

Agnieszka STEC<sup>1</sup> i Daniel SŁYŚ<sup>1</sup>

## WPLYW ROZWOJU TERENÓW MIEJSKICH NA FUNKCJONOWANIE SYSTEMU KANALIZACYJNEGO MIASTA PRZEMYŚLA

### INFLUENCE OF THE URBAN AREA DEVELOPMENT ON FUNCTIONING OF THE SEWERAGE SYSTEM IN THE CITY OF PRZEMYŚL

**Abstrakt:** Przedstawiono wyniki analizy funkcjonowania systemu kanalizacyjnego miasta Przemysła. Wykonano ją w celu zbadania wpływu rozwoju terenów miejskich na przepływy ścieków istniejącą siecią kanalizacyjną. Na podstawie projektu tej sieci i planu zagospodarowania przestrzennego w programie SWMM został zbudowany model hydrodynamiczny rozpatrywanej zlewni dzielnicy Zasanie. W symulacjach zostały wykorzystane rzeczywiste dane opadowe pochodzące z deszczomierzy zlokalizowanych w tej dzielnicy.

**Słowa kluczowe:** systemy kanalizacyjne, rozwój miast, model hydrodynamiczny, SWMM

#### Wstęp

Europa jest jednym z najbardziej zurbanizowanych kontynentów na świecie. Obecnie ponad dwie trzecie ludności Europy mieszka na obszarach miejskich i odsetek ten stale wzrasta [1]. Według United Nations Population Division, do 2030 roku przybędzie na świecie prawie 1 750 000 000 mieszkańców miast [2], a nowe tereny przeznaczone pod ich rozbudowę mogłyby pokryć swym obszarem stan Kalifornia [3]. Rozwój miast ukierunkowany jest przede wszystkim na zwiększanie zasięgu terytorialnego poprzez przyłączanie nowych obszarów z sąsiednich gmin lub jest wynikiem zagęszczenia zabudowy terenów już zurbanizowanych.

Temu rozwojowi towarzyszy rozbudowa infrastruktury technicznej i związany z tym wzrost powierzchni szczelnych. Wody deszczowe z terenów, z których uprzednio wsiąkały do gruntu, odprowadzane są zazwyczaj kanałami do odbiorników. Większość polskich miast posiada systemy kanalizacyjne, z których wody opadowe kierowane są do rzek, potoków, kanałów melioracyjnych, a nawet do jezior.

Zwiększenie ilości spływów deszczowych, spowodowane uszczelnieniem powierzchni lub przyłączaniem nowych obszarów do systemów kanalizacyjnych już istniejących, wpływa niekorzystnie na funkcjonowanie sieci odwodnieniowej i oczyszczalni ścieków oraz na odbiornik. W czasie intensywnych opadów, w wyniku dopływu do sieci kanalizacyjnej nadmiernych ilości ścieków deszczowych, mogą występować przeciążenia hydrauliczne, których skutkiem są często podtopienia ulic, terenów i budynków oraz utrudnienia w komunikacji miejskiej. Te niekorzystne zjawiska zostały opisane w licznych publikacjach [4-10].

W pracy dokonano analizy funkcjonowania systemu kanalizacyjnego miasta Przemysła, w której założono wzrost ilości ścieków deszczowych odprowadzanych do

---

<sup>1</sup> Katedra Infrastruktury i Ekorozwoju, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, tel. 17 865 17 84, email: stec\_aga@prz.edu.pl, daniels@prz.edu.pl

istniejącej sieci kanalizacji ogólnospławnej, będący wynikiem przyłączenie do miasta nowych obszarów. Tereny te zostały ustalone zgodnie z obowiązującym „*Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Przemysła*” [11].

Na podstawie danych uzyskanych od eksploatatora systemu kanalizacyjnego stworzono model hydrodynamiczny zlewni dzielnicy Zasanie. Model ten został zbudowany w programie *Storm Water Management Model* [12] na podstawie projektu istniejącej sieci kanalizacyjnej miasta i planów zagospodarowania przestrzennego. Do symulacji wykorzystano rzeczywiste dane opadowe, zarejestrowane na deszczomierzach w Przemysłu.

Celem przeprowadzonej analizy było określenie wpływu rozwoju terenów miejskich na przepływy ścieków systemem kanalizacyjnym. Uzyskane wyniki takiej analizy powinny być brane pod uwagę przez władze miast przy planowanym dołączaniu kolejnych terenów, gdyż istniejące systemy kanalizacyjne często nie są w stanie przyjąć i odprowadzić nadmiernych ilości wód deszczowych. Rozwiązaniem tego problemu może być jednak zastosowanie na sieciach retencji zbiornikowej [13, 14] lub uwzględnienie już na etapie tworzenia miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego urządzeń i obiektów stosowanych w zrównoważonym zarządzaniu wodami opadowymi.

### Opis modelu symulacyjnego

Analiza została przeprowadzona na modelu rzeczywistej zlewni dzielnicy Zasanie miasta Przemysła, położonego nad rzeką San w południowo-wschodniej Polsce. Na analizowanym obszarze, który obejmuje łącznie prawie 633 ha, przeważa zabudowa jedno- i wielorodzinna oraz usługowa.

Model hydrodynamiczny wykonano w programie SWMM (*Storm Water Management Model*), który został opracowany przez amerykańską Agencję Ochrony Środowiska - USEPA [12]. Narzędzie to pozwala na analizowanie zmian parametrów charakteryzujących zlewnię, takich jak: opad, odpływ i straty hydrologiczne, oraz na szczegółową analizę zmienności przepływu i położenia zwierciadła ścieków w czasie i na długości przewodu z wykorzystaniem równań de Saint-Venanta. Umożliwia również badanie spiętrzeń i przepływów wstecznych w kanałach, dzięki czemu otrzymuje się kompletny opis zjawisk, które występują w czasie przepływu ścieków deszczowych systemem kanalizacyjnym.

Na podstawie projektu systemu kanalizacyjnego tej dzielnicy, charakteru zabudowy oraz ukształtowania terenu rozpatrywana zlewnia została podzielona na 40 podzlewni o odpowiednim współczynniku spływu, którego wartość waha się od 0,1 do 0,6.

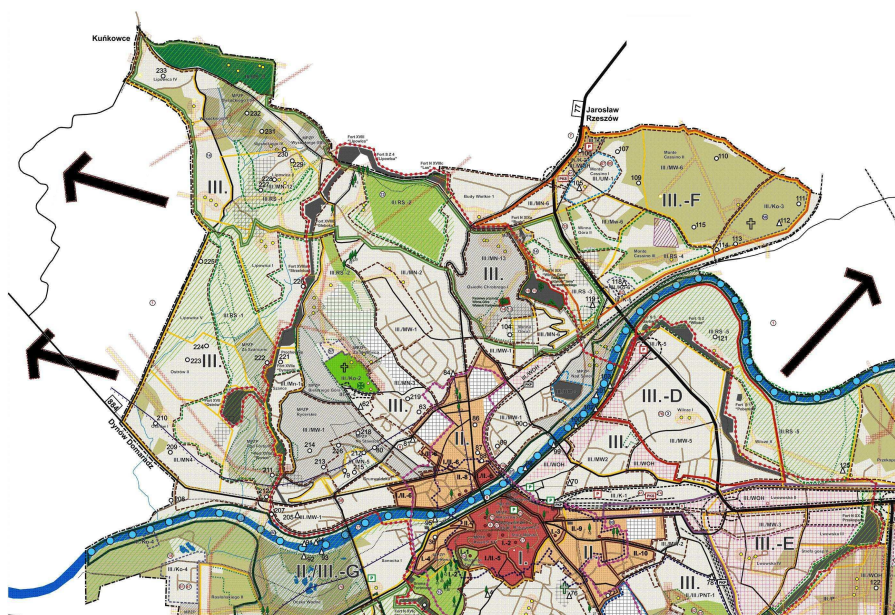
Przemysł posiada głównie system kanalizacji ogólnospławnej. Z dzielnicy Zasanie, która stanowi lewobrzeżną zlewnię rzeki San, ścieki za pomocą pompowni o wydajności 900 dm<sup>3</sup>/s transportowane są ciśnieniowo na drugą stronę, a następnie po połączeniu z prawobrzeżnym kolektorem odprowadzane są do oczyszczalni ścieków. Przed przepompownią zlokalizowany jest przelew burzowy, z którego ścieki zrzucane są do rzeki San.

Model hydrodynamiczny sieci kanalizacyjnej dzielnicy Zasanie zbudowany jest z 81 głównych odcinków o przekroju kołowym i jajowym. W obliczeniach przyjęto współczynnik szorstkości Manninga dla tych kanałów w granicach 0,013÷0,018.

Symulacje zostały przeprowadzone z wykorzystaniem rzeczywistych danych opadowych z lat 2007-2008, które uzyskano z 3 deszczomierzy zlokalizowanych w dzielnicy Zasanie.

### Opis analizowanego wariantu rozbudowy miasta Przemyśla

Zgodnie ze Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Przemyśla [11], założono, iż jego lewobrzeżna część zostanie rozbudowana w wyniku przyłączenia nowych terenów. Kierunki rozwoju zostały zaznaczone strzałkami na rysunku 1.



Rys. 1. Kierunki rozwoju lewobrzeżnej dzielnicy Zasanie zgodnie ze Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego miasta Przemyśla [11]

Fig. 1. Directions of the development of the left bank quarter - Zasanie in compliance with development plan of the city of Przemyśl [11]

Obecnie obszary, które zostaną przyłączone do miasta, są to tereny pokryte roślinnością i nawierzchniami nieutwardzonymi, z których wody opadowe w zdecydowanej ilości wsiąkają do gruntu, a tylko niewielka ich część tworzy spływ powierzchniowy. W przypadku poszerzenia granic miasta o te tereny założono, iż powstaną na nich nowe osiedla mieszkaniowe wraz z ulicami, parkingami, chodnikami i ścieżkami rowerowymi oraz wielkopowierzchniowe obiekty handlowe. W wyniku procesu urbanizacji nastąpi wzrost stopnia uszczelnienia zlewni, powodujący intensyfikację odpływu wód opadowych do istniejącego systemu kanalizacyjnego.

Model hydrodynamiczny został rozbudowany o 4 podzlewnie: SR1, SR2, SR3 i SR4, o powierzchni 15 ha każda, których lokalizację przedstawiono na rysunku 2. Współczynnik

splywu wyznaczono na poziomie średniej wartości współczynnika charakteryzującego istniejące zlewnie i wynosi on 0,4.

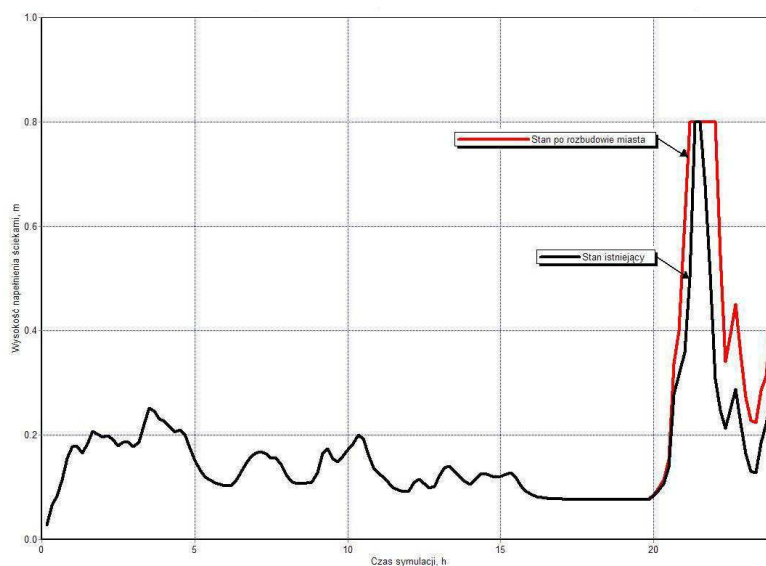


Rys. 2. Schemat analizowanej zlewni dzielnicy Zasanie miasta Przemysła po planowanym przyłączeniu nowych terenów

Fig. 2. Scheme of the analyzed Zasanie quarter in Przemysł after planned joining of the new areas to the city

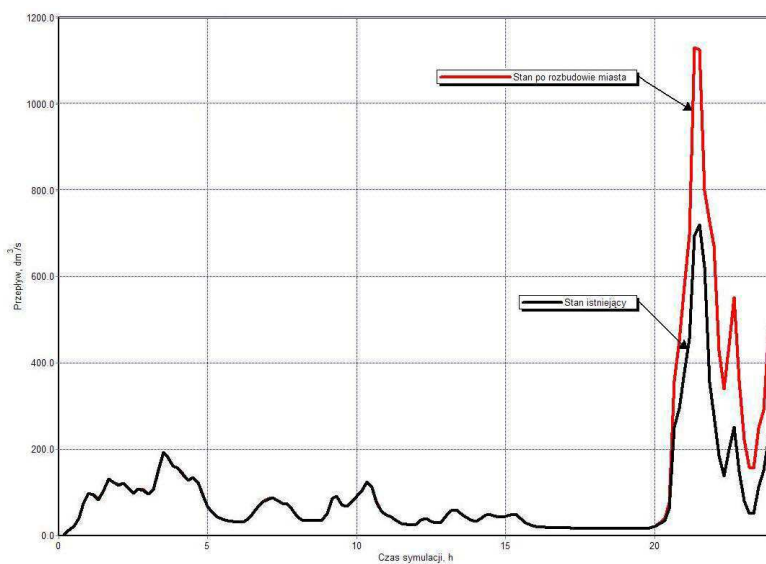
### Analiza wyników symulacji

Symulację funkcjonowania systemu kanalizacyjnego przeprowadzono dla wybranych opadów dla stanu istniejącego oraz dla założonego wariantu rozwoju dzielnicy Zasanie. Przyłączenie nowych terenów do miasta spowodowało wzrost ilości ścieków odprowadzanych do istniejącej sieci kanalizacyjnej, co wpłynęło m.in. na wydłużenie czasu ciśnieniowych przepływów kanałami. Przebadano cały system kanalizacyjny dla opadów o największym natężeniu, co pozwoliło wybrać odcinki sieci najbardziej narażone na wystąpienie ciśnieniowych przepływów i mogące powodować straty materialne w wyniku wylewu ścieków na tereny zabudowane. Wyniki symulacji obrazujące taką sytuację przedstawiono na rysunku 3. Przewód o średnicy 0,8 m, do którego spływają ścieki z dwóch nowo przyłączonych podzlewni w stanie istniejącym chwilowo, działał już pod ciśnieniem. Dodatkowe obciążenie go ściekami z analizowanych terenów spowodowało znaczne wydłużenie czasu, w którym ścieki płyną pod ciśnieniem. Natomiast na rysunku 4 pokazano przepływy ścieków tym kanałem dla stanu istniejącego i stanu po rozbudowie miasta.



Rys. 3. Wysokość napełnienia ściekami w kanale, do którego spływają ścieki deszczowe z nowo przyłączonych podzlewni SR2 i SR3 dla opadu z dnia 9 maja 2007 r.

Fig. 3. Level of sewage in canal in newly joined subcatchment SR2 and SR3 estimated for the precipitation from 09/05/2007

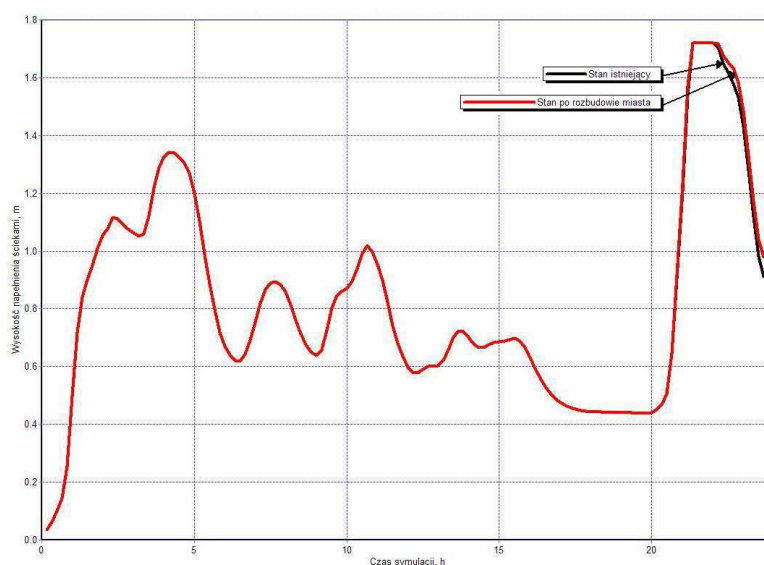


Rys. 4. Przepływ ścieków w kanale, do którego spływają ścieki deszczowe z nowo przyłączonej podzlewni SR2 i SR3 dla opadu z dnia 9 maja 2007 r.

Fig. 4. Flow of the sewage in canal in newly joined subcatchment SR2 and SR3 estimated for the precipitation from 09/05/2007



Przeanalizowano również wpływ zwiększenia ilości ścieków na kolektor główny zlokalizowany przed przelewem burzowym. Wykonane badania wykazują nieznaczne różnice w przepływach i napełnieniu ściekami w tym kanale. W stanie istniejącym dla analizowanych deszczy przewód ten także działał pod ciśnieniem i dopływ dodatkowych objętości ścieków prawie w ogóle nie miał wpływu na jego funkcjonowanie. Wynikać to może z tego, iż sieć powyżej tego kolektora posiada pewną rezerwę retencyjną, która opóźniła w czasie dopływ ścieków do przeciążonego hydraulicznie kanału. Wyniki tych symulacji przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Wysokość napełnienia ściekami w kanale głównym zlokalizowanym przed przelewem burzowym dla opadu z dnia 9 maja 2007 r.

Fig. 5. Level of sewage in main canal, situated before storm overflow, estimated for the precipitation from 09/05/2007

### Podsumowanie i wnioski

Zagospodarowanie wód opadowych, zwłaszcza na terenach zurbanizowanych, staje się coraz większym problemem, gdyż rozwój miast i związany z tym wzrost powierzchni szczelnych wpływa na zwiększenie ilości wód deszczowych odprowadzanych do sieci kanalizacyjnych. W przypadku gdy system nie posiada rezerwy retencyjnej, mogą wystąpić niekorzystne zjawiska przeciążenia hydraulicznego kanałów oraz przepływów wstecznych.

Analiza funkcjonowania systemów kanalizacyjnych wykonana na podstawie ich modeli hydrodynamicznych jest niezwykle przydatna przy dołączaniu nowych zlewni do istniejącej sieci. Umożliwia nie tylko zlokalizowanie kanałów, w których dochodzi do dławienia przepływu, ale także pozwala na wybór najkorzystniejszego wariantu modernizacyjnego, uwzględniającego zastosowanie m.in. urządzeń i obiektów retencyjnych oraz infiltracyjno-retencyjnych.

W publikacji przeprowadzono badania symulacyjne pozwalające na określenie wpływu rozbudowy miasta Przemyśla na działanie sieci kanalizacyjnej. Uzyskane wyniki pokazały, iż w przypadku przyłączenia nowych zlewni o parametrach, które założono do obliczeń, nie będzie mieć to zbyt dużego znaczenia na przepływy ścieków kanałami. W sytuacji obecnej niektóre odcinki sieci działają już pod ciśnieniem i dopływ dodatkowych objętości ścieków wydłużył jedynie czas, w którym występuje dławienie przepływu w tych kanałach.

Aby ograniczyć niekorzystne zjawiska ciśnieniowych przepływów, należałoby się zastanowić nad możliwością zastosowania zarówno w zlewni istniejącej, jak i nowo projektowanej urządzeń i obiektów ekologicznej gospodarki wodami opadowymi, pozwalających na redukcję przepływu wód deszczowych.

### Literatura

- [1] Cities of tomorrow. Challenges, visions, ways forward. European Commission, Regional Policy; 2011. DOI:10.2776/41803.
- [2] World Urbanization Prospects: The 2005 Revision. New York: United Nations Population Division; 2005.
- [3] McDonald RI. Global urbanization: Can ecologists identify a sustainable way forward? *Front Ecol Environ.* 2008;6(2):99-104.
- [4] Booth DB, Hartley D, Jackson R. Forest cover, impervious-surface area, and the mitigation of stormwater impacts. *J Amer Water Resour Assoc.* 2002;38(3):835-845.
- [5] Burton GA, Pitt RE. *Stormwater Effects Handbook: A Toolbox for Watershed Managers Scientists, and Engineers.* Florida: CRC Press; 2002. <http://www.epa.gov/ednrmrl/publish/book/handbook/index.htm>.
- [6] Konrad CP, Booth DB. Hydrologic Trends Associated with Urban Development for Selected Streams in the Puget Sound Basin, Western Washington. U. S. Geological Survey Water Resources Investigations Report 02-4040. U.S. Geological Survey, U.S. Tacoma, Washington: Department of the Interior; 2002. <http://water.usgs.gov/pubs/wri/wri024040/pdf/WRIR02-4040.pdf>
- [7] May CW, Horner RR, Karr JR, Mar BW, Welch EB. Effects of Urbanization on Small Streams in the Puget Sound Ecoregion. In: *The Practice of Watershed Protection.* Schueler TR, Holland HK, editors. Maryland: Center for Watershed Protection; 2000:87-98.
- [8] Pitt R. Receiving Water and Other Impacts. In: *Innovative Urban Wet-Weather Flow Management Systems.* Heaney JP, Pitt R, Field R, editors. Publication No. EPA/600/R-99/029. Cincinnati, Ohio: National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency; 2000. <http://www.epa.gov/ednrmrl/publish/book/epa-600-r-99-029/>
- [9] Schueler TR. *Impacts of Impervious Cover on Aquatic Systems.* Watershed Protection Research Monograph No. 1. Center for Watershed Protection. Maryland: Ellicott City; 2003;142 pp.
- [10] Gómez M, Macchione F, Russo B. Inlet systems and risk criteria associated to street runoff. Application to urban drainage catchments. 27 Corso di Aggiornamento in "Tecniche per la difesa dall'inquinamento". Guardia Piemontese Terme (CS) 21-24 giugno 2006.
- [11] Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Przemyśla. [http://www.przemysl.pl/65/gospodarka\\_przestrzenna/studium\\_uwarunkowan\\_i\\_kier\\_zagospodar/](http://www.przemysl.pl/65/gospodarka_przestrzenna/studium_uwarunkowan_i_kier_zagospodar/)
- [12] US Environmental Protection Agency, SWMM v.5.018. <http://www.epa.gov/ednrmrl/models/swmm/>
- [13] Styś D, Dziopak J. Development of mathematical model for sewage pumping-station In the modernized combined sewage system for the Town of Przemyśl. *Polish J Environ Stud.* 2011;3:743-753.
- [14] Styś D, Dziopak J, Hypiak J. Hydrodynamic simulation of sewage inflow control to the Przemyśl town's left-bank pumping station. In: *Underground infrastructure of urban areas 2.* Madryas C, Nienartowicz B, Sztot A, editors. London: Taylor & Francis Group; 2012:233-242.

## INFLUENCE OF THE URBAN AREA DEVELOPMENT ON FUNCTIONING OF THE SEWERAGE SYSTEM IN THE CITY OF PRZEMYŚL

Faculty of Civil and Environmental Engineering, Department of Infrastructure and Sustainable Development  
Rzeszow University of Technology

**Abstract:** The paper presents the results of the analysis of the sewage system functioning in the city of Przemysl. It was assumed that, as a result of joining to the city new areas, the volume of stormwater discharged to existing combined sewer system would increase continuously. The information about the areas that are planned to be joined was drawn from current development plan of the city of Przemysl. On the basis of data received from the sewage system exploiter hydrodynamic model of the drainage basin of Zasanie quarter was created. The model is based on the existing sewerage network design and development plan of the city. Simulations with the use of real-life precipitation data collected by the pluviometer in Przemysl were carried out with the use of *Storm Water Management Model* program. The aim of the carried out analysis is determination of influence that development of the urban area has on sewage flows in the sewerage systems. Obtained result should be taken under consideration by the local governments whenever joining of the new areas to the city is being planned, since existing sewerage systems are frequently unable to take in and discharge excessive volume of stormwater. The solution to this problem can be, however, the use of retention reservoirs within the networks or taking into account, while preparing local development plans, devices and objects designed for sustainable rainwater management.

**Keywords:** sewerage systems, development of the cities, hydrodynamic model, SWMM