

*Andrzej Wałęga, Stanisław Krzanowski*

**ZNACZENIE PROCESU SEDYMENTACJI  
W OCZYSZCZANIU ŚCIEKÓW OPADOWYCH  
Z TERENÓW ZURBANIZOWANYCH**

***THE IMPORTANCE OF SEDIMENTATION PROCESS  
FOR TREATMENT OF RAINFALL SEWAGE  
FROM URBANIZED AREAS***

**Streszczenie**

Celem artykułu jest ocena wpływu procesu sedymentacji na redukcję zanieczyszczeń ze ścieków opadowych. Próbki ścieków do badań pobierano z rowów przydrożnych przy ul. Półnaki w Krakowie-Bieżanowie w kwietniu 2003 i lutym 2004 r. w czasie zaobserwowania spływu powierzchniowego. W pobranych próbkach ścieków surowych i po 120 minutach sedymentacji oznaczano zawartość następujących wskaźników zanieczyszczeń: BZT<sub>5</sub>, ChZT<sub>Cr</sub> i zawiesinę ogólną oraz sporadycznie fosforany, natomiast po 15, 30, i 60 minutach sedymentacji tylko zawiesinę ogólną i ChZT<sub>Cr</sub>.

Przeprowadzone badania wykazały przydatność procesu sedymentacji do redukcji zanieczyszczeń ze ścieków opadowych. W czasie dwugodzinnego procesu sedymentacji nastąpiła redukcja zawiesiny ogólnej w granicach 58,7–76,2% i ChZT – 45,7–90,4%, przy czym największą jej intensywność obserwowano w pierwszych 15 minutach procesu. Zaobserwowano, że z zawiesinami skorelowane są substancje organiczne wyrażane przez ChZT, przy czym zawarte są one głównie w drobnej frakcji, najmniej podatnej na sedymentację. Z tego względu zalecane jest dodatkowe oczyszczenie ścieków opadowych celem usunięcia zanieczyszczeń zaadsorbowanych na najdrobniejszej frakcji zawiesin.

**Słowa kluczowe:** tereny zurbanizowane, ścieki opadowe, sedymentacja

### Summary

*The problem of reducing the negative impact of rainfall sewage on ground and water environment has been the subject of research and scientific papers for many years. It becomes more and more frequently an inherent part of planning and projects of sewer systems in the anthropologically transformed areas.*

*Non-point sources of pollution are one of the main causes of water quality degradation. Traffic and washing out the sediments deposited in sewer pipes have the most serious influence on pollutant contents in rainfall runoffs. Therefore, characterization of pollutants in rainfall sewage is necessary for preparing plans of water management in urbanized catchments.*

*The article aims at an assessment of the sedimentation process effect on reduction of pollutants from rainfall sewage. Sewage samples for analyses were collected from the roadside ditches at Pullanki street in Kraków-Bieżanów in April 2003 and February 2004 during surface runoff observations. After 120 minutes of sedimentation, the following pollution indices were determined in the collected raw sewage samples:  $BOD_5$ ,  $COD_{Cr}$  and total suspended solids, sporadically phosphates, whereas after 15, 30 and 60 minutes of sedimentation only total suspended solids and  $COD_{Cr}$  were assessed.*

*The analyses revealed the usefulness of sedimentation process for pollutant reduction from rainfall sewage. During the two-hour sedimentation process the reduction of total suspended solids ranged from 58.7 -76.2%, COD from 45.7 – 90.4% and the highest intensity was observed in the first 15 minutes. It was also detected that total suspended solids were correlated with organic substances expressed by COD but these are contained mainly in the fine fraction, the least susceptible to sedimentation. Therefore, an additional treatment of rainfall sewage is recommended to remove the pollutant adsorbed on the finest fraction of suspended solids.*

**Key words:** urbanized areas, rainfall sewage, sedimentation

### WPROWADZENIE

Problem ograniczenia niekorzystnego wpływu ścieków opadowych na środowisko gruntowe i wodne jest od wielu lat przedmiotem prac naukowo-badawczych oraz stanowi coraz częściej integralną część opracowań planistycznych i projektowych systemów kanalizacyjnych w obszarach przekształconych antropogenicznie.

Niepunktowe źródła zanieczyszczeń są jedną z głównych przyczyn degradacji jakości wód. Największy wpływ na zawartość zanieczyszczeń w spływach opadowych odgrywa komunikacja i wypłukiwanie zdeponowanych osadów zalegających w kolektorach kanalizacyjnych [Lee, Bang 2000]. Spływy wywołane opadami o dużej intensywności powodują kilkakrotnie większe obciążenie hydrauliczne i ładunkiem zanieczyszczeń systemów kanalizacyjnych niż w przypadku pogody bezdeszczowej. Typowym zjawiskiem jest występowanie pierwszej fali spływu, charakteryzującej się występowaniem największych ładunków zanieczyszczeń na początku trwania spływu. Zjawisko pierwszej fali

spływu zależy głównie od intensywności i czasu trwania opadu, charakterystyki kanalizacji, a także od okresów suchej pogody, co z kolei wpływa na ilość nagromadzonych zanieczyszczeń na terenie zlewni [Lee i in. 2004]. Dlatego charakterystyka zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych jest konieczna przy sporządzaniu planów gospodarki wodnej w zlewniach zurbanizowanych.

W literaturze z tego przedmiotu znaleźć można wiele przykładów rozwiązań problemu zagospodarowania ścieków opadowych. Coraz powszechniej w praktyce stosowane są seminaturalne systemy odprowadzania i oczyszczania spływów opadowych, które odpowiednio wkomponowane w otaczający teren mogą stanowić obiekty małej retencji oraz pełnić funkcje rekreacyjne. Do najpowszechniej stosowanych rozwiązań zaliczyć można zbiorniki (osadniki) sedymentacyjne, retencyjno-infiltracyjne, czy systemy podziemnej infiltracji.

Celem artykułu jest przedstawienie charakterystyki ścieków opadowych odpływających ze zlewni zurbanizowanej (komunikacyjnej ze znacznym udziałem nieużytków i terenów pod uprawami warzyw), uwzględniając możliwość wykorzystania procesu sedymentacji do usuwania z nich zanieczyszczeń organicznych i zawiesin.

## CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Badania przeprowadzono w zlewni zurbanizowanej zlokalizowanej w obszarze miejsko-przemysłowym miasta Krakowa – dzielnica Bieżanów – rysunek 1. Analizowana zlewnia jest w większości zurbanizowana, charakteryzująca się występowaniem powierzchni nieprzepuszczalnych którymi są jezdnie asfaltowe, chodniki, tory i rozjazdy kolejowe oraz powierzchnie pod budynkami. Tereny przepuszczalne stanowią głównie użytki zielone, nieużytki porośnięte krzakami i uprawy warzyw. Na analizowanym obszarze brak jest kanalizacji deszczowej. Odwadniany teren cechuje występowanie zlewni cząstkowych o zróżnicowanym współczynniku spływu powierzchniowego.

Powierzchnie zlewni cząstkowych kształtują się następująco: nieużytki i uprawy warzyw – 0,387 km<sup>2</sup> (86% całkowitej powierzchni zlewni), tereny kolejowe – 0,058 km<sup>2</sup> (12,9%), tereny komunikacyjne (jezdnie, parkingi) – 0,00505 km<sup>2</sup> (1,1%). Całkowita powierzchnia zlewni wynosi 0,45 km<sup>2</sup>. W celu oczyszczania ścieków opadowych spływających z powierzchni kolejowych i komunikacyjnych w 2000 r. oddano do użytku seminaturalną oczyszczalnię zlokalizowaną na terenie PKP Kraków-Bieżanów.

Głównym jej elementem jest zbiornik retencyjno-infiltracyjny o całkowitej pojemności 1951,2 m<sup>3</sup> i powierzchni czaszy równej 1605 m<sup>2</sup>. Lokalizację, kształt i wielkość powierzchni czaszy zbiornika wyznacza od północnego zachodu nasyp linii kolejowej, od północnego wschodu – ul. Złocieniowa, od północy – ul. Półłanki i od południowego zachodu – niezagospodarowany nieużytek pokryty krzewami i pojedynczymi drzewami. Spływające z powierzchni

zlewni ścieki opadowe poprzez rowy przydrożne trafiają do dwóch komór redukcyjnych połączonych szeregowo pod jezdnią przy ulicy Półłanki pod wiaduktem kolejowym, a następnie poprzez doprowadzalnik do zbiornika retencyjno-infiltracyjnego. Parametry techniczne obiektów wchodzących w skład przedmiotowej oczyszczalni podane są w pracy Krzanowskiego i Radeckiego-Pawlika [1998, 2002].



Rysunek. 1. Lokalizacja badanej zlewni  
Figure 1. Location of investigated drainage area

#### METODYKA BADAŃ

Wpływ procesu sedymentacji na redukcję zanieczyszczeń w ściekach opadowych określono laboratoryjnie za pomocą testów sedymentacyjnych przeprowadzonych w leju Imhoffa. Próbkę do badań pobierano z rowu przydrożnego przy ul. Półłanki w czasie spływu wód opadowych. W ściekach surowych oraz

po 120 minutach sedymentacji oznaczano zawartość następujących wskaźników zanieczyszczeń: BZT<sub>5</sub>, ChZT<sub>Cr</sub>, zawiesinę ogólną oraz sporadycznie fosforany, natomiast po 15, 30, i 60 minutach sedymentacji tylko zawiesinę ogólną i ChZT<sub>Cr</sub>. Wszystkie analizy fizykochemiczne wykonano zgodnie z zalecanymi metodami referencyjnymi. Uzyskane wyniki aproksymowano krzywymi najlepiej opisującymi dane empiryczne na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

### WYNIKI BADAŃ

W okresie badań trzykrotnie (4 i 8 kwietnia 2003 oraz 3 lutego 2004 r.) pobierano próbki wody ze spływów opadowych do analiz sedymentacyjnych przeprowadzonych w leju Imhoffa. Zdecydowano się na pobór próbek w okresie trwania roztopów, gdyż występują wtedy największe wartości zanieczyszczeń. Uzyskane wyniki badań przedstawiono w tabeli 1. Wynika z niej, że odczyn ścieków roztopowych nie zmienia się znacząco i oscyluje w granicach: od 6,90–7,48 w ściekach surowych do 6,98–7,03 po 120 minutach sedymentacji. W przypadku pozostałych wskaźników zanieczyszczeń widoczna jest tendencja do obniżania się stężeń w trakcie przebiegu procesu sedymentacji. Jednorazowo wykonana analiza stężenia fosforanów w ściekach surowych i po 120 minutach sedymentacji wykazała ich redukcję z wartości 8,00 mg · dm<sup>-3</sup> do 5,00 mg · dm<sup>-3</sup>, a więc o 37,5%.

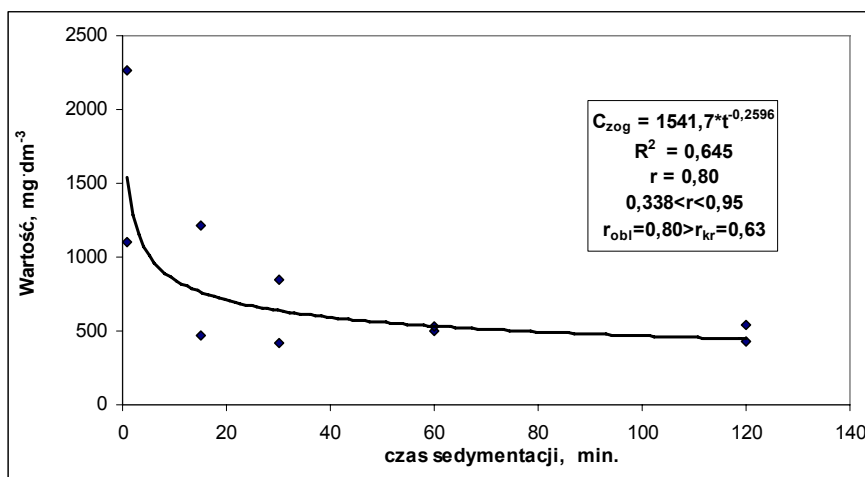
**Tabela 1.** Wyniki analiz fizykochemicznych ścieków opadowych w czasie procesu sedymentacji w warunkach statycznych

**Table 1.** Results of physicochemical analyses of rainfall sewage during sedimentation process in static conditions

Wskaźnik zanieczyszczenia	Wartość wskaźnika w ściekach surowych	Wartości wskaźników zanieczyszczeń i objętości osadu po czasie sedymentacji w min.			
		15	30	60	120
Objętość osadu [cm <sup>3</sup> ]	–	0,03–5,8	0,03–5,9	0,05–6,0	0,06–6,1
Odczyn [pH]	6,90–7,48	–	–	–	6,98–7,03
BZT <sub>5</sub> [mgO <sub>2</sub> · dm <sup>-3</sup> ]	29,9–81,54	–	–	–	14,95–27,19
ChZT <sub>Cr</sub> [mgO <sub>2</sub> · dm <sup>-3</sup> ]	291,31–696,73	193,39–657,37	141,2–223,02	46,77–175,79	46,77–158,19
Zawiesina ogólna [mg · dm <sup>-3</sup> ]	307,6–2270,0	256,0–1218,0	155,0–850,0	140,0–532,0	127,0–540,0
Fosforany [mg · dm <sup>-3</sup> ]	8,00	–	–	–	5,00

W przypadku wartości BZT<sub>5</sub> średnia redukcja w czasie sedymentacji wyniosła 58,3%. Podczas sedymentacji obserwuje się przyrost osadu gromadzącego się na dnie lejka. Objętość osadu uzależniona była od obecności substancji oleistych i sposobu poboru prób. W przypadku obecności substancji flotujących, osad z trudem sedymentował (dolne wartości z tabeli 1). Również mniejsze jego ilości były obserwowane w przypadku poboru prób już częściowo poddanych sedymentacji. Wynika to z faktu, iż w momencie poboru próbek część zawieszin łatwo opadających uległa sedymentacji, czemu sprzyjało wytworzenie się cofki piętrzenia przy ujściu rowu do komory redukcyjnej.

W dalszej analizie szczegółowo scharakteryzowano zmiany zawartości zawiesiny ogólnej i ChZT w czasie sedymentacji z uwagi na dominujący ich udział w zanieczyszczeniu ścieków roztopowych. Na rysunku 2 przedstawiono stężenie zawiesiny ogólnej w czasie 120 minut sedymentacji. Znaczny rozrzut wartości stężeń w ściekach surowych spowodowany był pobieraniem próbek z różnym opóźnieniem czasowym w stosunku do momentu rozpoczęcia spływu i związanym z tym częściowym osadzeniem na dnie i zatrzymaniem cząstek zawieszin na roślinności trawiastej porastającej doprowadzalnik. Z rysunku 2 wynika, iż największe obniżenie stężeń zawiesiny następuje w pierwszych 15 minutach sedymentacji. Spowodowane jest to opadaniem największych cząstek splukiwanych ze zlewni w czasie pierwszej fali spływu. Wielkości stężeń zawiesiny ogólnej po 120 minutach sedymentacji wahają się od 120 do 540 mg · dm<sup>-3</sup>.



**Rysunek 2.** Stężenie zawiesiny ogólnej w czasie 120 minut sedymentacji  
**Figure 2.** Concentration of total suspended solids during 120-minute sedimentation

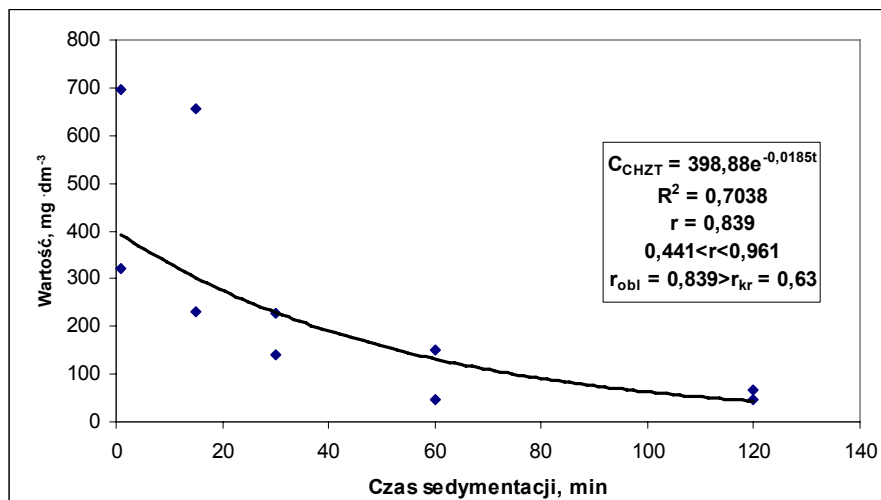
Porównując uzyskane wyniki z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku [Dz.U. nr 137, poz. 984], należałoby ścieki te poddać dodatkowym procesom podczyszczania ze względu na zawiesinę, gdyż jej wartości po sedymentacji przekraczają dopuszczalne stężenie równe  $100 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Po czasie 15 minut sedymentacji redukcja zawiesiny ogólnej wahała się od 46,3 do 57,1%. Podobne wyniki redukcji zawiesin w czasie sedymentacji podaje Osuch-Paździńska [1979]: wielkość ta wynosiła średnio 41% po 40 minutach sedymentacji.

Z powodu zmniejszającej się w czasie sedymentacji wielkości cząstek, efekt redukcji zawiesin ulega obniżeniu. Po 120 minutach sedymentacji wielkość redukcji zawiesiny wynosiła od 61 do 76,2%. Uzyskany wynik świadczy o obecności w cieczy nadosadowej frakcji trudno opadającej. Według badań przeprowadzonych przez Ślusarczyka i Zawilskiego [1983] oraz Kalinowskiego [1983], nawet po 24 godzinach sedymentacji redukcja zawiesin wynosiła od 60 do 95%. Przebieg stężeń zawiesiny ogólnej aproksymowano funkcją potęgową typu:  $y = ax^b$ .

Stałe równania oszacowane metodą najmniejszych kwadratów wraz z równaniami szczególnymi oraz przedział ufności współczynnika korelacji na poziomie 95% podano na rysunku 2.

Podobnie, jak w przypadku zawiesin ogólnych, wartości ChZT również ulegają zmniejszeniu w trakcie procesu sedymentacji (rys. 3). Początkowe wartości ChZT obserwowane w ściekach surowych, wahające się od 391,23 do 696,73  $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , ulegają obniżeniu w granicach od 46,77 do 66,97  $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  po 120 minutach sedymentacji. Jest to w głównej mierze spowodowane redukcją zawiesin, które na swych powierzchniach adsorbują zanieczyszczenia organiczne. W początkowych 15 minutach badań wielkość redukcji ChZT wahała się od 5,6 do 28,1%; niewielka redukcja ChZT w przypadku próby z 4 kwietnia 2003 r. może być spowodowana obecnością substancji oleistych zakłócających proces sedymentacji w próbce. Podczas badań prób z 4 kwietnia obserwowano rozproszenie w całej objętości leja zawiesiny wraz z unoszącymi się na powierzchni smugami oleju.

Redukcja ChZT po upływie 120 minut sedymentacji wahała się od 85,5 do 90,4%. Dla przykładu uzyskane przez Ślusarczyka i Zawilskiego [1983] wielkości redukcji ChZT po 120 minutach sedymentacji w próbach spływu roztopowego wynoszą 64% dla próby zwykłej i 68% dla próby przesączonej przez sącdek. Przebieg wartości ChZT aproksymowano funkcją wykładniczą typu:  $y = a \exp(bx)$ . Stałe w równaniach oszacowane metodą najmniejszych kwadratów wraz z przedziałem ufności współczynnika korelacji na poziomie 95% podano na rysunku 3. Obliczona wartość współczynnika korelacji wynosi 0,839. Współczynnik korelacji między wartościami ChZT a czasem sedymentacji jest istotny statystycznie na poziomie  $\alpha = 0,05$ .



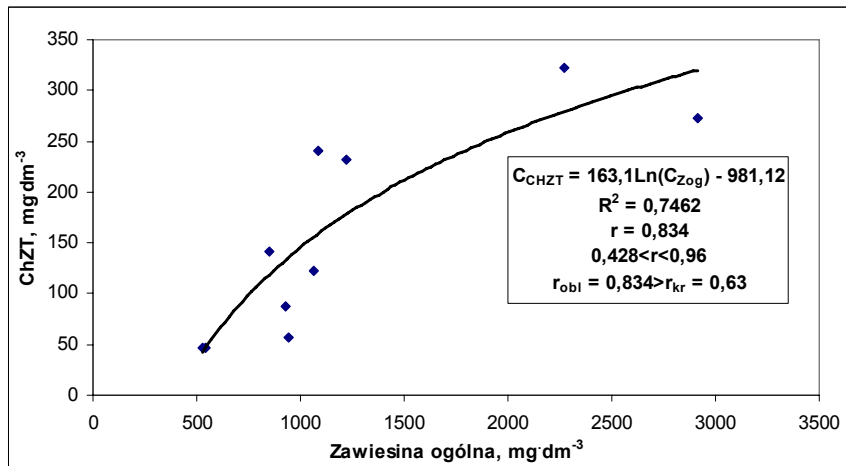
**Rysunek 3.** Wartość ChZT w ściekach opadowych w trakcie sedimentacji  
**Figure 3.** COD value in rainfall sewage during sedimentation

Określono również zależność między stężeniem zawiesiny ogólnej a wartościami ChZT w czasie sedimentacji badanych ścieków. Uzyskane rezultaty przedstawiono na rysunku 4. Z analizy wykluczono próby z 4 kwietnia z powodu obecności substancji flotujących zakłócających przebieg analiz. Wyniki pomiarów najlepiej aproksymuje równanie logarytmiczne.

Uzyskany współczynnik korelacji  $r = 0,834$  jest istotny statystycznie na poziomie  $\alpha = 0,05$  i 8 stopniach swobody. Przedział ufności współczynnika korelacji wyniósł  $0,428 < r < 0,960$  dla 95% poziomu ufności. Podobne wyniki uzyskała Osmulska-Mróż [1992]. Dotyczyły one jednak wód Potoku Służewieckiego, zasilanego sypłwami opadowymi ze zlewni „Orzycka” w Warszawie. Wielkość współczynnika korelacji była równa  $r = 0,59$ .

Przedstawione wyniki świadczą o tym, iż substancje, które wpływają na wskaźnik ChZT są zawarte głównie w drobnej frakcji zawiesiny, najmniej podatnej na sedimentację. Potwierdzają to również badania przeprowadzone przez Rogera i innych [1998] na sypłwach z drogi szybkiego ruchu, w których stwierdzono największą zawartość materii organicznej i metali ciężkich w najmniejszej frakcji zawiesin o średnicy ziaren mniejszej niż  $100 \mu\text{m}$ . Wynika z tego fakt, iż aby w jak najwyższym stopniu oczyścić ścieki opadowe należy je po wstępnym przetrzymaniu w zbiornikach (osadnikach) poddać doczyszczaniu w kolejnych urządzeniach. Według Braune i Wood [1999] urządzeniami, które zapewniają w wysokim stopniu ochronę środowiska wodnego przed zanieczyszczeniami zawartymi w ściekach opadowych są stawy retencyjne, oczyszczalnie hydrofitytowe oraz zbiorniki infiltracyjne.





**Rysunek 4.** Zależność wartości ChZT od stężenia zawiesiny ogólnej w ściekach opadowych w czasie 2 godzin sedymentacji

**Figure 4.** Dependence of COD value on total suspended solids concentration in rainfall sewage during 2 hours of sedimentation

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że:

1. W trakcie dwugodzinnego procesu sedymentacji nastąpiła redukcja ze ścieków roztopowych zawiesiny ogólnej w granicach 61–76,2% i ChZT – 85,5–90,4%, przy czym największą jej intensywność obserwowano w pierwszych 15 minutach procesu.

2. Testy sedymentacyjne przeprowadzone na ściekach roztopowych w leju Imhoffa wykazały, iż substancje, które wpływają na wartości ChZT są zawarte głównie w drobnej frakcji zawiesiny, najmniej podatnej na sedymentację. Ponadto należy stwierdzić, że obecność substancji oleistych wpływa na zakłócanie procesu sedymentacji i okresowo stosunkowo wysokie wartości zawiesin po zakończeniu procesu.

3. Ścieki roztopowe spływające z terenów komunikacyjnych przed odprowadzeniem do odbiornika należy poddać wstępnemu podczyszczeniu z wykorzystaniem procesu sedymentacji, np. w osadnikach sedymentacyjnych czy zbiornikach retencyjnych. Jednak z uwagi na obecność w cieczy nadosadowej po procesie sedymentacji zanieczyszczeń, zakumulowanych na najdrobniejszej frakcji zawiesiny, zalecane jest ich dodatkowe oczyszczenie w urządzeniach gwarantujących usunięcie substancji rozpuszczonych. Ze względów ekologicznych zalecane są obiekty z infiltracją ścieków do gruntu.

## BIBLIOGRAFIA

- Braune M. J., Wood A. *Best management practices applied to urban runoff quantity and quality control*. Wat. Sci. Tech. 1999, 39 (12), s. 117–121.
- Kalinowski M. *Efekt sedymentacji ścieków opadowych*. Mat. III Ogólnopolskiego Seminarium pt. „Ścieki deszczowe”, 408, Sielpia, wrzesień 1983, s. 150–157.
- Krzanowski S., Radecki-Pawlik A. *Studium nad zagospodarowaniem wód opadowych z deszczów nawalnych w rejonie wiaduktu kolejowego na ciągu ulicy Póllanki w Krakowie-Bieżanowie*. Maszynopis, AR Kraków, 1998.
- Krzanowski S., Radecki-Pawlik A. *Wykorzystanie malej retencji do zagospodarowania wód opadowych z terenów zurbanizowanych*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 2002, 393, ser. Inżynieria Środowiska, 23, s. 245–256.
- Lee J. H., Bang K. W. *Characterization of urban stormwater runoff*. Wat. Res. 2000, 34 (6), s. 1773–1780.
- Lee J. H., Lau S. L., Kayhanian M., Stenstrom M. K. *Seasonal first flush phenomenon of urban stormwater discharges*. Wat. Res. 2004, 38, 4153–4163.
- Osmulska-Mróż B. *Możliwości i ograniczenia ochrony wód powierzchniowych na terenach miejskich*. [w:] *Prognozowanie i ochrona jakości wód powierzchniowych na terenach miejskich*. Warszawa, 1992, s. 84–99.
- Osuch-Paździńska E. *Charakterystyka ścieków opadowych i możliwości ograniczenia ich niekorzystnego wpływu na odbiornik*. Mat. Ogólnokrajowego Seminarium Szkoleniowego nt. „Oczyszczanie ścieków deszczowych”, Kielce, 22 września 1979, s. 7–63.
- Roger S., Montrejaud-Vignoles M., Andral M. C., Herremans L., Fortune P. *Mineral, physical and chemical analysis of the solid matter carried by motorway runoff water*. Wat. Res. 32, 1998, 4, s. 119–1125.
- Ślusarczyk M., Zawilski M. *Badania oczyszczania ścieków opadowych metodą sedymentacji*. Mat. III Ogólnopolskiego Seminarium nt. „Ścieki deszczowe”, 408, Sielpia, wrzesień 1983, s. 136–149.

Dr inż. Andrzej Wałęga  
Prof. dr hab. inż. Stanisław Krzanowski  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej  
30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 24/28  
tel. (012) 662-41-02  
e-mail: awalega@ar.krakow.pl

Recenzent: Prof. dr hab. Stanisław Węglarczyk