UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI • ZESZYTY NAUKOWE NR 144

Nr 24 **INŻYNIERIA ŚRODOWISKA** **2011**

EWA OGIOŁDA*, TOMASZ POWĘSKI**

OBLICZENIA SYMULACYJNE SIECI KANALIZACYJNEJ W DZIELNICY GŁOGOWA

S t r e s z c z e n i e

W artykule przedstawiono wyniki obliczeń hydraulicznych sieci ogólnospławnej dzielnicy Głogowa przeprowadzonych przy pomocy programu komputerowego EPA SWMM. Pozwoliły one na określenie parametrów charakteryzujących przepływ w kanałach, a symulacje dotyczące opadów o różnej charakterystyce umożliwiły wskazanie słabych punktów sieci i rozwiązań zmierzających do poprawy stanu systemu.

Słowa kluczowe: zależność opad – odpływ, kanalizacja ogólnospławna

WSTĘP

Kanalizacja deszczowa i ogólnospławna są niezbędnymi elementami infrastruktury miejskiej, których zadaniem jest odprowadzenie wód opadowych. Bardzo istotne jest właściwe wymiarowanie kanałów, czyli znalezienie „złotego środka" pomiędzy kosztami inwestycyjnymi i stratami, jakie może spowodować nieprawidłowe działanie sieci. Skomplikowanym zadaniem jest ustalenie natężenia przepływu wód deszczowych – w tym celu potrzebne jest określenie zależności między nierównomiernym opadem o zróżnicowanym prawdopodobieństwie wystąpienia a wielkością odpływu, na który wpływ mają zjawiska spływu powierzchniowego czy retencji kanałowej. Każdy system odprowadzenia wód opadowych powinien być dostosowany do lokalnych warunków terenowych.

Cennym narzędziem jest oprogramowanie umożliwiające przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych dla zróżnicowanych opadów deszczowych oraz dokonanie na podstawie ich wyników oceny prawidłowości pracy sieci i wyboru rozwiązań zmierzających do poprawy stanu systemu.

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

** EKOSYSTEM Zielona Góra

CHARAKTERYSTYKA GŁOGOWA

Głogów jest miastem leżącym w województwie dolnośląskim, nad Odrą, na granicy dwóch kontrastujących mezoregionów fizyczno-geograficznych, tj. Wzgórz Dalkowskich oraz Pradoliny Głogowskiej. Leży w południowo-zachodniej Polsce, na obszarze o rocznej sumie opadów z zakresu 550-600 mm oraz średniorocznej temperaturze wynoszącej 8,0-9,0°C.

W północno-zachodniej części miasta, której dotyczy analiza przedstawiona w niniejszym artykule, występują różne rodzaje zagospodarowania terenu [Studium 2010]:

- zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna – Osiedle Kopernik, Osiedle Przemysłowe;
- zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna – Osiedle Brzostów;
- zabudowa przemysłowa – Osiedle Przemysłowe (Nadodrze);
- cmentarze – dzielnica Brzostów;
- ogródki działkowe.

Zróżnicowanie pokrycie powierzchni w powiązaniu ze zmienną rzeźbą terenu powoduje, że warunki odpływu wód opadowych nie są jednakowe. Obszar ten może być traktowany jako reprezentatywny dla zlewni całego miasta, gdyż zawiera wszystkie charakterystyczne dla Głogowa elementy (rzeźbę oraz formy zagospodarowania terenu).

SIEĆ KANALIZACYJNA GŁOGOWA

Sieć kanalizacyjna Głogowa to w zdecydowanej większości system ogólnospławny, rozdzielczy występuje tylko na niewielkich fragmentach miasta, w szczególności na osiedlach domków jednorodzinnych.

Przebieg kanałów determinowany jest położeniem głównych ulic miasta oraz osiedli mieszkaniowych. Stały spadek terenu powoduje, że do efektywnego transportu ścieków nie są potrzebne przepompownie. Nachylenie terenu w kierunku doliny Odry wymusza ciągły ruch grawitacyjny.

Pięć kolektorów, ułożonych równolegle do siebie, nachylonych jest w kierunku doliny Odry. Trasa głównego zbieracza ścieków ogólnospławnych przebiega równolegle do Odry – na całej długości jest to kanał jajowy, którego wymiary zmieniają się od 0,70 x 1,05 m (w części wschodniej miasta) do 1,80 x 2,50 m (na odcinku prowadzącym bezpośrednio do oczyszczalni ścieków). Takie rozplanowanie kanałów zapewnia kompleksowe odprowadzenie ścieków z każdej dzielnicy Głogowa, dzięki czemu stopień skanalizowania miasta wynosi niemal 100%. W celu odciążenia oczyszczalni oraz usunięcia nadmiaru wód opadowych, eksploatowane są cztery przelewy burzowe, umożliwiające zrzucenie wód deszczowych do Odry [Program Rewitalizacji 2007].

CHARAKTERYSTYKA PROGRAMU EPA SWMM

Do przeprowadzenia obliczeń zastosowano EPA SWMM – jeden z programów ułatwiających proces projektowania oraz ocenę eksploatacji systemów odprowadzających wody opadowe. Model matematyczny pozwala na transpozycję wielkości opadu na odpływ, który wypełnia określone uprzednio elementy, takie jak system rur, kanałów otwartych, pompownie, zbiorniki retencyjne, wyloty kanalizacyjne itp. Możliwa jest także analiza parametrów pokrewnych (wysokość napełnienia kanału, wydatek objętościowy ścieków w dowolnym punkcie sieci czy wskaźniki jakościowe ścieków itp.) [Rossmann 2004, Zawilski 2008].

Określanie ilości wód opadowych opiera się na modelu zlewni, który może być podzielony na dowolną ilość podzlewni, różniących się parametrami określanymi w module danych wejściowych do programu. W celu prawidłowego zasymulowania zachowania się wód opadowych niezbędna jest znajomość następujących wielkości opisujących zlewnię [Zawilski 2008]:

- powierzchnia zlewni,
- nachylenie zlewni w kierunku spływu,
- stopień uszczelnienia (współczynnik spływu),
- szerokość pasa spływu wody (obliczana jako iloraz powierzchni zlewni i oszacowanej długości toru spływu wody),
- współczynnik szorstkości Manninga (dla powierzchni szczelnej i przepuszczalnej),
- charakterystyka zlewni pod względem szybkości infiltracji wody.

Danymi źródłowymi są także pluwiogramy opadu oraz hydrogramy odpływu.

W modelowaniu wykorzystuje się [Zawilski 2008]:

- metodę Hortona,
- metodę Green-Ampta,
- metodę SCS.

Wielkości spływu wód opadowych przypisana jest do poszczególnych węzłów sieci kanalizacyjnej. Przebieg zmienności natężenia przepływu, w zależności od czasu, obliczany jest przez moduł programu wykorzystujący i rozwiązujący układ równań de Saint-Venanta dla ruchu nieustalonego. Model ten umożliwia przejście z przepływu grawitacyjnego w ciśnieniowy oraz zaimplementowanie szeregu obiektów (zbiorników, retencyjnych, pompowni itp.) opisanych indywidualnymi charakterystykami. Ta procedura obliczeniowa nosi nazwę fali dynamicznej.

Symulacja przeprowadzona w programie EPA SWMM może dać wiarygodne rezultaty wyłącznie, gdy dysponuje się odpowiednią bazą danych dotyczących opadów, parametrów zlewni, sieci kanalizacyjnych czy charakterystyki gruntu. Modelowanie w programie SWMM musi być wspomagane przez skali-

browanie parametrów domyślnie ustalonych przez algorytm programu. Prawidłowo przeprowadzona kalibracja musi być poparta danymi dotyczącymi zależności opadu i odpływu [Zawilski 2008].

Wyniki obliczeń określają poszczególne parametry – natężenie i prędkość przepływu, napełnienie kanałów mogą być przedstawiane zarówno w postaci tabelarycznej, jak również w formie graficznej – grafów i profili kanałów.

MODEL SYMULACYJNY

Model symulacyjny systemu odprowadzania ścieków deszczowych z zachodniej części Głogowa wykonano w oparciu o inwentaryzację sieci kanalizacji ogólnospławnej. Łącznie na sieci zostało rozmieszczonych 216 węzłów, z czego 213 odpowiada studzienkom kanalizacyjnym, 2 węzły stanowią wyloty kanalizacyjne (dopływ ścieków do oczyszczalni ścieków oraz wylot kanału burzowego za przelewem do odbiornika), a jeden węzeł przelewowi burzowemu. Sieć zbudowana jest z 215 odcinków, które odpowiadają lokalizacji kolektorów i kanałów rozdzielczych w terenie. Model nie uwzględnia położenia przyłączy kanalizacyjnych. Sumaryczna długość odcinków wynosi 13713 m. Zachodnia zlewnia Głogowa obejmuje obszar 202,47 ha. Zdecydowana większość przewodów została wykonana jako kanały kołowe, których średnice mieszczą się w zakresie 200 – 2000 mm. Jedynie fragmenty głównego miejskiego zbieracza zostały wykonane jako kanały jajowe o wymiarach 1840 x 2000 mm oraz 2100 x 2250 mm. Dla wszystkich kanałów przyjęto wartość współczynnika szorstkości 0,013 (rys. 1).

W związku z tym, że do odprowadzania wód opadowych z większej części Głogowa służy kanalizacja ogólnospławna, konieczne było dodanie przepływów ścieków bytowo-gospodarczych.

WYNIKI BADAŃ

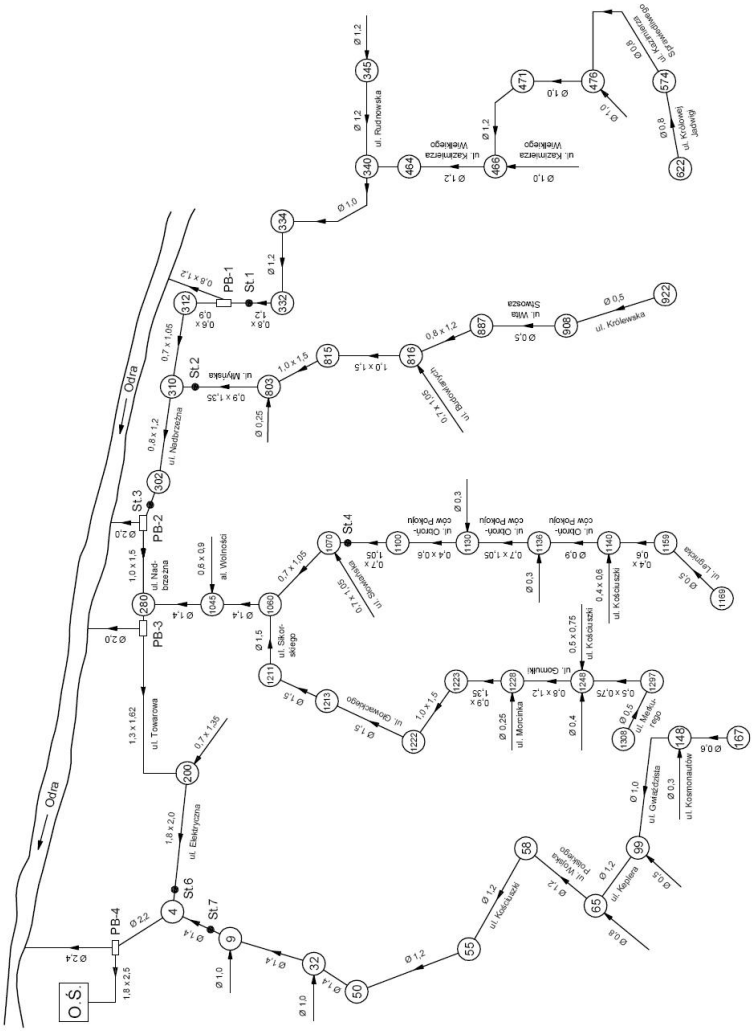
Przeprowadzono analizę wpływu zróżnicowanych opadów na eksploatację sieci kanalizacji ogólnospławnej w części zachodniej Głogowa. Dobór opadów do symulacji wykonano w taki sposób, aby zróżnicować następujące parametry:

- czas rozpoczęcia i zakończenia opadu,
- wysokość opadu,
- czas trwania opadu,
- średnie i maksymalne natężenie.

W celu zróżnicowania wytypowanych opadów podzielono je na trzy grupy zgodnie ze skalą przedstawioną przez Chomicza – opady silne, ulewne i nawalne. Przebieg wybranych zjawisk określają natężenia cząstkowe, ustalone

w oparciu o zapisy pluwiograficzne, odczytywane w przedziałach czasowych wynoszących 10 minut. Parametry charakteryzujące przepływy w kanałach to prędkości i natężenia przepływu.

Analiza deszczy silnych objęła swoim zakresem trzy zjawiska, których wybrane parametry zamieszczono się w tabeli 1.

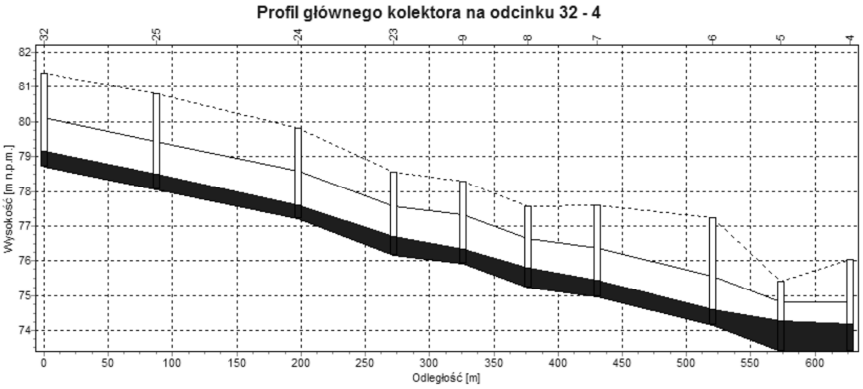


Rys. 1. Graf sieci kanalizacyjnej Głogowa
Fig. 1. Graph of the sewer system in Głogów city

Tab. 1. Parametry deszczy silnych
Tab. 1. Parameters of heavy precipitation

Lp.	Czas trwania	Wysokość opadu	Średnie natężenie opadu	Maksymalne natężenie opadu
	[min]	[mm]	[mm/h]	
S1	250	19,95	4,80	17,40
S2	110	8,30	4,53	18,00
S3	40	9,40	14,10	33,00

Badanie zmienności napełnień w kanałach wykazało, iż najwyższe napełnienia notowano w odcinkach zbiorczych, znajdujących się w części północnej badanego obszaru. W żadnym z badanych przypadków nie nastąpiło jednak przekroczenie „bezpiecznych" wartości, a najwyższe napełnienie wyniosło 0,81m, co stanowiło tylko 58% całkowitego prześwitu kanału o średnicy 1,40 m (rys. 2).



Rys. 2. Profil głównego kolektora na odcinku 32-4 (S3 – 75 minut od rozpoczęcia opadu)
Fig. 2. Profile of conduit-nodes 32-4 (S3 after 75 minutes from the start of rainfall)

Symulacja wykazała, że najwyższe prędkości zanotowano w końcowych odcinkach sieci, gdzie prędkość osiągała chwilowe wartości 3,0-3,5 m/s. W początkowych odcinkach sieci prędkość często nie przekraczała wartości 1,0 m/s i nie gwarantowała usunięcia zanieczyszczeń stałych w kanałach.

Analizę deszczy ulewnych przeprowadzono dla 9 zjawisk, których parametry przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Parametry deszczy ulewnych
Tab. 2. Parameters of cloudburst precipitation

Lp.	Czas trwania	Wysokość opadu	Średnie natężenie opadu	Maksymalne natężenie opadu
	[min]	[mm]	[mm/h]	
U1	40	8,00	5,33	26,70
U2	20	15,70	47,10	47,40
U3	130	17,70	8,17	54,00
U4	40	15,30	22,95	43,20
U5	30	27,50	55,00	96,00
U6	140	20,70	8,87	23,40
U7	100	15,00	9,00	28,80
U8	80	13,20	9,90	39,00
U9	180	25,55	8,52	49,20

W większości przypadków analizowanych opadów silnych nie wystąpiły nadpiętrzenia w kanałach, ale wartości napełnień i prędkości przepływu były większe, niż w przypadku deszczy silnych.

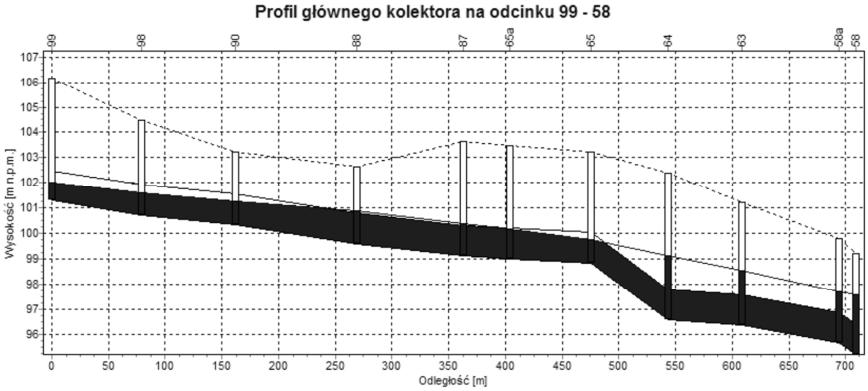
Inaczej wyniki kształtowały się dla opadów U2, U5, U9, podczas których występowały przepełnienia, zarówno w kanałach początkowych, jak i w końcowych odcinkach kolektora. Maksymalne natężenia przepływu powodowały pracę kanałów pod ciśnieniem. Sieć nie była w stanie odprowadzić wód opadowych w części systemu, co można tłumaczyć znacznymi spadkami terenu oraz wysokim stopniem uszczelnienia powierzchni.

Analizy symulacyjne pozwoliły na ustalenie dla każdego ze zjawisk czasu, po jakim wystąpią ekstremalne wartości napełnienia w kanale – dla U5 – 45 min (rys. 3), w przypadku U9 – 150 min (rys. 4) i wskazanie słabych punktów sieci.

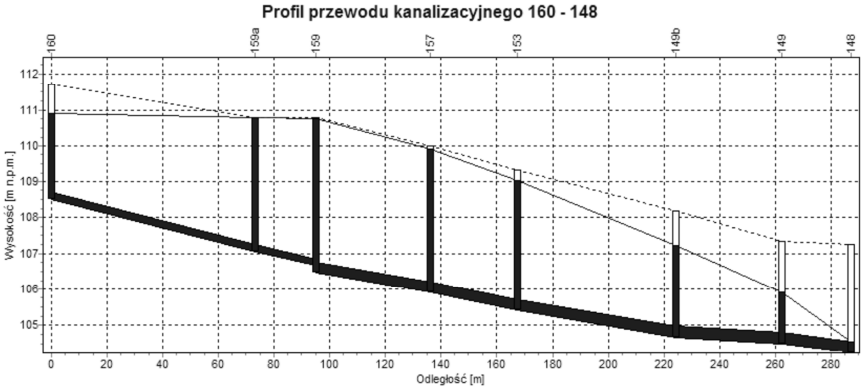
Deszcze nawalne są zjawiskami występującymi rzadko i z różną częstotliwością. Wśród danych wejściowych do analizy znajdował się jeden deszcz zakwalifikowany jako nawalny, a jego parametry znajdują się w tabeli 3.

Tab. 3. Parametry deszczu nawalnego
Tab. 3. Parameters of storm precipitation

Lp.	Czas trwania	Wysokość opadu	Średnie natężenie opadu	Maksymalne natężenie opadu
	[min]	[mm]	[mm/h]	
N1	90	50,80	33,87	75,00



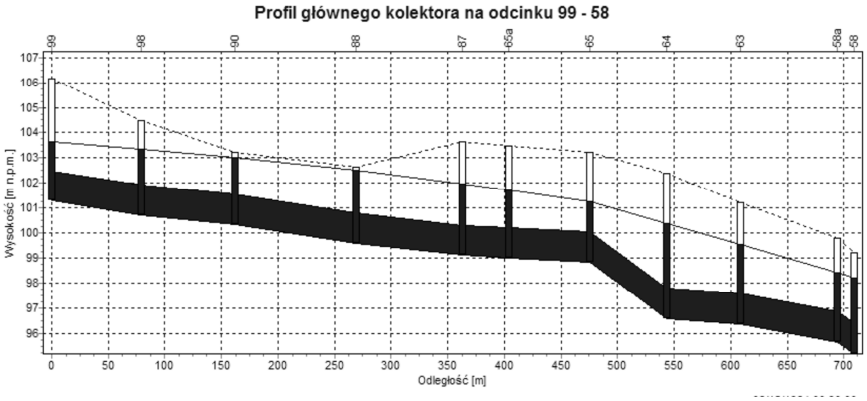
Rys. 3. Profil głównego kolektora na odcinku 99-58
(U5 – 45 minut od rozpoczęcia opadu)
Fig. 3. Profile of conduit-nodes 99-58 (U5 after 45 minutes from the start of rainfall)



Rys. 4. Profil przewodu kanalizacyjnego 160-148 (U9 – 150 minut od rozpoczęcia opadu)
Fig. 4. Profile of conduit-nodes 160-148 (U9 after 150 minutes from the start of rainfall)

Objętość wód deszczowych, zdecydowanie przekraczająca ilości powstające przy wcześniej analizowanych opadach, spowodowała niepoprawne działanie sieci kanalizacyjnej, co przejawiało się przepełnieniem sieci i zatrzymaniem wód opadowych na powierzchni terenu. Analiza potwierdziła lokalizację słabych punktów w sieci, a skala zjawiska była większa niż w przypadku analizy deszczów ulewnych. Praca fragmentów sieci pod ciśnieniem utrzymywała się przez dłuższy czas, a ilość wody zatrzymanej na powierzchni placów i ulic była większa.

Maksymalną wartość natężenia odpływu zanotowano 90 minut po rozpoczęciu opadu (rys. 5). Symulacja wykazała również bardzo wysokie wartości prędkości przepływu ścieków. Na wszystkich odcinkach sieci uzyskano prędkość przekraczającą 1,0 m/s, utrzymującą się przynajmniej przez kilkanaście minut, co spowodowałoby oderwanie zanieczyszczeń stałych w kanałach i ich transport w dół kolektora. Najwyższa wartość prędkości przepływu została zarejestrowana na kolektorze odpływowym i wyniosła 5,36 m/s.



Rys. 5. Profil głównego kolektora na odcinku 99-58
(N1 – 90 minut od rozpoczęcia opadu)
Fig. 5. Profile of conduit-nodes 99-58 (N1 after 90 minutes from the start of rainfall)

ANALIZA WYNIKÓW

Przeprowadzona symulacja wykazała, iż deszcze silne nie stanowią zagrożenia dla prawidłowego funkcjonowania sieci kanalizacji w zachodniej części Głogowa. Wszystkie z badanych kanałów były w stanie przyjąć dodatkowe ilości wód deszczowych, a maksymalna wartość natężenia przepływu, jaką zanotowano w kanale odpływowym spowodowała zajęcie jedynie połowy przepustowości kanału. W początkowych odcinkach, ułożonych ze spadkiem zbliżonym do minimalnego, nie zanotowano minimalnej prędkości przepływu, pozwalającej na samooczyszczanie się kanałów.

Odpływ wywołany przez większość badanych opadów ulewnych nie spowodował niepoprawnej pracy sieci kanalizacyjnej. Jedynie najbardziej intensywne z deszczy ulewnych skutkowały wystąpieniem pracy pod ciśnieniem fragmentu sieci. Fakt ten pozwolił na zlokalizowanie najbardziej zawodnych odcinków sieci kanalizacji ogólnospławnej, którymi okazały się kanały znajdujące się na obszarach o wysokim stopniu uszczelnienia powierzchni.

Najbardziej intensywnym deszczem, który w konsekwencji spowodował wystąpienie największego spływu wód opadowych, był deszcz nawalny. Analiza tego zjawiska potwierdziła obecność słabych punktów sieci w miejscach określonych podczas symulacji opadów ulewnych. Praca pod ciśnieniem zarejestrowana podczas symulacji opadu nawalnego wystąpiła na większej ilości odcinków i utrzymywała się przez dłuższy okres czasu.

PODSUMOWANIE

Analizie poddano wysokości napełnień, wartości natężenia i prędkości przepływu ścieków w kanałach oraz zmienność tych wielkości w czasie i korelację wymienionych parametrów dla 13 opadów o zróżnicowanym czasie trwania i intensywności. Przeprowadzone obliczenia symulacyjne wykazały, że kluczowym parametrem przy projektowaniu kanalizacji deszczowej jest natężenie deszczu, a czas trwania deszczu oraz wysokość opadu były parametrami drugorzędnymi. Deszcze długotrwałe nie stanowią problemu przy odprowadzeniu przez sieć kanalizacyjną, zaś opady o zwiększonej intensywności skutkowały szybszym pojawieniem się odpływu ścieków w kanale. Można to wytłumaczyć szybszym zwilżeniem powierzchni zlewni i uzyskaniem w ten sposób większej prędkości spływu powierzchniowego. Przeprowadzona symulacja potwierdziła również istnienie zjawiska retencji kanałowej - w początkowych minutach trwania opadów kanały pełniły rolę buforową, co było szczególnie widoczne na odcinkach o dużych średnicach.

Rozwiązania, jakie mogą być stosowane dla odciążenia sieci to zmniejszenie ilości dopływających wód opadowych poprzez zwiększenie infiltracji wód deszczowych w głąb gruntu, o ile nie wiąże się to z ingerencją w istniejącą infrastrukturę. Możliwe jest też zastosowanie zbiornika retencyjnego, służącego zmniejszeniu obciążenia głównego kolektora. Do weryfikacji różnych rozwiązań warto korzystać z narzędzi obliczeniowych, które pozwalają na ocenę proponowanych wariantów na etapie symulacji.

LITERATURA

1. ROSSMNN L. A.: *Storm Water Management Model – User's Manual. Version 5,0.* US EPA, Cincinnati 2004
2. ZAWILSKI M., SAKSON G.: *Wykorzystanie programu SWMM w modelowaniu systemów systemów kanalizacyjnych*. Mat. konf.: I Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna z udziałem gości zagranicznych z cyklu „Modelowanie procesów hydrologicznych". 20-21 listopada 2008 r., Wrocław. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2008

3. *Lokalny Program Rewitalizacji Miasta Głogowa na lata 2007-2013*. Gmina Miejska Głogów.
4. *Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Głogowa 2010*. Urząd Miejski w Głogowie

SIMULATION ANALYSIS OF THE COMBINED SEWER SYSTEM IN A PART OF GŁOGÓW CITY

S u m m a r y

Results of simulation calculations made for combined sewers system in a part of Głogów carried out with EPA SWMM were presented in this paper. They made possible to estimate parameters of flow for different precipitations, to identify poor points in system and to choose methods for their improvement.

Key words: rainfall – runoff, combined sewers system