

Katarzyna M. JAROMIN-GLEŃ<sup>1</sup>, Marcin K. WIDOMSKI<sup>1</sup>, Grzegorz ŁAGÓD<sup>1</sup>  
i Wojciech MAZUREK<sup>2</sup>

## STĘŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ W ŚCIEKACH DESZCZOWYCH DLA WYBRANEJ ZLEWNI MIASTA LUBLIN

### CONCENTRATIONS OF POLLUTANTS IN STORM WASTEWATER FOR SELECTED CATCHMENT IN LUBLIN, POLAND

**Abstrakt:** Modelowanie numeryczne jakości ścieków opadowych staje się coraz bardziej popularnym i użytecznym narzędziem wykorzystywanym w celu oceny wpływu zanieczyszczeń transportowanych w kanalizacji deszczowej na wody odbiornika, którym z reguły są rzeki. Jednakże dokładność obliczeń numerycznych zależy bezpośrednio od zebranych i wprowadzonych do modelu danych wejściowych oraz prawidłowej jego kalibracji. Niezbędne dane wejściowe modelu obejmują charakterystyki oraz współczynniki równań empirycznych, dotyczące analizowanych zanieczyszczeń zmywanych ze zlewni. Praca przedstawia analizę stężeń wskaźników zanieczyszczeń w wodach deszczowych zrzucanych do rzeki Bystrzycy ze zlewni mającej swoje ujście przy ulicy Muzycznej w Lublinie w miesiącach letnich roku 2011. W zakres pracy wchodzi opis wybranych charakterystyk analizowanej zlewni oraz charakterystyka analizowanego opadu. Pomiar jakościowe ścieków deszczowych odprowadzanych do odbiornika obejmują ChZT, BZT<sub>5</sub>, mętność, barwę, zawiesinę ogólną, zawiesinę łatwo opadającą, stężenie O<sub>2</sub>, temperaturę oraz pH. Zmiany w jakości ścieków zostały omówione w zależności od właściwości deszczu. Prezentowane wyniki pomiarów są pierwszym krokiem na drodze budowy i kalibracji modelu komputerowego wymaganym dla miarodajnego prognozowania wpływu ścieków deszczowych analizowanej zlewni na jakość odbiornika - rzeki Bystrzycy.

**Słowa kluczowe:** jakość wód opadowych, wskaźniki zanieczyszczeń, kanalizacja deszczowa, modelowanie numeryczne

Projektowanie i eksploatacja miejskich systemów kanalizacji deszczowej jest złożonym i wymagającym zagadnieniem inżynierskim, zwykle przysparzającym liczne problemy ze względu na: występujące często powiększenie powierzchni zlewni, zmianę stopnia uszczelnienia odwadnianych powierzchni, wzrost natężenia spływu powierzchniowego. Idą za tym zmiany przepływu ścieków deszczowych oraz ładunków przenoszonych zanieczyszczeń, wynikające ze zmiany powierzchni i charakteru zlewni [1]. Koniecznością eksploatacyjną jest zapewnienie odpowiednich warunków przepływu ścieków deszczowych w przewodach kanalizacyjnych, mających na celu samoczynne płukanie przewodów oraz usuwanie nagromadzonych osadów przez przepływające ścieki [2, 3].

Ścieki deszczowe, jak wykazują badania literaturowe, w zależności od rodzaju i sposobu wykorzystania odwadnianej powierzchni zurbanizowanej przenoszą znaczne stężenia zanieczyszczeń, tj. zawiesinę ogólną, ChZT, BZT<sub>5</sub>, związki azotu, metale ciężkie oraz związki ropopochodne [4-8]. W związku z tym, zgodnie z Ramową Dyrektywą Wodną [9], w wielu przypadkach w krajach europejskich dąży się do ograniczenia stosowania kanalizacji deszczowej na rzecz zatrzymywania i oczyszczania ścieków deszczowych w miejscu ich powstawania w celu zachowania dotychczasowej jakości wód odbiorników

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, email: k.m.jaromin@gmail.com

<sup>2</sup> Instytut Agrofizyki, Polska Akademia Nauk, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin

ścieków [10, 11]. Stąd analiza wpływu zwiększonego zrzutu ścieków deszczowych na jakość wód odbiornika, przeprowadzona zarówno dla istniejącej, jak i projektowanej kanalizacji deszczowej, wydaje się koniecznością [12].

Znacznym ułatwieniem w analizie wpływu ścieków deszczowych na wody odbiorników może okazać się zastosowanie modelowania numerycznego. Umożliwia ono wariantowe analizy funkcjonowania kanalizacji deszczowej dla zróżnicowanych opadów oraz różnorodnego sposobu odwadniania i podłączania nowych zlewni o różnym stopniu uszczelnienia powierzchni. Jednakże dokładność obliczeń numerycznych zależy bezpośrednio od zebranych i wprowadzonych do modelu danych wejściowych oraz prawidłowej jego kalibracji. Niezbędne dane wejściowe modelu obejmują charakterystyki oraz współczynniki równań empirycznych dotyczące analizowanych zanieczyszczeń zmywanych ze zlewni [13-18]. Pierwszym krokiem w przygotowywaniu modelu jakościowego pracy sieci kanalizacji deszczowej jest więc, poza określeniem właściwości opadów występujących na terenie modelowanej zlewni, wyznaczenie charakterystyk jakościowych wód deszczowych trafiających do odbiornika.

Praca przedstawia analizę stężeń wskaźników zanieczyszczeń w wodach deszczowych zrzucanych do rzeki Bystrzycy ze zlewni, mającej swoje ujście przy ulicy Muzycznej w Lublinie w wybranym miesiącu letnim roku 2011. W zakres pracy wchodzi opis wybranych charakterystyk analizowanej zlewni oraz charakterystyka analizowanych opadów. Pomiary jakościowe ścieków deszczowych odprowadzanych do odbiornika obejmowały ChZT, BZT<sub>5</sub>, mętność, zawiesinę łatwoopadającą, stężenie O<sub>2</sub>, zawartość azotu amonowego, azotynów, azotanów, temperaturę oraz pH.

## **Materiał i metody**

Badana zlewnia znajduje się w centralnej części miasta Lublina na zachodnim brzegu rzeczki Bystrzycy. Na terenie zlewni znajdują się obszary o różnym przeznaczeniu urbanistycznym, tj. osiedla mieszkaniowe zabudowy wysokiej i średniej, dzielnice zabudowy niskiej, jednorodzinnej, tereny usługowe i rekreacyjne, parki, place, boiska sportowe oraz liczne ciągi komunikacyjne. Ścieki deszczowe z badanej zlewni odprowadzane są bezpośrednio poprzez system kanalizacji deszczowej do rzeki Bystrzycy (42,4 km biegu rzeki). Zrzut ścieków do odbiornika jest realizowany poprzez przewód kołowy o średnicy 1500 mm.

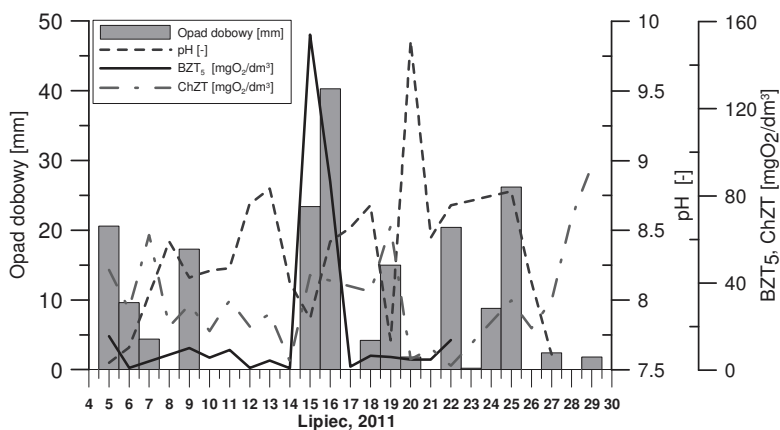
Niniejsze badania obejmowały określenie podstawowych charakterystyk jakościowych ścieków deszczowych zrzucanych do rzeki Bystrzycy w lipcu 2011 r.: zawiesinę łatwoopadającą, BZT<sub>5</sub>, ChZT, stężenie O<sub>2</sub>, pH, mętność, zawartość azotu amonowego, azotynów, azotanów. Pomiary mętności, zawiesiny łatwoopadającej oraz zawartości form azotu w ściekach deszczowych przeprowadzono za pomocą spektrofotometru HACH DR2800 firmy HACH-Lange. Kolejno stężenia O<sub>2</sub>, temperatura i pH pomierzono HQ40D, multi-Versatile, HACH-Lange. Natomiast ChZT i BZT<sub>5</sub> badano zgodnie z wytycznymi zawartymi w polskich normach PN-EN ISO 8467:2001 i PN-EN 1899-1:2002. Pomiary hydrometryczne wysokości deszczu prowadzono za pomocą deszczomierza ARG100 o powierzchni zbierającej 507 cm<sup>2</sup>. Sumy godzinowe rejestrowane były przez datalogger DL2e firmy Delta-T Devices. Wartość maksymalna wysokości opadu osiągnęła 40,3 mm,

natomiast wysokość minimalna 0,2 mm, ponadto suma opadów w lipcu 2011 r. wyniosła 196,4 mm w czasie 15 dni, w których występował opad.

Analizę statystyczną uzyskanych wyników, obejmującą ocenę korelacji przebiegu zmienności wartości badanych charakterystyk w funkcji czasu wykonano za pomocą programu Statistica PL.

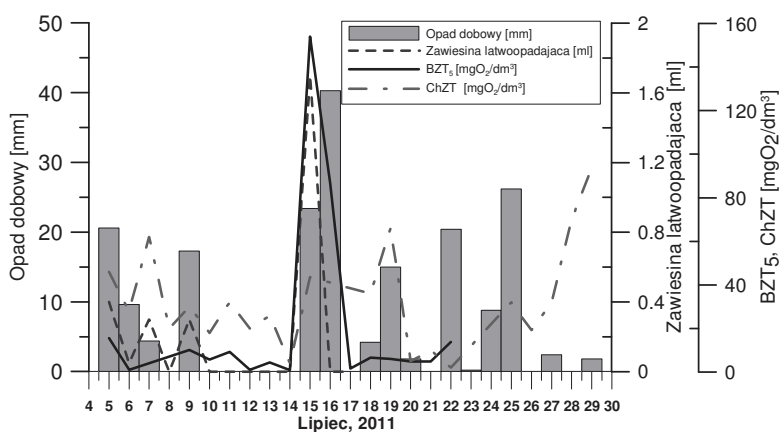
### Wyniki i dyskusja

Wyniki przeprowadzonych analiz obejmujące zmienność stężeń badanych zanieczyszczeń ścieków deszczowych w funkcji czasu (lipiec 2011 r.), zestawione z wysokością dobowych opadów atmosferycznych zostały przedstawione na rysunkach 1-3.



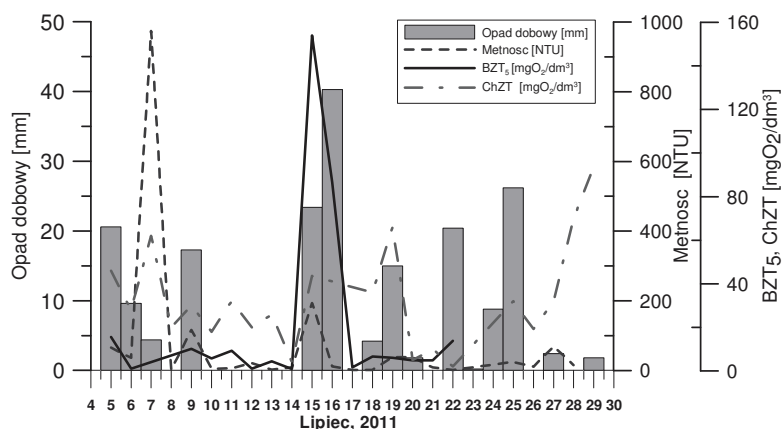
Rys. 1. Zmiana wartości stężeń pH, BZT<sub>5</sub> oraz ChZT w zależności od dobowego opadu

Fig. 1. Change of pH, BOD<sub>5</sub> and COD concentration, depending on daily precipitation



Rys. 2. Zmiana wartości stężeń zawiesiny łatwoopadającej (RSS), BZT<sub>5</sub> oraz ChZT w zależności od dobowego opadu

Fig. 2. Change of RSS, BOD<sub>5</sub> and COD concentration, depending on daily precipitation

Rys. 3. Zmiana wartości stężeń mętności, BZT<sub>5</sub> oraz ChZT w zależności od dobowego opaduFig. 3. Change of turbidity, BOD<sub>5</sub> and COD concentration, depending on daily precipitation

Analiza przedstawiona na powyższych rysunkach zestawienia wykresów przebiegu zmienności wartości zanieczyszczeń ścieków deszczowych w funkcji czasu z dziennymi sumami wysokości opadu atmosferycznego na badanej zlewni pokazuje wyraźną zależność pomiędzy ilością wody opadowej trafiającej na powierzchnię zlewni a stężeniem zanieczyszczeń.

Tabela 1 zawiera zestawienie współczynników korelacji dla analizowanych wskaźników zanieczyszczeń ścieków. Najwyższe powiązanie pomiędzy testowanymi grupami, sięgające  $R = 0,82 \div 0,94$  (korelacja może zostać uznana za silną), zaobserwowano dla zawiesiny łatwoopadającej i mętności, zawiesiny łatwoopadającej i ChZT oraz  $-\text{NO}_2$  i  $-\text{NO}_3$ . Dodatkowo, zaobserwowano szereg korelacji wyraźnych, w tym także o przebiegu odwrotnym, tzn. wzrost wartości jednej zmiennej koreluje ze zmniejszaniem się wartości drugiej. Ma to miejsce na przykład w przypadku stężenia tlenu oraz poziomu wskaźników zanieczyszczeń.

Tabela 1

Współczynniki korelacji

Table 1

Correlation coefficients

Zmienna	Mętność [NTU]	Zawiesina łatwoopad. [mg]	BZT <sub>5</sub>	ChZT	O <sub>2</sub> [cm <sup>3</sup> ]	pH [-]	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>
			[mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]				[mg/dm <sup>3</sup> ]	
Mętność	-	<b>0,94</b>	<b>0,72</b>	<b>0,74</b>	<b>-0,63</b>	n	n	n
Zawiesina łatwoopad.	<b>0,94</b>	-	<b>0,74</b>	<b>0,82</b>	<b>-0,64</b>	-0,5	0,49	0,53
BZT <sub>5</sub>	<b>0,72</b>	<b>0,74</b>	-	0,26	<b>-0,77</b>	-0,29	<b>0,66</b>	<b>0,60</b>
ChZT	<b>0,74</b>	<b>0,82</b>	0,26	-	-0,31	-0,49	0,21	0,33
O <sub>2</sub>	<b>-0,63</b>	<b>-0,64</b>	<b>-0,77</b>	-0,31	-	n	n	n
pH	n	-0,5	-0,29	-0,49	n	-	<b>-0,64</b>	<b>-0,75</b>
$-\text{NO}_2$	n	0,49	<b>0,66</b>	0,21	n	<b>-0,64</b>	-	<b>0,93</b>
$-\text{NO}_3$	n	0,53	<b>0,60</b>	0,33	n	<b>-0,75</b>	<b>0,93</b>	-

W tabeli 1 korelacje tej samej zmiennej oznaczono jako „-”, korelacje nieokreślone jako „n”, wyróżniono natomiast istotne statystycznie współczynniki korelacji wyznaczone dla poziomu prawdopodobieństwa (ufności)  $p < 0,05$ .

### Podsumowanie

Przeprowadzone obserwacje zmienności wybranych charakterystyk jakościowych wód deszczowych zrzucanych do rzeki Bystrzycy z badanej zlewni miejskiej miasta Lublina wykazały łatwą do zaobserwowania zależność pomiędzy wysokością opadu atmosferycznego a wartościami stężeń analizowanych wskaźników zanieczyszczeń. Najwyższe przyrosty wskaźników zanieczyszczeń wywołane wystąpieniem opadów zaobserwowano dla mętności, zawiesiny łatwoopadającej, BZT<sub>5</sub> i ChZT.

Wykonana analiza statystyczna, mająca na celu porównanie przebiegu zmienności w czasie funkcji opisujących wartości omawianych wskaźników zanieczyszczeń wykazała występowanie, wśród korelacji istotnych statystycznie, szeregu silnych powiązań pomiędzy dwiema zmiennymi (np.: zawiesina łatwoopadająca - mętność, zawiesina łatwoopadająca - ChZT oraz NO<sub>2</sub> - NO<sub>3</sub>) oraz szeregu związków wyraźnych, np. mętność - BZT<sub>5</sub>, mętność - ChZT, w tym także korelacji ujemnych, np.: BZT<sub>5</sub> - stężenie O<sub>2</sub>, pH - NO<sub>3</sub>.

Przeprowadzone badania mogą stanowić pierwszy krok w budowie numerycznego modelu jakościowego funkcjonowania kanalizacji deszczowej w wybranej zlewni miejskiej m. Lublin, wymaganego dla miarodajnego prognozowania wpływu ścieków deszczowych analizowanej zlewni na jakość odbiornika - rzeki Bystrzycy. Dalsze badania, umożliwiające określenie danych wejściowych oraz pozwalające na kalibrację modelu, będą obejmować analizę przebiegu zmienności testowanych wskaźników jakościowych w czasie występowania poszczególnych opadów atmosferycznych.

### Podziękowania

Autorzy składają podziękowania członkom Studenckiego Koła Naukowego Inżynierii Ochrony Środowiska: M. Milner, B. Nizioł, J. Rózik, P. Szostak, A. Zaręba, R. Głowienka, D. Krawiec, A. Stańczak, K. Wierzchoń i B. Güler za pomoc w pobieraniu próbek oraz realizacji procedur pomiarowych.

### Literatura

- [1] Karnib A, Al-Hajjar J, Boissier D. An expert system to evaluate the sensitivity of urban areas to the functioning failure of storm drainage networks. *Urban Water*. 2002;4:43-51.
- [2] Jaromin K, Borkowski T, Łagód G, Widomski M. Analiza wpływu rodzaju materiału oraz czasu i sposobu eksploatacji kolektorów kanalizacji grawitacyjnej na prędkość przepływu ścieków. *Proc ECOpole*. 2009;3(1):139-145.
- [3] Jililati A, Jaromin K, Widomski M, Łagód G. Charakterystyka osadów w wybranym systemie kanalizacji grawitacyjnej. *Proc ECOpole*. 2009;3(1):147-152.
- [4] 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.
- [5] Joshi UM, Balasubramanian R. Characteristics and environmental mobility of trace elements in urban runoff. *Chemosphere*. 2010;80:310-318. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2010.03.059.
- [6] 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.

- [7] Gnecco I, Berretta C, Lanza LG, La Barbera P. Storm water pollution in the urban environment of Genoa, Italy. *Atmos Res.* 2005;77:60-73. DOI: 10.1016/j.atmosres.2004.10.017.
- [8] Soonthornnonda P, Christensen ER. Source apportionment of pollutants and flows of combined sewer wastewater. *Water Res.* 2008;42:1989 - 1998. DOI: 10.1016/j.watres.2007.11.034.
- [9] Ramowa Dyrektywa Wodna EU 2000/60/EC.
- [10] Lindholm OG, Nordeide T. Relevance of some criteria for sustainability in a project for disconnecting of storm runoff. *Environ. Impact Assess Rev.* 2000;20:413-423.
- [11] Villarreal EL, Semadeni-Davies A, Bengtsson L. Inner city stormwater control using a combination of best management practices. *Ecol Eng.* 2004;22:279-298. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2004.06.007.
- [12] Goonetilleke A, Thomas E, Ginn S, Gilbert D. Understanding the role of land use in urban stormwater quality management. *J Environ Manage.* 2005;74:31-42. DOI: 10.1016/j.jenvman.2004.08.006.
- [13] 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.
- [14] Temprano J, Arango O, Cagiao J, Suárez J, Tejero I. Stormwater quality calibration by SWMM: A case study in Northern Spain. *Water S.A.* 2006;32(1):55-63.
- [15] Cambez MJ, Pinho J, David LM. Using SWMM 5 in the continuous modelling of stormwater hydraulics and quality. *Methods.* 2008:1-10. (11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK; 2008).
- [16] Wang L, Wei J, Huang Y, Wang G, Maqsood I. Urban nonpoint source pollution buildup and washoff models for simulating storm runoff quality in the Los Angeles County. *Environ Pollut.* 2011;159(7):1932-1940. DOI: 10.1016/j.envpol.2011.03.019.
- [17] Gajuk D, Widomski MK, Musz A, Łągód G. Modelowanie numeryczne w ilościowej i jakościowej ocenie możliwości rozbudowy sieci kanalizacji deszczowej. *Proc ECOpole.* 2011;5(1):209-215.
- [18] Widomski MK, Musz A, Gajuk D, Łągód G. Numerical modeling in quantitative and qualitative analysis of storm sewage system extension. *Ecol Chem Eng A.* 2012;19(4-5):471-481. DOI: 10.2428/ecea.2012.19(04)049.

## CONCENTRATIONS OF POLLUTANTS IN STORM WASTEWATER FOR SELECTED CATCHMENT IN LUBLIN, POLAND

<sup>1</sup> Faculty of Environmental Engineering, Lublin University of Technology

<sup>2</sup> Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Lublin

**Abstract:** Numerical modelling of storm wastewater quality becomes a very popular and useful tool in assessment of surface water runoff from urban areas impact on water bodies of sewage receivers, usually the rivers. However, reliability of qualitative numerical calculations results depends directly on the gathered input data to modeling and successful calibration of the developed model. Necessary input data cover description of the modeled rainfall event and coefficients for empirical equations describing pollutants buildup and washoff, while measurements of selected pollutants are required to model calibration. This paper presents analysis of pollutants concentration in storm wastewater discharged to the Bystrzyca River from the drainage system of Muzyczna St. basin, Lublin, Poland during the selected recent rainfall event in summer of 2011. The description of selected basin and characteristics of studied rainfall event were presented. Qualitative measurements of storm wastewater discharged from drainage system conducted in our research covered COD, BOD, turbidity, color, TSS, RSS, O<sub>2</sub> concentration, temperature and pH. Changes of sewage quality in respect to various phases of rainfall event development were discussed. The presented results of measurements are the first step in model development and its calibration, required to successfully predict influence of discharged storm wastewater on quality of sewage receiver water body.

**Keywords:** quality of storm wastewater, pollution indicators, storm water drainage, numerical modeling