

Paweł Błaszczyk
Maria Fidała-Szope

PROGNOZOWANIE ZRZUTÓW BURZOWYCH NA PODSTAWIE OBSERWACJI OPADÓW I DZIAŁANIA SYSTEMU KANALIZACJI

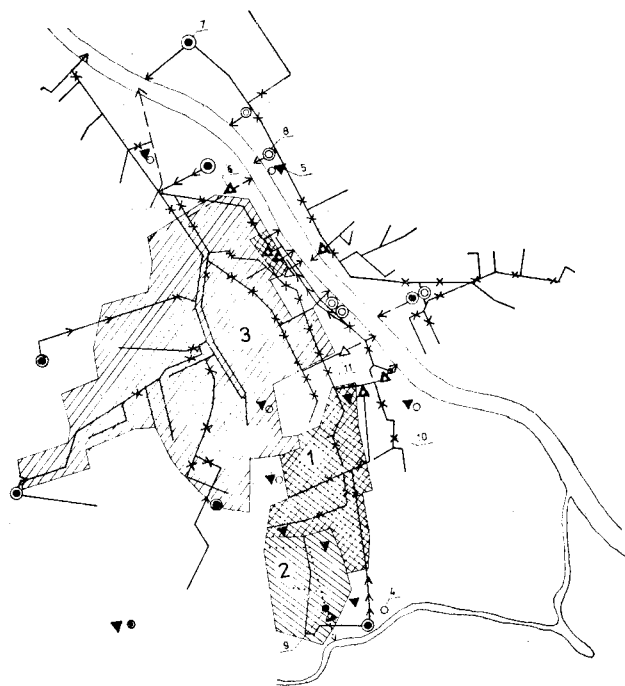
Działanie burzowców odciażających ogólnospławne układy kanalizacyjne stanowi przedmiot badań prowadzonych w wielu krajach, a szczególnie w tych, w których potrzeby modernizacji systemów kanalizacyjnych stały się pilne ze względu na sprawność ich funkcjonowania oraz wymagania ochrony odbiorników. Celem tych badań jest zazwyczaj prognoza działania burzowców w czasie opadów, a głównie opadów burzowych i nawalnych. Powodują one największe obciążenie systemu kanalizacyjnego, którego skutkiem są zalewy ulic oraz nisko położonych pomieszczeń, a także największe zrzuty burzowe mieszaniny ścieków komunalnych i opadowych do odbiorników. Poniżej przedstawiono prognozę zrzutów ścieków burzowcami systemu kanalizacyjnego m. st. Warszawy, opracowaną pod kątem oceny wielkości zrzutów mieszaniny ścieków do odbiornika (Wisły) oraz obciążenia ściekami opadowymi budowanej prawobrzeżnej oczyszczalni ścieków „Czajka” i projektowanej lewobrzeżnej oczyszczalni ścieków na północy Warszawy [1].

Metoda prognozy

Prognozę zrzutów burzowych opracowano na podstawie symulacji odpływów ścieków w czasie opadów przy wykorzystaniu związków opad-odpływ, określonych dla systemu kanalizacji Warszawy. Związki te zostały określone w wyniku analizy ciągłych, wieloletnich obserwacji pluwiograficznych i deszczomierzowych oraz jednocześnie prowadzonych obserwacji limnigraficznych na zlewniach kanalizacyjnych w Warszawie (rys. 1). Obserwacje te umożliwiły opracowanie modeli statystycznych, przy czym dla wykorzystania tych modeli do symulacji zrzutów konieczne było opracowanie odpowiednich programów komputerowych.

Symulację odpływów ograniczono tylko do intensywnych opadów deszczowych z okresu letniego, przemieszczających się nad zlewnią ogólnospławnych układów kanalizacyjnych, przyjmując założenie potwierdzone obserwacjami, że największe wielkości zrzutów pojawiają się przy tego rodzaju opadach. W symulacji zrzutów uwzględniono własności retencyjne układów poszczególnych burzowców, wpływające wyrównująco na charakterystykę zrzutów, lecz

przedłużające ich czas trwania. W prognozie uwzględniono równoczesność zrzutów z poszczególnych burzowców, wpływającą na charakterystykę zrzutów burzowych z całego systemu kanalizacyjnego.



Rys. 1 Rozmieszczenie punktów obserwacyjnych i zlewni obserwowanych na potrzeby planowania rozwoju systemu kanalizacyjnego Warszawy 2 (1 — kanalizacja ogólnospławna — ciągła obserwacja napień kolektora, 2 — kanalizacja deszczowa — ciągła obserwacja napień kolektora, 3 — kanalizacja ogólnospławna — ciągła obserwacja działania burzowców, 4 — deszczomierze, 5 — pluwiografy, 6 — limnigrafy, 7 — pompownie ścieków, 8 — pompownie zrzutów burzowych, 9 — punkty poboru próbek ścieków opadowych i mieszanych, 10 — punkty obserwacji nieciągłych napień kolektora ściekami komunalnymi i opadowymi, 11 — punkty obserwacji częstotliwości działania burzowców)

Charakterystyka opadów stanowiących podstawę prognozy

Podstawą wyboru zjawisk opadowych do symulacji odpływów ścieków opadowych a następnie prognozy zrzutów burzowych, był zbiór obserwacji opadów o dużych natężeniach z okresów letnich, z wielolecia 1966—75, przemieszczających i rozprzestrzeniających się nad

warszawskim systemem kanalizacyjnym [3]. Z opracowanego zbioru wybrano dwa zjawiska opadowe zarejestrowane przez wszystkie stacje pluwiograficzne IMGW rozmieszczone na obszarze Warszawy:

— opad w dniu 26 VIII 1968 r. o szczególnie dużym natężeniu, zarejestrowanym w centralnej części Warszawy i mniejszych natężeniach, w dzielnicach pozaśródmiejskich — opad w dniu 28 V 1968 r. o dużym natężeniu, występujący równomiernie na obszarze zlewni.

W obu przypadkach były to opady o czasie trwania przekraczającym 2 godziny (tab. 1).

Tabela 1
CHARAKTERYSTYKA OPADÓW MIARODAJNYCH [4]

Stacja pluwiograficzna	Data	Godzina	t Czas trwania min	h Wysokość mm	p_{sr} Natężenie średnie dm ³ /sha	C* Częstotliwość
Bielany	28 V 68	1.30—5.00	210	35,1	27,84	9,7
Filtry		2.30—5.40	190	35,7	31,31	11,2
Gołędzinów		1.10—4.40	210	38,2	30,32	12,5
średnia			203	36,3	29,83	11,1
Bielany	26 VIII 68	11.45—13.55	130	11,2	14,33	8,5
Filtry		11.00—12.40	100	67,6	112,69	144,3
St. Pomp						
Rzecznych		11.20—12.55	95	38,5	53,54	13,9
Gołędzinów		10.40—13.20	160	16,6	17,34	1,3
średnia			121	31,5	43,40	12,1

* określone wg wzoru W. Blaszczyka $q = \frac{3}{470} \sqrt[3]{C}$ — 0,67

Wysokość tych opadów była największa w dziesięcioleciu objętym opracowaniem.

Charakterystykę opadów pomierzonych punktowo w poszczególnych stacjach pluwiograficznych przypisywano odpowiednim zlewniom kanalizacyjnym, stosując metodę Thiessona oraz przestrzenne współczynniki redukcji natężenia [5].

Związki opad-odpływ jako podstawa symulacji odpływów

Jednoczesne obserwacje opadów i odpływów, których wyniki wykorzystano do określenia związków opad-odpływ, prowadzono na zlewniach:

- kanału deszczowego (powierzchnia zlewni $F=300$ ha, współczynnik spływu $\Psi=0,4$)
- kanału ogólnospławnego ($F=606$ ha, $\Psi=0,39$)
- burzowca ($F=2215$ ha, $\Psi=0,4$).

Na podstawie zapisu pluwiograficznego odczytywano: godzinę rozpoczęcia opadu — t_p , czas trwania opadu — t (min), wysokość opadu — h (mm) oraz obliczano średnie natężenie opadu — q_{sr} (dm³/sha) i objętość opadu — V_{op} (m³). Na podstawie zapisu limnigraficznego odczytywano zmiany napełnienia w kanale w czasie trwania odpływu i obliczano natężenie przepływu ścieków opadowych lub zrzutu burzowcem, wykorzystując krzywe konsumpcyjne kanałów. W przypadku kanału ogólnospławnego, od obliczonego natężenia odpływu odejmowano natężenie przepływu ścieków bytowo-gospodar-

czych, którego średnią wartość wyznaczono na podstawie obserwacji limnigraficznych, prowadzonych w czasie pogody bezopadowej. Obserwacje limnigraficzne pozwalały określić: czas trwania odpływu — T (min), objętość odpływu — V_{od} (m³), średnie natężenie odpływu — r_{sr} (dm³/sha), maksymalne natężenie odpływu — r_{max} (dm³/s ha), czas od początku odpływu do wystąpienia maksymalnego natężenia odpływu — Tr_{max} (min), godzinę rozpoczęcia odpływu — T_p oraz współczynnik kształtu hydrogramu — $\vartheta = Tr_{max}/T$. Porównanie parametrów opadu i odpływu doprowadziło do określenia następujących współczynników:

— całkowity współczynnik odpływu:

$$\psi_c = \frac{V_{od}}{V_{op}} = \frac{Tr_{sr}}{tq_{sr}} \quad (1)$$

— szczytowy współczynnik odpływu:

$$\psi_{sz} = \frac{r_{max}}{q_{sr}} \quad (2)$$

— współczynnik inercji odpływu:

$$\tau = \frac{T}{t} \quad (3)$$

— czas koncentracji:

$$\delta = T_p - t_p, \text{ min} \quad (4)$$

Wykorzystując programy do analizy regresji wyznaczono zależności: $\psi_c = f(q_{sr}, t)$, $\psi_{sz} = f(q_{sr}, t)$, $\tau = f(t)$, $\delta = f(q_{sr})$, $\vartheta = f(r_{max})$ [6]. Po stać tych zależności oraz wartości tych współczynników w równaniach regresji, określone dla trzech badanych zlewni, przedstawiono w tabeli 2.

Wyznaczone równania regresyjne stały się podstawą statystycznego modelu odpływu ścieków opadowych [7]. Program MODO, którego trzon algorytmu stanowią zależności regresyjne, umożliwia obliczenie hydrogramu i charakterystycznych parametrów odpływu ze zlewni o danej powierzchni, spowodowanego opadem określonym średnim natężeniem i czasem trwania. Związki opad-odpływ ścieków opadowych zostały wykorzystane do prognozowania odpływu ścieków opadowych z nie przebadanych zlewni warszawskich. Związek opad-zrzut wyznaczony dla zlewni burzowca, ze względu na specyficzny układ sieci odciażanej także innymi burzowcami, posłużył tylko do prognozy zrzutu z badanego burzowca, obsługującego znaczną część Warszawy.

Hydrogramy zrzutów burzowych

Zrzuty burzowe określono na podstawie hydrogramu dopływu do komory przelewowej burzowca, uwzględniając charakterystykę przelewu, przepustowość kanałów dopływowych i odpływowych oraz możliwości retencyjne sieci kanalizacyjnej. Hydrogram dopływu do przelewu obliczono sumując hydrogram dopływu ścieków opadowych, określony na podstawie związków opad-odpływ, z hydrogramem ścieków bytowo-gospodarczych. Wyznaczając hydrogramy zrzutów ścieków przez burzowce przyjęto następujące założenia:

- przepływ ścieków opadowych występuje w czasie maksymalnego godzinowego natężenia odpływu ścieków komunalnych,

Definicja współczynnika	Postać równania regresji	Współczynniki do równań regresji								
		opad — odpływ ścieków opadowych						opad — zrzut		
		kanal deszczowy F=300 ha			kanal ogólnospławny F=606 ha			burzowiec F=2215 ha		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
$\frac{V_{od}}{V_{op}}$	$\hat{q}_c = a q_{sr}^b t^c$	0,017	0,43	0,30	0,048	0,14	0,24	0,123	0,94	—0,71
$\frac{r_{max}}{q_{sr}}$	$\hat{q}_{sz} = a q_{sr}^b t^c$	0,0033	0,35	0,76	0,0043	0,12	0,76	0,0028	0,15	0,18
$\tau = \frac{T}{t}$	$\hat{\tau} = \frac{a}{t} + b$	118,69	0,72	—	181,52	0,49	—	91,61	0,107	—
$\hat{t} = \frac{T_p - t_p}{t}$	$\hat{\delta} = a \exp(b q_{sr})$	103,34	—0,11	—	88,18	—0,041	—	328,95	—0,063	—
$\tau = \frac{T}{t_{max}}$	$\hat{\delta} = a \exp(b r_{max})$	0,345	—0,33	—	0,42	—0,32	—	0,416	—0,214	—

— poniżej krawędzi przelewowej odpływają ścieki o natężeniu równym natężeniu granicznemu, występującemu przy napełnieniu do wysokości krawędzi przelewu,
— natężenie zrzutu burzowcem nie przekracza przepustowości burzowca przy spadku rzeczywistym lub spadku linii ciśnień, bez powodowania wylewów na teren zlewni,
— natężenie odpływu ścieków w kanale poniżej komory przelewowej nie przekracza jego przepustowości,
— nadmiar ścieków, które nie mogą być doprowadzone burzowcem w czasie trwania dopływu ścieków, jest retencjonowany w sieci i zrzucany do odbiornika wówczas, gdy natężenie dopływu ścieków jest mniejsze od przepustowości burzowca; konsekwencją tego jest wydłużenie czasu trwania zrzutu.

Do wyznaczenia hydrogramu zrzutu burzowego niezbędne są więc następujące dane:

- symulowany hydrogram dopływu ścieków opadowych,
- maksymalne godzinowe natężenie ścieków komunalnych,
- przepustowość kanału do wysokości krawędzi przelewu,
- przepustowość burzowca,
- pojemność retencyjna sieci kanalizacyjnej.

Przykład prognozy zrzutu burzowego

Charakterystyka zlewni:

- powierzchnia F=161 ha,
- teoretyczny współczynnik spływu $\Psi=0,36$.

Charakterystyka sieci kanalizacyjnej:

- przepustowość kolektora do krawędzi przelewu $Q_{gr}=2400 \text{ dm}^3/\text{s}$,
- przepustowość burzowca $Q_o=6220 \text{ dm}^3/\text{s}$,
- objętość sieci kanalizacyjnej $V=13600 \text{ m}^3$,
- objętość retencyjna sieci $V_r=90\% \cdot 13600=12224 \text{ m}^3$.

Charakterystyka odpływów:

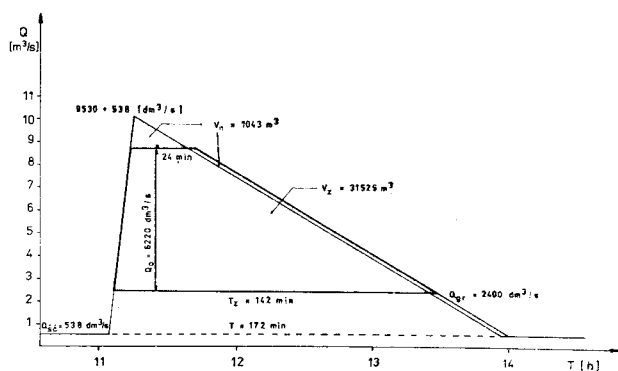
- maksymalne godzinowe natężenie ścieków komunalnych $Q_{sc}=538 \text{ dm}^3/\text{s}$,
 - hydrogram ścieków opadowych symulowany na podstawie związków opad—odpływ.
- Do symulacji hydrogramu ścieków opadowych wykorzystano równania regresyjne wyznaczone dla zlewni o powierzchni 300 ha. Adaptacja tych równań dla analizowanej zlewni jest możliwa, gdyż zagospodarowanie zlewni badanej i analizowanej jest podobne. Korekty wymagają jednak współczynniki regresji w równaniu określającym inercję odpływu τ . Porównanie hydrogramów odpływów z badanych zlewni o powierzchniach 300 i 606 ha wykazało, że czas trwania odpływu jest dłuższy w przypadku większej zlewni. Przyjęto, że współczynniki regresji a i b w równaniu $\tau = \frac{a}{t} + b$ zmieniają się liniowo wraz z powierzchnią zlewni.

Charakterystyczne parametry symulowanego (przy użyciu programu MOD0) odpływu ścieków opadowych z opadu miarodajnego przedstawiono w tabeli 3, zaś hydrogram na schemacie graficznego wyznaczenia hydrogramu zrzutu (rys. 2). Natężenie dopływu ścieków opadowych i komunalnych do komory przelewowej przekracza sumę przepustowości kolektora do krawędzi przelewu oraz przepustowości burzowca w ciągu 24 minut trwania odpływu.

Tabela 3

CHARAKTERYSTYKA PROGNOZOWANEGO DOPŁYWU ŚCIEKÓW DO KOMORY PRZELEWOWEJ I ZRZUTU BURZOWEGO (Opad miarodajny 26 VIII 68)

Rodzaj przepływu	Objętość V	Maksymalne natężenie Q_{max}	Czas trwania T	Czas wystąpienia max natężenia od początku odpływu
	m ³	dm ³ /s	min	min
ścieki bytowo-gospodarcze	—	538	—	—
ścieki opadowe	49177	9530	172	10
zrzut burzowy	31525	6220	142	7+33



Rys. 2 Hydrogram zrzutu ścieków z analizowanego burzowca

Ścieki, które nie mogą być odprowadzone są retencjonowane w sieci kanalizacyjnej. Jest to możliwe, ponieważ objętość tych ścieków jest znacznie mniejsza od pojemności retencyjnej sieci ($1043 \text{ m}^3 < 12224 \text{ m}^3$). Graficznie wyznaczony hydrogram zrzutu przedstawiono na rys. 2, zaś charakterystyczne parametry zrzutu w tabeli 3.

W powyższy sposób wyznaczono hydrogramy zrzutów ze wszystkich burzowców Warszawy lewo- i prawobrzeżnej oraz z wylotów ścieków do Wisły. Prognozę zrzutów wykonano dla istniejącego systemu oraz dla stanu po jego modernizacji, zapewniającej niedopuszczenie do zrzutów ścieków o rozcieńczeniach mniejszych niż 1:1, oraz po wybudowaniu oczyszczalni ścieków.

Wnioski

1. Objętość ścieków odprowadzanych do Wisły z terenu Warszawy jest w czasie doby z opadem większa od objętości ścieków komunalnych w dobie bezopadowej o 100—130%, w zależności od opadu.
2. Przebudowa systemu i dotrzymanie warunków krytycznego rozcieńczenia na przelewach burzowych 1:1 nie wpływa istotnie na zmniejszenie objętości i maksymalnych natężeń zrzutów ścieków przez burzowce, dla analizowanych opadów miarodajnych. Wpływie natomiast na ograniczenie częstotliwości i czasu trwania zrzutów w ciągu roku oraz ograniczenie rocznej objętości zrzutów odprowadzanych do od-

biornika do 20—25% ilości, które byłyby odprowadzane bezpośrednio do Wisły bez zachowania tego rozcieńczenia.

3. Objętość zrzutów ścieków z terenu Warszawy jest większa w przypadku opadu o równomiernym rozkładzie przestrzennym (opad z 28 V 1968 r.), natomiast chwilowe, maksymalne natężenie zrzutów, szczególnie z burzowców obsługujących centralną część Warszawy lewobrzeżnej, są zdecydowanie wyższe w przypadku opadu o dużym lokalnym natężeniu (opad z 26 VIII 1968 r.).

4. Prawdliwe planowanie i projektowanie modernizacji oraz rozbudowy systemów kanalizacyjnych jest możliwe tylko na podstawie badań funkcjonowania tych systemów. Badania takie powinny być prowadzone przede wszystkim w dużych miastach. Jednym z wyników badań powinna być prognoza odpływów ścieków w czasie opadów.

LITERATURA

1. Praca zbiorowa: Warunki przebudowy i eksploatacji sieci kanalizacyjnej m. st. Warszawy w wyniku przyszłej zabudowy hydrotechnicznej Wisły... Instytut Kształtowania Środowiska, Warszawa 1985 (maszynopis).
2. P. BŁASZCZYK i inni: Zasady planowania i projektowania systemów kanalizacyjnych w aglomeracjach miejsko-przemysłowych i dużych miastach. Instytut Kształtowania Środowiska, Warszawa 1983.
3. H. LORENC: Czasowe rozprzestrzenianie się opadów o dużym natężeniu na obszarze Warszawy. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 1984 (maszynopis).
4. P. BŁASZCZYK, M. KALINOWSKI, M. FIDALA-SZOPE, T. WITARZEWSKA: Prognoza natężeń odpływu i stężenia zanieczyszczeń ścieków odpływających do Wisły z Warszawy w okresach pogody bezdeszczowej, opadów i roztopów... Instytut Kształtowania Środowiska, Warszawa 1985 (maszynopis).
5. P. BŁASZCZYK: Metody określania odpływów ścieków opadowych miarodajnych do wymiarowania kanałów deszczowych i ogólnospławnych. Wybrane zagadnienia kształtowania systemów kanalizacyjnych, Instytut Kształtowania Środowiska — Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1980.
6. M. FIDALA-SZOPE i inni: Adaptacja modelu opad-odpływ ze zlewni zurbanizowanych do określenia zrzutów z układu burzowców w m. st. Warszawie. Instytut Kształtowania Środowiska, Warszawa 1985 (maszynopis).
7. M. FIDALA-SZOPE: Podstawy projektowania kanalizacji półrozdzielczej. Etap III. Instytut Kształtowania Środowiska, Warszawa 1984 (maszynopis).

P. Błaszczyk, M. Fidala-Szope

FORECASTS OF STORM-WATER DISCHARGE BY USING DATA FROM OBSERVATIONS OF PRECIPITATION AND OF THE BEHAVIOUR OF THE COMBINED-SEWAGE SYSTEM

A method of forecasting storm-water discharges is shown on the example of the combined-sewage system of Warsaw. The parameters of calculated precipi-

itation for the catchment area of particular storm sewers have been established by taking into account the relation between the reduction in the intensity of precipitation (recorded pointwise) and the surface area of the receiving catchment. The regression relations of discharge parameters and precipitation parameters enable simulation of storm water hydrograms. The hydrograms incorporate the capacity of the existing storm sewers, as well as the retention of the combined-sewage system.