

Marek KUNISZYK<sup>1</sup> i Marcin K. WIDOMSKI<sup>1</sup>

## MODEL JAKOŚCIOWY KANALIZACJI SANITARNEJ WYBRANEGO OBSZARU MIASTA LUBLIN

### QUALITATIVE MODELING OF SELECTED PART OF SANITATION NETWORK IN LUBLIN, POLAND

**Abstrakt:** Eksploatacja i rozbudowa systemów kanalizacji sanitarnej jest zadaniem niosącym ze sobą potrzebę rozpatrzenia wielu złożonych zagadnień, w tym wpływu sieci kanalizacyjnej na środowisko. W rozważaniach tych należy brać pod uwagę, zmienną liczbę obsługiwanych użytkowników, zmiany technologiczne w zakładach przemysłowych i usługowych rzutujące na jakość odprowadzanych ścieków, zmianę świadomości sanitarnej ludności oraz postępujące zmiany społeczno-gospodarcze. W dobie szybkiego rozwoju technik komputerowych do analiz ilościowych oraz jakościowych systemów odprowadzania i oczyszczania ścieków coraz częściej stosuje się modelowanie numeryczne. Opracowanie niniejsze przedstawia zastosowanie modelu komputerowego do jakościowej analizy ścieków sanitarnych odprowadzanych z wybranego osiedla miasta Lubin, zamieszkiwanego przez ok. 7000 mieszkańców. Model kanalizacji sanitarnej rozpatrywanego obszaru został wykonany w programie SWMM5 opracowanym przez US EPA (United States Environmental Protection Agency). Analiza jakościowa została przeprowadzona w dniu o maksymalnym przepływie dobowym w roku, tj. 23.12.2011 r., w punkcie odpływu ścieków z osiedla do dalszej części sieci kanalizacji sanitarnej. W badaniach przeanalizowano zmiany ładunków charakterystycznych parametrów jakościowych ścieków: zawiesiny ogólnej, ChZT, BZT<sub>5</sub>, N<sub>og</sub>, P<sub>og</sub>. Uzyskane podczas symulacji wartości ładunków mogą być wykorzystane jako dane wejściowe dla modelu systemu oczyszczania ścieków miejskich. Brak kalibracji modelu powoduje, że otrzymane wyniki badań powinny być uważane za opracowania wstępne.

**Słowa kluczowe:** kanalizacja sanitarna, modelowanie numeryczne, analiza jakościowa

### Wstęp

Projektowanie i budowa systemów kanalizacji sanitarnej niesie za sobą potrzebę rozwiązania wielu istotnych problemów inżynierskich związanych z warunkami hydraulicznymi w przewodach [1-3] oraz jakością ścieków odprowadzanych do oczyszczalni [1, 4-11]. Wieloletnia praktyka inżynierska doprowadziła do określenia odpowiednich wytycznych i wartości wyjściowych używanych przy projektowaniu [1, 2].

Błędne określenie stężeń oraz ładunków zanieczyszczeń w ściekach dopływających do oczyszczalni może przełożyć się na błędny dobór technologii oczyszczania bądź też przewymiarowanie oczyszczalni ścieków, co z kolei pociąga za sobą straty ekonomiczne lub nieodpowiednie oczyszczenie ścieków oraz wiąże się z zagrożeniem dla jakości wód odbiornika [8, 9, 12].

Niewątpliwym ułatwieniem dla osób odpowiedzialnych za projektowanie i eksploatację systemów kanalizacji jest postępująca informatyzacja dająca możliwość budowy komputerowego modelu sieci kanalizacyjnej [13, 14]. Uzyskane za pomocą modelu informacje pozwalają, w ramach analizy wielowariantowej uwzględniającej także np. infiltrację czy eksfiltrację ścieków oraz stan wilgotnościowy gruntów, w których posadowione są przewody [15], przeanalizować zdarzenia możliwe podczas eksploatacji

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, email: marek\_kuniszyk@o2.pl, M.Widomski@wis.pol.lublin.pl

\* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'12, Zakopane, 10-13.10.2012

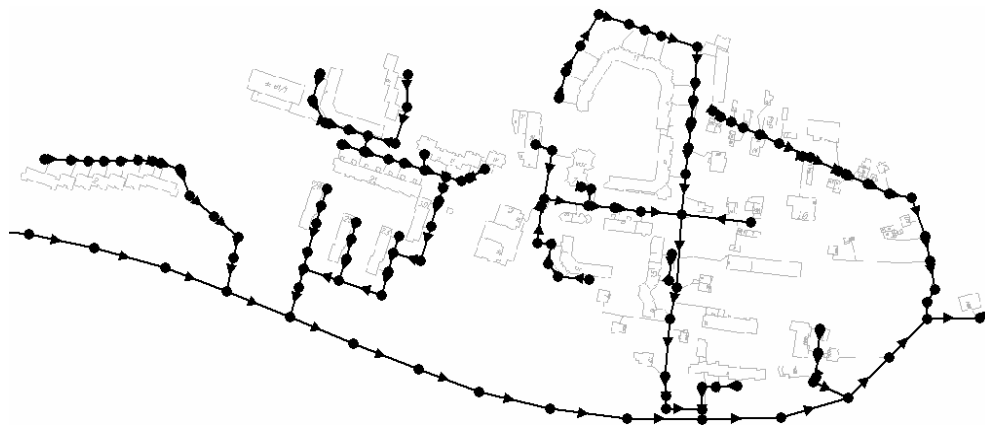
sieci kanalizacyjnej, jak również wybrać najlepsze warianty rozwiązań dla projektowanej bądź eksploatowanej sieci [11, 13, 14, 16]. Jednym z najpopularniejszych programów do budowy wspomnianych powyżej modeli jest opracowany przez United States Environmental Protection Agency (USEPA) SWMM 5 (Storm Water Management Model). Program ten umożliwia kinematyczną oraz dynamiczną analizę ilościową i jakościową sytuacji i zjawisk, jakie mogą mieć miejsce w kanalizacji sanitarnej, deszczowej oraz ogólnospławnej [13, 14, 16, 17].

Zaprezentowane badania miały na celu przeprowadzenie analizy ilościowo-jakościowej sieci kanalizacyjnej odprowadzającej ścieki sanitarne z osiedla Górki w m. Lublin. Ustalenie ładunków transportowanych zanieczyszczeń w zależności od użytkowników sieci daje możliwość prognozowania zmian tych parametrów w czasie.

### Material i metody

Objęty badaniami obszar miasta Lublin to osiedle Górki, położone w południowej części miasta, na zróżnicowanym topograficznie terenie, charakteryzującym się znaczną zmiennością wysokości położenia. Zabudowa os. Górki odprowadza ścieki do kolektora B8 kanalizacji sanitarnej miasta. Na osiedlu usytuowane są budynki mieszkalne jedno- i wielorodzinne, 2 przedszkola oraz małe zakłady usługowe. Osiedle zamieszkuje ok. 7000 osób. Sieć kanalizacyjna wykonana jest z przewodów o średnicach od 0,20 m do 0,80 m i posiada łączną długość 3,86 km. Przewody wykonano z następujących materiałów: żelbet VIPRO - 1,049 km, stal - 0,373 km, kamionka - 1,985 km, PVC - 0,331 km, PE HD - 0,122 km. Na badanym obszarze znajdują się 132 studzienki kanalizacyjne. Dopływ ścieków sanitarnych pochodzi z 63 budynków podłączonych do 82 studzienek.

Model kanalizacji sanitarnej rozpatrywanego obszaru został wykonany w programie SWMM5 (rys. 1). Parametry niezbędne do budowy modelu zostały uzyskane w Miejskim Przedsiębiorstwie Wodociągów i Kanalizacji w Lublinie Sp. z o.o.



Rys. 1. Schemat modelowanej sieci kanalizacji sanitarnej

Fig. 1. Schema of analyzed sanitation network

Przeprowadzono szereg badań symulacyjnych związanych z warunkami hydraulicznymi sieci, przeanalizowano zmienność stężeń i ładunków pięciu charakterystycznych parametrów jakościowych ścieków: zawiesiny ogólnej ( $Z_{og}$ ), ChZT, BZT<sub>5</sub>,  $N_{og}$ ,  $P_{og}$  [18-21]. Wartości stężeń zanieczyszczeń w ściekach dla poszczególnych użytkowników (tab. 1) zostały wprowadzone do modelu ze źródeł literaturowych [9, 22, 23].

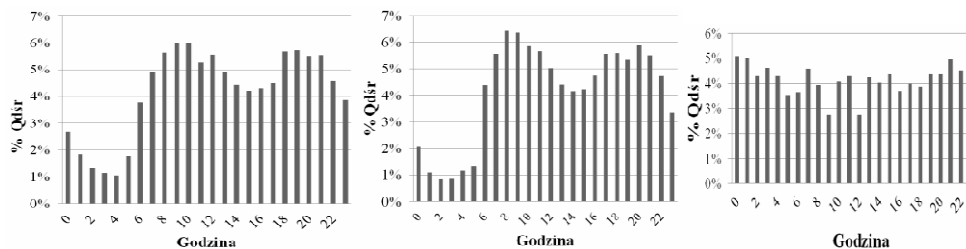
Tabela 1  
Wartości jednostkowych stężeń zanieczyszczeń w ściekach sanitarnych dla poszczególnych użytkowników, dane wejściowe [9, 22, 23]

Table 1  
Values of pollutants indicators concentration for different types of buildings [9, 22, 23]

	Budynki jednorodzinne	Budynki wielorodzinne	Przedszkola
Zawiesina <sub>og</sub> (TSS) [mg/dm <sup>3</sup> ]	276,3	318,5	400
BZT <sub>5</sub> (BOD <sub>5</sub> ) [mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	277	299	360
ChZT (COD) [mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	535	600	600
$N_{og}$ ( $N_{Tot}$ ) [mg/dm <sup>3</sup> ]	111,4	47	111,4
$P_{og}$ ( $P_{Tot}$ ) [mg/dm <sup>3</sup> ]	36,1	11,8	36,1

Symulacja została wykonana dla dnia o maksymalnym dobowym rozborze wody w roku, tj. 23.12.2011 r. Czas trwania symulacji wynosi 24 godziny. Dzięki wprowadzeniu szczegółowych wzorców nierównomierności rozbioru wody dla poszczególnych użytkowników [24, 25] możliwe jest uzyskanie orientacyjnych wyników bez konieczności wykonania dodatkowych pomiarów (rys. 2).

Rozkład stężeń badanych zanieczyszczeń zawartych w ściekach w ciągu doby został wygenerowany za pomocą modelu dla przewodu zbiorczego, a następnie obliczone zostały ładunki tych zanieczyszczeń, które uwzględniają przepływ w tym przewodzie. Minimalny przepływ wynikający z wzorców nierównomierności rozbiorów wody przypada na godzinę 4, zaś maksymalny pomiędzy godzinami 8 a 10. Podczas przepływu minimalnego w większej części przewodów nie występowała prędkość zapewniająca samooczyszczanie z osadów. Występowanie jednego odpływu z osiedla pozwala na obserwację zmian stężeń oraz ładunków zanieczyszczeń dla ścieków odpływających z całego analizowanego obszaru.



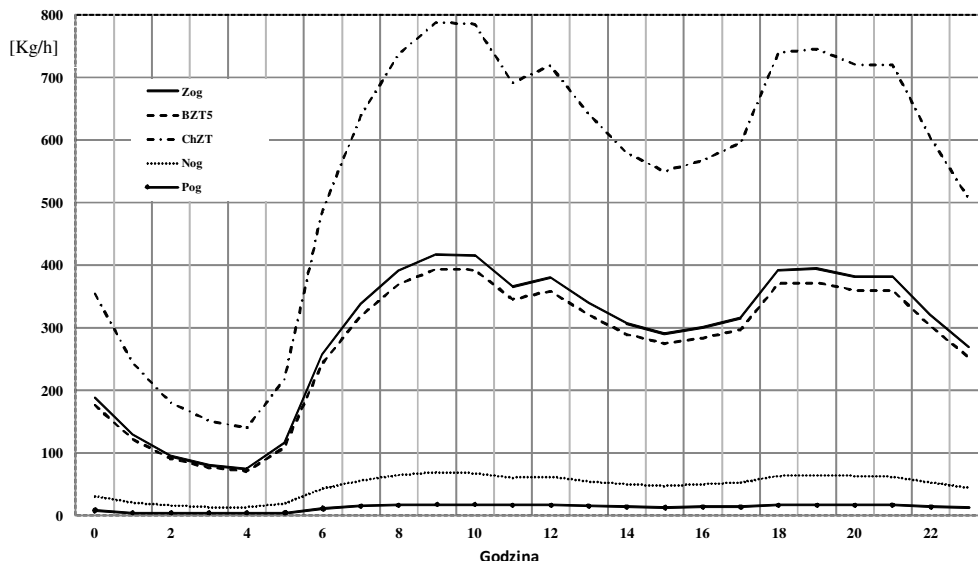
Rys. 2. Wykres zmian godzinowego rozbioru wody - budynki jednorodzinne, wielorodzinne i przedszkola [24]

Fig. 2. Applied hourly water demands for studied types of buildings: single family, multi family and kindergartens [24]

## Wyniki badań symulacyjnych

Analiza jakościowa ścieków komunalnych na badanym obszarze została oparta na obliczonych przez program SWMM ładunkach rozpatrywanych pięciu parametrów w przewodzie zbiorczym odprowadzającym ścieki z osiedla Górki. Rozkład wartości ładunków zawiesiny ogólnej, ChZT, BZT,  $N_{og}$ ,  $P_{og}$  w dniu o maksymalnym rozbieżności dobowym przedstawiają krzywe zamieszczone na rysunku 3.

Na podstawie uzyskanych wartości ładunków zanieczyszczeń w ściekach można przygotować dane do modelu symulującego pracę systemów oczyszczania ścieków i sprawdzić, czy dla przyjętej technologii i urządzeń spełnione zostaną wymagania zawarte w Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. (wraz z aktualizacjami) w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.



Rys. 3. Ładunki  $Z_{og}$ ,  $BZT_5$ , ChZT,  $N_{og}$  oraz  $P_{og}$  odprowadzane ze ściekami sanitarnymi z osiedla Górki

Fig. 3. Load of TSS, BOD<sub>5</sub>, COD, TN and TP leaving the sanitation system in Gorki district, Lublin, Poland

Przebieg krzywych opisujących zmiany ładunków charakteryzuje się znaczną zmiennością dobową. Wspomniane zmiany wartości ładunków zanieczyszczeń powiązane są ze zmianami wielkości strumienia ścieków odprowadzanego z analizowanego osiedla. Ładunek zawiesiny ogólnej określony za pomocą modelu waha się pomiędzy 74 kg/h o godzinie 4 do 416,9 kg/h o godzinie 9. Ładunki  $BZT_5$  zawierają się w przedziale od 69,8 kg/h o godzinie 4 do 392,9 kg/h o godzinie 9. Wielkość ładunku ChZT zmienia się w trakcie symulowanej doby od 139,7 kg/h o godzinie 4 do 786,6 kg/h o godzinie 9. Z kolei wartość ładunku  $N_{og}$  zawiera się w przedziale od 12,1 do 67,8 kg/h, zaś  $P_{og}$  w przedziale od 3,2 do 17,8 kg/h odpowiednio o godzinie 4 i 9.

## Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania wskazują na przydatność zastosowania modelowania numerycznego w ilościowej i jakościowej analizie pracy sieci kanalizacji sanitarnej w m. Lublin. Uzyskano możliwość analizy jakościowej zjawisk hydraulicznych oraz parametrów ścieków w istniejącej sieci kanalizacji sanitarnej.

Na podstawie analizy nierównomierności rozbioru wody, krzywej przepływów w przewodzie odprowadzającym ścieki z osiedla oraz krzywych ładunków zanieczyszczeń w ściekach na badanym obszarze można wysunąć następujące wnioski:

- w godzinach maksymalnych rozborów, tj. 8-10, w znacznej ilości przewodów nie występują prędkości samooczyszczania, co może prowadzić do zamuleń i awarii, a także zagniwania ścieków w przewodach;
- badana kanalizacja obsługuje kilka grup odbiorów, wynikiem tego są zmienne stężenia zanieczyszczeń w przewodzie wylotowym, których zmiany nie pokrywają się całkowicie ze zmianami strumienia ścieków od poszczególnych odbiorców wody, co widoczne jest głównie w przypadku zawiesiny ogólnej, BZT<sub>5</sub> oraz ChZT;
- pomimo wspomnianych powyżej rozbieżności, zmiany ładunków rozpatrywanych zanieczyszczeń w analizowanym przewodzie zbiorczym następują zgodnie ze zmianami wielkości strumienia ścieków i swoje maksymalne wartości osiągają o godzinie 9, natomiast minimalne o godzinie 4.

Zaprezentowane badania należy traktować jako wstępne, gdyż z przyczyn obiektywnych nie przeprowadzono kalibracji modelu istniejącej sieci kanalizacji sanitarnej.

## Podziękowania

Autorzy składają podziękowania dla Zarządu oraz pracowników MPWiK sp. z o.o. w Lublinie za udostępnienie danych niezbędnych do budowy modelu numerycznego prezentowanego w niniejszym opracowaniu.

## Literatura

- [1] Heidrich Z. Wodociągi i kanalizacja, część 2 Kanalizacja. Warszawa: WSIP; 1999.
- [2] Warunki techniczne wykonania i odbioru sieci kanalizacyjnych. Warszawa: Wymagania Techniczne CORBTI Instal; 2003.
- [3] Jilili A, Jaromin K, Widomski M, Łagód G. Influence of conduit geometrical characteristics on sewage flow parameters. Proc ECOpole. 2008;2(2):329-335.
- [4] Jilili A, Jaromin K, Widomski M, Łagód G. Characteristics of sediments in chosen system of gravitational sanitation. Proc ECOpole. 2009;3(1):147-152.
- [5] Jaromin K, Borkowski T, Łagód G, Widomski M.: Influence of material, duration and exploitation manner of sanitation conduits on sewage flow velocity. Proc ECOpole. 2009;3(1):139-145.
- [6] Jilili A, Jaromin K, Widomski M, Łagód G. Some models of sediments transport in gravitational sanitation systems. Ecol Chem Eng A. 2011;18(11):1467-1476.
- [7] Łagód G, Sobczuk H. Influence of flow parameters on aerobic biodegradation of pollutants in sewer system. Proc ECOpole. 2007;1(1-2):181-186.
- [8] Wrobel K, Łagód G, Sobczuk H. Analysis of pollutants load variation in sewages entering the municipal wastewater treatment plant - Warsaw and Lublin case study. Proc ECOpole. 2008;2(2):499-504.
- [9] Rostowska A, Siedlecka E. Ocena skuteczności miejskiej oczyszczalni ścieków w Tczewie. Ochr Środow. 1999;1(72):13-17.
- [10] Łagód G, Sobczuk H, Suchorab Z. Biofilm in gravitational sewer system and its influence on wastewater biodegradation. Proc ECOpole. 2009;3(1):179-184.

- [11] Łagód G, Sobczuk H, Suchorab Z, Sobczuk H. Advection-dispersion pollutant and dissolved oxygen transport as a part of sewage biodegradation model. *Environ Protect.* 2009;35(3):305-317.
- [12] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (DzU z dnia 31 lipca 2006 r.).
- [13] Gironás JL, Roesner A, Davis J. Storm Water Management Model Applications Manual. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency; 2009.
- [14] Rossman LA. Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency; 2009.
- [15] Krukowski I, Widomski M, Iwanek M, Łagód G. Exfiltration from sanitation pipes and transport of chosen pollutants - a model study. *Proc ECOpole.* 2010;4(2):425-431.
- [16] Gajuk D, Widomski MK, Musz A, Łagód G. Numerical modeling in quantitative and qualitative analysis of extension of storm sewage system. *Proc ECOpole.* 2011;5(1):209-215.
- [17] Temprano J, Arango O, Cagiao J, Suárez J, Tejero I. Stormwater quality calibration by SWMM: A case study in Northern Spain. *Water SA.* 2006;32(1):55-63.
- [18] Taebi A, Droste RL. Pollution loads in urban runoff and sanitary wastewater. *Sci Total Environ.* 2004;327:175-184. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2003.11.015.
- [19] Soonthornnonda P, Christensen ER. Source apportionment of pollutants and flows of combined sewer wastewater. *Water Res.* 2008;42:1989-1998. DOI: 10.1016/j.waters.2007.11.034.
- [20] Gasperi J, Gromaire MC., Kafi M, Moilleron R, Chebbo G. Contributions of wastewater, runoff and sewer deposit erosion to wet weather pollutant loads in combined sewer system. *Water Res.* 2010;44:5875-5886. DOI: 10.1016/j.watres.2010.07.008.
- [21] Brezonik PL, Stadelmann TH. Analysis and predictive models of stormwater runoff volumes, loads and pollutant concentrations from watersheds in the Twin Cities metropolitan area, Minnesota, USA. *Water Res.* 2002;36:1743-1757. DOI: 10.1016/S0043-1354(01)00375-X.
- [22] Józwiak K. Badania skuteczności oczyszczania ścieków w wybranych systemach gruntowo-roślinnych. Kraków: Polska Akademia Nauk.; 2012.
- [23] Technical memorandum NO. 102 wastewater flow and load projections. City and County of San Francisco 2030 Sewer System Master Plan. 2009.
- [24] Funk A, DeOreo WB. Embadded energy in water studies, Study 3End-use water demans profiles. Managed by California Institute for Energy and Enviromental. Aquacraft, Inc.; 2011.
- [25] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dn. 12.01.2002 r. w s. określenia przeciętnych norm zużycia wody (DzU 2001, Nr 72, poz 747).

## QUALITATIVE MODELING OF SELECTED PART OF SANITATION NETWORK IN LUBLIN, POLAND

Faculty of Environmental Engineering, Lublin University of Technology

**Abstract:** Exploitation and development of urban sanitation systems are the tasks, which require solving numerous complicated problems, including impacts of the system on the local natural environment. The variable number of sanitation users, technological changes in industry sites and services, alternation of environmental and sanitary awareness and developing social changes should be included in such analyses. Nowadays, in the era of rapid computerization progress, the numerical modeling is being commonly involved in quantitative and qualitative analyses of sanitation systems. This paper presents the application of numerical modeling to qualitative analysis of sanitary wastewater system for the selected part of Lublin city, Poland, with population reaching 7000. The numerical model of sanitation network was performed in SWMM 5 software developed by US EPA (United States Environmental Protection Agency). Our analyses were conducted for the day of maximum daily sewage discharge and for the final point of the tested part of sanitation network - outflow to the further part of the municipal sanitation system. The variability of basic characteristics of wastewater such as loads of TSS, COD, BOD<sub>5</sub>, TN and TP was discussed in our studies. The lack of model calibration suggests that our results should be treated as preliminary.

**Keywords:** sanitation, numerical modeling, qualitative analysis