawie obserwacji w istniejących układach) uzyskuje się metodą Usakiewicza, co naturalnie podważa zasadność stosowania tej metody,
- rezultaty najbardziej zbliżone do wyników obserwacji uzyskuje się przy pomocy ulepszonej metody granicznych natężeń oraz modelu statystycznego,
- rezultaty uzyskiwane na podstawie modelu Nash'a są mniejsze, niż zaobserwowane

Tabela 1
NATĘŻENIA PRZEPŁYWU ŚCIEKÓW DESZCZOWYCH MIARODAJNE DO WYMIAROWANIA KANAŁU OBLICZONE RÓŻNYMI METODAMI

Nazwa zlewni	Powierzchnia zlewni, ha	Powierzchnia szczeni zlewni, ha	Przepustowość istniejącego kanału, dm ³ /s	Maksymalne obliczone natężenie przepływu ścieków deszczowych [dm ³ /s] przy częstotliwości C=2 dla zlewni O i M oraz C=5 dla zlewni A i S								Wyniki obserwacji	
				wg Pomiarowskiego C=3,3	metoda granicznych natężeń	Ulepszona metoda granicznych natężeń		Metoda Usakiewiczza	Metoda Ząbek -Krawczyk	Model statystyczny	Model Nash'a	maksym. zmierzone natęż., przepl., m ³ /s	zaobserwowana częstość C
						dla sieci proj.	dla sieci istniejącej						
O	300	120,0	2633	5604	6205	3501	2705	1312	3638	3212	2234	3,4 2,9	10 1,8
M	606	248,6	3900 11500*)	8845	5951	2693	2753	1873	4273	3474	4487	3,2	2
A	2013	724,7	10900	16088	29321	14545	11459	3791	15920	—	10207	14,5	—
S	972	414,3	9562	11798	23911	9986	5999	2626	10981	—	6330	5,6	3

*) przepływ pod ciśnieniem

ne i wydaje się, że zasadniczy wpływ na te wyniki ma metoda określania opadu efektywnego,

— metoda W. Błaszczyka i Ząbek-Krawczyk daje zbyt duże natężenia przepływów w kanałach o bardzo małych spadkach,

— stosowanie metody granicznych natężeń, w wersji zalecanej do stosowania w polskich podręcznikach akademickich i w WTP uchylonych w 1982 r., prowadzi do przewymiarowania kanałów, w rezultacie określania przy zastosowaniu tej metody bardzo dużych, nie potwierdzonych obserwacjami natężeń przepływów ścieków opadowych.

Wyniki uzyskane z porównań stosowanych w Polsce metod obliczeniowych z działaniem sieci kanalizacyjnych w okresach opadów deszczowych wskazują wyraźnie, że niedoceniające retencji sieci kanalizacyjnej o spadkach mniejszych od $2\div 3\%$ prowadzi do poważnych błędów i zawyżania wymiarów kanałów [26].

Wnioski

Z przedstawionego przeglądu podstaw i założeń metod do obliczania przepływów deszczowych w sieciach kanalizacyjnych wynika pilna konieczność zmiany stosowanej w kraju praktyki, a mianowicie:

1. W zakresie opadów:

— Konieczne jest posługiwanie się zależnościami $q=f(t, c)$ opracowanymi dla warunków lokalnych na podstawie obserwacji pluwiograficznych, zgromadzonych przez IMGW w ciągu 40 lat. Wniosek ten dotyczy przede wszystkim projektowania, modernizacji i rozwoju systemów kanalizacyjnych w 128 miastach polskich, z których odprowadza się 80% ścieków. Dla innych miast konieczne jest stosowanie analogii do terenów sąsiednich. Wzory dla całej Polski opracowane ponad 30 lat temu były dobre w czasie, gdy systemy kanalizacyjne w miastach polskich nie były tak jak obecnie rozwinięte, a równocześnie nie były dostępne obserwacje pluwiograficzne z dłuższego przedziału czasu.

— Ze względu na zmienność przestrzenną opadów, w tym ich częstość występowania, konieczne jest stosowanie w obliczeniach sieci współczynników umożliwiających przeliczenie punktowych średnich natężeń deszczów (zależności $q=f(t, c)$) na średnie natężenie w zasięgu deszczu o określonym czasie trwania. Współczynniki te należy stosować dla zlewni o powierzchni większej od $50\div 100$ ha, a także o powierzchniach mniejszych, jeżeli kształt zlewni jest wydłużony. Do czasu opracowania polskich współczynników redukujących punktowe natężenia deszczu w zależności od jego zasięgu, można posługiwać się danymi zagranicznymi [np. 4, 11]. Jak stwierdzono w badaniach zagranicznych, uwzględnienie przestrzennej zmienności opadów ma większy

wpływ na uzyskane wyniki i zgodność otrzymanywanych obliczeń z obserwacjami terenowymi działania układów sieci, niż uwzględnienie czasowej zmienności opadu punktowego [8, 12].

2. W zakresie metod obliczeniowych:

— Konieczne jest stosowanie w praktyce metod obliczeniowych przepływów ścieków opadowych zweryfikowanych na podstawie obserwacji działania układów sieci w czasie opadów, szczególnie dla określenia wymiarów kanałów do odprowadzania ścieków deszczowych ze zlewni większych od 50 ha, lub gdy wymiar kanału przekracza $D=1$ m. Stosowanie metod nie zweryfikowanych może prowadzić do poważnych błędów i nieracjonalnego projektowania kanałów.

— Szczególnie ważne jest właściwe uwzględnienie retencji powierzchniowej i retencji w sieci kanalizacyjnej (na ogół nie docenianej). Obserwacje prowadzone na sieciach o bardzo małych spadkach, wyraźnie wykazały ogromny wpływ retencji na zmniejszenie przepływów ścieków opadowych, a tym samym zasadność zmniejszania wymiarów kanałów.

— Komputerowe metody obliczania układów sieci kanalizacji deszczowej powinny umożliwiać wprowadzenie do rozważań wielu czynników wpływających na zjawisko opad-odpływ i procesy zachodzące w zlewni i w sieci w czasie spływu ścieków opadowych, a nie stanowić jedynie komputeryzacji stosowanych obecnie metod obliczeniowych, w tym metody granicznych natężeń.

— Niedopuszczalne jest projektowanie modernizacji układów sieci deszczowych i ogólnospławnych bez porównania wyników obliczeń tych układów z obserwacjami ich funkcjonowania.

Niniejsze wnioski uwzględniają tylko niektóre z poruszanych problemów. Uwzględnienie pozostałych wymaga wielu dalszych prac, których koszty zwrócić się wielokrotnie w wyniku racjonalizacji metod projektowania i ograniczenia nakładów inwestycyjnych.

LITERATURA

1. K. WÓJCICKI: Wodociągi i kanalizacja, t. II Kanalizacja. Trzaska, Evert i Michalski, Warszawa 1948.
2. K. WÓJCICKI: Kanalizacja (uzupełnienia W. Błaszczyk). Budownictwo i Architektura, Warszawa 1955.
3. W. BŁASZCZYK: Projektowanie sieci kanalizacyjnych. Arkady, Warszawa 1963.
4. P. BŁASZCZYK: Metody określania odpływów ścieków opadowych miarodajnych do wymiarowania kanałów deszczowych i ogólnospławnych (w „Wybrane zagadnienia kształtowania systemów kanalizacyjnych”). Instytut Kształtowania Środowiska, PWN, Warszawa 1980.
5. Zarządzenie nr 20 Ministra Gospodarki Komunalnej z dnia 30.VI.1965 r. w sprawie wytycznych

- technicznych projektowania miejskich sieci kanalizacyjnych. Dz. Bud. nr 7/65 (unieważnione w 1982 r.).
6. Z. KUNDZEWICZ: Modele hydrologiczne ruchu fal powodziowych. Monografia Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, Warszawa 1985.
 7. B. C. YEN: Rainfall-runoff process on urban catchments and its modelling. Proc. of Int. Symp. of Urban Drainage Models with Real Catchment Data, UDM'86, Dubrownik 1986, Pergamon Press, Oxford 1986.
 8. V. ARNELL et. al.: Review of rainfall data application for design and analyses. Proc. of Seminar on Rainfall on the Basis for Urban Runoff Design and Analysis, Copenhagen, 1983, Pergamon Press, Oxford.
 9. H. LORENC: Struktura czasowego rozkładu natężenia opadu w Warszawie o największym prawdopodobieństwie występowania. Wiadomości IMGW, zeszyt 1—2/1981.
 10. M. DESBORDES, P. RAOVS, Y. TREVISIOL: Areal reduction factors on short time and space intervals. Proc. of Seminar on Rainfall as the Basis for Urban Runoff Design and Analysis, Copenhagen 1983, Pergamon Press, Oxford.
 11. P. S. ENGLESON: Hydrologia dynamiczna. PWN, Warszawa 1978.
 12. J. NIEMCZYNOWICZ: An investigation of the areal and dynamic properties of rainfall and its influence on runoff generating processes, Lunds Inst. of Technology, Lund, Sweden 1984.
 13. K. POMIANOWSKI: Projekt kanalizacji Wielkiej Warszawy. Monografia „Wodociągi i kanalizacja m. st. Warszawy 1886—1936”, Warszawa 1937.
 14. H. LORENC: Opady ulewne i nawałne na obszarze Wielkiej Warszawy. Przegląd Geograficzny, nr 4/1973.
 15. J. LEWINSKA: Opady atmosferyczne w Wielkim Krakowie. Prace PIHM, z. 91/1967.
 16. A. ŻYŁA: Współzależność natężenia opadu, czasu trwania i prawdopodobieństwa wystąpienia na podstawie danych pluwiograficznych stacji Warszawa-Puławska. Człowiek i Środowisko, nr 3/1986.
 17. A. ŻYŁA: Współzależność natężenia opadu, czasu trwania i prawdopodobieństwa wystąpienia na podstawie danych pluwiograficznych stacji Okęcie. IOS, 1987 (maszynopis).
 18. A. USAKIEWICZ: Obliczanie natężeń przepływów ścieków deszczowych z uwzględnieniem retencji terenowej i kanałowej. Ochrona Środowiska, 1—2(27—28), Wrocław 1986.
 19. E. WOŁOSZYN: Matematyczny model przepływów w zlewni miejskiej. Politechnika Gdańska, Gdańsk 1977.
 20. Z. BIELAWSKI: Zastosowanie metody Nash'a do wyznaczania hydrogramów odpływu ze zlewni miejskich. Mat. seminarium szkoleniowego projektantów biur projektowych, BPBK Katowice, IOS Warszawa. Cydzyna, maj 1988.
 21. M. FIDALA-SZOPE, P. BŁASZCZYK, H. SAWICKA-SIERKIEWICZ, A. ŻYŁA: Porównanie i ocena stosowanych w Polsce metod obliczania natężenia przepływu ścieków deszczowych miarodajnego do wymiarowania sieci kanalizacyjnej. Mat. sem. jw.
 22. W. BŁASZCZYK: Określenie wpływu retencji kanałowej na zmniejszenie przepływu obliczeniowego. GWTS, nr 6/1987.
 23. P. BŁASZCZYK: Metody wymiarowania kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej. Instytut Kształtowania Środowiska, Warszawa 1976 (maszynopis).
 24. P. BŁASZCZYK: Ulepszona metoda wymiarowania kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej. Mat. konf. „Postęp techniczny w kanalizacji”, PZITS, Wrocław 1977.
 25. P. BŁASZCZYK i inni: Zasady planowania i projektowania systemów kanalizacyjnych w aglomeracjach miejsko-przemysłowych i dużych miastach. IKS, 1983.
 26. P. BŁASZCZYK, M. FIDALA-SZOPE: Uwzględnienie retencji układu kanalizacyjnego w projektowaniu odprowadzania ścieków opadowych na przykładzie zlewni pompowni „Saska-Kępa” i „Nowodwory” w Warszawie. Mat. seminarium szkoleniowego, BPBK Katowice, IOS Warszawa. Cydzyna, maj 1988.

DETERMINATION OF STORM FLOW RATE FOR THE DESIGN OF SEWERS

Some major assumptions and principles to the modelling of the rainfall-runoff phenomenon for the purpose of design, modernization and redevelopment of storm sewers and combined sewerage systems are presented. A new approach to the determination of rain water flow in the sewerage has been proposed. The method involves (1) long-range meteorological observations, (2) observations of the operation and

functioning of the existing sewer systems, (3) identification and verification of the models describing the rainfall-runoff phenomenon, and (4) computer techniques. The available (and also modified) models for flow determination in storm sewers and combined sewerage systems have been verified under actual conditions. Taking into account the data sets obtained from field investigations, some suggestion of how to modify the methods of rain water flow rate determination for the dimensioning of storm sewers have been made.