

Maciej MROWIEC, Kamil PLUTA*

STEROWANIE PRZEPIYWEM W KANALIZACJI PÓLROZDZIELCZEJ

W artykule przedstawiono problem ochrony jakości wód powierzchniowych poprzez ograniczenie zrzutu wód opadowych do odbiornika, a także scharakteryzowano kanalizację półrozdzielczą. Opisa- no możliwości wykorzystaniu programu EPA SWMM 5.0 do wykonywania modelu jakościowego ścieków. W przedmiotowym artykule podjęto próbę oceny wpływu modernizacji kanalizacji rozdziel- czej do półrozdzielczej na redukcję ładunków zanieczyszczeń, przede wszystkim zawiesiny ogólnej. Symulacje przeprowadzono na wykonanym w programie SWMM, rzeczywistym modelu zlewni miejskiej o powierzchni około 69 hektarów znajdującej się w Częstochowie. W badaniach wykorzy- stano dane opadowe z lat 2011-2012. Symulacje zakładały umieszczenie na modelowanej sieci desz- czowej zbiornika retencyjnego, wyposażonego w układ sterowania w czasie rzeczywistym (RTC), na kolektorze odprowadzającym ścieki deszczowe do odbiornika. Wykonane symulacje pozwoliły oce- nić i porównać działanie zbiornika z układem RTC ze standardowymi separatoratorami przepływu z progiem piętrzącym i upustem dennym. Analizując wyniki uzyskane w przeprowadzonych symula- cjach stwierdzono, że użycie zbiornika retencyjnego pozwala w znacznym stopniu zredukować ilość zawiesiny zrzucanej do odbiornika. Zauważono, że zbiorniki retencyjne z układem RTC nie powodu- ją wystąpienia przeciążeń kanału ściekowego oraz nadmiernego hydraulicznego obciążenia komunal- nej oczyszczalni ścieków.

1. WSTĘP

Ograniczenie zrzutu ścieków deszczowych do odbiornika jest obecnie jednym z najważniejszych czynników pozwalających zapewnić odpowiednią ochronę wód powierzchniowych przed zanieczyszczeniem. Badania prowadzone w ostatnich latach potwierdzają znaczny wzrost ilości zanieczyszczeń występujących w spływie po- wierzchniowym, a także większą objętość samych ścieków deszczowych odprowa- dzanych do sieci kanalizacyjnej. Spowodowane jest to głównie przez zwiększenie

* Instytut Inżynierii Środowiska, ul. Brzeźnicka 60a 42-200 Częstochowa

powierzchni nieprzepuszczalnych wynikające z rozbudowy miast. Szczególnie niebezpieczne dla odbiornika są spływy z terenów silnie zanieczyszczonych, przede wszystkim centrów miast, terenów przemysłowych, a także ośrodków handlowo-usługowych. Wyjątkowo ważne jest ograniczenie zrzutów ścieków opadowych do odbiorników małych lub takich, które należy szczególnie chronić, np. z uwagi na wykorzystanie ich, jako ujęcie wody pitnej. Spływ ścieków deszczowych z dużym ładunkiem zanieczyszczeń może spowodować w odbiorniku wiele niekorzystnych zjawisk, z których najważniejsze to [5, 9, 19]:

- zmętnienie wody, która prowadzi do zmniejszenia intensywności przebiegu fotosyntezy,
- odprowadzenie znacznych ilości zanieczyszczeń pływających,
- wprowadzenie znacznej ilości zawiesin mineralnych, które zawierają metale ciężkie i pestycydy,
- zrzut trudno rozkładalnych substancji pochodzenia organicznego,
- wprowadzanie do odbiornika substancji ropopochodnych,
- eutrofizacja spowodowana wypłukiwaniem nawozów sztucznych,
- skażenie wody bakteriami (typu fekalnego).

Wody deszczowe, które odprowadzono do odbiorników z wykorzystaniem systemu kanalizacji rozdzielczej, uważane były przez bardzo długi okres za względnie czyste, niemające znacznego wpływu na odbiornik. Badania wskaźników fizyko - chemicznych wykonywane w ostatnich latach w miastach zarówno polskich jak i zagranicznych zaprzeczają tej tezie. Okazuje się bowiem, że suma rocznych ładunków zanieczyszczeń odprowadzanych do odbiornika (w przeliczeniu na jeden hektar powierzchni zlewni) przez kanalizację rozdzielczą może być wyższa od wartości charakterystycznych dla kanalizacji ogólnospławnej. Ładunek zanieczyszczeń zawarty w poszczególnych zrzutach do odbiornika z kanalizacji ogólnospławnej jest, co prawda większy od ładunku występującego w zrzutach z systemu rozdzielczego dla prawie wszystkich wskaźników, jednak przelewy burzowe działają tylko w czasie intensywnych opadów, a zrzuty z kanalizacji rozdzielczej powoduje praktycznie każdy opad występujący na zlewni [7, 8, 9].

Można się spodziewać, że w niedalekiej przyszłości standardy dotyczące ochrony wód powierzchniowych przed zrzutami z kanalizacji deszczowej zostaną zaostrzone, co może spowodować konieczność modernizacji istniejących sieci kanalizacji deszczowych. Jednym z możliwych rozwiązań problemu, pozwalającym spełnić wymogi dotyczące oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych, przemysłowych, a także opadowych jest stosowanie kanalizacji półrozdzielczej.

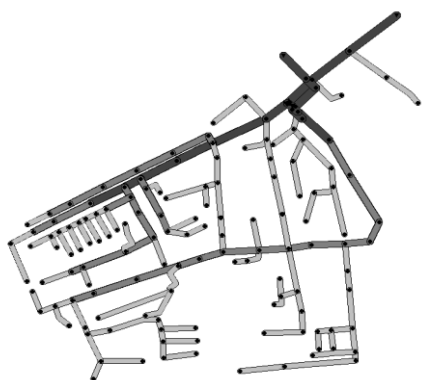
Kanalizacja półrozdzielcza to sieć dwuprzewodowa, gdzie w jednym kanale płyną ścieki opadowe natomiast w drugim ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe. W takim systemie kanalizacyjnym sieci: deszczowa i ściekowa są wzajemnie powiązane i współdziałają ze sobą. Kanały tych sieci łączą się za pomocą separatorów przepływu. Separatory, umieszczone na kolektorach deszczowych, pozwalają ograniczyć

zrzuty ścieków opadowych do odbiornika poprzez skierowanie ich części do kanalizacji ściekowej, którą później trafią do oczyszczalni ścieków [1]. Takie rozwiązanie jest szczególnie przydatne, gdy należy ograniczyć liczbę zrzutów z istniejących systemów kanalizacji rozdzielczej. Dzięki zastosowaniu separatorów można w stosunkowo prosty sposób dokonać modernizacji kanalizacji rozdzielczej do systemu półrozdzielczego [7, 10-12]. W przedmiotowym artykule podjęto próbę oceny wpływu modernizacji kanalizacji rozdzielczej do półrozdzielczej na redukcję ładunków zanieczyszczeń, przede wszystkim zawiesiny ogólnej.

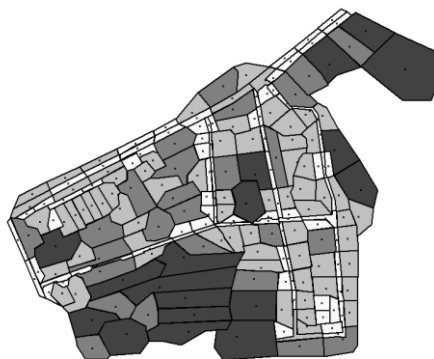
2. CHARAKTERYSTYKA MODELOWANEJ ZLEWNI – MODEL HYDRAULICZNY

Analizowanym w opracowaniu obszarem jest zlewnia, położona w Częstochowie w dzielnicy Raków. Modelowana zlewnia zajmuje powierzchnię około 69 hektarów. Model analizowanej sieci składa się ze 138 odcinków (rys. 1 a) o przekrojach kołowych i średnicach od 0,2 m do 0,9 m. Ścieki deszczowe są odprowadzane do wylotu kolektorem o średnicy 1 m. Wartość współczynnika szorstkości dla kanałów przyjęto na podstawie materiału z jakiego dany kanał został wykonany (beton, $n= 0,013\text{s/m}^{1/3}$). Przebieg granic zlewni cząstkowych został ustalony na podstawie ukształtowania terenu, tras kanałów oraz sposobu zagospodarowania terenu i rodzaju zabudowy. Dla potrzeb modelu jakościowego główne ulice zostały wyodrębnione ze zlewni. W sumie, w modelu uwzględniono 197 zlewni cząstkowych (rys. 1 b).

a)



b)



Rys. 1. Schemat sieci a) przebieg kanałów, b) podział na zlewnie cząstkowe

Powierzchnie nieprzepuszczalne zajmują obszar 22,5 hektara. Wartość współczynnika szorstkości n dla powierzchni nieprzepuszczalnych ustalono na jednakowym poziomie równym $n_{\text{IMPERV}}=0,015$. Natomiast dla powierzchni przepuszczalnych, w zależności od charakteru powierzchni, wartość n wybierano z zakresu $n_{\text{PERV}}=0,2-0,4$. Zdolność retencyjną powierzchni nieprzepuszczanych przyjęto równą $d_{\text{IMPERV}}=1,5$ mm. Udział powierzchni nieprzepuszczalnej nie mającej zdolności retencyjnej ustalono na poziomie równym 10%. W przypadku powierzchni przepuszczalnych przyjmowano wartość wysokości retencyjnej z zakresu $d_{\text{PERV}}=6-7$ mm, a dla obszarów, w której dominowała wyższa roślinność było to $d_{\text{PERV}}=10-12$ mm. Do obliczania natężenia infiltracji wybrano model Hortona. Minimalną wartość infiltracji ustalono na poziomie 15 mm/h, natomiast maksymalna była równa 75 mm/h. W przeprowadzonych symulacjach uwzględniono parowanie ze zlewni. Jego wartość ustalono na równym poziomie wynoszącym 3 mm/dobę. W przeprowadzonych symulacjach uwzględniono pełne równanie ruchu to znaczy wykorzystano model fali dynamicznej. Spadek zlewni przyjęto poziomem wynoszącym 2,5%. Szerokość hydrauliczną pasa spływu wyliczono dla poszczególnych zlewni na podstawie wzoru:

$$L = \sqrt{A} \quad (1)$$

gdzie:

- L – hydrauliczna szerokość pasa spływu [m];
- A – powierzchnia zlewni [m²].

3. CHARAKTERYSTYKA MODELOWANEJ ZLEWNI-MODEL JAKOŚCIOWY

Program SWMM umożliwia wykonywanie symulacji uwzględniających model jakościowy ścieków. Szybkość akumulacji zanieczyszczeń (buildup) w modelu SWMM wyrażana jest przy pomocy jednej z dostępnych w programie formuł: wykładniczej (exponential), potęgowej (power - użyta w omawianym modelu) oraz nasycenia (saturation) [2,3,13,14].

Funkcja potęgowa ma postać:

$$B = \text{Min}(C_1, C_2 t^{C_3}) \quad (2)$$

gdzie:

- C_1 - graniczna masa nagromadzonych zanieczyszczeń [kg/ha];
- C_2 - stała przyrostu akumulowanych zanieczyszczeń [kg/d·ha];
- C_3 - wartość wykładnika [d]

Splukiwanie zanieczyszczeń opisano przy zastosowaniu formuły wykładniczej (exponential washoff) [2, 3, 13, 14]:

$$W = K_1 q^{K_2} B \quad (3)$$

gdzie:

K_1 - współczynnik szybkości splukiwania zanieczyszczeń;

K_2 - współczynnik potęgowy;

q - intensywność spływu powierzchniowego [mm/h];

B - masa nagromadzonych zanieczyszczeń [kg].

Modelowanym zanieczyszczeniem była zawiesina ogólna, która jest jednym ze wskaźników normowanych w przepisach prawnych dotyczących ścieków deszczowych [15]. Każda ze zlewni cząstkowych została podzielona procentowo ze względu na zagospodarowanie terenu na dwa obszary: główne ciągi komunikacyjne, ulice, parkingi (tereny silniej zanieczyszczone) oraz tereny osiedlowe, głównie dachy budynków (obszar, w którym nagromadzenie zanieczyszczeń jest mniejsze).

Parametry szybkości akumulacji zanieczyszczeń dobrano na podstawie proponowanych w literaturze w ten sposób, aby osiągnąć wynik zbliżony do średniej ilości zawiesiny odprowadzanej z hektara nieprzepuszczalnej powierzchni rocznie kanalizacją deszczową tj. około 430 kg/ha-rok [4]. Wartości, użyte w symulacjach, zebrano w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości parametrów modelu splukiwania zanieczyszczeń SWMM

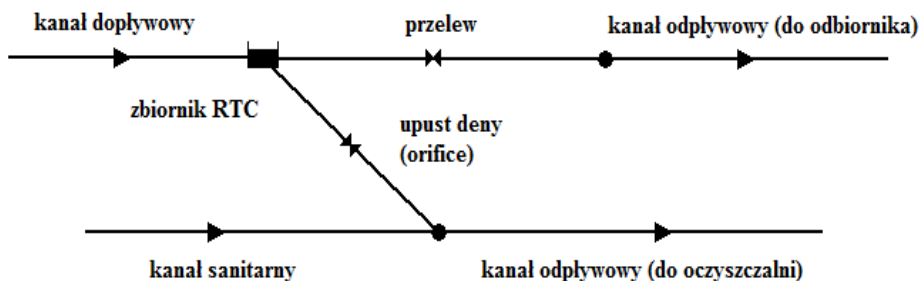
Rodzaj terenu - Land Uses	Parametr			
	C_1	C_2	K_1	K_2
Ulice - tereny silnie zanieczyszczone	12,5	1	1,5	2
Dachy - tereny mało zanieczyszczone	7,5	1	1,5	2

Największym problemem w modelowaniu jakościowym w SWMM stanowi odpowiednie dobranie parametrów charakteryzujących ten proces. W literaturze spotkać się można z wieloma przykładami modeli jakościowych, jednak wartości dotyczących szybkości akumulacji zanieczyszczeń stałych, podawane przez autorów, różnią się w znaczny sposób od siebie. Szczegółowe informacje dotyczące modelowania jakościowego można znaleźć w literaturze [6, 16-18].

4. PRZEBIEG BADAŃ

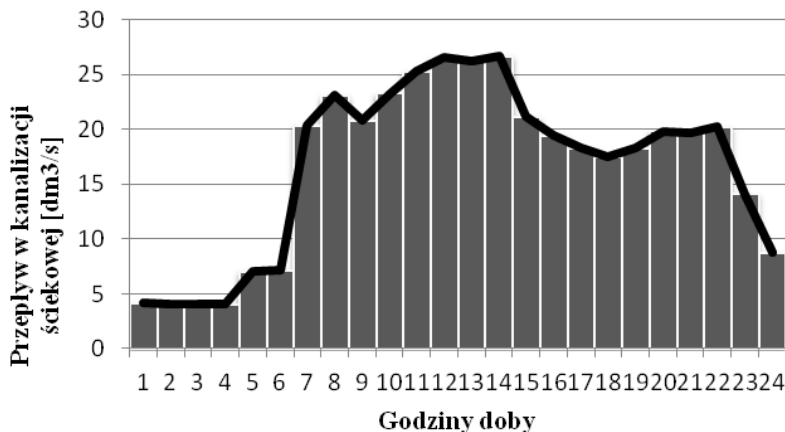
W symulacjach wykorzystano rzeczywiste dane opadowe z lat 2011-2012 z okresu od początku marca do końca października. Opady zarejestrowano w Częstochowie na pluwiografie znajdującym się przy ulicy Brzeźnickiej. Suma opadów w tym czasie wyniosła odpowiednio w roku 2011 - 361,8 mm oraz w roku 2012 - 388,7 mm.

Pierwszy etap badań zakładał modernizację istniejącej sieci deszczowej do kanalizacji półrozdzielczej przy wykorzystaniu zbiornika ze sterowaniem w czasie rzeczywistym. W tym celu zastosowano zbiornik przepływowy umiejscowiony na kolektorze deszczowym. Rozpatrzono objętości zbiornika równe: $V = 56,25; 112,5; 225; 337,5; 450; 562,5 \text{ m}^3$ co daje w przeliczeniu na hektar powierzchni uszczelnionej 2,5; 5; 10; 15; 20; 25 m^3 . Głębokość zbiornika była stała we wszystkich przypadkach i wynosiła 1,5 m. Ścieki kanałem deszczowym trafiały bezpośrednio do zbiornika. Gdy napełnienie przekroczyło założoną wartość, ścieki poprzez przelew (weir) zostały zrzucone do odbiornika. Pewna objętość wód opadowych zgromadzonych w zbiorniku retencyjnym była w sposób ciągły odprowadzana do kanalizacji ściekowej poprzez otwór (orifice) o maksymalnej średnicy 0,25 m. Ten typ obiektu w SWMM umożliwia zastosowanie kontrolera pozwalającego sterować stopniem otwarcia otworu. Schemat zbiornika wykonanego w SWMM przedstawiono na poniższym schemacie (rys. 2).



Rys. 2. Układ do symulacji zbiornika w SWMM

W tym wariantcie zostały obliczone przepływy w kanalizacji ściekowej. Założono liczbę mieszkańców na modelowanym obszarze na 4000 osób. Wykonano obliczenia, których wynik pozwolił dobrać średnice kanału ściekowego (0,3 m), a także ustalić przepływ w poszczególnych godzinach doby. Na tej podstawie sporządzono hydrogram dopływu ścieków do kanału w czasie doby (rys. 3) i zadano go do modelu. W ten sposób uzyskano bliski rzeczywistości przepływ ścieków bytowo-gospodarczych.



Rys. 3. Rozkład przepływów godzinowych w kanalizacji ściekowej

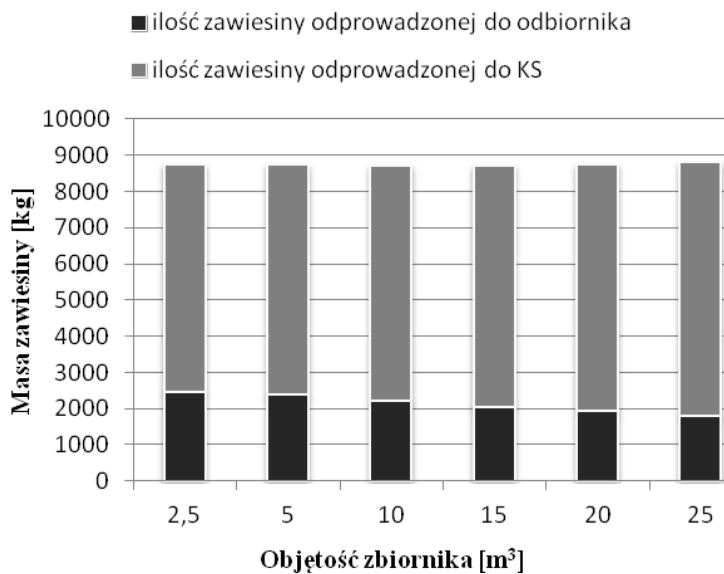
Do sterowania otworem zastosowano kontroler PID. Założono, że napełnienie w kanale ściekowym w czasie zrzutu ścieków deszczowych ze zbiornika ma oscylovac w okolicach 0,295 m, co pozwoli maksymalnie wykorzystać przepustowość kanału i nie będzie oddziaływało na sieć sanitarną powodując jej przeciążenie. Zastosowanie sterowania w czasie rzeczywistym pozwoliło osiągnąć zamierzony efekt.

5. OMÓWIENIE WYNIKÓW

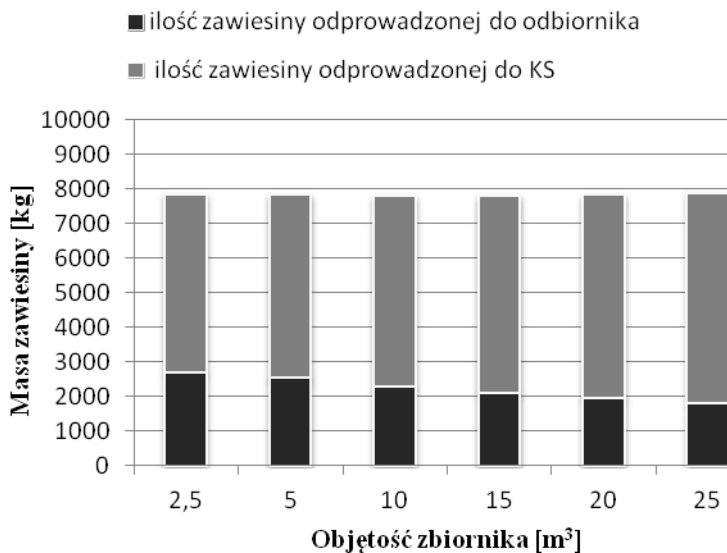
Przeprowadzone symulacje umożliwiły określenie objętość ścieków jaka odpłynęła siecią kanalizacyjną do odbiornika - w roku 2011 było to około 57000 m³, a w roku 2012 odpowiednio 60000 m³. Wykonanie symulacji pozwoliło sprawdzić ilości zawiesiny, która dostała się do kanalizacji. W roku 2011 było to około 8850 kg, co daje w przeliczeniu na hektar powierzchni uszczelnionej 393 kg, a w roku 2012 - 7950 kg, czyli 353 kg/ha_{zr}·rok.

Badania miały na celu ocenę możliwości modernizacji kanalizacji rozdzielczej do półrozdzielczej przy zastosowaniu zbiornika retencyjnego ze sterowaniem RTC. Uzyskane wyniki pokazują, że zastosowanie zbiornika retencyjnego okazuje się być dobrą alternatywą dla standardowych separatorów przepływu.

Zastosowanie zbiornika retencyjnego pozwala w znacznym stopniu ograniczyć ilość zawiesiny zrzucanej do odbiornika. Na wykresie (rys. 4) przedstawiono zależność między ilością zawiesiny, a objętością zbiornika w roku 2011. Kolejny schemat (rys. 5) przedstawia tę samą zależność w roku 2012.



Rys. 4. Masa zawiesiny odprowadzanej do kanalizacji ściekowej i do odbiornika w zależności od objętości zbiornika retencyjnego w przeliczeniu na 1 ha powierzchni uszczelnionej - w 2011 roku



Rys. 5. Masa zawiesiny odprowadzanej do kanalizacji ściekowej i do odbiornika w zależności od objętości zbiornika retencyjnego w przeliczeniu na 1 ha powierzchni uszczelnionej - w 2012 roku

Jak wynika z prowadzonych obserwacji najmniejszy z rozpatrywanych zbiorników o objętości $2,5 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{zr}}$ pozwala osiągnąć zadawalające rezultaty i umożliwić odprowadzenie większości zanieczyszczeń do kanalizacji ściekowej. Wzrost stopnia redukcji zanieczyszczeń wraz ze zwiększaniem objętości jest stosunkowo niewielki. Zwiększenie objętości zbiornika z $2,5$ do $25 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{zr}}$, a więc 10-krotnie pozwala ograniczyć ilość zawiesiny z trafiającej do odbiornika w roku 2011 o około 27% i 33% w 2012 roku. Wynika z tego, że stosowanie w takim przypadku dużych zbiorników jest niecelowe ze względu na znacznie wyższe koszty ich budowy i eksploatacji.

W rzeczywistości stopień redukcji zanieczyszczeń, przede wszystkim zawiesiny, w omawianym zbiorniku jest większy niż w wykonanych symulacjach. Różnica wynika ze sposobu prowadzenia obliczeń przez program SWMM. Model akumulacji, spływania jak i transportu jest znacznie uproszczony i nie uwzględnia podziału cząstek na frakcje o różnej objętości i masie, a także mogących zachodzić procesów chemicznych czy biologicznych. Program traktuje odcinki sieci, jako reaktory pełnego mieszania, w których w całej objętości płynie taka sama masa zanieczyszczeń. W rzeczywistości cięższe frakcje płyną przy dnie kanału dzięki temu zbiornik o takiej konstrukcji i miejscu lokalizacji działa jako pewnego rodzaju osadnik i w jeszcze większym stopniu ograniczyć masę zawiesiny odprowadzanej do odbiornika.

Porównując wyniki symulacji uzyskane dla wariantów z separatorem stwierdzono, że stosując najmniejszy zbiornik można uzyskać podobny stopień redukcji zrzutów zanieczyszczeń jak w separatorach o parametrach (tabela 2):

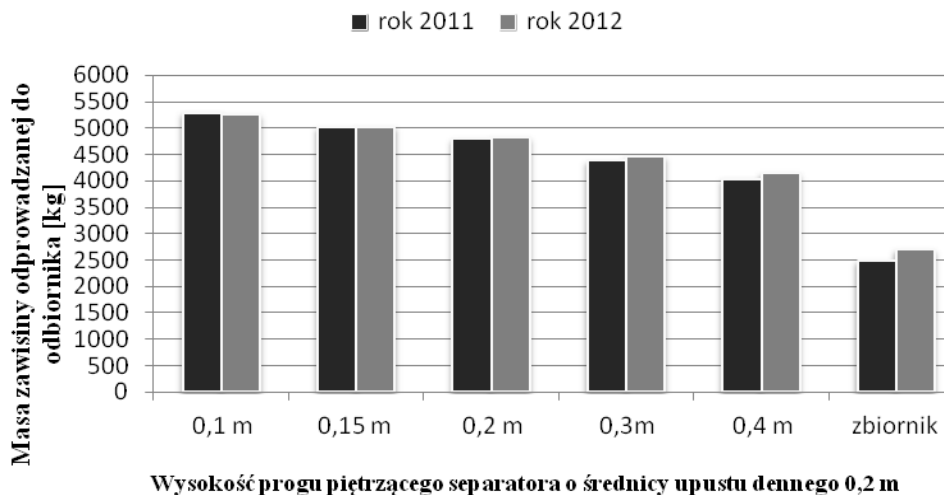
- wysokość progu piętrzącego 0,1; średnica upustu dennego 0,4,
- wysokość progu piętrzącego 0,4; średnica upustu dennego 0,3.

Tabela 2. Masa zawiesiny oraz maksymalny chwilowy odpływ ścieków do kanalizacji ściekowej w zależności od parametrów wybranego urządzenia

Wariant	Rok 2011			Rok 2012		
	Masa zawiesiny odprowadzonej do odbiornika [kg]	Masa zawiesiny odprowadzonej do KS [kg]	Chwilowy maksymalny odpływ ścieków do KS [l/s]	Masa zawiesiny odprowadzonej do odbiornika [kg]	Masa zawiesiny odprowadzonej do KS [kg]	Chwilowy maksymalny odpływ ścieków do KS [l/s]
Zbiornik $2,5 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{zr}}$	2478	6285	123	2689	5199	125
Separator (próg 0,1m; śr 0,4m)	2571	6245	344	2742	5218	464
Separator (próg 0,4m; śr 0,3m)	2561	6237	217	2796	5143	261

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że zbiornik retencyjny ze sterowaniem w czasie rzeczywistym nie oddziałuje negatywnie na sieć i nie powoduje jej przeciążenia. Zastosowany kontroler steruje stopniem otwarcia otworu odpływowego w zbiorniku w ten sposób, że nie przeciąża kanału ściekowego wykorzystując jego maksymalną przepustowość. Ze zbiornika do kanalizacji ściekowej dostaje się maksymalna możliwa w danym momencie objętość ścieków deszczowych. Separatory przepływu nie dają takiej możliwości. Podobny rozdział zawiesiny osiągają w przypadku, gdy maksymalny chwilowy przepływ ścieków do kanału sanitarnego jest większy nawet aż 4-krotnie. Tak intensywny przepływ z pewnością będzie miał negatywny wpływ na działanie sieci. Objętość ścieków, a tym samym masa zawiesiny odprowadzonej do odbiornika przez separator można zmniejszyć poprzez zastosowanie średnicy upustu dennego o większym przekroju. Spowoduje to jednak przeciążenie kanału ściekowego, co jest zjawiskiem niekorzystnym dla działania oczyszczalni ścieków.

Maksymalny chwilowy odpływ ścieków do kanalizacji ściekowej, który nie powodowałby przeciążenia tej sieci obserwowano jedynie dla separatorów o średnicy 0,2 m i wynosił w roku 2011 średnio 95 l/s oraz 116 l/s w 2012 roku. Ładunek zawiesiny odprowadzanej do odbiornika dla poszczególnych wariantów separatora porównano z ilością zanieczyszczeń zrzucaną przez zbiornik retencyjny o objętości równej $2,5 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{zr}}$. Uzyskane wyniki przedstawiono na wykresie (rys.6).

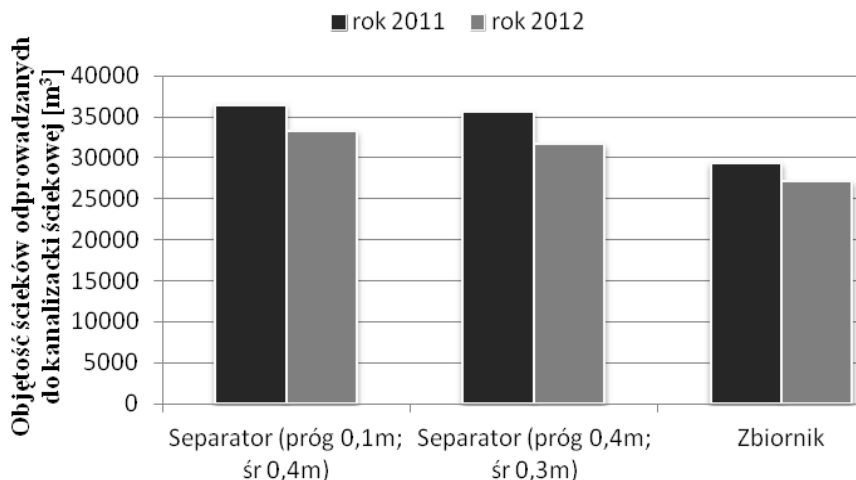


Rys. 6. Masa zawiesiny odprowadzanej do odbiornika dla separatorów o średnicy upustu dennego równej 0,2 m oraz zbiornika o pojemności $2,5 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{zr}}$

Jak wynika z tego zestawienia zbiornik pozwala zredukować znacznie większy ładunek zawiesiny niż ma to miejsce w przypadku standardowego separatora z progiem piętrzącym. Stosując zbiornik o pojemności $2,5 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{zr}}$, w miejsce separatora o średnicy upustu dennego równej 0,2 (separator, który w podobny sposób obciąża kanał

ściekowy) zmniejszono zrzut zawiesiny do odbiornika o od około 38% do 53% w roku 2011 oraz o 35% do 49% w roku 2012 w zależności od wysokości progów piętrzącego.

Przeprowadzone analizy pozwoliły także sprawdzić czy zbiornik retencyjny zastosowany w miejscu standardowego separatora przepływu będzie oddziaływał w niekorzystny sposób na oczyszczalnię ścieków. W tym celu dokonano porównania zbiornika o pojemności $2,5 \text{ m}^3/\text{ha}_{\text{zr}}$ z separatorami, które ograniczają masę zanieczyszczeń w podobnym stopniu (rys. 7). Sprawdzono całkowitą objętość ścieków jaka trafia do kanalizacji ściekowej poprzez zbiornik i separator.



Rys. 7. Objętość ścieków odprowadzanych do kanalizacji ściekowej poprzez zbiornik i separator

Jak wynika z powyższego zestawienia stosowanie zbiornika wyposażonego w układ sterujący w miejsce standardowego separatora nie powoduje zwiększenia obciąża hydraulicznego miejskiej oczyszczalni ścieków. Użycie zbiornika pozwoliło zmniejszyć objętość ścieków jaka trafia do kanalizacji sanitarnej o 18-20% w roku 2011 oraz o 14-18% w zależności od wymiarów separatora.

6. PODSUMOWANIE

Zapewnienie odpowiedniej ochrony wód powierzchniowych wymaga przede wszystkim ograniczenia objętości zrzucanych ścieków opadowych, a co za tym idzie masy zanieczyszczeń w nich zawartych. Zaostrzenie standardów dotyczących ochrony wód powierzchniowych przed zrzutami z kanalizacji deszczowej może w przyszłości spowodować konieczność modernizacji istniejących sieci kanalizacji deszczowych. Sposobem, który może umożliwić takie działanie jest przebudowa istniejących syste-

mów rozdzielczych do kanalizacji półrozdzielczej. Standardowo do tego celu stosuje się separatory przepływu.

W pracy oceniono możliwości modernizacji kanalizacji rozdzielczej do półrozdzielczej przy zastosowaniu zbiornika retencyjnego ze sterowaniem RTC. Uzyskane wyniki pokazują, że zastosowanie zbiornika retencyjnego stanowi dobrą alternatywę dla standardowych separatorów przepływu. Jak wynika z prowadzonych symulacji, zbiornik o stosunkowo małej objętości ($2,5\text{m}^3/\text{ha}_{\text{zr}}$) pozwala osiągnąć zadawalające rezultaty i ograniczyć w znacznym stopniu objętość ścieków trafiających do odbiornika, nie oddziałując przy tym negatywnie na sieć i nie powodując jej przeciążenia oraz zwiększenia obciąża hydraulicznego miejskiej oczyszczalni ścieków. Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że stosowanie zbiorników retencyjnych w celu modernizacji kanalizacji rozdzielczej do półrozdzielczej wydaje się być rozwiązaniem korzystnym i efektywniejszym od standardowo stosowanych separatorów z progiem piętrzącym i upustem dennym.

LITERATURA

- [1] BŁASZCZYK W., STAMATELLO H., *Budowa miejskich sieci kanalizacyjnych*, Arkady Warszawa, 1975.
- [2] CAMBEZ M.J., PINHO J., DAVID L.M., *Using SWMM 5 in the continuous modeling of storm-water hydraulics and quality*, 11th Int.Conf. on Urban Drainage, Edinburgh, 2008.
- [3] CHEN J., ADAMS B.J., *Analytical Urban Storm Water Quality Models Based on Pollutant Buildup and Washoff Processes*, Journal of Environmental Engineering, ASCE, 2006, 1314-1330.
- [4] DĄBROWSKI W., *Oddziaływanie sieci kanalizacyjnych na środowisko*, Wydawnictwa Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2004.
- [5] FIDALA-SZOPE M., *Ochrona wód powierzchniowych przed zrzutami ścieków opadowych z kanalizacji deszczowej i półrozdzielczej*, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 1997.
- [6] HAIPING Z., YAMADA K. *Estimation for urban runoff quality modeling*, Wat.Sci.Tech, 996, vol.34,no.3-4, 49-54.
- [7] KOTOWSKI A., *Projektowanie separatorów i przelewów burzowych na kanalizacji deszczowej*, Ochrona Środowiska, 2000, nr 2(77), 25-30.
- [8] KRÓLIKOWSKI A., Grabarczyk K., Gwoździej-Mazur J., Butarewicz A., *Osady powstające w obiektach systemu kanalizacji deszczowej*, Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 35, Wyd. Drukarnia LIBER DUO s.c., Lublin, 2006.
- [9] MROWIEC M., *Efektywne wymiarowanie i dynamiczna regulacja kanalizacyjnych zbiorników retencyjnych*, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2009.
- [10] MROWIEC M., *Możliwości realizacji układów kanalizacji półrozdzielczej przy zastosowaniu separatorów przepływu typu Septurn*, Postęp w Inżynierii Środowiska. IV Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna, Rzeszów - Bystre, 2006 s. 219-228.
- [11] MROWIEC M., *The improved flow diverter for first flush management*, 6th Int. Conference NOVATECH-Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management, Lyon, 2007 s. 1259-1266.
- [12] OSMULSKA-MRÓZ B., *Podstawy gospodarki wodno-ściekowej w miastach i osiedlach*, Komitet Wydawniczy Instytutu Ochrony Środowiska, Warszawa, 1990.
- [13] ROSSMAN L. A., *Storm Water Management Applications Manual*, EPA. Cincinnati, 2009.

- [14] ROSSMAN L. A., Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0, EPA, Cincinnati, 2005.
- [15] 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, Dz.U. nr 137, poz. 984.
- [16] SOONTHORNNONNDA P., CHRISTENSEN E.R., LIU Y, LI J., *A washoff model for stormwater pollutants*, Science of Total Environment, 2008, 402, 248-256.
- [17] TEMPRANO J., ARANGO O., CAGIAO J., SUAREZ J., TEJERO I, *Stormwater quality calibration by SWMM: a case study in Northern Spain*, Water SA, 2006 vol.32, no.1, 55-63.
- [18] WANG L., WEI J., HUANG Y., WANG G., MAQSOODI., *Urban nonpoint source pollution buildup and washoff models for simulating storm runoff quality in the Los Angeles County*, Environmental Pollution, 2011, 159, 1932-1940.
- [19] ZAWILSKI M., *Prognozowanie wielkości odpływu i ładunków zanieczyszczeń ścieków opadowych odprowadzanych z terenów zurbanizowanych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Łódź, 1997.

FLOW CONTROL IN SEMI-SEPARATE SEWER SYSTEM

This paper presents the problem of adequate protection of surface water quality by reducing stormwater discharge to the receiver. The paper characterizes the semi-separate sewer system. Described the possibility of using the EPA SWMM 5.0 to create a quality model of stormwater. This article attempts to assess the impact of the modernization of sewer system to semi-separate sewer system to reduce pollutant loads, especially total suspended solids. Simulations were made in SWMM, on the real model of urban catchment area of about 69 hectares located in Częstochowa. The simulations used rainfall data from the years 2011 and 2012. Simulations assumed placing on the modeled sewer system rainwater storage tank equipped with real time control unit (RTC) on the storm channel which discharge stormwater to the receiver. Made simulations helped to evaluate and compare the working of the storage tank with standard flow diverter with weir and bottom orifice. Results of simulations showed that the use of a storage tank can significantly reduce the amount of TSS discharged to the receiver. It was noted that the storage tanks do not cause an overloading of the sanitary channel and excessive hydraulic load of waste water treatment plant.