

Bartosz SZELAĞ¹, Jarosław GÓRSKI¹, Łukasz BĄK¹ i Katarzyna GÓRSKA¹

ZASTOSOWANIE PROGRAMU SWMM DO MODELOWANIA ILOŚCI I JAKOŚCI ŚCIEKÓW DESZCZOWYCH

APPLICATION OF SWMM SOFTWARE TO MODELLING THE QUANTITY AND QUALITY OF RAINFALL WASTEWATER

Abstrakt: Ze względu na stochastyczny charakter zjawisk opadowych, a także akumulacji oraz zmywania zanieczyszczeń zgromadzonych na powierzchni zlewni, prognoza jakości i ilości ścieków deszczowych jest bardzo złożona, co może prowadzić do znacznych błędów obliczeniowych na etapie doboru i projektowania ciągów technologicznych oczyszczalni wód deszczowych. Wytyczna ATV A-118 oraz norma PN-EN 752 zalecają do obliczeń hydraulicznych systemów kanalizacyjnych zastosowanie modelowania hydrodynamicznego dla zlewni o powierzchni przekraczającej 200 ha, ale również w przypadku występowania w sieci zjawiska wylania ścieków na powierzchnię terenu, co zdarza się na terenach miejskich stosunkowo często. Ponadto, ze względu na to, że w większości opracowane programy obliczeniowe (SWMM, Mouse, Mike Urban, Civil Storm) mają oprócz zaimplementowanych modułów do symulacji spływu także moduły określania jakości ścieków, wydaje się wskazane przeprowadzenie kompleksowych analiz w tym kierunku. Celem artykułu jest omówienie wyników symulacji numerycznych jakości i ilości ścieków uzyskanych przy pomocy programu SWMM dla zlewni kanału Si9 zlokalizowanej na terenie Kielc. W artykule wykonano obliczenia hydrogramów odpływu ze zlewni i stężeń zawiesiny przy założeniu stałego natężenia deszczu dla czasu trwania $t_d = 15-180$ min i prawdopodobieństwa wystąpienia opadu $p = 20\%$. Ponadto opracowano model matematyczny oczyszczalni ścieków deszczowych, który pozwolił określić obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń istniejącego ciągu technologicznego oraz ustalić objętość i ładunek zawiesiny ogólnej zrzucanej przelewem burzowym bezpośrednio do odbiornika. Przeprowadzone obliczenia wykazały nieznaczny wpływ jednostkowego spływu na masę zawiesiny ogólnej odpływającej z przedmiotowej zlewni zurbanizowanej.

Słowa kluczowe: modelowanie hydrodynamiczne, SWMM, ścieki deszczowe, zawiesina ogólna

Określenie wielkości ładunku zanieczyszczeń w ściekach deszczowych odprowadzanych do odbiornika ma kluczowe znaczenie przy wymiarowaniu oczyszczalni ścieków deszczowych (OWD). Zarówno jakość, jak i ilość ścieków odpływających ze zlewni determinuje rodzaj i wielkość zastosowanych urządzeń. W większości przypadków wykonywane są układy składające się z osadnika lub piaskownika oraz separatora, przy projektowaniu których należy pamiętać o uwzględnieniu maksymalnej prędkości przepływu ścieków. Wymiarując separator, należy także wziąć pod uwagę dopuszczalne stężenia zawiesin na dopływie do urządzenia [1].

Podstawowym kryterium prawidłowego doboru urządzeń technologicznych jest poprawne określenie ilości ścieków deszczowych doprowadzanych do OWD. Mimo tego, że Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku [2] podaje minimalną wartość spływu powierzchniowego, którą należy oczyścić ($q = 15 \text{ dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$), to jednak nie jest sprecyzowane, czy w obliczeniach należy przyjąć stałe czy zmienne natężenie opadu. Jest to o tyle ważne, że w przypadku kiedy ilość wód odpływających ze zlewni przekracza wartość jednostkowego spływu określoną w Rozporządzeniu [2], to mogą one

¹ Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Politechnika Świętokrzyska, al. 1000-lecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, tel. 41 34 24 735, email: bartoszszelag@op.pl

* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'13, Jarnołtówek, 23-26.10.2013

zostać bezpośrednio odprowadzone do odbiornika, przy czym nie częściej niż 5 razy w ciągu roku. Rozporządzenie [2] precyzuje również maksymalne dopuszczalne stężenia zanieczyszczeń na odpływie z oczyszczalni. Dla zawiesin stężenie to nie może przekraczać $100 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, a dla substancji ropopochodnych $15 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Powszechnie stosowane w kraju metody obliczania hydrogramów odpływu (granicznych natężeń deszczu, współczynnika opóźnienia) są bardzo uproszczonymi modelami i nie uwzględniają wielu czynników, do których należy m.in. zmienność wilgotnienia zlewni w czasie zdarzenia opadowego, długość okresu bezdeszczowego, nierównomierność rozkładu natężenia deszczu, kierunek przemieszczania się frontu opadowego [3]. Pominięcie tych czynników może prowadzić do znacznych błędów obliczeniowych [3-5], a co za tym idzie, nieprawidłowego zwymiarowania urządzeń technologicznych.

Mając na względzie powyższe uwagi, wskazane jest określenie ilości i jakości ścieków deszczowych na drodze modelowania matematycznego [6-8]. Istniejące modele stochastyczne [9, 10] mają jednak zwykle charakter lokalny i definiowane w nich parametry w każdej zlewni będą ulegały znacznym zmianom, prowadząc do błędnych prognoz. Odrębną grupę stanowią modele deterministyczne [6, 11], dające możliwość ustalenia wpływu poszczególnych parametrów na uzyskiwane wyniki, przy czym konieczna jest w nich znajomość wielu danych wejściowych opisujących procesy gromadzenia się zanieczyszczeń na powierzchni zlewni, a także ich zmywania podczas opadów. Powszechnie stosowanym modelem deterministycznym jest model SWMM (Storm Water Management Model). Stwarza on możliwość określenia spływu powierzchniowego oraz wyznaczania przebiegu zmienności zanieczyszczeń (np. zawiesin, metali ciężkich, związków biogenych) w czasie trwania zdarzenia opadowego [12].

Do obliczeń depozycji zanieczyszczeń i ich zmywania z terenu często stosowane są modele: eksponentialny i wykładniczy, które opisano odpowiednio równaniami:

$$B = C_1 \cdot (1 - e^{-C_2 t}) \quad (1)$$

$$W = C_3 \cdot q^{C_4} \cdot B \quad (2)$$

gdzie: C_1 - maksymalna ilość zanieczyszczeń [kg] zgromadzona na powierzchni zlewni [1 ha] lub przypadająca na 1 m długości chodnika, C_2 - szybkość depozycji zanieczyszczeń [dni^{-1}], C_3 - współczynnik szybkości zmywania, C_4 - współczynnik potęgowy, q - intensywność spływu powierzchniowego [$\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$], B - aktualna akumulacja zanieczyszczeń [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$], W - intensywność zmywania zanieczyszczeń [$\text{kg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{s})^{-1}$].

Z danych literaturowych [10, 13] wynika, że wartości parametrów C_i użytych w powyższych równaniach zmieniają się w przedziale: $C_1 = 12,4\text{-}225,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, $C_2 = 0,01\text{-}5,50$, $C_3 = 0,025\text{-}0,130$, $C_4 = 1,0\text{-}2,2$. Tak znaczna ich zmienność potwierdza bardzo duże zróżnicowanie w zakresie jakości i ilości wód deszczowych odpływających ze zlewni w odniesieniu do zawiesin ogólnych. W celu ustalenia losowego charakteru zjawisk wpływających na prognozę jakości ścieków autorzy [14-16] opracowali modele probabilistyczne, w których stochastyczny charakter analizowanych zjawisk jest często uwzględniany przy pomocy metody Monte Carlo.

Celem artykułu jest analiza możliwości zastosowania programu SWMM do modelowania ilości i jakości ścieków deszczowych na przykładzie zlewni zurbanizowanej

w Kielcach. W pracy przeanalizowano obciążenie ładunkiem zanieczyszczeń istniejącej oczyszczalni ścieków deszczowych, a także ustalono objętość ścieków spływających ze zlewni oraz odprowadzanych do OWD i zrzucanych przelewem burzowym bezpośrednio do odbiornika. Ponadto w pracy określono udział ładunku zawieszin ogólnych dopływających do OWD w odniesieniu do całkowitej ilości zanieczyszczeń zmywanych z powierzchni zlewni.

Materiał i metody

Opis obiektu

Przedmiotem analiz jest zlewnia kolektora Si9 zlokalizowana w centralno-wschodniej części miasta Kielce o całkowitej powierzchni równej $F = 62$ ha. Analizowany kanał odbiera ścieki deszczowe i roztopowe z części miasta leżącej w lewostronnej zlewni rzeki Silnicy. Zabudowę stanowią głównie osiedla mieszkaniowe, budynki użyteczności publicznej, ulice magistralne oraz boczne. Szczegółowy opis zlewni można odnaleźć w pracach Dąbkowskiego i in. [17], Górskiej i Sikorskiego [18] oraz Bąka i in. [19].

Ścieki deszczowe odprowadzane kolektorem Si9 kierowane są na oczyszczalnię ścieków deszczowych, składającą się z komory rozdziału (KR), dwukomorowego osadnika (OS) i separatora koalescencyjnego (SEP) usuwających zawiesziny ogólne oraz substancje ropopochodne. Przy napełnieniu KR poniżej 0,42 m (wysokość przelewu) ścieki transportowane są 4 przewodami $\phi 400$ mm wyłącznie do osadnika podłużnego o długości 30 m. Ścieki z OS przepływają równocześnie przewodem $\phi 200$ mm do SEP oraz dwoma rurociągami $\phi 500$ mm do komory połączeniowej (KP), do której również trafiają ścieki po przejściu przez separator (przewodem $\phi 350$ mm). W ostatnim etapie ścieki z KP przepływają rurociągiem $\phi 650$ mm od odbiornika. Natomiast, gdy napełnienie w KR przekroczy 0,42 m, następuje zrzut części ścieków deszczowych przelewem burzowym za pośrednictwem kolektora $\phi 1250$ mm bezpośrednio do odbiornika, którym jest rzeka Silnica.

W odległości około 7 m powyżej komory rozdziału zamontowany jest w kolektorze Si9 przepływomierz ultradźwiękowy dokonujący pomiaru natężenia przepływających ścieków deszczowych. Do poboru prób ścieków wykorzystano automatyczny sampler typu 6712 [17-19].

Metodyka badań

Do obliczeń ilości i jakości ścieków deszczowych wykorzystano model hydrodynamiczny zlewni kanału Si9 wykonany w programie SWMM. Szczegółowe informacje o zastosowanym narzędziu można znaleźć w pracach Hubera i Dickinsona [6], Zoppou [7], Rossmanna [20], Zawilskiego i Sakson [21]. Model hydrodynamiczny przyjęty do badań składa się z 92 zlewni cząstkowych o powierzchniach od 0,12 do 2,10 ha, 200 studni kanalizacyjnych oraz 72 odcinków przewodów (rys. 1). Do kalibracji modelu wykorzystano wyniki badań ilości i jakości ścieków deszczowych (zawieszin ogólnych) z okresu 3 lat.



Rys. 1. Schemat zlewni zurbanizowanej kanału Si9

Fig. 1. Scheme of urbanized catchment of the sewer Si9

Do oceny stopnia dopasowania pomierzonych i otrzymanych z symulacji numerycznych hydrogramów odpływu zastosowano następujące parametry: stosunek objętości spływu powierzchniowego pomierzonego do symulowanego (R_v), stosunek wartości kulminacyjnych natężeń przepływu (R_Q) oraz współczynnik Nasha (NC). Model oczyszczalni ścieków deszczowych wraz z określeniem wartości współczynników oporów miejscowych na wlotach i wylotach z przewodów opracowano na podstawie wyników pomiarów terenowych, dokumentacji projektowej oraz wykonanej dokumentacji fotograficznej. Ze względu na fakt, że kanały łączące poszczególne obiekty OWD mogą pracować pod ciśnieniem, to do analiz zastosowano model *main force*, który umożliwił wyznaczenie oporów przepływu w przewodach na podstawie zadeklarowanej chropowatości. W opracowanym modelu osadnik oraz separator zdefiniowano jako zbiorniki retencyjne.

Ładunki zanieczyszczeń

Na podstawie wykonanych w programie SWMM obliczeń masę zawiesin ogólnych (ładunek zanieczyszczeń wyrażony w [kg]) odpływających z analizowanej zlewni określono z następującego wzoru:

$$M = \frac{(t_i + t_{i+1})}{2} \cdot \Delta t \quad [\text{kg}] \quad (3)$$

gdzie: Δt - krok czasowy [s], t_{i+1} - chwilowy ładunek zanieczyszczeń [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$] wyznaczony jako $t_i = Q_i \cdot c_i$ (Q_i - natężenie przepływających ścieków [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], c_i - stężenie zawiesin [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] w chwili t_i).

Ponadto obliczono procentowy udział: objętości ścieków dopływających do OWD (V_{OWD}) w odniesieniu do całkowitej objętości wezbrania (V_c), masy zawiesin transportowanych do OWD (M_{OWD}) w stosunku do całkowitej masy zanieczyszczeń

mineralnych odpływających z systemu kanalizacyjnego (M_c). Parametry te obliczono na podstawie zależności:

$$\eta_V = \frac{V_{OWD}}{V_c} \quad (4)$$

$$\eta_M = \frac{M_{OWD}}{M_c} \quad (5)$$

gdzie: V_c - całkowita objętość ścieków wyznaczona z hydrogramu odpływu ze zlewni jako $V_c = \sum 0,5 \cdot (Q_i + Q_{i+1}) \cdot \Delta t$ [m^3], V_{OWD} - objętość ścieków dopływająca na OWD ustalona na podstawie symulacji w programie SWMM [m^3], M_{OWD} - masa zawiesin ogólnych transportowana na OWD [kg], η_V - udział objętości ścieków dopływających na OWD w odniesieniu do V_c , η_M - udział masy zawiesin ogólnych transportowanych w odniesieniu do M_c .

Kalibracja modelu

Opracowany model hydrodynamiczny ilościowy został skalibrowany na podstawie 7 zdarzeń opad - odpływ pochodzących z okresu od lipca 2009 r. do lipca 2011 r. Z kolei model jakościowy skalibrowano z wykorzystaniem 13 zdarzeń opadowych pomierzonych w przedziale czasu od 9.05.2009 r. do 4.06.2010 r. W przypadku 9 zdarzeń stosunek masy zawiesin zmierzonej do otrzymanej z obliczeń zmieniał się w zakresie 0,20-0,52, natomiast w 3 zdarzeniach (26.04.2010, 30.05.2010, 31.05.2010) iloraz ten wynosił odpowiednio 0,97, 0,88 i 0,67.

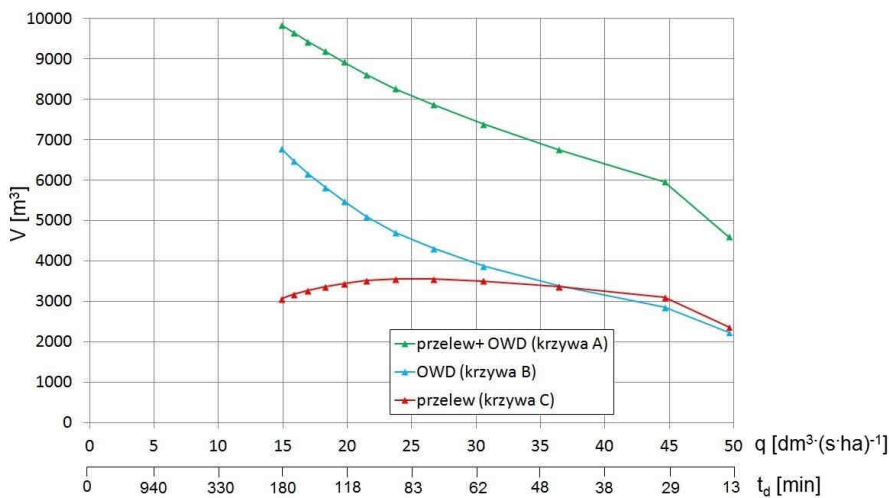
Do symulacji hydrodynamicznych w uzyskanym modelu przyjęto stałe natężenie deszczu. Maksymalną wysokość opadu ustalono wzorem Bogdanowicz i Stachy [3] dla czasu trwania deszczu $t_d = 15-180$ min (krok czasowy 15 min) i prawdopodobieństwa jego wystąpienia $p = 20\%$. Na tej podstawie wyznaczono jednostkowy spływ powierzchniowy wyrażony jako:

$$q = Q_{dmax} \cdot F^{-1} \quad [dm^3 \cdot (s \cdot ha)^{-1}] \quad (6)$$

gdzie: Q_{dmax} - max natężenie dopływu ścieków [$dm^3 \cdot s^{-1}$], F - powierzchnia zlewni [ha].

Wyniki badań

Na podstawie przeprowadzonych symulacji otrzymano hydrogramy odpływu ze zlewni, a także przebiegi zmienności stężeń zawiesin ogólnych w czasie analizowanych zdarzeń. W związku z powyższym sporządzono rysunki obrazujące wpływ jednostkowego spływu powierzchniowego (q) na objętość ścieków (V), ładunki chwilowe (\dot{t}_i) oraz masę zawiesin ogólnych (M_c) dopływającą do oczyszczalni ścieków deszczowych, a także odprowadzaną przez przelew burzowy. Wyniki analiz przedstawiono na rysunkach 2-4.



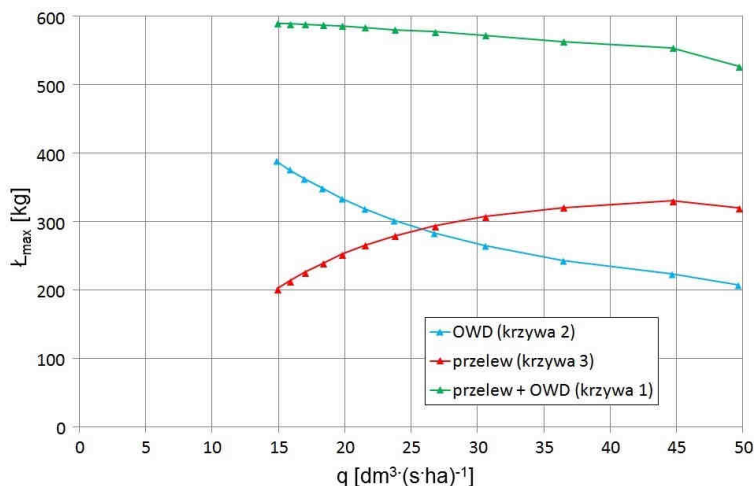
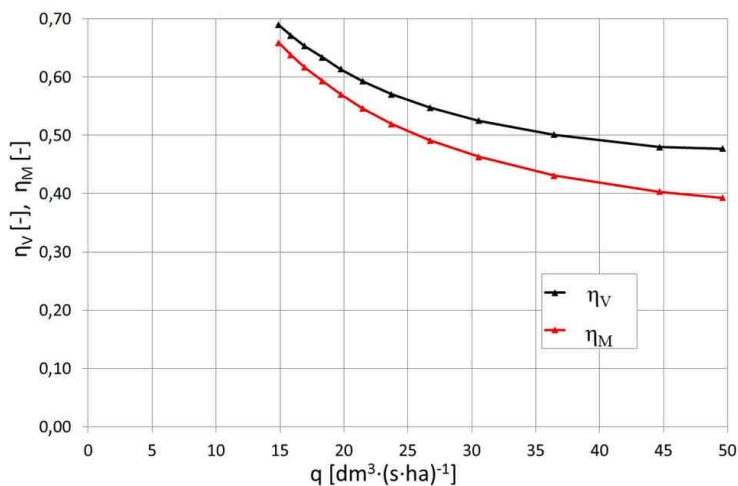
Rys. 2. Wpływ jednostkowego spływu powierzchniowego (q) dla czasu trwania deszczu (t_d) na objętość ścieków deszczowych (V) odpływających ze zlewni (krzywa A) oraz dopływających na OWD (krzywa B) i zrzucanych przelewem burzowym (krzywa C)

Fig. 2. Influence of surface runoff unit (q) for the duration of the rain (t_d) on the volume of storm water (V) outflowing from the basin (curve A) and inflowing to the OWD (curve B) and storm overflow discharges (curve C)

Z rysunku 2 wynika, że wzrostowi q z 15,0 do 49,8 $\text{dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$ towarzyszy spadek objętości ścieków deszczowych odpływających ze zlewni (krzywa A) z 9845 do 4598 m^3 (o 53,3%). Ponadto, wzrost q z 15,0 do 36,5 $\text{dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$ powoduje zmniejszenie objętości ścieków dopływających do OWD (krzywa B) z 6790 do 3368 m^3 (spadek o 49,6%). Natomiast zwiększenie wartości q w zakresach 15,0-26,7 oraz 26,7-36,5 $\text{dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$, dla przelewu burzowego (krzywa C), prowadzi do zmiany objętości ścieków odprowadzanych bezpośrednio do odbiornika odpowiednio z 3054 do 3560 m^3 oraz z 3560 do 3368 m^3 . Z kolei wzrostowi q z 36,5 do 49,8 $\text{dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$ towarzyszy spadek V dla ścieków dopływających do OWD oraz zrzucanych przelewem z wartości równej 3350 m^3 do odpowiednio 2237 oraz 2362 m^3 (spadek o ok. 29,8%).

Ładunek zawiesin ogólnych (rys. 3) dopływający kanałem Si9 do przekroju zamykającego zlewnię (krzywa 1) dla rozważanego zakresu q zmienia się w wąskim przedziale $L_{\max} = 527\text{-}589$ kg. W przypadku ładunku dopływającego na oczyszczalnię ścieków (krzywa 2) wraz ze wzrostem q następuje znaczny jego spadek z 388 do 207 kg przy jednoczesnym wzroście ładunku zawiesin odprowadzanych bezpośrednio do odbiornika z 201 do 330 kg - krzywa 3.

Wzrostowi wartości q towarzyszy spadek objętości ścieków i masy zawiesin ogólnych dopływających do OWD (rys. 4). Przy maksymalnym spływie powierzchniowym równym $q = 49,8$ $\text{dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$ oczyszczane jest już tylko 48% całkowitej objętości fali wezbrania, natomiast zaledwie 39% całkowitej masy zanieczyszczeń.

Rys. 3. Wpływ jednostkowego spływu powierzchniowego (q) na ładunek zawiesin ogólnych (L_{max})Fig. 3. Influence of surface runoff unit (q) the load of suspended solids (L_{max})Rys. 4. Rozdział objętości ścieków (η_V) i masy zawiesin ogólnych (η_M) dopływających na OWD w zależności od q Fig. 4. Distribution volume (η_V) and mass of suspended solids (η_M) in the storm water inflowing to OWD according to q

Wnioski

Wykonane badania potwierdziły przydatność programu SWMM do modelowania ilości i jakości ścieków deszczowych w analizowanej zlewni zurbanizowanej w Kielcach. Na podstawie symulacji numerycznych wyznaczone zostały hydrogramy odpływu, stężenia ($c_{zawiesina}$) i ładunki zawiesin ogólnych (L_{max}) zmywanych z powierzchni zlewni. Wykonany model matematyczny oczyszczalni ścieków deszczowych pozwolił określić ilość ścieków

dopływających na poszczególne obiekty ciągu technologicznego, a także obliczyć objętości ścieków nieoczyszczonych zrzucanych przelewem burzowym bezpośrednio do odbiornika. Na podstawie przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że:

- jednostkowy spływ powierzchniowy ma istotny wpływ na koncentrację zawiesin ogólnych zawartych w wodach deszczowych spłukiwanych z powierzchni zlewni; im większa wartość q , tym większa jest ilość zawiesin ogólnych w 1 m^3 wód opadowych,
- czas trwania deszczu przy założeniu stałego natężenia opadu ma nieznaczny wpływ na wielkość ładunku zawiesin zmywanych z powierzchni zlewni,
- przy intensywnych opadach ($q = 49,8 \text{ dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$) 48% całkowitej objętości ścieków i 39% masy zawiesin ogólnych dopływa na OWD,
- podczas opadów charakteryzujących się mniejszą intensywnością ($q = 15 \text{ dm}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{ha})^{-1}$) około 69% całkowitego ładunku zawiesin ogólnych i 66% objętości dopływających ścieków trafia na OWD,
- w celu ograniczenia ilości zanieczyszczeń odprowadzanych przelewem burzowym konieczne jest podniesienie krawędzi przelewu bądź też zwiększenie przepustowości oczyszczalni ścieków deszczowych (wymiana średnic przewodów odprowadzających ścieki na OWD na większe lub zwiększenie ich ilości).

Literatura

- [1] Królikowska J, Królikowski A. Wody opadowe. Odprowadzanie, zagospodarowanie, podczyszczanie i wykorzystanie. Piaseczno: Seidel-Przywecki; 2012.
- [2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzeniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szkodliwych dla środowiska wodnego. DzU Nr 137, poz. 984 z późn. zm. <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20061370984>.
- [3] Mrowiec M. Efektywne wymiarowanie i dynamiczna regulacja kanalizacyjnych zbiorników retencyjnych. Częstochowa: Wyd. Politechniki Częstochowskiej; 2009.
- [4] Błaszczuk P. Metody określania natężeń przepływu ścieków opadowych miarodajnych do wymiarowania kanałów. Ochr Środ. 1988;3-4(36-37):9-14. http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/1988/Blaszczuk_3-4-1988.pdf.
- [5] Osmólska-Mróz B, Fidała-Szope M, Kierzenkowska M. Obliczeniowe a rzeczywiste natężenia przepływów w kanalizacji deszczowej. Ochr Środ. 1984;434/3-4(20-21):29-32. http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/1984/Osmulska-Mroz_3-4-1984.pdf.
- [6] Huber WC, Dickinson RE. Stormwater Management Model. User's Manual. Version 4.0. Environmental Research Laboratory. U.S. Environmental Protection Agency. Athens, Georgia; 1992. https://www.researchgate.net/profile/Tom_Barnwell/publication/235754277_Storm_water_management_model_version_4/links/0c9605321435abc833000000.pdf.
- [7] Zoppou C. Review of stormwater models. Techn Report 52/99. Canberra: CSIRO Land and Water; 1999. <http://forum.cjk3d.net/bbs/images/upfile/2006-1/200616105011.pdf>.
- [8] Berretta C, Gnecco J, Lanza LG, Bernera P. An investigation of wash - off controlling parameters at urban and commercial monitoring sites. Water Sci Technol. 2007;56(12):77-84. DOI: 10.2166/wst.2007.756.
- [9] Sharifi S, Massoudich A, Kayhamian M. Stochastic stormwater quality volume - sizing method with first flush emphasis. Water Environ Res. 2011;83(11):2025-2035. DOI: 10.2175/106143011X2989211.
- [10] Liu A, Goonetilleke A, Egodawatta P. Taxonomy for rainfall events based on pollutant wash- off potential in urban area. Ecol Eng. 2012;47:110-114. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2012.06.008.
- [11] Deletic A, Maksimovic C, Loughreit F, Butler D. Modelling the management of street surface sediments in urban runoff. Proc 3rd Int Conf Innovative Technol Urban Storm Drainage. Lyon, France; 1998:415-422. http://www.academia.edu/2860576/Modelling_the_management_of_street_surface_sediments_in_urban_runoff.

- [12] Widomski M, Musz A, Gajuk D, Łagód 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.
- [13] Egodawatta P, Miguntanna NS, Goonetilleke A. Impact of roof surfaces on urban water quality. *Water Sci Technol*. 2012;66(7):1527-1533. DOI: 10.2166/wst.2012.348.
- [14] Avellaneda PM, Ballestre T, Roseen R, Houle J, Linder E. Bayesian storm-water quality model and its application to water quality monitoring. *J Environ Eng*. 2011;137(7):541-550. DOI: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000360.
- [15] Bolognesi A, Maglificio M. Long term simulation analysis under two different regimes as an aid to gully pot management. NOVATECH, 7th International Conference on Sustainable Techniques for Urban Water Management. Lyon, France; 2010. <http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/35749/22503-367BOL.pdf?sequence=1>
- [16] Mailhot A, Gaume E, Villeneuve JP. Uncertainty analysis of calibrated parameters value of an urban stormwater quality model using Monte Carlo algorithm. *Water Sci Technol*. 1997;36(5):141-148. DOI: 10.1016/S0273-1223(97).
- [17] Dąbkowski SL, Górńska K, Górski J, Szelaż B. Wstępne wyniki badań ścieków deszczowych w jednym z kanałów w Kielcach. *Gaz Woda Tech Sanit*. 2010;10:20-24.
- [18] Górńska K, Sikorski M. Występowanie metali ciężkich w ściekach deszczowych na przykładzie zlewni miejskiej w Kielcach. *Proc ECOpole*. 2013;7(1):333-341. DOI: 10.2429/proc.2013.7(1)045.
- [19] Bąk Ł, Górski J, Górńska K, Szelaż B. *Ochr Środ*. 2012;34(2):49-52. http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/2012/2-2012/Bak_2-2012.pdf.
- [20] Rossmann 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; 2004. <http://www.innovyze.com/products/swmm/download/P100ERK4.pdf>.
- [21] Zawilski M, Sakson G. Ocena emisji zawieszin odprowadzanych kanalizacją deszczową z terenów zurbanizowanych. *Ochr Środ*. 2013;35(2):33-39. http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/2013/2-2013/Zawilski_2-2013.pdf

APPLICATION OF SWMM SOFTWARE TO MODELLING THE QUANTITY AND QUALITY OF RAINFALL WASTEWATER

Faculty of Environmental Engineering, Geomatics and Power Engineering, Kielce University of Technology

Abstract: Due to the stochastic character of precipitation phenomena, and also accumulation of pollutants in the catchment area and their wash-off, predicting the quantity and quality of rainfall wastewater is a very complex task. That can lead to massive calculation errors at selection and design stages of technological lines in rainfall wastewater treatment plants. For hydraulic sewer systems, the guideline ATV A-118 and the PN-EN 752 standard recommend using hydrodynamic modelling for the catchment area of more than 200 ha, but also for cases where the surface flooding occurs, which happens quite often in urban areas. As a majority of computational software tools (SWMM, Mouse, Mike Urban, Civil Storm), in addition to modules for run-off simulations also have those dedicated to wastewater quality assessment, it is justifiable to conduct complex analyses. The paper aims to discuss the results of wastewater quality and quantity numerical simulations obtained with SWMM software for Si9 sewer catchment located in the area of Kielce. For the paper, hydrogram computations were made for the catchment run-off and the suspension concentrations at the assumption of constant intensity of the rainfall of the duration of $t_d = 15-180$ min and the precipitation occurrence probability of $p = 20\%$. In addition, a mathematical model of rainfall wastewater treatment plant was developed. That allowed determination of the pollutant load of the existing technological line, and volume and load of suspended solids discharged by the stormwater overflow structure directly into the receiver. The computations that were conducted showed a limited impact of a unit runoff on the mass of suspended solids flowing in from the catchment under consideration.

Keywords: hydrodynamic modelling, SWMM, rainfall wastewater, suspended solids