

IRENEUSZ NOWOGOŃSKI*, KAROLINA GOLIK**

WYKORZYSTANIE RZECZYWISTYCH PLUWIOGRAMÓW DO MODELOWANIA ODPLYWU WÓD OPADOWYCH

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki analizy obserwacji pluwiograficznych z lat 1985-1986 na terenie miasta Zielona Góra. Wybrane opady o znacznym natężeniu chwilowym zostały wykorzystane do analizy odpływu ze zlewni modelowej. Rezultaty porównano z wynikami uzyskanymi metodami klasycznymi.

Słowa kluczowe: kanalizacja deszczowa, modele symulacyjne

Wstęp

Projektowanie systemów odprowadzania wód opadowych coraz częściej oparte jest o wykorzystanie modeli matematycznych, umożliwiających opis przebiegu zjawiska opad-odpływ w stopniu niedostępnym dla rozwiązań klasycznych.

Podstawowym zagadnieniem przy projektowaniu kanalizacji deszczowej jest ustalenie deszczu miarodajnego do projektowania przekrojów kanałów. Prawidłowe określenie deszczu miarodajnego wymaga określenia charakterystycznych natężeń deszczów, czasów trwania oraz częstości ich występowania. Dane pomiarowe po obróbce statystycznej stanowią materiał wejściowy do procesu wdrażania modeli symulacyjnych, ich kalibracji i wykorzystania. Komputerowe modelowanie przepływów w sieciach kanalizacyjnych pozwala oszacować pojemność retencyjną kanałów i ocenę rezerw ich przepustowości.

Dzięki modelowaniu przepływów można również wyznaczyć prognozowaną częstość zrzutów przez przelewy burzowe oraz wpływ odpływów burzowych na odbiornik.

* Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Środowiska, Zakład Sieci i Instalacji Sanitarnych

** absolwentka Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska, kierunek: Inżynieria Środowiska

Materiały i metody

Materiałem badawczym wykorzystanym w opracowaniu były zapisy pluwiograficzne ze Stacji Hydrologiczno-Meteorologicznej w Zielonej Górze. Zapisy prowadzone były w latach 1985÷1986. Pomiary pluwiograficzne objęły sezon opadowy od 29 IV do 18 X.

Wysokość opadu określano odczytując przyrosty wysokości opadu w cząstkowych czasach jego trwania. Za podstawę czasową przyjęto przedziały 5- i 10-minutowe. Określając lokalne nachylenie krzywej określano wartość chwilowego natężenia deszczu.

Na podstawie zapisu pluwiograficznego określono:

- czas rozpoczęcia i zakończenia opadu;
- długość czasu trwania opadu;
- łączną wysokość opadu;
- średnie natężenie opadu;
- maksymalne natężenie opadu;
- przerwy między opadami.

Przyjęto założenie, że opady były traktowane jako kolejne, odrębne zjawiska, jeżeli przez 10 min przyrost wysokości opadu był zerowy.

Zlewnia dla której dokonano symulacji odpływu wód opadowych jest zlewnią teoretyczną. Całkowita powierzchnia zlewni wynosi 288 ha. Kanał odprowadzający ścieki deszczowe, o średnicy 1,4÷1,6 m, ułożono ze spadkiem 0,25 %.

Przyjęto następujące parametry zlewni [Rossmann 2005]:

- „szerokość” zlewni jednostkowej - 283,0 m;
- współczynnik szorstkości kanału - $n=0,013$;
- szorstkość zlewni przepuszczalnej - 0,1 mm;
- szorstkość zlewni nieprzepuszczalnej - 0,012 mm;
- współczynnik spływu - 0,25;
- spadek zlewni - 0,25 %;
- retencyjność zlewni przepuszczalnej - 2 mm;
- retencyjność zlewni nieprzepuszczalnej - 1 mm.

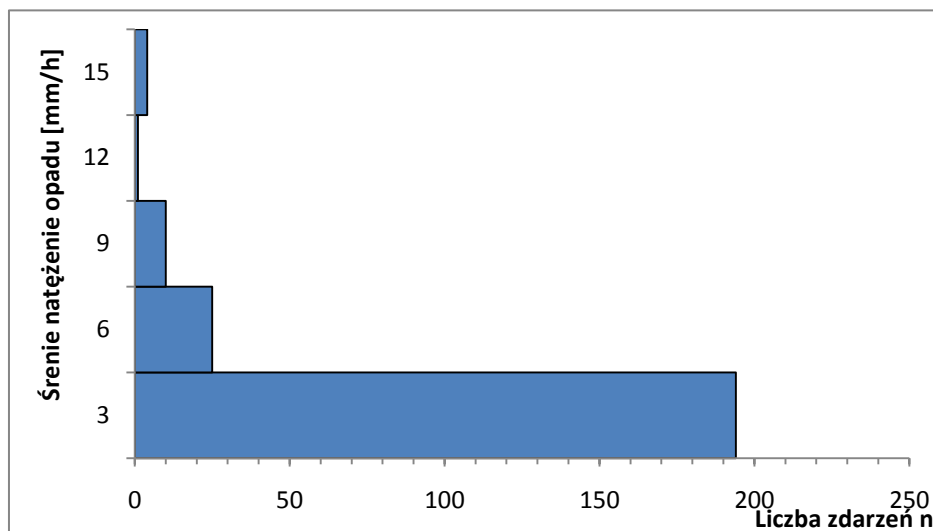
Symulacje wykonano przy użyciu programu EpaSWMM w warunkach nie-stacjonarnej transformacji opadu w odpływ oraz nieustalonego wolnozmiennego przepływu ścieków w kanałach.

Wyniki

W analizowanym dwuletnim okresie średnia roczna wysokość opadu wynosiła 283 mm. W analizowanym okresie obserwacyjnym zanotowano łącznie 234 opady – 135 w 1985 roku i 99 w 1986 roku. Średnie natężenie opadu, określone

na podstawie zapisów pluwiograficznych wynosi 1,98 mm/h, natomiast średni czas trwania opadu jest równy 86 min.

Analizę ilości występowania opadów o średnich natężeniach podzielonych na zakresy po 3 mm/h w badanym okresie przedstawia rys. 1.

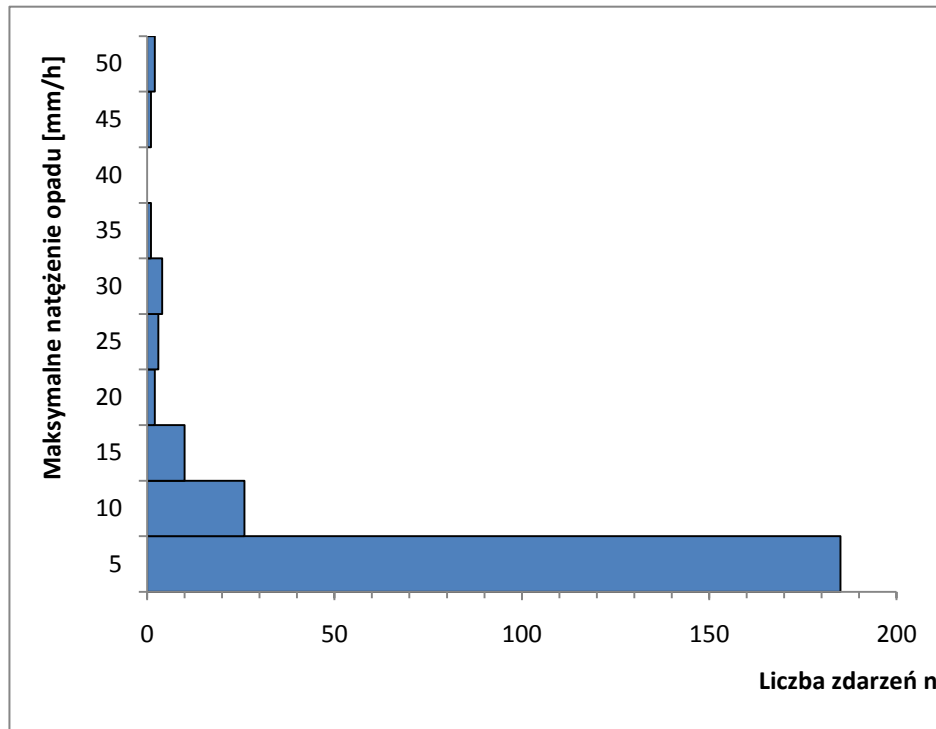


Rys. 1. Wykres średnich natężeń opadów w latach 1985-1986
Fig. 1. Average rainfall intensity for the period 1985-1986

Analiza wartości średnich natężeń opadów wykazała, że:

- wartości średnich natężeń opadów wynoszą od 0,3 do 14,4 mm/h ($0,83 \div 40 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{ha}$);
- najliczniejszą grupę opadów tworzą opady o średnim natężeniu 0-3 mm/h, które stanowią 82,9% ogólnej liczby opadów;
- opady o średnim natężeniu 3÷6 mm/h stanowią 10,7% ogólnej liczby opadów;
- tylko 4,3% badanej liczby opadów to opady o średnim natężeniu 6÷9 mm/h;
- w zakresie od 9 do 12 mm/h wystąpił tylko jeden opad, którego wartość wyniosła 11,7 mm/h;
- 1,7% liczby opadów ma średnie natężenie większe od 12 mm/h.

Analizę ilości występowania zjawisk o maksymalnych natężeniach podzielonych na zakresy po 5 mm/h w analizowanym okresie przedstawia rys. 2.

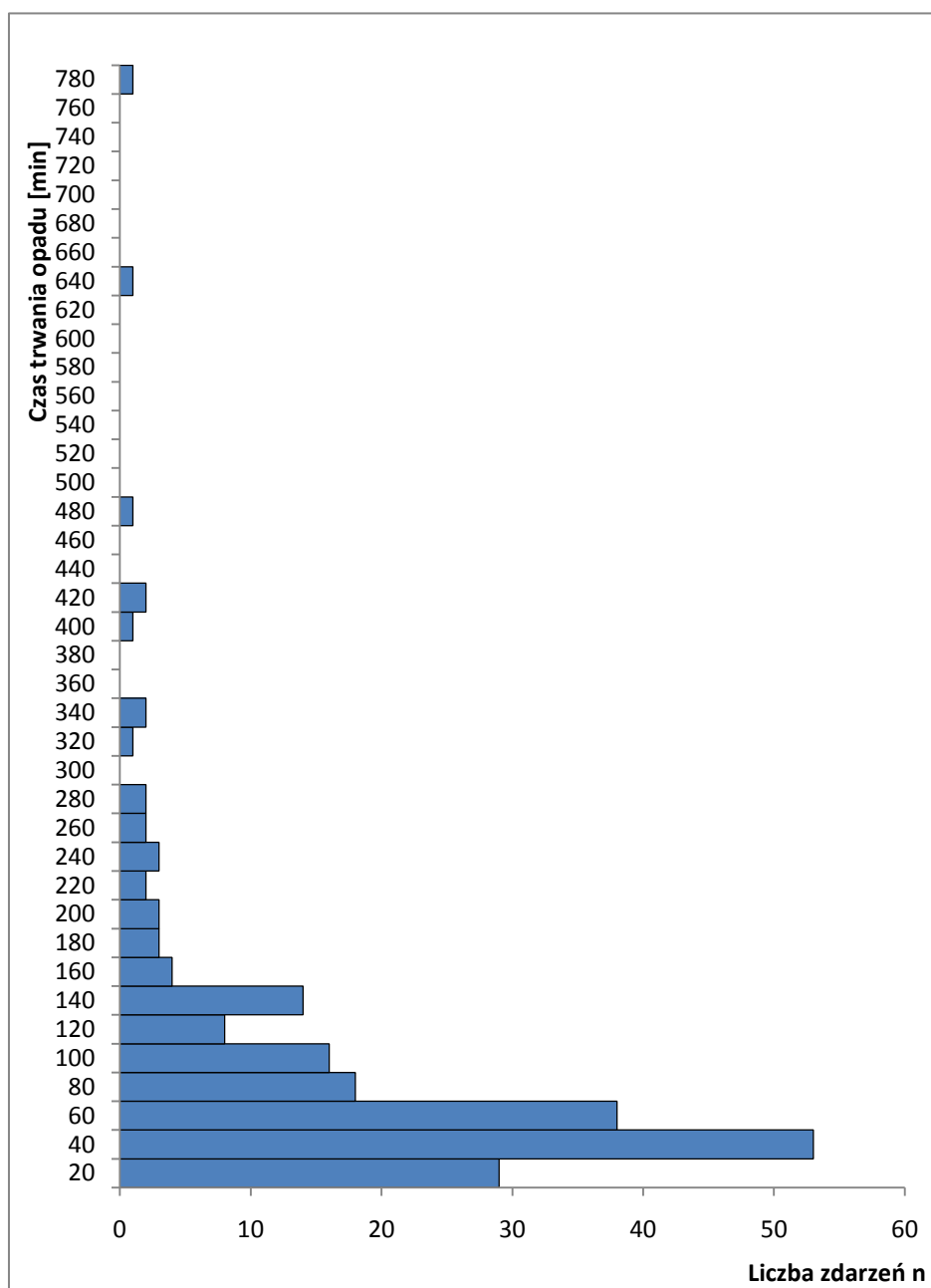


Rys. 2. Wykres maksymalnych natężeń opadów w latach 1985- 1986
 Fig.2. Maximum rainfall intensity for the period 1985-1986

Analiza maksymalnych natężeń opadów wykazała, że:

- wartości maksymalnych natężeń wynoszą od 0,5 mm/h do 48 mm/h (1,39÷133,3 dm³/s·ha);
- największa liczba maksymalnych natężeń opadów znajduje się w zakresie 1÷5 mm/h, natomiast ich liczebność wynosi 79,0% ogólnej liczby opadów;
- opady znajdujące się w zakresie o natężeniu maksymalnym 5÷10 mm/h stanowią 11,1% ogólnej liczby opadów;
- 4,3% liczby opadów ma maksymalne natężenie w zakresie od 10÷15 mm/h;
- opady o maksymalnym natężeniu 15÷20 mm/h stanowią 1,7% ogólnej liczby opadów;
- 1,3% ogólnej liczby opadów znajduje się w przedziale 20÷25 mm/h;
- tylko 1,7% badanej liczby opadów to opady o średnim natężeniu 25÷30 mm/h;
- najmniejsza liczba maksymalnych natężeń opadów znajduje się w przedziale od 30 do 45 mm/h. Stanowi ona 0,8% ogólnej liczby opadów.

Analiza czasów trwania opadów w badanym okresie przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Wykres czasów trwania opadów w latach 1985-1986

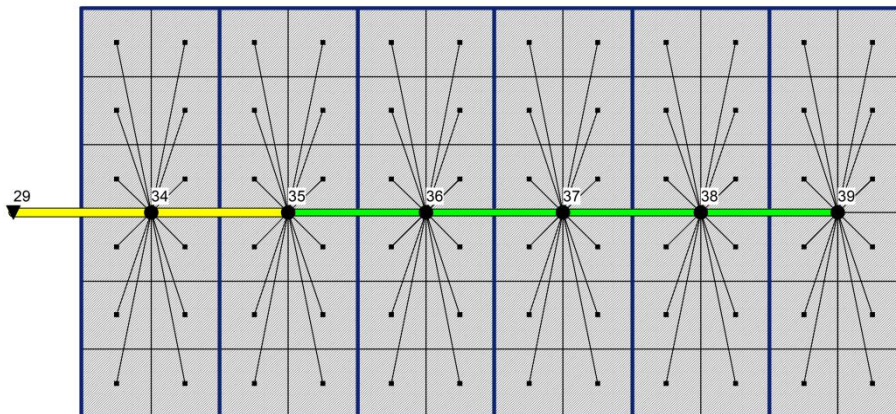
Fig. 3. Rainfall times in period 1985-1986

Przeprowadzona analiza wykazała, że:

- czas trwania opadów wynosi od 10 do 770 min;
- czas trwania 75,5% zanotowanych opadów nie przekroczył 100 min;
- czas trwania 24,5% badanych opadów przekraczał 100 min;
- największa liczba opadów to opady o czasie trwania od 20 do 40 min;
- średni czas trwania opadów wynosi 86 min.

Analiza przeprowadzona została przy użyciu programu Epa SWMM. Do programu wprowadzono wartości parametrów zlewni oraz informacje dotyczące przebiegu zjawiska opadowego. Analizę przeprowadzono w oparciu o trzy pomiary opadów atmosferycznych. W wariancie pierwszym przyjęto do obliczenia modelu zlewni opad z dnia 12.08.1985 o maksymalnym natężeniu 42 mm/h ($116,7 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$) i czasie trwania 90 min. W drugim wariancie do obliczeń przyjęto opad z dnia 22.08.1985 o natężeniu 48 mm/h ($133,3 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$) i czasie trwania 100 min. W trzecim wariancie do analizy przyjmowano opad z dnia 14.05.1986. Maksymalne natężenie tego opadu wynosiło 48 mm/h ($133,3 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$), natomiast czas trwania wynosił 90 min. Na odcinku od węzła 39÷35 założono kanał kołowy o średnicy 1,4 m, na odcinku 35÷29 kanał kołowy o średnicy 1,6 m (rys. 4).

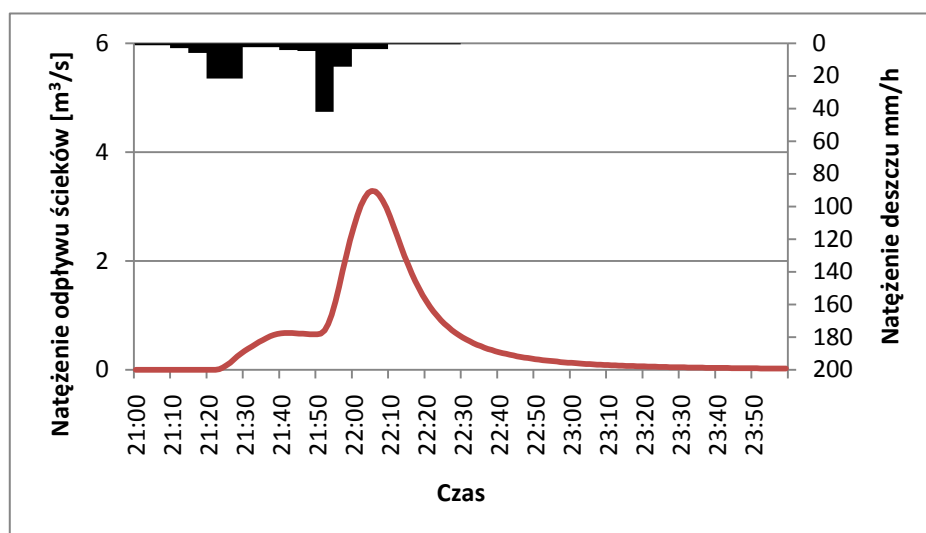
Na podstawie obliczeń wyznaczano napełnienie oraz przepływ w sieci kanałów, wywołany obliczonym odpływem wód deszczowych ze zlewni.



Rys. 4. Schemat zlewni modelowej

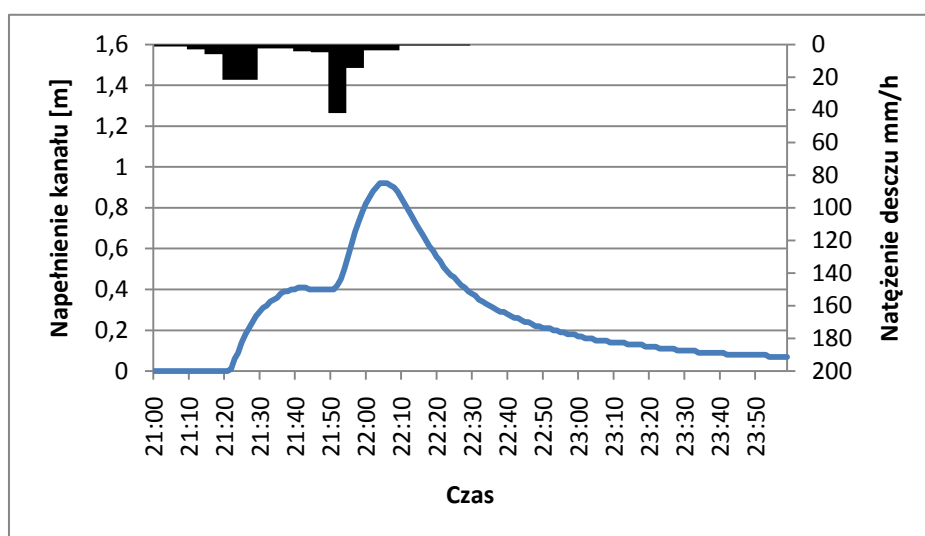
Fig. 4. Theoretical catchment

Wyniki symulacji odpływu uzyskane w oparciu o opad z dnia 12.08.1985 przedstawiają rys. 5 i 6.



Rys. 5. Odpływ wód opadowych dla deszczu z dnia 12.08.1985

Fig. 5. Estimated flows at the outlet – 12.08.1985



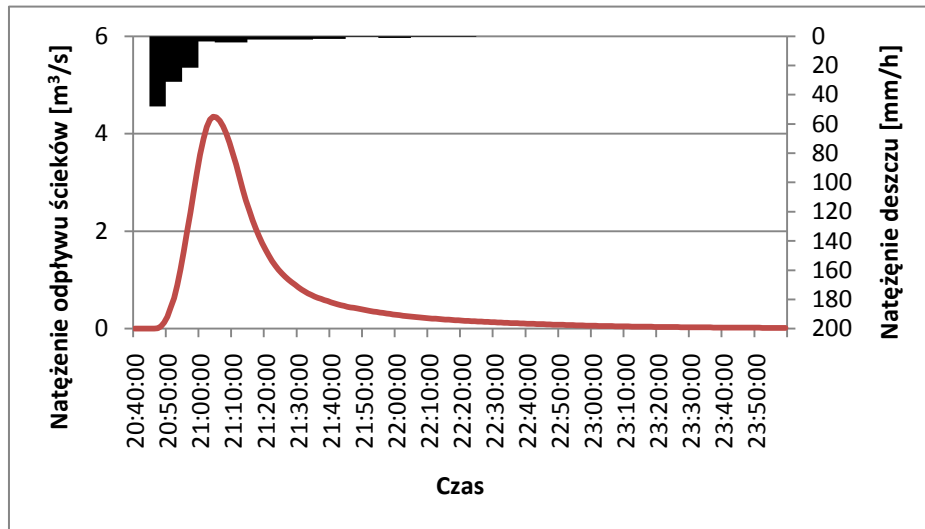
Rys. 6. Napełnienie kanału dla opadu z dnia 12.08.1985

Fig. 6. Water level at the outlet – 12.08.1985

W rezultacie uzyskano następujące wartości charakteryzujące odpływ:

- maksymalne natężenie odpływu wynosi $3289,5 \text{ dm}^3/\text{s}$, a maksymalne napełnienie kanału przy wylocie wynosi 92 cm;
- maksymalny odpływ ścieków występuje 125 minut po rozpoczęciu opadu,
- średnia wartość napełnienia kanału wynosi 27 cm.

Wynik symulacji zjawiska opad – odpływ w oparciu o opad z dnia 22.08.1985 r. przedstawiają rys. 7 i 8.

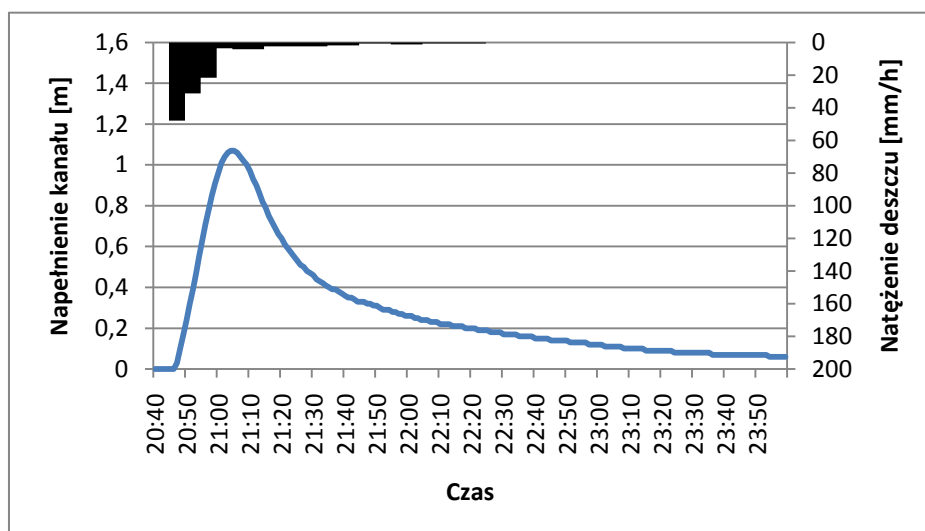


Rys. 7. Odpływ wód opadowych dla opadu z dnia 22.08.1985

Fig. 7. Estimated flows at the outlet – 22.08.1985

Na podstawie rys. 8 można stwierdzić, że:

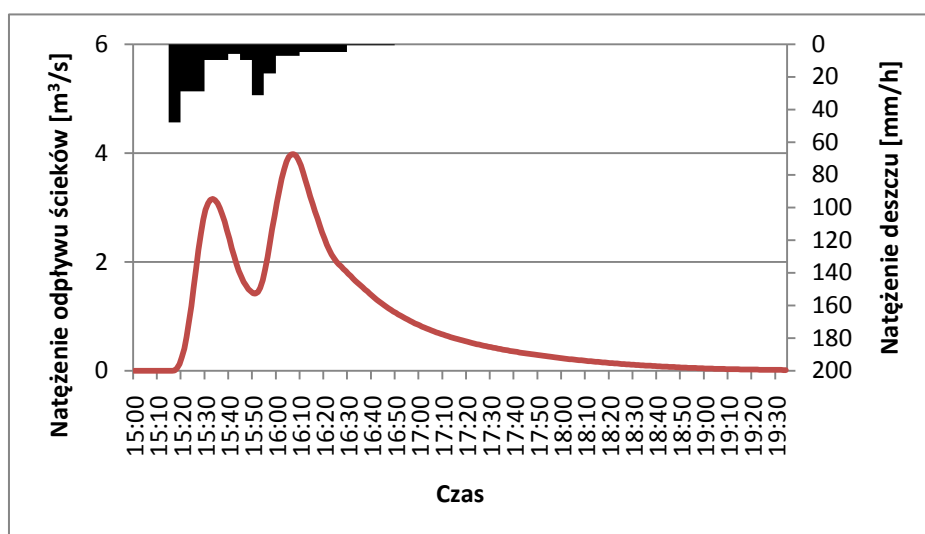
- maksymalne natężenie odpływu wynosi $4348,78 \text{ dm}^3/\text{s}$, a maksymalne napełnienie kanału przy wylocie wynosi 107 cm;
- maksymalny odpływ ścieków występuje 19 minut po rozpoczęciu opadu,
- średnia wartość napełnienia kanału wynosi 29 cm.



Rys. 8. Napętnienie kanału dla opadu z dnia 22.08.1985

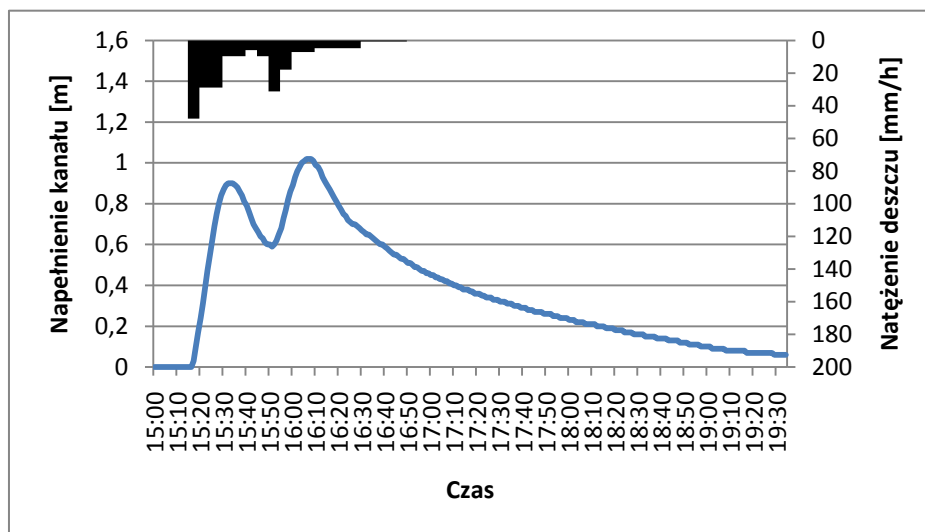
Fig. 8. Water level at the outlet – 22.08.1985

Na rys. 9 i 10 przedstawiono wynik symulacji zjawiska opad – odpływ w oparciu o opad z dnia 14.05.1986 r.



Rys. 9. Odpływ wód opadowych dla opadu z dnia 14.05.1986

Fig. 9. Estimated flows at the outlet – 14.05.1986



Rys. 10. Napełnienie kanału dla opadu z dnia 14.05.1986

Fig. 10. Water level at the outlet – 14.05.1986

Analiza krzywej zmian napełnienia kanału wykazała, że:

- maksymalne natężenie odpływu wynosi $3981,9 \text{ dm}^3/\text{s}$, maksymalne napełnienie kanału przy wylocie wynosi 102 cm;
- maksymalny odpływ ścieków występuje 52 minuty po rozpoczęciu opadu,
- średnia wartość napełnienia kanału wynosi 40 cm.

Dyskusja wyników

W badanym okresie zanotowano największą liczbę dni z opadem o małym natężeniu. W całym dwuleciu zanotowano 194 deszcze, których średnie natężenie było niższe od 3 mm/h. Analizując poszczególne miesiące stwierdzono, że największa liczba opadów występowała w maju i w sierpniu roku 1985. Natomiast w roku 1986 największa liczba opadów wystąpiła w maju oraz w lipcu. Czas większości zanotowanych deszczów był krótszy od 100 min. Do dalszej analizy wybrano opady, które maksymalnie obciążają system kanalizacyjny. W badanym okresie stwierdzono jedynie trzy takie zjawiska. Były to opady o maksymalnym natężeniu przekraczającym 40 mm/h i czasie trwania 90-100 min. Podobne wyniki uzyskał Licznar i in. [Licznar i in. 2005] dla Wrocławia, w badanym wieloleciu 1975-2002, w oparciu o wyniki uzyskane z Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii AR Wrocław. W obrębie deszczów o dużych natężeniach wyodrębnił on jedynie dwa opady o natężeniu przekraczającym 100

$\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$, które służyły jako materiał do dalszych badań. W obydwu przypadkach były to opady krótkotrwałe o wysokości 16-18 mm i czasie trwania 15-24 minuty.

Na podstawie zapisów z pluwiogramów w badanym okresie stwierdzono, że w pierwszych etapach trwania zjawiska występuje największa intensywność opadów dla opadów o czasie trwania do 60 min. Podobne wyniki uzyskał Wałęga [2008], analizując dane pluwiograficzne ze stacji UJ Ogród Botaniczny w Krakowie, obejmujące wielolecie 1906-1990. Na podstawie analizy deszczów stwierdził, że maksymalne wysokości opadów występują w pierwszej fazie opadu. W przypadku opadów o czasie trwania do 15 min, w pierwszych 5 min trwania zjawiska, wysokość opadów stanowiła ponad 65% całkowitej sumy. Podobne wyniki uzyskała Żyła [1997], badając dane opadowe ze stacji Puławska w Warszawie. Analizując dane stwierdziła, że największe intensywności opadów występują w krótkich przedziałach czasowych (do 60 min włącznie), w pierwszym etapie zjawiska.

Opracowane zapisy pluwiograficzne ze Stacji Hydrologiczno-Meteorologicznej w Zielonej Górze zostały bezpośrednio wykorzystane jako dane opadowe do komputerowych modeli symulacyjnych odpływu deszczowego. Przepływ ścieków w trzech analizowanych wariantach, dla których opad efektywny przekształcony został w odpływ ze zlewni osiągnął największe wartości w zakresie od 3289,5 do 4348,78 dm^3/s . Przepustowość sieci określona w warunkach stacjonarnych wyniosła ok. 4200 dm^3/s co potwierdza wiarygodność uzyskanych wyników. Porównanie uzyskanych wyników z klasyczną metodą granicznych natężeń dla częstości występowania deszczu miarodajnego raz na dwa lata okazała się niemożliwa, ponieważ już na trzecim odcinku wystąpiło znaczne przekroczenie przepustowości kanału i praca pod ciśnieniem uniemożliwiająca kontynuowanie obliczeń. Szacunkowe określenie ilości odpływu metodą stałych natężeń daje wielkość odpływu ok. 3400 dm^3/s dla prawdopodobieństwa wystąpienia deszczu miarodajnego równego 50% oraz 4660 dm^3/s dla prawdopodobieństwa równego 20%. Wiarygodność tego porównania będzie można sprawdzić po przeanalizowaniu dłuższego okresu pomiarowego.

Wnioski

Przeprowadzona analiza opadów atmosferycznych z zapisów pluwiograficznych ze Stacji Hydrologiczno - Meteorologicznej w Zielonej Górze oraz dokonana symulacja odpływu wód opadowych ze zlewni pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- wybrane pluwiogramy mogą być bezpośrednio wykorzystywane jako dane opadowe do symulacji odpływu wód deszczowych;

- kanalizację deszczową projektuje się na odprowadzanie deszczów nawalnych, ponieważ to one powodują największe uciążliwości na terenach zlewni. Najwyższa uzyskana wartość natężenia opadu stanowi daną wyjściową do formowania odpływu ze zlewni. W badanym okresie najwyższą wartość opadu uzyskano dla deszczu z dnia 22.08.1985. Maksymalne natężenie tego opadu wyniosło $48 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$, natomiast czas trwania 100 min;
- kształt i przebieg krzywych odpływu jest w dużym stopniu uzależniony od parametru, jakim jest maksymalne natężenie chwilowe opadu, a także od parametrów modelowanej zlewni;
- wyznaczone wartości natężeń deszczów uzyskane na podstawie danych z zapisów pluwiograficznych stanowią przydatną informację dla projektanta sieci kanalizacji deszczowej.

Literatura

1. LICZNAR P., ŁOMOTOWSKI J., ROJEK M.: *Pomiary i przetwarzanie danych opadowych dla potrzeb projektowania i eksploatacji systemów odwodnieniowych*. PZiTS, Poznań, 2005
2. ROSSMAN L.A. – *Storm Water Management Model, User's Manual*. Version 5, Cincinnati, US EPA, s. 54-61, 2005
3. WAŁĘGA A.: *Charakterystyka maksymalnych rocznych opadów w aspekcie projektowania kanalizacji deszczowej*. Gaz, woda i technika sanitarna, nr 9/2008, s. 2-3, 2008
4. ŻYŁA A. M.: *Opracowanie danych opadowych ze stacji Puławska w Warszawie jako przykład metodyki wyznaczania parametrów opadu miarodajnego do modelowania odpływu ze zlewni miejskiej*. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, 11, s. 67-83, 1997

USING RAINGAUGE-BASED RAINFALLS IN MODELLING OF RUNOFF FLOWS

S u m m a r y

Results of raingauge-based rainfalls data analysis for period 1985-1986 in Zielona Góra were presented. Rainfall with the biggest intensity were chosen to obtain runoff flows at the outlet. Results were compared with data obtained using classic methods.

Key words: drainage network, simulation models