

Maciej MROWIEC*, Kamil PLUTA

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii
Instytut Inżynierii Środowiska
ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa
* e-mail: mrowiec@is.pcz.pl

Analiza działania kanalizacji półrozdzielczej z zastosowaniem różnego typu separatorów przepływu

Artykuł dotyczy problematyki ochrony wód powierzchniowych odnośnie do ograniczenia zrzutu nieoczyszczonych ścieków opadowych do odbiornika poprzez zastosowanie kanalizacji półrozdzielczej. Przedstawiono budowę, działanie oraz wady i zalety separatorów objętości przepływu oraz możliwości zastosowania programu EPA SWMM 5.0 do modelowania kanalizacji półrozdzielczej. Do przeprowadzenia symulacji wykorzystano model zlewni miejskiej o powierzchni 69 hektarów, znajdującej się w Częstochowie, uwzględniający okres opadowy z lat 2011-2012. W pierwszym wariantcie założono działanie standardowego separatora na kolektorze odprowadzającym ścieki deszczowe do odbiornika, natomiast w drugim zastosowanie separatora typu Septurn. Analizując wyniki przeprowadzonych symulacji, stwierdzono, że użycie separatorów pozwala w znacznym stopniu zredukować ładunek zawiesziny zrzucanej do odbiornika. Wykazano, że separatory przepływu z progiem piętrzącym mogą powodować wystąpienie przeciążeń kanalizacji oraz nadmierne hydrauliczne obciążenie komunalnej oczyszczalni ścieków. Natomiast separatory typu Septurn pozwalają w znacznym stopniu ograniczyć wyżej wymienione niekorzystne zjawiska.

Słowa kluczowe: kanalizacja półrozdzielcza, separatory przepływu, separator Septurn, modelowanie jakościowe, SWMM

Wstęp

Ograniczenie objętości zrzutu ścieków deszczowych do odbiornika jest jednym z ważniejszych czynników zapewniających ochronę wód powierzchniowych. Badania prowadzone w ostatnich latach potwierdzają znaczny wzrost zarówno objętości ścieków opadowych, jak i stężeń zanieczyszczeń zawartych w spływach powierzchniowych. Spowodowane jest to głównie przez zwiększenie powierzchni nieprzepuszczalnych, wynikające z rozbudowy miast. Szczególnie niekorzystne dla odbiornika są spływy z centrów miast, terenów przemysłowych, a także obiektów handlowo-usługowych. Spływ ścieków deszczowych z dużym ładunkiem zanieczyszczeń może spowodować w odbiorniku wiele niekorzystnych zjawisk, wywołanych głównie przez [1, 2]:

- odprowadzenie znacznych ilości zanieczyszczeń pływających,
- wprowadzenie znacznej ilości zawieszin mineralnych, odkładających się na dnie odbiornika w postaci osadów, które zawierają metale ciężkie i pestycydy,
- zrzut trudnorozkładalnych substancji pochodzenia organicznego,

- wprowadzanie do odbiornika substancji ropopochodnych,
- eutrofizację spowodowaną wypłukiwaniem nawozów sztucznych,
- skażenie wody bakteriami.

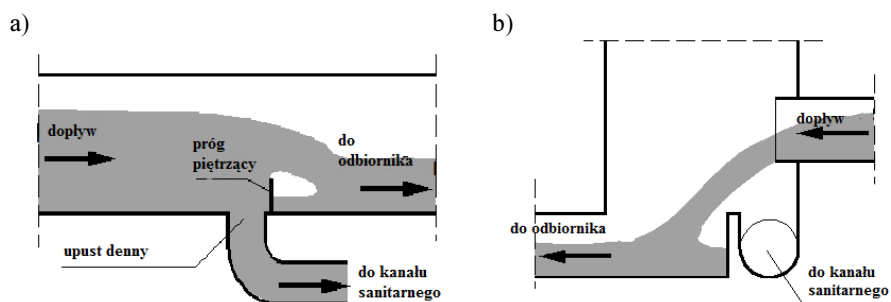
Należy zwrócić uwagę, że suma rocznych ładunków zanieczyszczeń odprowadzanych do odbiornika (w przeliczeniu na jeden hektar powierzchni zlewni) przez kanalizację rozdzielczą może być wyższa od wartości charakterystycznych dla kanalizacji ogólnospławnej [2, 3]. Aby zapewnić odpowiednią ochronę wód powierzchniowych, które są odbiornikiem ścieków z obszarów zurbanizowanych, należy w dużym stopniu ograniczyć objętość zrzucanych ścieków opadowych, a także ilość zanieczyszczeń w nich zawartych. 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 jest zastosowanie kanalizacji półrozdzielczej.

1. Separatory przepływu

Koncepcja kanalizacji półrozdzielczej została przedstawiona w literaturze już kilkadziesiąt lat temu. W takim systemie kanały sieci deszczowej i ściekowej są wzajemnie powiązane poprzez separatory przepływu. Dzięki zastosowaniu separatorów można w stosunkowo prosty sposób dokonać modernizacji kanalizacji rozdzielczej do systemu półrozdzielczego [4-6]. Rozdział ścieków ma miejsce wtedy, gdy strumień objętości ścieków do separatora przekroczy jego natężenie graniczne Q_g . Działanie każdego separatora powinno dać efekt w postaci [6, 7]:

- zmniejszenia częstotliwości (w roku) zrzutów ścieków deszczowych do odbiornika poprzez skierowanie ich części o strumieniu dopływu ścieków mniejszym od natężenia granicznego - do oczyszczalni,
- redukcji strumienia, czasu trwania, objętości zrzutu i ładunku zanieczyszczeń z odpływu ścieków deszczowych o strumieniu większym od granicznego - do odbiornika.

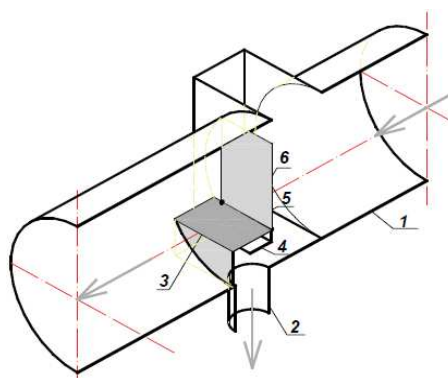
Wyróżnia się separatory o działaniu okresowym i ciągłym. Do pierwszej grupy można zaliczyć separatory kaskadowe (rys. 1a) oraz rynnowe. Na podstawie badań przeprowadzonych na istniejących układach kanalizacji półrozdzielczej stwierdzono, że niecelowe jest stosowanie tego typu urządzeń, ponieważ odprowadzają one ścieki deszczowe do kanalizacji ściekowej (tzw. sanitarnej) tylko o natężeniu dopływu mniejszym od natężenia granicznego. Powyżej tej wartości cała objętość dopływających ścieków wraz z zawartym w nich ładunkiem zanieczyszczeń zrzucana jest bezpośrednio do odbiornika. Nie chronią zatem odbiornika przed zrzutem ścieków opadowych o maksymalnym stężeniu zanieczyszczeń, występujących w czasie największych natężeń odpływu ścieków deszczowych [7, 8]. Zaleca się natomiast stosowanie separatorów o działaniu ciągłym, na przykład separatory z upustem dennym i progami piętrzącym (rys. 1b).



Rys. 1. Separatorzy przepływu: a) kaskadowy, b) z upustem dennym i progiem piętrzącym

Fig. 1. Flow diverters: a) cascade diverter, b) diverter with weir and bottom orifice

Separatorzy o działaniu ciągłym odprowadzają do kanału ściekowego wszystkie ścieki deszczowe o natężeniu dopływu mniejszym od granicznego i dodatkowo część ścieków podczas przepływów charakteryzujących się większymi natężeniami, co w znaczący sposób ogranicza objętość ścieków deszczowych oraz ładunek zanieczyszczeń zrzucany do odbiornika. Wadą tego typu urządzeń jest to, że po odpłynięciu pierwszej fali zanieczyszczeń, poprzez separator, odprowadzane są znaczne objętości ścieków deszczowych, w których zawartość zanieczyszczeń jest już stosunkowo mała.



Rys. 2. Schemat budowy separatora przepływu Septurn: 1 - główny kolektor deszczowy; 2 - przewód odprowadzający ścieki do kanalizacji sanitarnej; 3 - obudowa separatora; 4 - dolna część kłapy; 5 - oś obrotowa; 6 - górna część kłapy

Fig. 2. Construction scheme of the Septurn diverter: 1 - storm channel; 2 - channel discharging sewage to sanitary sewer system; 3 - casing; 4 - lower part of flap valve; 5 - axis of rotation; 6 - upper part of flap valve

Rozwiązaniem umożliwiającym ograniczenie hydraulicznego obciążania oczyszczalni ścieków w okresach intensywnych opadów jest separator Septurn (rys. 2). Elementem odróżniającą omawianą konstrukcję od standardowych separatorów stosowanych dotychczas jest obrotowa kłapa, która umożliwia okresowe retencjonowanie dopływających ścieków w kanale. Mianowicie, gdy napełnienie w kanale osiągnie poziom równy wysokości górnej krawędzi kłapy, następuje jej obrót,

powodujący jednoczesne zamknięcie odpływu ścieków do kanału ściekowego i otwarcie odpływu do odbiornika. Proces stopniowego wypełniania kanału przed separatorem pozwala wykorzystać retencję kanałową. Kłapa jest tak wyważona, że po opróżnieniu kanału samoczynnie powraca do swego początkowego ustawienia. Takie działanie pozwala osiągnąć podobne efekty usuwania zanieczyszczeń jak w przypadku separatorów z progiem piętrzącym, jednak ograniczone zostaje obciążenie hydrauliczne oczyszczalni ścieków. Dokładny opis konstrukcji i działanie separatora Septurn przedstawiono w publikacjach [8, 9].

Funkcję separatorów strumieni objętości ścieków opadowych (o działaniu ciągłym) pełnić mogą także udoskonalone przelewy boczne z dławionym odpływem - za pomocą klasycznej rury dławiącej bądź też nowatorskich konstrukcji regulatorów w postaci układów szeregowo połączonych łuków lub kolan [10].

2. Modelowanie jakości ścieków opadowych

Program EPA SWMM odzwierciedla uproszczony model deterministyczny, który pozwala użytkownikowi wyznaczyć wielkość odpływu ścieków opadowych ze zlewni o dowolnej powierzchni i kształcie do sieci kanalizacyjnej o zadanych przekrojach i przebiegu kanałów [11]. Program SWMM umożliwia także wykonywanie symulacji uwzględniających jakość ścieków. Użytkownik ma możliwość określenia rodzaju modelowanego zanieczyszczenia, a także przypisania różnego tempa nagromadzenia i splukiwania zanieczyszczenia w zależności od rodzaju powierzchni, sposobu użytkowania i zagospodarowania terenu zlewni cząstkowych. Szybkość akumulacji w modelu SWMM wyrażana jest za pomocą jednej z dostępnych w programie formuł: wykładniczej, potęgowej oraz nasycenia [12-14]. Na podstawie dokonanego przeglądu literatury można stwierdzić, że najczęściej stosowane są funkcje potęgowa i wykładnicza [15-20]. Największy problem w modelowaniu jakościowym w SWMM stanowi odpowiednie dobranie parametrów charakteryzujących ten proces. W literaturze spotkać się można z wieloma przykładami modeli jakościowych, jednak wartości dotyczące szybkości akumulacji zanieczyszczeń stałych, podawane przez autorów, różnią się w znaczny sposób od siebie (tab. 1).

Tabela 1. Szybkość akumulacji zanieczyszczeń stałych wg różnych źródeł

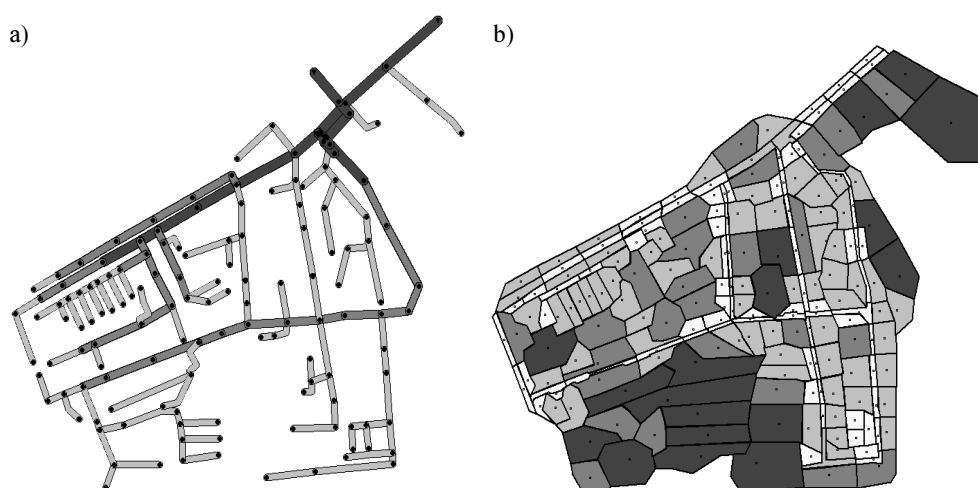
Table 1. The rate of accumulation of solids by different sources

Autor	Rok publikacji	Tempo akumulacji zanieczyszczeń stałych $\text{kg ha}^{-1}\text{d}^{-1}$
Haiping i Hamada [15]	1996	0,7÷1
Temprano i in. [16]	2006	17,5
Chen i Adams [17]	2006	7,2
Cambez i in. [18]	2008	10,56
Soonthornnonda i in. [19]	2008	14,8
Wang i in. [20]	2011	0,71

Splukiwanie zanieczyszczeń można natomiast przedstawić w postaci formuł: wykładniczej, krzywej wzorcowania oraz uproszczonej, w której stężenie zanieczyszczeń ma stałą wartość [13, 14].

3. Charakterystyka modelowanej zlewni - model hydrauliczny

Analizowanym w opracowaniu obszarem jest zlewnia deszczowa położona w Częstochowie w dzielnicy Raków. Modelowana zlewnia zajmuje powierzchnię 68,8 ha. Na terenie zlewni znajdują się budynki zabudowy wielorodzinnej, ulice, parkingi, stacja kolejowa, obszary przemysłowe i zielone. Model analizowanej sieci składa się ze 138 odcinków kanałów (rys. 3a) o przekrojach kołowych i średnicach od 0,2 do 0,9 m. Ścieki deszczowe są odprowadzane do wylotu kolektorem o średnicy 1,0 m. Wartość współczynnika szorstkości dla kanałów przyjęto na podstawie materiału, z którego dany kanał został wykonany (beton, $n = 0,013 \text{ s/m}^{1/3}$). Podział na zlewnie cząstkowe ustalono na podstawie ukształtowania terenu, tras kanałów oraz sposobu zagospodarowania terenu. Na potrzeby modelu jakościowego główne ulice zostały wyodrębnione ze zlewni. W sumie w modelu uwzględniono 197 zlewni cząstkowych (rys. 3b).



Rys. 3. Schemat sieci: a) przebieg kanałów, b) podział na zlewnie cząstkowe

Fig. 3. Scheme of sewer system: a) the course of channels, b) the division of the subcatchment

Powierzchnie nieprzepuszczalne zajmują obszar 22,5 hektara. Spadek zlewni ulicznych przyjęto równy 2,0%, natomiast szerokość hydrauliczną pasa spływu obliczono dla poszczególnych zlewni na podstawie wzoru:

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

gdzie:

L - hydrauliczna szerokość pasa spływu, m,
A - powierzchnia zlewni, m².

Pozostałe parametry charakteryzujące zlewnie cząstkowe przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wartości parametrów charakteryzujących zlewnię

Table 2. The values of the parameters characterizing the catchment

Parametr	Nazwa w SWMM	Wartość	Jednostka
Współczynnik szorstkości dla powierzchni przepuszczalnych	N-perv	0,2÷0,4	s/m ^{1/3}
Współczynnik szorstkości dla powierzchni nieprzepuszczalnych	N-imperv	0,015	s/m ^{1/3}
Zdolność retencyjna powierzchni nieprzepuszczalnych	Dstore-imperv	1,5	mm
Zdolność retencyjna powierzchni przepuszczalnych	Dstore-perv	6÷7 i 10÷12*	mm
Powierzchnia nieprzepuszczalna niemająca zdolności retencyjnej	% zero imperv	10	%
Maksymalna intensywność infiltracji	Max infil. rate	75	mm/h
Minimalna intensywność infiltracji	Min infil. rate	15÷20	mm/h
Parowanie	Evaporation	3	mm/dobę

* maksymalne wartości zastosowano dla terenów z dużą ilością wysokiej roślinności (drzewa, krzewy)

4. Charakterystyka modelowanej zlewni - model jakościowy

Modelowanym wskaźnikiem zanieczyszczeń była zawiesina ogólna, która jest jednym z ważniejszych wskaźników normowanych w przepisach prawnych dotyczących ścieków opadowych [21]. Każda ze zlewni cząstkowych została podzielona ze względu na zagospodarowanie na dwa obszary: główne ciągi komunikacyjne, ulice i parkingi - jako tereny silniej zanieczyszczone oraz pozostałe tereny osiedlowe, przede wszystkim dachy budynków - na których nagromadzenie zanieczyszczeń jest mniejsze. Do opisu gromadzenia zanieczyszczeń wybrano funkcję:

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

gdzie:

C₁ - graniczna masa gromadzonych zanieczyszczeń, kg/ha,

C₂ - przyrost masy zanieczyszczeń, kg/d·ha,

C₃ - wykładnik czasu, d.

Parametry szybkości akumulacji zanieczyszczeń dobrano na podstawie literatury w ten sposób, aby osiągnąć wynik zbliżony do średniej masy zawiesiny odprowadzanej z hektara nieprzepuszczalnej powierzchni rocznie kanalizacją, tj. około 430 kg/ha·rok [22]. Wartości użyte w symulacjach przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wartości parametrów modelu splukiwania zanieczyszczeń SWMM

Table 3. The values of washoff model parameters in SWMM

Rodzaj uszczelnionej powierzchni	Parametr			
	C ₁	C ₂	K ₁	K ₂
Ulice (tereny silniej zanieczyszczone)	12,5	1	1,5	2
Dachy (tereny mniej zanieczyszczone)	7,5	1	1,5	2

Do opisu procesu splukiwania zanieczyszczeń w wykonanym modelu zastosowano funkcję:

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

gdzie:

K₁ - współczynnik szybkości splukiwania zanieczyszczeń,

K₂ - współczynnik potęgowy,

q - intensywność spływu powierzchniowego, mm/h,

B - masa nagromadzonych zanieczyszczeń, kg.

Wartości parametrów charakteryzujących wypłukiwanie zanieczyszczeń zostały dobrane na podstawie zalecanych w literaturze, co przedstawiono w tabeli 3.

5. Przebieg badań

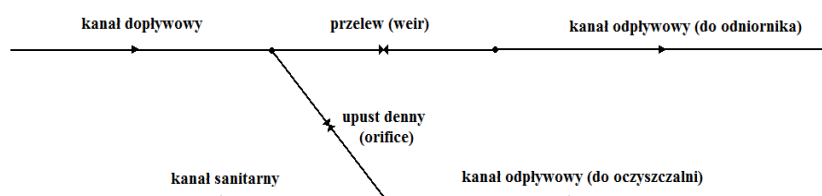
W symulacjach wykorzystano rzeczywiste dane opadowe z lat 2011-2012. Opady te zostały zarejestrowane w Częstochowie na pluwiografie znajdującym się przy ulicy Brzeźnickiej. Na potrzeby symulacji wybrano zdarzenia z okresu od początku marca do końca października. Suma opadów w tym czasie wyniosła, odpowiednio, w roku 2011: 361,8 mm, a w roku 2012: 388,7 mm. W pierwszym etapie wykonano serię symulacji pozwalających dobrać odpowiednie wartości parametrów nagromadzenia i splukiwania zanieczyszczeń. Symulacje prowadzone były w dwóch wariantach. Pierwszy zakładał umieszczenie na modelowanej sieci deszczowej standardowego separatora na kolektorze odprowadzającym ścieki deszczowe do odbiornika (średnica kanału 1,0 m). Działanie separatorów przepływu symulowano w SWMM, stosując elementy dostępne w programie: przelew (weir) i otwór (orifice) dla upustu dennego (rys. 4).

Analizy prowadzono dla wysokości przelewu $h = 0,1; 0,15; 0,2; 0,3; 0,4$ m oraz średnicy upustu dennego $d = 0,2; 0,25; 0,3; 0,4$ m. Oceny działania separatorów dokonano w oparciu o:

- liczbę zdarzeń, w których ścieki przelewały się przez próg piętrzący dla różnych czasów separacji opadów (3 h, 6 h i 9 h),
- objętość ścieków oraz masę zawiesiny trafiających do kanalizacji i odbiornika.

Przeprowadzone symulacje pozwoliły zbadać również maksymalne chwilowe przepływy ścieków:

- trafiających do kanału ściekowego,
- odprowadzanych do odbiornika przez przelew.



Rys. 4. Schemat separatora w SWMM 5.0

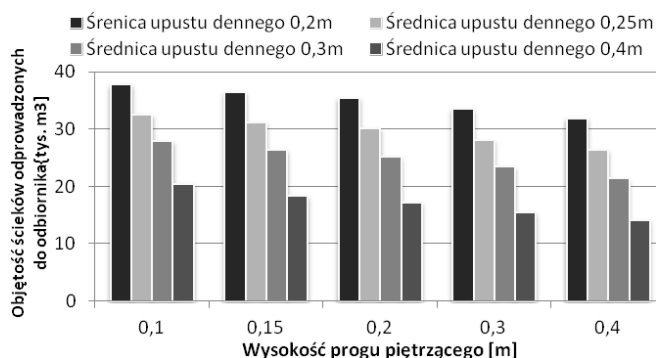
Fig. 4. Scheme of flow diverter in SWMM 5.0

Drugi wariant zakładał zastosowanie w miejscu standardowego separatora przepływu z progiem piętrzącym separatora typu Septurn. W tym przypadku w modelu SWMM konieczne było zastosowanie dodatkowych reguł sterujących (control rules). Wysokość progu piętrzącego, jak też wysokość kłapy przyjęto zgodnie z modelem matematycznym zweryfikowanym w badaniach laboratoryjnych zaprezentowanych w publikacjach [8] i [9]. Przy średnicy kanału równej 1,0 m wysokość górnej części kłapy wyniosła 0,67 m, a wysokość progu piętrzącego 0,21 m. Średnicę upustu dennego przyjęto równą 0,3 m.

6. Dyskusja wyników

Przeprowadzone symulacje pozwoliły określić objętość ścieków, jaka odpłynęła siecią kanalizacyjną. W 2011 roku było to około 57 000 m³, a w 2012 roku do kanalizacji trafiło około 60 000 m³. Wykonanie symulacji dało także możliwość sprawdzenia masy zawiesiny, która dostała się do kanalizacji z modelowanej zlewni. W 2011 roku było to około 8850 kg, co daje w przeliczeniu na hektar powierzchni zredukowanej 393 kg, a w 2012 roku 7950 kg, czyli 353 kg/ha_{zr.} Liczba zdarzeń, w których ścieki przelały się przez próg piętrzący, była różna w zależności od przyjętego czasu separacji opadów. Im krótszy czas separacji, tym większa liczba zdarzeń. W 2011 roku odnotowano, w zależności od konfiguracji separatora, od 18 (separator o progu piętrzącym 0,4 m i średnicy upustu dennego 0,4 m) do 50 (separator o progu piętrzącym 0,1 m i średnicy upustu dennego 0,2 m) zdarzeń. W 2012 roku było to od 21 do 41 przypadków zrzutu ścieków do odbiornika. Największy wpływ na ograniczenie liczby zrzutów ma zwiększenie wysokości progu piętrzącego. Analizując otrzymane wyniki pierwszej części symulacji, dotyczących działania standardowego separatora przepływu, można stwierdzić, że rozdział ścieków

opadowych w omawianym urządzeniu na odprowadzone do kanalizacji i zrzucone do odbiornika zależy przede wszystkim od średnicy upustu dennego. Dwukrotne zwiększenie średnicy upustu z 0,2 do 0,4 m pozwala osiągnąć redukcję objętości ścieków odprowadzonych do odbiornika o około 45÷55% w roku 2011 oraz 38÷43% w roku 2012 w zależności od wysokości progu piętrzącego. Natomiast zmiana wysokości progu piętrzącego z 0,1 do 0,4 m, a więc czterokrotne zwiększenie, powoduje redukcję objętości ścieków o około 15÷30% w roku 2011 i 15÷20% w roku 2012, dla średnic upustu dennego z zakresu 0,2÷0,4 m. Przypadek ten obrazuje rysunek 5.



Rys. 5. Redukcja objętości ścieków zrzucanych do odbiornika w zależności od średnicy upustu dennego i wysokości progu piętrzącego (rok 2011)

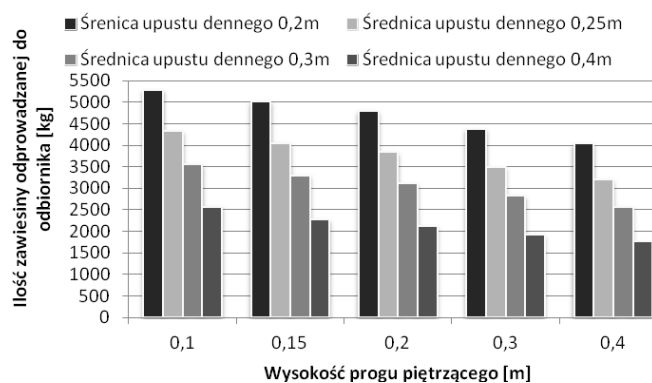
Fig. 5. Reducing the volume of wastewater discharged to the receiver, depending on the diameter of the bottom orifice and height of the weir (2011)

Podobna zależność zachodzi w przypadku masy zawiesiny odprowadzanej przez separator. Zwiększenie średnicy w wyżej wymienionym stosunku powoduje redukcję zrzuconego przez separator ładunku zawiesiny o około 50÷55% w roku 2011 oraz 48÷52% w roku 2012, podczas gdy zwiększenie wysokości progu piętrzącego z 0,1 do 0,4 m pozwala na zmniejszenie zrzutu zawiesiny o 25÷30% w roku 2011 oraz w 2012 roku o 21÷27%. Zależność ta została przedstawiona na rysunku 6.

Parametrem charakteryzującym pracę separatora badanym w symulacjach był maksymalny chwilowy odpływ ścieków deszczowych do kanalizacji ściekowej, który zależy przede wszystkim od średnicy upustu dennego. Natomiast wysokość progu piętrzącego nie wpływa w znaczący sposób na ten parametr. Z uwagi na występowanie opadów o większych natężeniach maksymalnych w 2012 roku także chwilowe wartości strumienia ścieków są o 18÷22% wyższe niż w roku 2011 (rys. 7). Porównując wartości strumieni (natężeń) przepływu dla poszczególnych średnic upustu, można zauważyć, że są one proporcjonalne do powierzchni czynnej przekroju poprzecznego upustu.

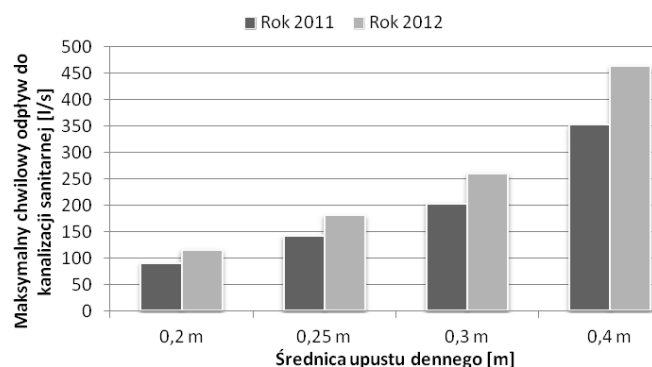
Zrzut ścieków opadowych do kanalizacji ściekowej niekorzystnie wpływa na jej działanie i w pewnych przypadkach może doprowadzić do hydraulicznego przeciążenia. Sytuacja taka może mieć miejsce szczególnie wtedy, gdy średnica kanału jest niewiele większa od średnicy upustu dennego lub gdy intensywne opady wy-

stąpią w czasie największych przepływów w kanalizacji ściekowej. Przepustowość kanału ściekowego jest w tym okresie znacznie mniejsza, a samo napełnienie ściekami bytowo-gospodarczymi może sięgać połowy jego średnicy. Dodatkowy dopływ ścieków deszczowych w tym czasie może powodować występowanie niekorzystnych zjawisk na sieci (praca pod ciśnieniem, podtopienia studzienek kanalizacyjnych, wylania itp.).



Rys. 6. Redukcja masy zawiesiny zrzucanej do odbiornika w zależności od średnicy upustu dennego i wysokości progę piętrzącego (rok 2011)

Fig. 6. Reduction of TSS discharged to the receiver, depending on the diameter of bottom orifice and height of the weir (2011)

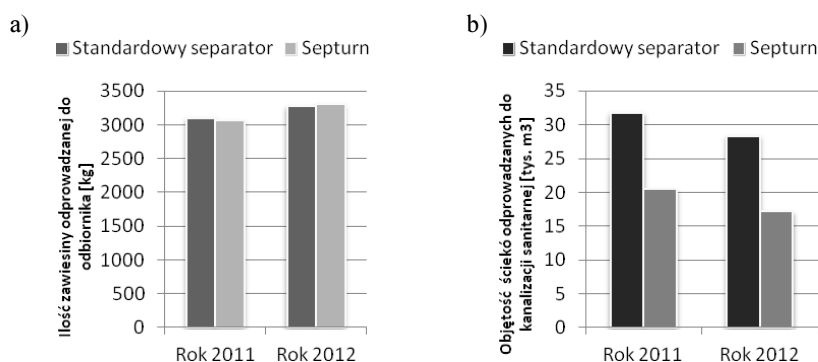


Rys. 7. Maksymalny chwilowy odpływ ścieków deszczowych do kanalizacji ściekowej poprzez separator przepływu w zależności od średnicy upustu dennego

Fig. 7. Maximum temporary stormwater outflow to sewerage system through diverter depending on the diameter of the bottom orifice

Wymienione zjawiska mogą zostać ograniczone poprzez zastosowanie separatora Septurn. W przeprowadzonych symulacjach zestawiono standardowy separator o wysokości progę piętrzącego wynoszącej 0,2 m i średnicy upustu dennego równej 0,3 m z separatorem Septurn. Uzyskane wyniki potwierdziły, że Septurn pozwala w znacznym stopniu ograniczyć objętość ścieków deszczowych zrzucanych do

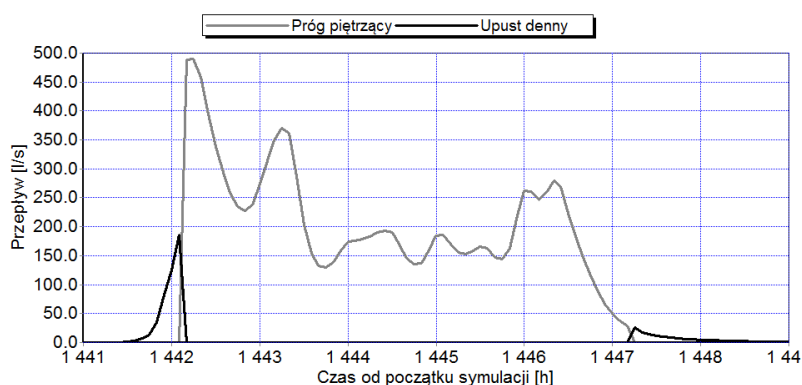
kanalizacji ściekowej, jednocześnie uzyskując podobny stopień redukcji masy zawiesiny odprowadzanej do odbiornika (rys. 8a i b).



Rys. 8. Masa zawiesiny odprowadzanej do odbiornika (a) i objętość ścieków odprowadzanych do kanalizacji ściekowej w zależności od rodzaju separatora (b)

Fig. 8. Mass of TSS discharged to the receiver (a) and the volume of wastewater discharged into the sewage system, depending on the type of diverter (b)

Analiza wyników wskazuje, że zastosowanie separatora typu Septurn w miejscu standardowego separatora pozwoliło zredukować objętość ścieków trafiających do kanału ściekowego o około 36% (11 330 m³) w roku 2011 oraz o 39% (11 116 m³) w roku 2012.



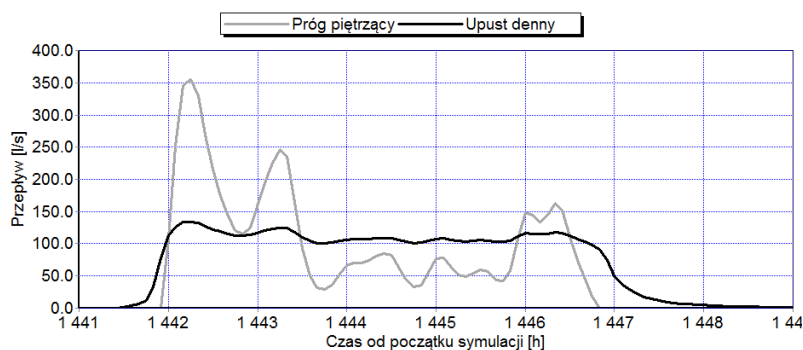
Rys. 9. Hydrogram odpływu ścieków do odbiornika i kanalizacji ściekowej dla separatora Septurn (opad dnia 30.04.2011)

Fig. 9. Hydrograph of outflow of stormwater into receiver and the sewerage system for Septurn diverter (rainfall on 30.04.2011)

W rzeczywistości zarówno w separatorach wyposażonych w próg piętrzący, jak i w separatorze typu Septurn stopień redukcji zanieczyszczeń, przede wszystkim zawiesiny, jest większy niż w powyższych symulacjach. Wynika to ze sposobu prowadzenia obliczeń przez program SWMM, który nie uwzględnia podziału cząstek na frakcje o różnej objętości i masie, a także mogących zachodzić procesów che-

micznych czy biologicznych. Program traktuje odcinki sieci jako reaktory pełnego mieszania, w których w całej objętości płynie taka sama masa zanieczyszczeń. W rzeczywistości przy dnie kanału występuje większe stężenie zawiesin, dzięki czemu próg piętrzący w separatorach może zatrzymać większą część zanieczyszczeń, na co wskazują wyniki symulacji.

Porównując hydrogramy odpływu ścieków do odbiornika i kanalizacji ściekowej w wariantcie z separatorem Septurn (rys. 9) do standardowego separatora przepływu (rys. 10), można zauważyć jeszcze jedną istotną przewagę omawianego separatora.



Rys. 10. Hydrogram odpływu ścieków do odbiornika i kanalizacji ściekowej dla standardowego separatora z progiem piętrzącym (opad dnia 30.04.2011)

Fig. 10. Hydrograph of outflow of stormwater into receiver and the sewage system for standard diverter with weir and bottom orifice (rainfall on 30.04.2011)

Jak wynika z powyższych wykresów (rys. 9 i 10), separator typu Septurn podczas intensywnych opadów odprowadza ścieki deszczowe do kanalizacji ściekowej z maksymalnym przepływem okresowo: na początku i pod koniec zdarzenia opadowego, podczas gdy w standardowym separatorze przez cały czas trwania deszczu przepływ zbliżony jest do maksymalnego. Taka sytuacja może prowadzić do nadmiernego przeciążenia kanału ściekowego. Wyniki przeprowadzonych symulacji wykazały, że, stosując separator Septurn, uzyskano zmniejszenie maksymalnego chwilowego przepływu o około 5% w roku 2011 (z 201 do 191 dm^3/s) oraz o 27% w roku 2012 (z 261 do 191 dm^3/s) przy zastosowaniu tej samej średnicy upustu dennego.

Podsumowanie

Zapewnienie odpowiedniej ochrony jakości wód powierzchniowych wymaga ograniczenia objętości zrzucanych ścieków opadowych, a także masy zanieczyszczeń w nich zawartych. Zaostrzenie standardów dotyczących ochrony wód powierzchniowych przed zrzutami z kanalizacji deszczowej może spowodować konieczność modernizacji istniejących sieci kanalizacji deszczowych. Jednym ze

sposobów takich działań może być zastosowanie separatorów przepływu i przebudowa istniejących systemów rozdzielczych do kanalizacji półrozdzielczej. Jak wynika z przeprowadzonych badań, użycie separatorów pozwala w znacznym stopniu zredukować ilość zawiesiny zrzucanej do odbiornika. Niestety, standardowe separatory przepływu z progiem piętującym mogą powodować wystąpienie przeciążeń kanału ściekowego, a także nadmierne hydrauliczne obciążenie komunalnej oczyszczalni ścieków. Alternatywą dla standardowych separatorów jest separator typu Septurn, którego budowa i działanie pozwala ograniczyć ww. niekorzystne zjawiska. Zastosowanie tego typu urządzenia pozwala uzyskać podobny stopień redukcji ilości zawiesiny odprowadzanej do odbiornika przy jednoczesnym ograniczeniu objętości ścieków deszczowych, jaka trafia poprzez separator do kanalizacji.

Literatura

- [1] Zawilski M., Prognozowanie wielkości odpływu i ładunków zanieczyszczeń ścieków opadowych odprowadzanych z terenów zurbanizowanych, Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej 1997, nr 792.
- [2] Mrowiec M., Efektywne wymiarowanie i dynamiczna regulacja kanalizacyjnych zbiorników retencyjnych, seria Monografie nr 171, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2009.
- [3] Królikowski A., Grabarczyk K., Gwoździej-Mazur J., Butarewicz A., Osady powstające w obiektach systemu kanalizacji deszczowej, Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, 35, Wyd. Drukarnia LIBER DUO s.c., Lublin 2006.
- [4] Błaszczak W., Stamatello H., Budowa miejskich sieci kanalizacyjnych, Arkady, Warszawa 1975.
- [5] Kotowski A., Projektowanie separatorów i przelewów burzowych na kanalizacji deszczowej, Ochrona Środowiska 2000, 2(77), 25-30.
- [6] Osmulski-Mróz B. (red.), Podstawy gospodarki wodno-ściekowej w miastach i osiedlach, Komitet Wydawniczy Instytutu Ochrony Środowiska, Warszawa 1990.
- [7] Fidala-Szope M., Ochrona wód powierzchniowych przed zrzutami ścieków opadowych z kanalizacji deszczowej i półrozdzielczej, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 1997.
- [8] Mrowiec M., Możliwości realizacji układów kanalizacji półrozdzielczej przy zastosowaniu separatorów przepływu typu Septurn, IV Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna Postęp w Inżynierii Środowiska, Rzeszów-Bystre 2006, 219-228.
- [9] Mrowiec M., The application of improved flow diverter for first flush management, Water Science and Technology 2010, 62(9), 2167-2174.
- [10] Kotowski A., Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenów, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2011.
- [11] Zawilski M., Sakson G., Modelowanie spływu ścieków opadowych ze zlewni miejskiej przy wykorzystaniu programu SWMM, Część I, Kalibracja modelu, Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2010, 11, 32-36.
- [12] Zawilski M., Sakson G., Ocena emisji zawieszin odprowadzanych kanalizacją deszczową z terenów zurbanizowanych, Ochrona Środowiska 2013, 35(2), 33-40.
- [13] Rossman L.A., Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0, EPA, Cincinnati 2005.
- [14] Rossman L.A., Storm Water Management Applications Manual, EPA, Cincinnati 2009.
- [15] Haiping Z., Yamada K., Estimation for urban runoff quality modeling, Water Science and Technology 1996, 34, 3-4, 49-54.

- [16] Temprano J., Arango O., Cagiao J., Suarez J., Tejero I., Stormwater quality calibration by SWMM: a case study in Northern Spain, *Water Science and Technology* 2006, 32, 1, 55-63.
- [17] Chen J., Adams B.J., Analytical urban storm water quality models based on pollutant buildup and washoff processes, *Journal of Environmental Engineering, ASCE* 2006, October, 1314-1330.
- [18] Cambez M.J., Pinho J., David L.M., Using SWMM 5 in the continuous modeling of stormwater hydraulics and quality, 11th Int. Conf. on Urban Drainage, Edinburgh 2008.
- [19] Soonthornnonda P., Christensen E.R., Liu Y., Li J., A washoff model for stormwater pollutants, *Science of Total Environment* 2008, 402(2-3), 248-256.
- [20] 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, *Environmental Pollution* 2011, 159, 1932-1940.
- [21] 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 Nr 137, poz. 984.
- [22] Dąbrowski W., Oddziaływanie sieci kanalizacyjnych na środowisko, Wydawnictwa Politechniki Krakowskiej, Kraków 2004.

Analysis of Semi-Separate Sewage System Operating with Various Types of Flow Diverters

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 and presents construction, working, and advantages and disadvantages of different types of flow diverters. It describes the possibility of using the EPA SWMM 5.0 to create a quality model stormwater. 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 were made in two variants. The first assumed placing in the modeled sewer system standard flow diverter on storm channel which discharge stormwater to the receiver. The second, application in the same location on the sewage system Septurn flow diverter. Performed simulations helped to evaluate and compare the working of standard flow diverter with weir and bottom orifice and Septurn separator. Analyzing the results of performed simulations it has been found that the use of diverters can significantly reduce the volume of total suspended solids discharged to the receiver. It was noted that the diverter with weir and bottom orifice can cause overloading of the sanitary channel and excessive hydraulic load of wastewater treatment plant. It was found that the Septurn diverter can significantly reduce above-mentioned adverse occurrence.

Keywords: semi-separate sewer system, flow diverters, Septurn diverter, quality modeling, SWMM