

## ANALIZA ODDZIAŁYWANIA SYSTEMÓW KANALIZACYJNYCH NA ODBIORNIK

Kamil Pluta<sup>1</sup>, Maciej Mrowiec<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instytut Inżynierii Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii, Politechnika Częstochowska, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa, e-mail: kamil-pluta@o2.pl, mrowiecm@is.pcz.czyst.pl

### STRESZCZENIE

Ograniczenie zrzutów ścieków do odbiornika jest obecnie jednym z najważniejszych działań pozwalających zapewnić 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 postępujący proces urbanizacji i związaną z nim rozbudowę miast, a tym samym zwiększenie powierzchni nieprzepuszczalnych. Zrzut ścieków z dużym ładunkiem zanieczyszczeń wpływa w niekorzystny sposób na odbiorniki wodne. Skład jakościowy ścieków jest zróżnicowany i zależy od wielu czynników, przede wszystkim jednak jest ściśle związany z systemem kanalizacyjnym zastosowanym do odwodnienia zlewni. W artykule przedstawiono analizę porównawczą oddziaływania na środowisko trzech podstawowych systemów kanalizacyjnych: kanalizacji ogólnospławnej, rozdzielczej i półrozdzielczej. Analizę przeprowadzono dla typowej zlewni miejskiej, przy wykorzystaniu uśrednionych stężeń podstawowych wskaźników zanieczyszczeń, jakimi są: zawiesina ogólna, związki azotu i fosforu, ChZT, BZT<sub>5</sub>, wybrane metale ciężkie. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że każdy z wymienionych systemów kanalizacyjnych cechuje się zróżnicowanym oddziaływaniem na środowisko w zależności od przyjętego wskaźnika zanieczyszczenia. Najlepszym z obecnie dostępnych rozwiązań technicznych wydaje się być system kanalizacji półrozdzielczej, wykorzystujący zbiornik retencyjny ze sterowaniem w czasie rzeczywistym (RTC) do regulacji przepływu.

**Słowa kluczowe:** jakość ścieków deszczowych, systemy kanalizacyjne, oddziaływanie kanalizacji na odbiornik.

## THE ANALYSIS OF SEWAGE SYSTEM INFLUENCE ON RECEIVERS

### ABSTRACT

Reducing waste water discharges to the receiver is now one of the most important activities to ensure the protection of surface waters. This is caused mainly by progressive urbanization and increasing impervious surfaces. Discharge of sewage with a large load of pollutants affect the receivers in a negative way. The quality of waste water varies and depends on many factors, but above all, it is closely linked with sewer system applied to the drainage catchment. The article presents a comparative analysis of the environmental impact of three basic sewer systems: combined, separate and semi-separate. The analysis was performed for a typical urban catchment, using the average concentration of the basic indicators of pollution, which total suspended solids, nitrogen and phosphorus, COD, BOD<sub>5</sub>, selected heavy metals are merked. The results concluded that each of these sewer systems characterized by varying environmental impacts depending on the indicator of pollution. The best of today available technical solutions seem to be semi-separate sewer system, using the storage tank with the control in real time (RTC) for controlling the flow.

**Keywords:** quality of rain water, sewage systems, impact of sewage on receiver.

### WSTĘP

Zagadnienie dotyczące składu jakościowego ścieków jest bardzo istotne przy próbach oceny wpływu ich zrzutu na odbiornik wodny. Oddziaływanie spływów opadowych na środowisko wodne jest problemem złożonym, zależnym od

wielu czynników. Tereny miejskie, w szczególności powierzchnie utwardzone, stwarzają sprzyjające warunki do akumulacji zanieczyszczeń stałych, powstających głównie przez działalność człowieka. Opady atmosferyczne powodują splukiwanie zanieczyszczeń z powierzchni zlewni do sieci kanalizacyjnych skąd mogą trafić do od-

biorników wodnych, pogarszając ich naturalny stan chemiczny i ekologiczny [16]. Najbardziej niekorzystne dla odbiornika są spływy z terenów silnie zanieczyszczonych, centrów miast, terenów przemysłowych, a także ośrodków handlowo-usługowych. Aby zapewnić odpowiednią ochronę wód powierzchniowych należy w dużym stopniu ograniczyć objętość ścieków odprowadzanych do odbiornika, a także zmniejszyć stężenia zanieczyszczeń w nich zawartych. Negatywne oddziaływanie powiązane z rzutami ścieków opadowych do odbiornika można podzielić na jakościowe i ilościowe. W ujęciu jakościowym spływ ścieków deszczowych z dużym ładunkiem zanieczyszczeń może spowodować w odbiorniku wiele niekorzystnych zjawisk, z których najważniejsze to [5, 7, 13, 20]:

- zmętnienie wody, która prowadzi do zmniejszenia intensywności przebiegu fotosyntezy,
- eutrofizację spowodowaną wypłukiwaniem nawozów sztucznych,
- nagromadzenie znacznych ilości zanieczyszczeń pływających,
- wprowadzenie znacznej ilości zawiesin mineralnych, które zawierają metale ciężkie i pestycydy,
- pojawienie się trudno rozkładalnych substancji pochodzenia organicznego,
- występowanie substancji ropopochodnych,
- skażenie wody bakteriami (typu fekalnego).

Natomiast jeśli chodzi o ilość ścieków zrzucających do odbiornika niekorzystny jest nagły dopływ dużej objętości wód w krótkim czasie, co powoduje wynoszenie osadów dennych, skutkujące zwiększonym poborem tlenu i zakłóceniem równowagi ekologicznej. Można się spodziewać, że w niedalekiej przyszłości standardy dotyczące ochrony wód powierzchniowych przed rzutami z kanalizacji deszczowej zostaną zaostrzone. W pracy analizie porównawczej poddano trzy podstawowe systemy kanalizacyjne: kanalizację ogólnospławną, rozdzielczą i półrozdzielczą. Dokonane porównanie pozwoliło ocenić wpływ poszczególnych systemów kanalizacyjnych na wody powierzchniowe.

## CHARAKTERYSTYKA SYSTEMÓW KANALIZACYJNYCH

Systemy kanalizacyjne, których zadaniem jest odprowadzenie ścieków z terenów zurbanizowanych można podzielić ze względu na liczbę sieci w systemie na [1]:

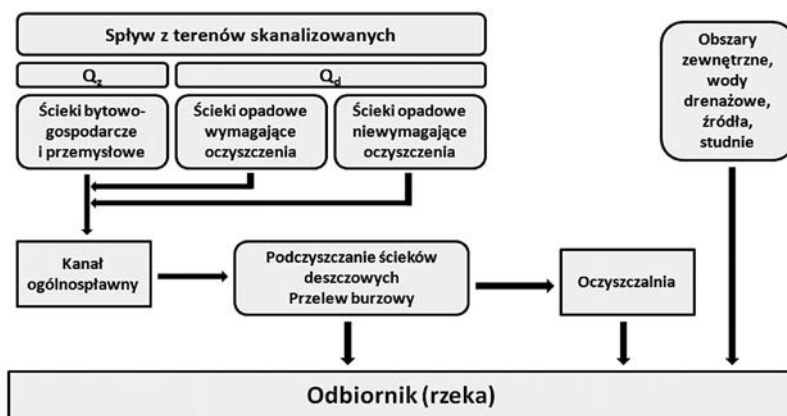
- kanalizację ogólnospławną,
- kanalizację rozdzielczą,
- kanalizację półrozdzielczą.

Cechą wyróżniającą **kanalizację ogólnospławną** jest to, że wszystkie rodzaje ścieków: przemysłowe, bytowo-gospodarcze, deszczowe oraz roztopowe na obszarze skanalizowanym przez daną sieć przesyłane są jednym kanałem. W kanale ogólnospławnym pełne przekroje wykorzystywane są jedynie podczas opadów o dużym natężeniu. W okresach bezdeszczowych kanały wypełnione są przez ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe tylko w części swojej średnicy. W kanalizacji ogólnospławnej spotyka się dość często zjawisko przepełnienia sieci i jej pracy pod ciśnieniem. Spowodowane jest to tym, że podczas projektowania nie uwzględnia się maksymalnych zaobserwowanych opadów, które występują raz na kilka lub kilkanaście lat. Typowymi urządzeniami występującym na sieci kanalizacji ogólnospławnej są przelewy burzowe, które mają odciążać kanały sieci w czasie opadów o dużym natężeniu. Ścieki płynące kolektorem deszczowym powyżej określonego poziomu są odprowadzane przez przelew burzowy do kanałów, których zadaniem jest odprowadzenie nadmiaru ścieków do odbiornika. Pozwala to zmniejszyć wielkość dopływu rozcieńczonych ścieków do oczyszczalni i tym samym zredukowanie wielkości jej urządzeń przeznaczonych do oczyszczania ścieków, jednocześnie stanowi źródło zanieczyszczeń środowiska w czasie intensywnych opadów [6, 7] Schemat kanalizacji ogólnospławnej przedstawiono na rysunku 1.

W systemie **kanalizacji rozdzielczej** ścieki płyną układem dwóch przewodów. Jednym ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe, drugim ścieki opadowe. Przewody każdej z sieci układane są na różnych głębokościach, co zapewnia uniknięcie kolizji pomiędzy trasami ich przewodów. Kanały odprowadzające ścieki bytowe i przemysłowe wymiaruje się na podstawie maksymalnych sekundowych przepływów. Sieć nie powinna jednak pracować pod ciśnieniem, ponieważ mogłoby to doprowadzić do podtopień ściekami pomieszczeń usytuowanych pod poziomem gruntu. Z tego powodu zaleca się, aby nad lustrem ścieków w kanale znajdowała się niewypełniona przestrzeń stanowiąca dodatkową rezerwę przepustowości sieci. Wymiary kanałów do odprowadzania ścieków opadowych wyznacza się na podstawie spływu ścieków opadowych i mają one średnice zbliżone do kanałów ogólnospław-

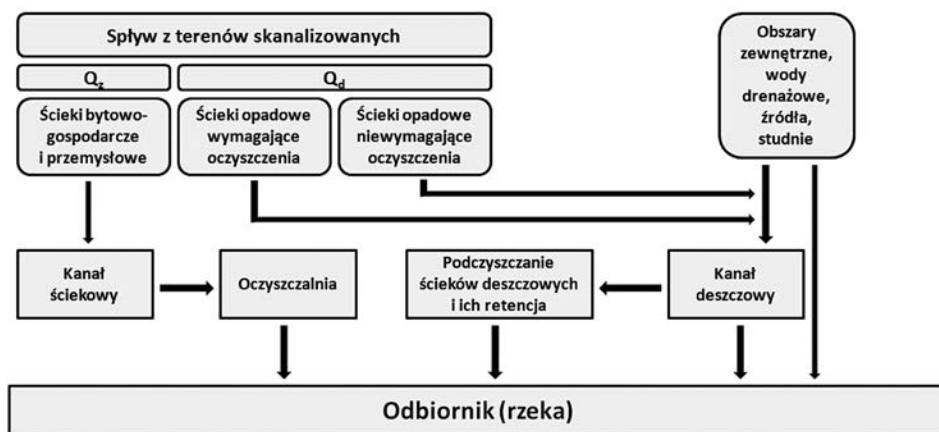
nych. Ta część sieci rozdzielczej pracuje w sposób okresowy. Działa w czasie opadów deszczu, a także podczas odwilży i roztopów. Nieoczyszczone ścieki opadowe odprowadzane kanalizacją rozdzielczą zanieczyszczają odbiorniki. Schemat odwodnienia w systemie kanalizacji rozdzielczej przedstawiono na rysunku 2.

W **kanalizacji półrozdzielczej**, podobnie jak w kanalizacji rozdzielczej, ścieki przemysłowe, bytowo-gospodarcze i opadowe są transportowane dwiema sieciami. Cechą wyróżniającą ten system jest to, że układy kanałów są wzajemnie powiązane i współdziałają ze sobą. Urządzeniami, które łączą obie sieci są separatory. Do ich za-



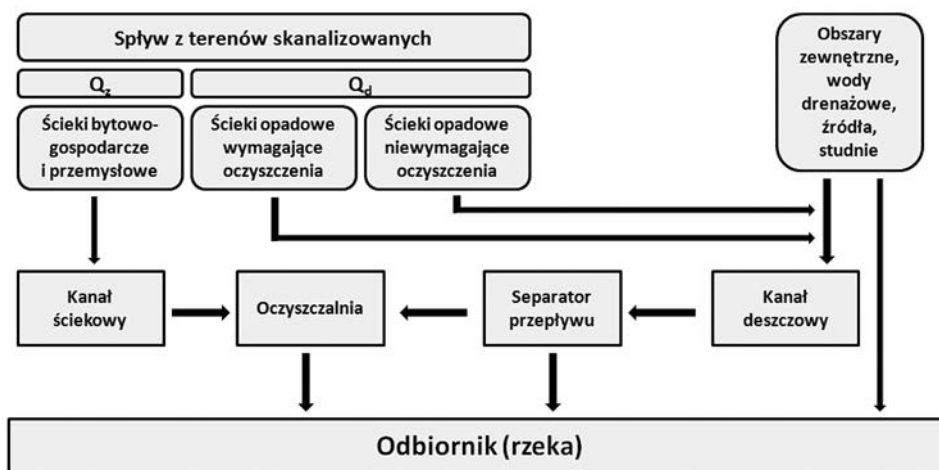
Rys. 1. Schemat odwodnienia w standardowym systemie kanalizacji ogólnospławnej [11]

Fig. 1. Discharge of sewage from the catchment by combined sewer system [11]



Rys. 2. Schemat odwodnienia w systemie kanalizacji rozdzielczej [11]

Fig. 2. Discharge of sewage from the catchment by separate sewer system [11]



Rys. 3. Schemat odwodnienia zlewni za pomocą kanalizacji półrozdzielczej [11]

Fig. 3. Discharge of sewage from the catchment by semi-separate sewer system [11]

dania należy umożliwienie przepływu pierwszej fali wód deszczowych do kanalizacji sanitarnej. Ścieki deszczowe powstałe w pierwszym etapie opadów są najczęściej silnie zanieczyszczone. Działanie separatora umożliwi przesłania części ścieków deszczowych o dużym stężeniu zanieczyszczeń do oczyszczalni ścieków [5] Schemat działania systemu półrozdzielczego przedstawiono na rysunku 3.

W literaturze można odnaleźć nowe publikacje, w których autorzy pokazują możliwość stosowania innowacyjnych rozwiązań zarówno w konstrukcji separatorów [14] jak i wykorzystania przy projektowaniu kanalizacji półrozdzielczej zbiorników retencyjnych ze sterowaniem w czasie rzeczywistym (RTC) [15]. W pracy analizie porównawczej poddane zostaną warianty wykonania kanalizacji półrozdzielczej ze standardowym separatorem przepływu z progiem pierzącym i upustem dennym z wariantem wykorzystującym zbiornik retencyjny.

## ZANIECZYSZCZENIA WYSTĘPUJĄCE W ŚCIEKACH OPADOWYCH I ŹRÓDŁA ICH POWSTAWANIA

Ścieki opadowe cechuje przede wszystkim zmienność ilościowa i jakościowa. Przez bardzo długi okres wody opadowe uważane były za względnie czyste. Uważano, że ich oddziaływanie na odbiorniki rzeczne jest niewielkie i nie

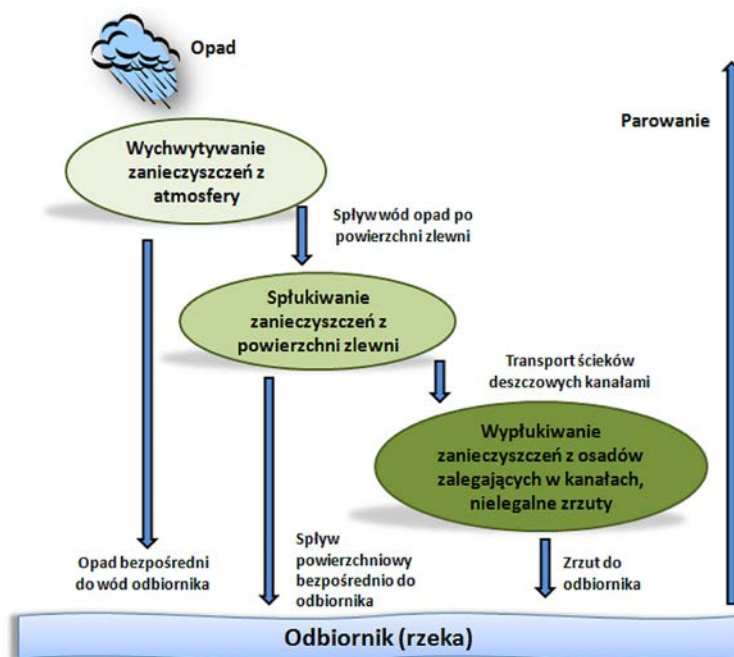
ma istotnego wpływu na funkcjonowanie ekosystemu. Badania wskaźników fizykochemicznych wykonywane w ostatnich latach w miastach zarówno polskich jak i zagranicznych [4, 10, 20] zaprzeczają tej tezie.

Do podstawowych zanieczyszczeń występujących w ściekach opadowych zaliczyć można [10, 17]:

- zawiesiny opadające i nieopadające,
- metale ciężkie,
- związki biogenne,
- substancje ropopochodne.

Skład ścieków deszczowych odprowadzanych do systemu kanalizacyjnego kształtuje się w kilku etapach (rys. 4). Woda deszczowa ulega zanieczyszczeniu już w podczas opadu, wychwytyjąc z powietrza atmosferycznego zanieczyszczenia, takie jak: pyły i kurz unoszone z powierzchni terenu, dymy paleniskowe i przemysłowe, aerozole, cząstki niespalonego paliwa itp. [8, 11, 12].

Kolejny etap kształtowania składu ścieków deszczowych stanowi splukiwanie powierzchni zlewni. Spływ powierzchniowy kumuluje kolejne zanieczyszczenia, których ilość i charakter zależą w dużej mierze od cech zlewni, z której pochodzą. Ostatni etap zmiany składu jakościowego ścieków opadowych związany jest z przepływem przez sieć kanalizacyjną. W tej fazie może nastąpić zatrzymanie pewnej ilości zawiesin w osadnikach wpustów ulicznych, a także odkładanie się osadów w kanałach, przy małych prędkościach



Rys. 4. Schemat migracji zanieczyszczeń z wodami opadowymi [11]  
 Fig. 4. The migration of pollutants from rainwater [11]



przepływu, lub ich wymywanie podczas wystąpienia nawałnych opadów. Na ostateczny skład ścieków zrzucanych do odbiornika mają także wpływ urządzenia służące do podczyszczania ścieków opadowych takie jak np. osadniki, separatory substancji ropopochodnych. [6, 9, 10] Poważny problem stanowią spływy roztopowe, które cechuje znacznie większy ładunek zanieczyszczeń przy mniejszej intensywności odpływu. Zanieczyszczenia akumulują się na powierzchniowej warstwie śniegu. Spływy roztopowe cechuje także duża zawartość chlorków, a także zwiększone stężenia zawiesin mineralnych. Wynika to głównie ze sposobu zimowego utrzymania dróg.

## CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH WSKAŹNIKÓW ZANIECZYSZCZEŃ ŚCIEKÓW

Skład ścieków deszczowych opisuje się za pomocą podobnych wskaźników jak w przypadku ścieków bytowo-gospodarczych [5, 11]. W opracowanym porównaniu wykorzystano uśrednione stężenia podstawowych wskaźników zanieczyszczeń, jakimi są: zawiesina ogólna, związki biogenne, ChZT, BZT<sub>5</sub>, wybrane metale ciężkie.

**Zawiesina** stanowi główne zanieczyszczenie w ściekach opadowych i jest jednocześnie jednym z najważniejszych parametrów przy ocenie stopnia zanieczyszczenia ścieków opadowych. Stężenie zawiesin występującej w ściekach waha się w znacznym zakresie i zależy od wielu czynników, przede wszystkim od rodzaju zlewni i parametrów charakteryzujących opad. Liczne badania potwierdzają ścisłą zależność pomiędzy ilością zawiesiny ogólnej a stężeniem niektórych zanieczyszczeń, takich jak np.: związki organiczne, metale ciężkie, substancje ropopochodne. [9, 11, 21] Tabela 1 przedstawia procentowy udział zanieczyszczeń związanych z zawiesiną w stosunku do ich całkowitej zawartości w ściekach opadowych.

Stężenie **związków biogenych (związki azotu i fosforu)** w ściekach opadowych z terenów zurbanizowanych jest niewielkie. Główne ich źródło na terenach miejskich stanowią tlenki azotu zawarte w spalinach, a także związki fosforu będące dodatkami do benzyn. [18]. Wartość BZT<sub>5</sub> jest zazwyczaj niska i nie zawsze odzwierciedla rzeczywistą ilość związków organicznych mogących ulec biodegradacji [9]. ChZT to para-

**Tabela 1.** Udział zanieczyszczeń związanych z zawiesiną w stosunku do ich całkowitej zawartości w ściekach opadowych [9, 11]

**Table 1.** The proportion of pollutants associated with the suspension in relation to their total content in the waste water precipitation [9, 11]

Zanieczyszczenie	Procentowy udział zanieczyszczeń związanych z zawiesiną
ChZT	83 – 92
BZT <sub>5</sub>	90 – 95
Azot ogólny	65 – 80
Węglowodory	82 – 99
Ołów	97 – 99

metr istotny z uwagi na ścisłą zależność pomiędzy jego wysokością, a stężeniem niektórych zanieczyszczeń takich jak np.: ekstrakt etylowy i metale ciężkie. Coraz częściej przy ocenie jakości ścieków opadowych uwzględnia się zawartość metali ciężkich. Są to zanieczyszczenia pochodzenia antropogenicznego i są ściśle związane z obszarami zurbanizowanymi i przemysłowymi. Występują przede wszystkim w pyłach zawieszonych w powietrzu atmosferycznym, a także w pobliżu ciągów komunikacyjnych. Wraz z opadem transportowane są systemami kanalizacyjnymi do odbiornika. Cechą charakterystyczną tych związków jest to, że nie ulegają biodegradacji i mogą kumulować się w odbiorniku, co jest szczególnie niebezpieczne dla wód powierzchniowych.

## ANALIZA PORÓWNAWCZA SYSTEMÓW KANALIZACYJNYCH

W opracowaniu poddano analizie oddziaływanie na odbiornik trzech podstawowych systemów kanalizacyjnych: kanalizacji ogólnospławnej, rozdzielczej i półrozdzielczej. Pierwszym etapem było określenie objętości ścieków jaka trafia do odbiornika poprzez poszczególne systemy kanalizacyjne. Do tego celu wykorzystano model hydrauliczny zlewni zurbanizowanej w Częstochowie w dzielnicy Raków. Model wykonano w programie EPA SWMM 5.1. Modelowana zlewnia zajmuje powierzchnię około 69 hektarów, natomiast same powierzchnie nieprzepuszczalne zajmują obszar 22,5 hektara. W symulacjach wykorzystano rzeczywiste dane opadowe z roku 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

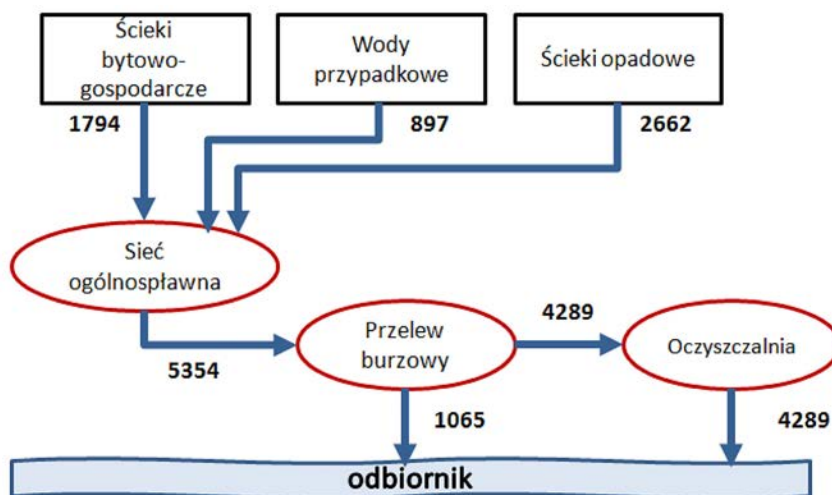
wyniosła 388,7 mm. Symulacje objęły 245 dni. Parametry zlewni i dokładny przebieg symulacji przedstawiono w publikacjach [14, 15].

W przypadku kanalizacji ogólnospławnej (rysunek 5) dokonano obliczeń dotyczących kanalizacji bytowo-gospodarczej. Założono, na podstawie średniej gęstości zaludnienia na tym obszarze, liczbę mieszkańców na 1030 osób. Średnie dobowe zużycie wody w przeliczeniu na jednego mieszkańca przyjęto na poziomie równym 160 dm<sup>3</sup>/d. Na tej podstawie dokonano obliczeń ilości ścieków, jaka trafiła do kanalizacji w omawianym okresie 245 dni.

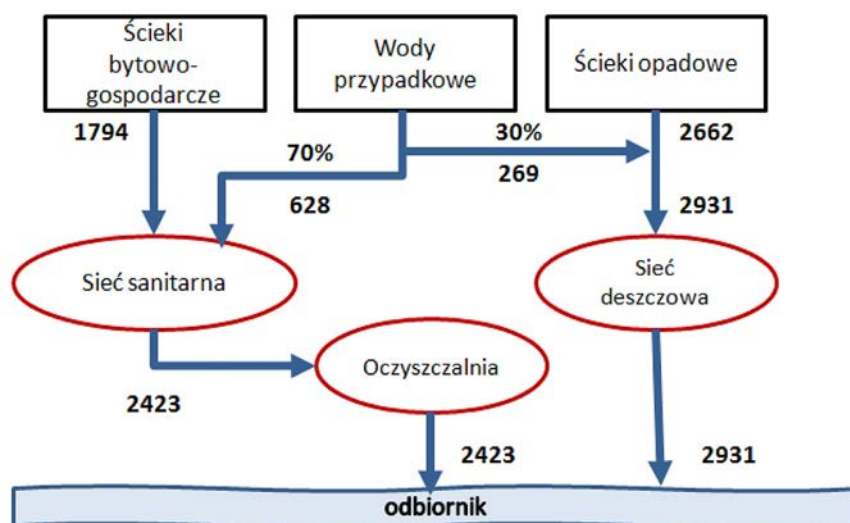
Objętość ścieków deszczowych, które odpłynęły do kanału ogólnospławnego przyjęto na podstawie danych uzyskanych w symulacjach. W prowadzonych badaniach [2, 3] stwierdzono, że w systemie ogólnospławnym około 30–50% całkowitej rocznej objętości opadu jest zrzuca-

na poprzez przelew burzowy do odbiornika. W prowadzonych analizach uśredniono tę wartość i przyjęto na poziomie 40%. W bilansie uwzględniono także wody przypadkowe i infiltracyjne, których założono na połowę objętości ścieków bytowo-gospodarczych. Dane porównawcze dla kanalizacji rozdzielczej zebrano na podstawie prowadzonych symulacji i obliczeń wykonanych dla kanalizacji ogólnospławnej. Schemat rozdziału ścieków w tym systemie kanalizacyjnym przedstawiono na rysunku 6.

W przypadku kanalizacji półrozdzielczej (rys 7) również oparto się na danych uzyskanych w symulacjach. W prowadzonych badaniach dotyczących kanalizacji półrozdzielczej [14, 15] rozpatrywano różne wysokości progów piętrzącego (od 0,1 do 0,4 m). Stwierdzono, że czynnikiem, od którego w głównej mierze zależy procentowy



Rys. 5. Bilans odpływu ścieków ze zlewni – kanalizacja ogólnospławna  
 Fig. 5. The balance of the effluent from the catchment – combined sewer system



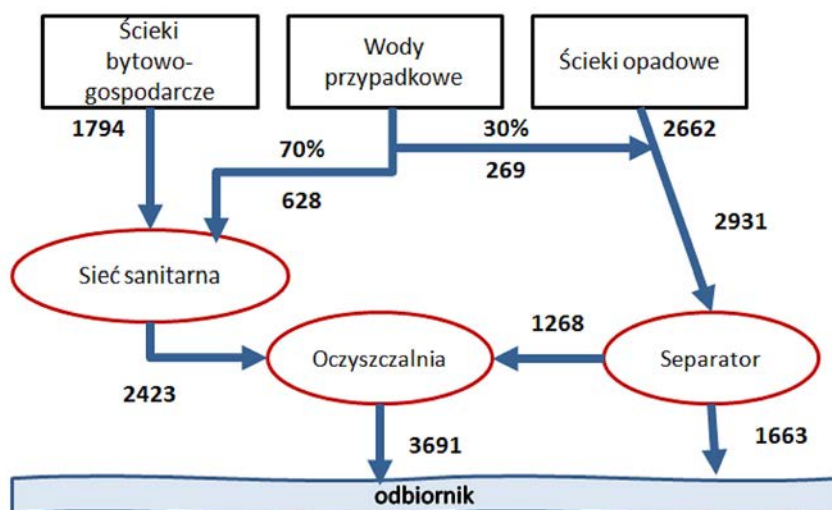
Rys. 6. Bilans odpływu ścieków ze zlewni – kanalizacja rozdzielcza  
 Fig. 6. The balance of the effluent from the catchment – separate sewer system

rozdział ścieków na te, które zostaną zrzucone do odbiornika i te, które trafią do oczyszczalni jest średnica upustu dennego separatora. Dlatego w prowadzonych analizach wybrano separator, w którym wysokość progu piętrzącego wynosiła 0,3 m a średnica upustu dennego 0,25 m (średnica przez którą zrzut ścieków w kanale bytowo-gospodarczym nie powodowałby jego przeciążenia).

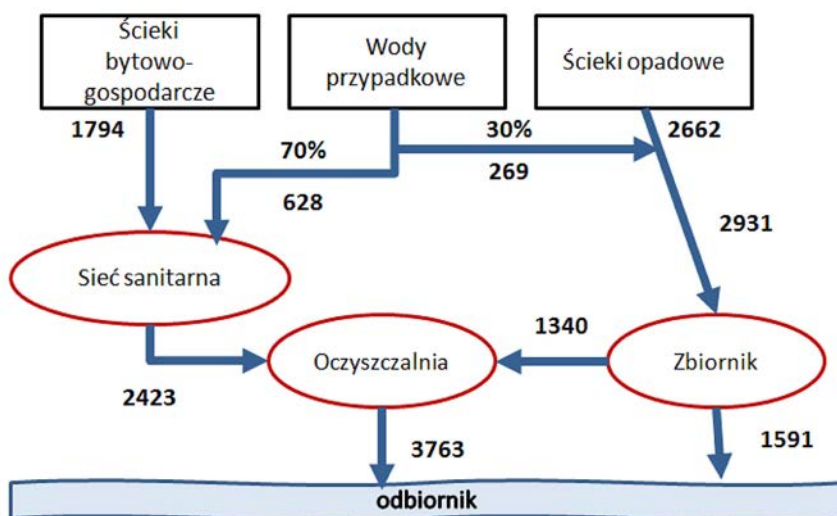
Ostatni z porównywanych wariantów to system kanalizacji półrozdzielczej, w którym standardowy separator przepływu został zastąpiony zbiornikiem retencyjnym wyposażonym w układ do regulacji odpływu. W tym przypadku dane o objętości ścieków, zrzucanych do odbiornika oraz odprowadzonych do oczyszczalni ścieków uzyskano na podstawie wyników symulacji działania takiego układu sieci. Bilans odpływu ścieków w tym przypadku przedstawiono na rysunku 8.

## PORÓWNYWANE WSKAŹNIKI ZANIECZYSZCZEŃ

Wykorzystane w analizie porównawczej mediany stężeń zanieczyszczeń występujących w ściekach zrzucanych do odbiornika dobrano dla systemu kanalizacji ogólnospławnej i rozdzielczej na podstawie przeglądu literatury. Stężenia zanieczyszczeń charakteryzujące ścieki odpływające z oczyszczalni ścieków przyjęto na podstawie uśrednienia tych wartości uzyskiwanych w kilku oczyszczalniach w Polsce i w Niemczech. Działanie kanalizacji półrozdzielczej nie jest dokładnie opisane i brakuje sprecyzowanych danych dotyczących stężeń zanieczyszczeń odprowadzanych poprzez ten system kanalizacyjny do odbiornika. Cechą charakterystyczną kanalizacji półrozdzielczej jest to, zastosowany separator



Rys. 7. Bilans odpływu ścieków ze zlewni – kanalizacja półrozdzielcza z separatorem przepływu  
Fig. 7. The balance of the effluent from the catchment – semi-separate sewer system with flow diverter



Rys. 8. Bilans odpływu ścieków ze zlewni – kanalizacja półrozdzielcza ze zbiornikiem retencyjnym  
Fig. 8. The balance of the effluent from the catchment – semi-separate sewer system with storage tank

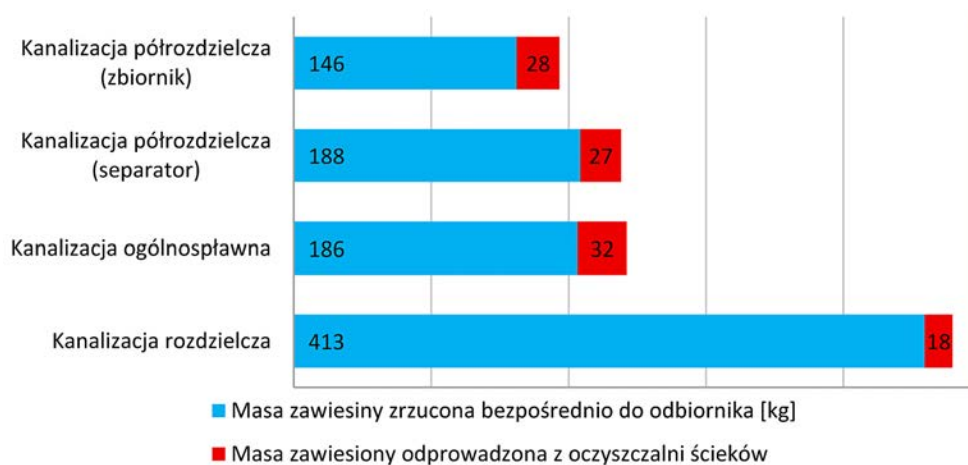
przepływu pozwala przekierować silniej zanieczyszczone ścieki opadowe (z tak zwanej pierwszej fali zanieczyszczeń) do oczyszczalni ścieków. W przypadku kanalizacji półrozdzielczej całkowita ilość odprowadzanych zanieczyszczeń, a tym samym ich stężenia nie są wprost proporcjonalne do objętości zrzucanych ścieków. Przeprowadzone symulacje, szerzej opisane w [14, 15], pozwoliły ocenić funkcjonowanie kanalizacji półrozdzielczej. Stwierdzono, że masa odprowadzanej do odbiornika zawiesiny została zredukowana o około 20% w stosunku do masy zawiesiny zawartej w takiej samej objętości ścieków opadowych pochodzących z systemu rozdzielczego. W związku z tym, że w wielu badaniach wykazano ścisłe zależności pomiędzy stężeniem zawiesiny a stężeniami innych zanieczyszczeń założono, że w ściekach zrzucanych do odbiornika przez separator ilość zanieczyszczeń będzie proporcjonalnie mniejsza. Stopień redukcji pozostałych zanieczyszczeń ustalono na poziomie równym redukcji masy zawiesiny zrzucanej do odbiornika tj. 20%. Podobnie postąpiono w wariantcie kanalizacji półrozdzielczej ze zbiornikiem. W tym wypadku w prowadzonych symulacjach uzyskiwano znacznie większy stopień redukcji masy zawiesiny wynoszący około 35%. Wartości mediany stężeń dla poszczególnych parametrów charakteryzujących ścieki zebrano w tabeli 2.

## OMÓWIENIE WYNIKÓW

Do określenia ilości zanieczyszczeń odprowadzanych przez poszczególne systemy kana-

lizacyjne wykonano obliczenia polegające na pomnożeniu objętości ścieków zrzucanej do odbiornika przez mediany stężeń zanieczyszczeń występujących w ściekach. Uzyskane wyniki pokazują znaczne różnice w ilości zanieczyszczeń odprowadzanych do odbiornika przez poszczególne typy kanalizacji. Wybór sposobu transportu ścieków opadowych i bytowo-gospodarczych z danej zlewni może mieć znaczący wpływ na odbiornik. Prowadzone analizy wykazały, że ilość zanieczyszczeń zależy w dużej mierze od zastosowanego na danym obszarze systemu kanalizacyjnego. Pierwszym z porównywanych zanieczyszczeń była ilość zawiesiny, jaka została zrzucana do odbiornika. Uzyskane wyniki dotyczące tego wskaźnika zaprezentowano na wykresie (rys. 9).

Zawiesina stanowi główny wskaźnik zanieczyszczenia wód odprowadzanych do odbiornika i jej maksymalne stężenie mogące występować w tych ściekach jest uregulowane prawnie. Zgodnie z obowiązującym Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. (Dz. U. RP. 2014 poz. 1800) w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, wody opadowe lub roztopowe, pochodzące z zanieczyszczonej powierzchni szczelnej mogą być wprowadzane do wód lub do ziemi, o ile nie zawierają substancji zanieczyszczających w ilościach przekraczających  $100 \text{ mg/dm}^3$  zawiesin ogólnych [19]. Powyższe zestawienie pokazuje, że największy zrzut ładunku zawiesiny powoduje kanalizacja rozdzielcza. Ilość tego zanieczysz-



**Rys. 9.** Masa zawiesiny [kg] odprowadzona do odbiornika w zależności od przyjętego systemu kanalizacyjnego w przeliczeniu na hektar powierzchni uszczelnionej

**Fig. 9.** Mass of suspended solids [kg] discharged to the receiver, depending on the sewerage system per hectare of impervious area



**Tabela 2.** Wartości mediany stężenia poszczególnych zanieczyszczeń zrzucanych bezpośrednio do odbiornika w zależności od zastosowanego systemu kanalizacyjnego oraz stężenia zanieczyszczeń uzyskiwane na odpływie z oczyszczalni [2, 3, 19]

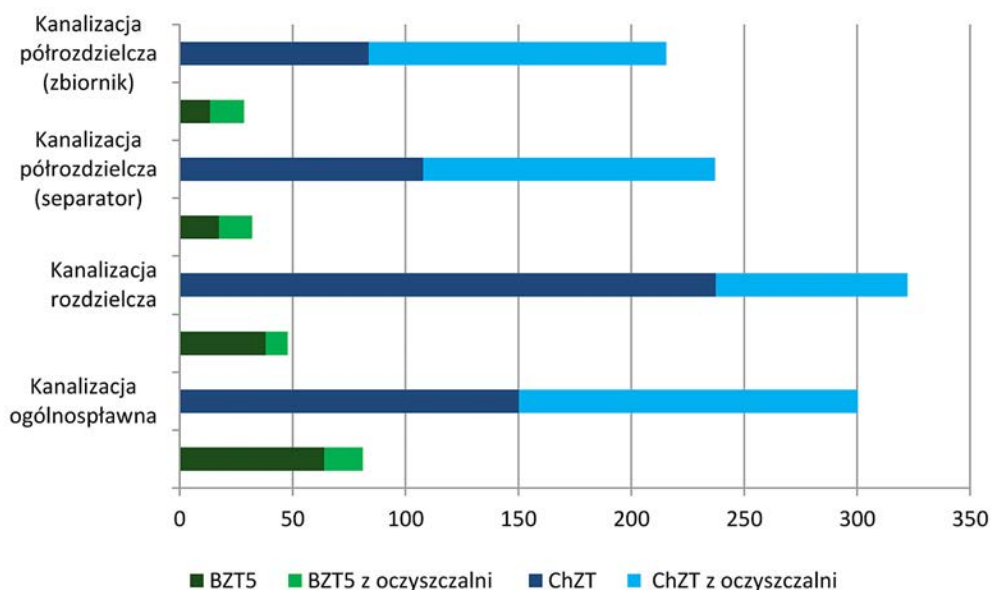
**Table 2.** The median values of the concentration of various pollutants discharged directly into the receiver depending on the drainage system and the concentration of pollutants from wastewater treatment plant [2, 3, 19]

System kanalizacyjny		Kanalizacja ogólnospławna	Kanalizacja rozdzielcza	Kanalizacja półrozdzielcza (separator)	Kanalizacja półrozdzielcza (zbiornik)	Po oczyszczeniu na oczyszczalni
Mediana stężenia zanieczyszczeń						
Zawiesina ogólna	mg/dm <sup>3</sup>	174,5	141,0	112,8	91,7	7,5
BZT <sub>5</sub>	mg/dm <sup>3</sup>	60,0	13,0	10,4	8,5	4,0
ChZT	mg/dm <sup>3</sup>	141,0	81,0	64,8	52,7	35,0
Fosfor ogólny	mg/dm <sup>3</sup>	1,25	0,42	0,3	0,3	0,7
Azot ogólny	mg/dm <sup>3</sup>	12,6	2,4	1,9	1,6	7,5
Kadm (Cd)	µg/ dm <sup>3</sup>	1,4	2,3	1,8	1,5	0,2
Chrom (Cr)	µg/ dm <sup>3</sup>	21,0	16,0	12,8	10,4	3,0
Nikiel (Ni)	µg/ dm <sup>3</sup>	12,0	22,6	18,1	14,7	7,5
Ołów (Pb)	µg/ dm <sup>3</sup>	70,0	118,0	94,4	76,7	2,6
Miedź (Cu)	µg/ dm <sup>3</sup>	97,5	48,0	38,4	31,2	12,0

czenia jest ponad dwukrotnie wyższa niż ma to miejsce w innych systemach kanalizacyjnych, w których ilość ta kształtuje się na podobnym poziomie. Wariantem najbardziej korzystnym dla zapewnienia ochrony odbiornika jest kanalizacja półrozdzielcza ze zbiornikiem retencyjnym.

Na kolejnym wykresie (rys. 10) pokazano zależność pomiędzy ilością BZT<sub>5</sub> i ChZT odprowadzaną do odbiornika a sposobem skanalizowania terenu. Porównując poziom BZT<sub>5</sub> dla poszczególnych typów kanalizacji stwierdzono, że

największy ładunek obserwuje się w przypadku kanalizacji ogólnospławnej. Jest to w dużej mierze spowodowane tym, że ścieki zrzucane z tej sieci przez przelew burzowy stanowią mieszaninę ścieków opadowych oraz bytowo-gospodarczych, których charakterystyczną cechą jest wyższy poziom tego wskaźnika. Należy tu zaznaczyć, że BZT<sub>5</sub> nie jest dobrym wskaźnikiem określającym stopień zanieczyszczenia ścieków opadowych. Występowanie w tych ściekach podwyższonego poziomu substancji toksycznych np.



**Rys. 10.** Ładunek BZT<sub>5</sub> i ChZT [kg] zrzucany do odbiornika w zależności od systemu kanalizacyjnego w przeliczeniu na hektar powierzchni uszczelnionej

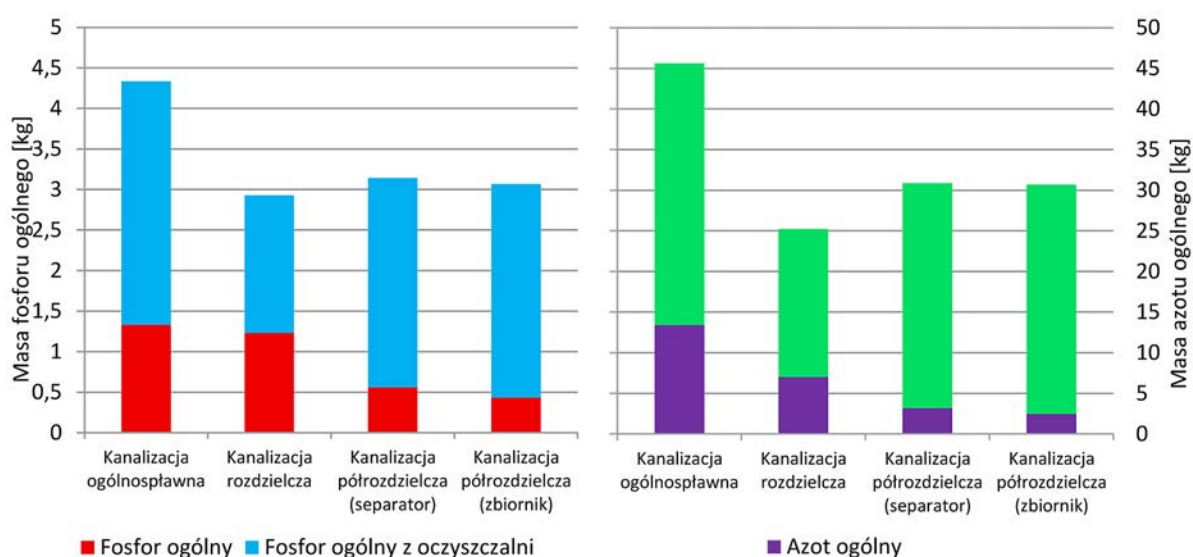
**Fig. 10.** Mass BOD<sub>5</sub> and COD [kg] discharged to the receiver, depending on the sewerage system per hectare of impervious area

metali ciężkich może powodować zahamowanie procesów biologicznych, dlatego też  $BZT_5$  nie odzwierciedla rzeczywistej ilości substancji rozkładalnych biologicznie. W przypadku ChZT największy poziom tego wskaźnika obserwowano w ściekach zrzucanych z kanalizacji rozdzielczej. Ilość ChZT w tym przypadku wynosiła ok. 320 kg i była większa w przeliczeniu na  $ha_{zr}$  o około 5% dla wartości obserwowanej w kanalizacji ogólnospławnej i o około 27% przy zastosowaniu systemu kanalizacji półrozdzielczej separatorem. Wariant kanalizacji półrozdzielczej ze zbiornikiem retencyjnym okazał się najbardziej efektywny i pozwolił na ograniczenie zrzutu ładunku ChZT o 1/3 w stosunku do kanalizacji rozdzielczej.

W analizach porównawczych wzięto także pod uwagę związki azotu i fosforu. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 11. Jak wynika z tego zestawienia największe ilości związków biogenych trafia do odbiornika poprzez system kanalizacji ogólnospławnej. Jest to związane głównie ze znacznie wyższymi stężeniami tych związków w ściekach bytowo-gospodarczych, których część w czasie intensywnych opadów trafia wraz ze ściekami opadowymi poprzez przelew burzowy bez oczyszczenia do odbiornika. Najmniejszy ładunek azotu ogólnego i fosforu ogólnego obserwowano dla systemu rozdzielczego. Nieznacznie większe wartości (o około 15%) uzyskano w systemie półrozdzielczym, przy czym wybór zastosowanego rozwiązania (standardowy separator lub zbiornik) nie miał istotnego wpływu na ogra-

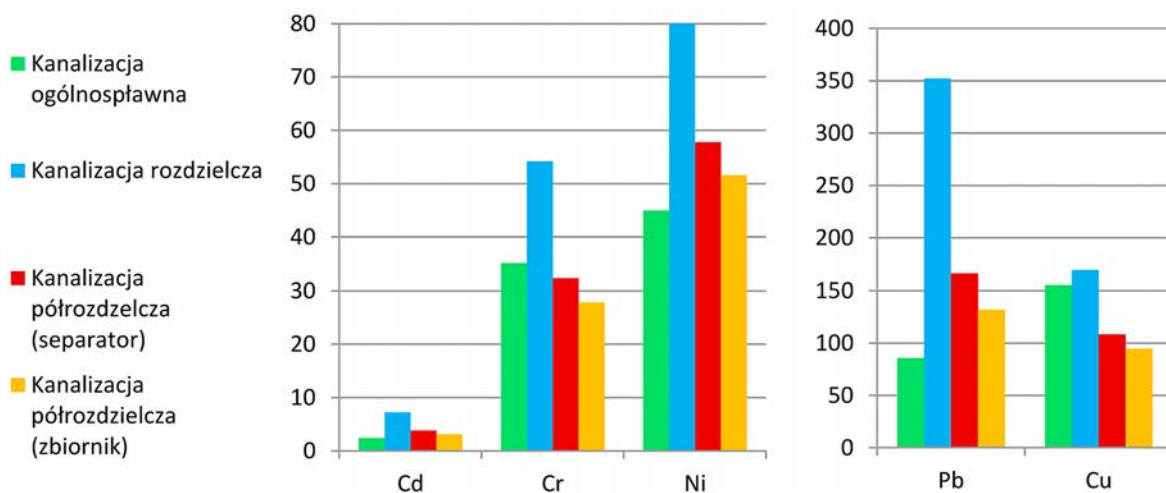
niczenie ilości odprowadzanych zanieczyszczeń i kształtował się niemal na identycznym poziomie.

Ostatnim z porównywanych wskaźników była zawartość metali ciężkich w ściekach odprowadzanych do odbiornika poprzez różne systemy kanalizacyjne. Wyniki przedstawiono na wykresie (rys. 12). Ilość metali ciężkich, jaka trafia do odbiornika jest zróżnicowana i zależy od sposobu skanalizowania zlewni. Najwięcej zanieczyszczeń zrzucanych jest poprzez kanalizację rozdzielczą. Związane jest to z tym, że silnie zanieczyszczone ścieki opadowe, w szczególności z terenów przemysłowych i ciągów komunikacyjnych trafiają do odbiornika bez oczyszczenia. Najmniej niekorzystnie na wody powierzchniowe wpływają zrzuty z kanalizacji ogólnospławnej i półrozdzielczej (wariant ze zbiornikiem). Stopień redukcji zanieczyszczeń obliczono na podstawie wykonanych symulacji. W rzeczywistości może on być większy, ponieważ program traktuje odcinki sieci jako reaktory pełnego mieszania, w których w całej objętości płynie taka sama masa zanieczyszczeń. W rzeczywistych warunkach cięższe frakcje płyną przy dnie kanału dzięki temu próg piętrzący w separatorach może zatrzymać większą część zanieczyszczeń niż wskazują na to wyniki symulacji. Szczególnie istotne może to być w wariacie ze zbiornikiem retencyjnym, który działa jak osadnik i zatrzymuje, a następnie odprowadza do oczyszczalni znacznie większe ładunki zanieczyszczeń. Do odbiornika trafia dzięki temu odpowiednio mniej zanieczyszczeń.



Rys. 11. Masa związków azotu i fosforu [kg] odprowadzona do odbiornika w zależności od przyjętego systemu kanalizacyjnego w przeliczeniu na hektar powierzchni uszczelnionej

Fig. 11. The mass of phosphorus and nitrogen [kg] discharged to the receiver, depending on the sewerage system per hectare of impervious area



Rys. 12. Masa metali ciężkich [g] odprowadzonych do odbiornika w zależności od przyjętego systemu kanalizacyjnego w przeliczeniu na hektar powierzchni uszczelnionej

Fig. 11. The mass of heavy metals [g] discharged to the receiver, depending on the sewerage system per hectare of impervious area

## PODSUMOWANIE

Zapewnienie odpowiedniej ochrony wód powierzchniowych wymaga przede wszystkim ograniczenia objętości zrzucanych ścieków, a co za tym idzie masy zanieczyszczeń w nich zawartych. Zrzut ścieków z dużym ładunkiem zanieczyszczeń wpływa w niekorzystny sposób na odbiornik. W artykule porównano oddziaływanie na środowisko trzech podstawowych systemów kanalizacyjnych. Przeprowadzone analizy pokazują, że skład jakościowy ścieków i ilość odprowadzanych do odbiornika zanieczyszczeń są związane z rodzajem systemu kanalizacyjnego. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że nie ma idealnego rozwiązania, które zapewniałoby pełną ochronę odbiornika. Sposobem, który wydaje się być najlepszym z obecnie dostępnych jest system kanalizacji półrozdzielczej ze zbiornikiem retencyjnym. Zastosowanie takiego rozwiązania pozwala w znacznym stopniu ograniczyć ilość zanieczyszczeń jaka trafia do odbiornika. Przeprowadzone analizy pokazują, że rozwiązanie to jest bardziej efektywne od pozostałych systemów kanalizacyjnych. W przypadku większości z analizowanych wskaźników jakości ścieków uzyskano znaczne ograniczenie zrzutu zanieczyszczeń. Zaostrzenie standardów dotyczących ochrony wód powierzchniowych przed zrzutami z systemów kanalizacyjnych może spowodować konieczność modernizacji istniejących sieci. Jednym ze sposobów takich działań może być zastosowanie zbiornika retencyjnego do przebudowy istniejących systemów rozdzielczych do kanalizacji półrozdzielczej.

## LITERATURA

1. Błaszczyk W., Stamatello H. 1975. Budowa miejskich sieci kanalizacyjnych, Arkady Warszawa.
2. Brombach H., Mergentheim B. 2006. Wie verschmutzt ist Regenwasser wirklich, Pecher Seminar, Niederschlagswasser in Trennsystemen-gesteigerte Anforderungen und Innovative Konzepte, 7 November, Bochum.
3. Brombach H. 2009 Stormwater-urban drainage problems and solutions, International Conference "Modern methods for stormwater drainage in the coastal area", Rijeka 19-21 March, Croatia.
4. Dąbrowski W. 2004. Oddziaływanie sieci kanalizacyjnych na środowisko, Wydawnictwa Politechniki Krakowskiej, Kraków.
5. Fidala-Szope M. 1997. Ochrona wód powierzchniowych przed zrzutami ścieków opadowych z kanalizacji deszczowej i półrozdzielczej, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
6. Heldrich A., Witkowski A. 2005. Urządzenia do oczyszczania ścieków. Projektowanie, przykłady obliczeń, Wydawnictwo „Seidel-Przywecki” Sp. zo.o. Warszawa.
7. Kotowski A. 2011. Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenów. Wydawnictwo Seidel-Przywecki (Wydanie I), Warszawa.
8. Królikowski A., Grabarczyk K., Gwoździej-Marur J., Butarewicz A. 2006. Osady powstające w obiektach systemu kanalizacji deszczowej. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN Lublin, vol. 35.
9. Królikowska J. 2010. Ocena przydatności hydroseparatorów do podczyszczania ścieków opadowych, Seria Inżynieria Środowiska, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków.

10. Królikowska J. 2011. Urządzenia inżynierskie z ruchem wirowym stosowane na sieci kanalizacyjnej do zmniejszenia ładunku zawiesiny w ściekach deszczowych, *Inżynieria Ekologiczna*, Nr 26.
11. Królikowska J., Królikowski A., Wody opadowe. Odprowadzanie, zagospodarowanie, podczyszczanie i wykorzystanie, Wydawnictwo „Seidel-Przywecki” Sp. zo.o., 2012
12. Molenda T., 2006. Dynamika zmian wybranych zanieczyszczeń w spływach powierzchniowych zlewni zurbanizowanej, *Infrastruktura terenów wiejskich*, PAN Oddział w Krakowie, 4(3), 117–124.
13. Mrowiec M. 2009. Efektywne wymiarowanie i dynamiczna regulacja kanalizacyjnych zbiorników retencyjnych, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
14. Mrowiec M., Pluta K. 2014. Analiza działania kanalizacji półrozdzielczej z zastosowaniem różnego rodzaju separatorów przepływu, *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 1(1), 75–88
15. Mrowiec M., Pluta K. 2014. Sterowanie przepływem w kanalizacji półrozdzielczej, *Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska*. Tom 4, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
16. Ociepa E., Kisiel A., Lach J. 2010. Zanieczyszczenia wód opadowych spływających do systemów kanalizacyjnych, *Proceedings of ECOpole*, 4(2), 465–469.
17. Ociepa E., Kisiel A., Lach J., 2009. Ochrona wód powierzchniowych przed zrzutami ścieków deszczowych z sieci kanalizacyjnych, *Proceedings of ECOpole*, 3(1), 115–120.
18. Osmulska-Mróż B. 1990. Podstawy gospodarki wodno-ściekowej w miastach i osiedlach. Wydawnictwo Instytutu Ochrony Środowiska, Warszawa.
19. Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. (Dz.U. RP z dnia 16 grudnia 2014 poz. 1800) w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego
20. Zawilski M. 1997. Prognozowanie wielkości odpływu i ładunków zanieczyszczeń ścieków opadowych odprowadzanych z terenów zurbanizowanych *Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej*, Łódź.
21. Zawilski M., Sakson G. 2012. Ocena emisji zawiesin odprowadzanych kanalizacją deszczową z terenów zurbanizowanych, *Ochrona Środowiska*, 35(2).