

Grzegorz Kaczor

**ODDZIAŁYWANIE WÓD PRZYPADKOWYCH
NA STĘŻENIE ZWIĄZKÓW BIOGENNYCH
W ŚCIEKACH SUROWYCH I OCZYSZCZONYCH
PODCZAS POGODY MOKREJ**

***THE EFFECT OF INFILTRATION WATER
ON THE CONCENTRATION OF BIOGENIC COMPOUNDS
IN RAW AND TREATED SEWAGE DURING
WET WEATHER***

Streszczenie

Celem badań było określenie w jakim zakresie wody przypadkowe dopływające do kanalizacji sanitarnej podczas pogody mokrej wpływają na stężenie związków azotu i fosforu w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni i oczyszczonych odprowadzanych do odbiornika. Badania przeprowadzono w czterech wybranych systemach kanalizacyjnych zlokalizowanych w województwie małopolskim.

Na podstawie uzyskanych wyników wykazano, że wody przypadkowe dopływające do kanalizacji sanitarnej, podczas pogody mokrej w każdym analizowanym przypadku wpływały na obniżenie stężenia azotu ogólnego i fosforu ogólnego w ściekach surowych.

Nie stwierdzono negatywnego wpływu wód przypadkowych na wzrost stężenia azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych odprowadzanych do odbiornika podczas pogody mokrej. Badania wykazały natomiast, że stężenie tego wskaźnika ulegało obniżeniu od 2,7 do 4,8% przy wzroście udziału wód przypadkowych o 10% w przepływie dobowym.

Badania wykazały negatywny wpływ wód przypadkowych na stężenie fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych w przypadku obiektów o małej przepustowości hydraulicznej. Podwyższone wodami przypadkowymi przepływy ścieków powodowały wynoszenie osadu czynnego, zawierającego związki fosforu, z komór bioreaktora oraz lejów osadników wtórnych. W obiektach charakteryzujących się dużą rezerwą przepustowości hydraulicznej dopływy do kanalizacji wód

przypadkowych powodowały natomiast obniżenie stężenia fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych od 0,9 do 3,9% na każdy 10% wzrost udziału tych wód w przepływie dobowym.

Słowa kluczowe: ścieki, kanalizacja, wody przypadkowe, oczyszczanie ścieków

Summary

The aim of this study was to determine the extent of the effect of infiltration into a sewerage system during wet weather on the concentration of nitrogen and phosphorus compounds in raw sewage flowing into the treatment plant and in treated sewage discharged into the receiver. The study was conducted in four selected sewerage systems located in the Lesser Poland Voivodeship.

The results showed that in each of the analyzed cases the concentration of total nitrogen and total phosphorus in raw sewage was reduced by the infiltration into the sewerage system during wet weather.

There was no adverse effect of infiltration on the concentration of total nitrogen in treated sewage discharged into the receiver during wet weather. On the other hand, the research showed that when the share of infiltration in the daily flow increased by 10%, the concentration of total nitrogen was reduced by from 2.7 to 4.8%.

The research demonstrated the adverse effect of infiltration on the concentration of total phosphorus in treated sewage in the case of objects with low hydraulic capacity. Sewage flows, increased by infiltration water, caused the removal of activated sludge, containing phosphorus compounds, from bioreactor chambers and funnels of secondary settling tanks. However, in the objects characterized by a large reserve of hydraulic capacity, infiltration into the sewerage system caused the decrease in concentration of total phosphorus in treated sewage – by from 0.9 to 3.9% per each 10% increase in the share of infiltration water in the daily flow.

Key words: sewage, sewerage system, inflow, sewage treatment

WSTĘP

Jednym z czynników wpływających negatywnie na funkcjonowanie systemów odprowadzania i unieszkodliwiania ścieków są dopływające okresowo do kanalizacji sanitarnej wody przypadkowe. Zalicza się do nich głównie wody opadowe (występujące po intensywnych opadach deszczu) lub roztopowe (pochodzące z tania śniegu), przedostające się przez techniczne lub wentylacyjne otwory w pokrywach włazów do wnętrza studni kanalizacyjnych, a także wprowadzane nielegalnie do kolektorów ściekowych ze spustów rynien dachowych lub wpustów podwórzowych [Pecher 1998, Łomotowski i Szpindor 1999, Błażejowski 2003, Karpf i Krebs 2005, Kaczor i Bergel 2008, Kaczor 2011]. Do przypadkowych, zalicza się także, kierowane do kanalizacji w sposób zamierzo-

ny lub niezamierzony wody odprowadzane podczas wykonywanych prac budowlanych, porządkowych (splukiwanie ulic, chodników, mycie pojazdów) lub remontowych [Tchobanoglous i in. 2003, Karpf i Krebs 2005]. Największy procentowo udział w strumieniu wód przypadkowych stanowią przede wszystkim wody opadowe odprowadzane nielegalnie do kanalizacji sanitarnej z prywatnych posesji [Kaczor i Satora 2003]. Przy braku kanalizacji deszczowej mieszkańcy osiedli podmiejskich borykają się z problemem zagospodarowania spływu wód opadowych. Mała powierzchnia działek wyklucza często zastosowanie standardowych rozwiązań do retencji wód opadowych. W takiej sytuacji zdarzają się przypadki plantowania terenu w celu skierowania spływu powierzchniowego na wąż studni rewizyjnej lub podłączenie wylotu rynien dachowych bezpośrednio do przykanalika [Butler i Davies 2011].

Do kolektorów sanitarnych wody opadowe lub roztopowe mogą przedostawać się także w sposób samoistny poprzez otwory w pokrywach włączonych studzienek kanalizacyjnych [Kaczor 2011]. Tezę tę potwierdzają badania przeprowadzone w Niemczech, które wykazały, że od 18 do 56% wód obcych w kanalizacji sanitarnej stanowią wody opadowe przedostające się do kolektorów ściekowych poprzez nieszczelności zwieńczeń i otwory we włączach studni kanalizacyjnych [Karpf i Krebs 2005, Franz 2007]. Intensywność dopływu wód opadowych do wnętrza kanału wzrasta, gdy pokrywa włazu jest umiejscowiona poniżej powierzchni ulicy lub chodnika [Kaczor 2009]. Ma to najczęściej miejsce wtedy, gdy przeprowadza się naprawę lub wymianę nawierzchni ulicy lub chodnika bez wymaganego podniesienia i wypoziomowania zwieńczeń studni kanalizacyjnych.

Intensywny dopływ wód przypadkowych do kanalizacji sanitarnej powoduje szereg niekorzystnych skutków w funkcjonowaniu samej sieci, jak również oczyszczalni ścieków [Pecher 1998]. Po intensywnych opadach deszczu przepelnione ściekami i wodami przypadkowymi kolektory ściekowe mogą być okresowo przeciążone hydraulicznie, co może powodować rozszczelnienie połączeń przewodów lub w ekstremalnych sytuacjach wypływ ścieków przez wpusty podłogowe w piwnicach lub włazy studzienek na powierzchnię terenu [Kwietniewski i Rak 2010]. Dopływ wód przypadkowych do oczyszczalni może wywierać niekorzystny wpływ na procesy technologiczne, w których istotne jest zachowanie stałych prędkości przepływu lub stałego czasu zatrzymania ścieków (piaskowniki, osadniki wstępne i wtórne, bioreaktory). Zwiększone wskutek dopływu wód obcych przepływy ścieków powodują wzrost kosztów eksploatacyjnych związanych ze zużyciem energii na przepompowanie i napowietrzanie mieszaniny ścieków i wód przypadkowych [Kaczor i Satora 2003].

Wody przypadkowe oddziałują także na skład ścieków dopływających do oczyszczalni. Powodują rozcieńczenie ścieków surowych, co wpływa negatywnie na procesy zachodzące w komorach osadu czynnego. Przy ekstremalnych dopływach wód przypadkowych, następujących po ulewnych opadach, zachodzi niebezpieczeństwo wynoszenia osadu czynnego z komór reaktora biologicznego oraz zsedymetowanego z osadników wtórnych, co stwarza zagrożenie zanieczyszczenia wód odbiornika związkami biogennymi. Podwyższone ilości azotu i fosforu odprowadzane do odbiornika zwiększają żyzność jego wód, przyczyniając się do procesu eutrofizacji.

Według aktualnie obowiązujących przepisów [Rozporządzenie... 2006] przy odprowadzeniu ścieków do wód płynących, z oczyszczalni zaliczanych do grupy poniżej 9 999 RLM (Równoważna Liczba Mieszkańców), nie ma ustalonych wartości dopuszczalnych stężeń azotu i fosforu ogólnego. Jednakże, w obiektach wyposażonych w zaawansowane reaktory biologiczne należy tak prowadzić proces oczyszczania, aby możliwie w najwyższym stopniu ograniczać zawartość związków biogennych w ściekach odprowadzanych do odbiornika.

Brak jest opublikowanych wyników badań wskazujących jak dopływające do kanalizacji sanitarnej wody przypadkowe wpływają na stężenia związków biogennych, zarówno w ściekach dopływających do oczyszczalni jak i odprowadzanych do odbiornika po procesie oczyszczania. W niniejszej pracy podjęto próbę rozpoznania tego zagadnienia.

CEL, ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Celem badań było określenie w jakim zakresie, dopływające do kanalizacji sanitarnej podczas pogody mokrej, wody przypadkowe wpływają na stężenie azotu ogólnego i fosforu ogólnego w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni i oczyszczonych odprowadzanych do wód odbiornika.

Badania przeprowadzono w czterech wytypowanych systemach kanalizacyjnych, zlokalizowanych w województwie małopolskim, z których ścieki sanitarne odprowadzane są do oczyszczalni mechaniczno-biologicznych obsługujących od 1 000 do 5 000 mieszkańców. Wszystkie analizowane obiekty badań zlokalizowane są w powiecie krakowskim. Ogólne parametry charakteryzujące badane systemy kanalizacyjne oraz oczyszczalnie, do których odprowadzane są ścieki, zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wybrane parametry charakteryzujące analizowane obiekty badań
Table 1. Selected parameters characterising the analysed research objects

Wybrane parametry charakteryzujące badany system kanalizacyjny	Oznaczenie systemu kanalizacyjnego			
	A	B	C	D
Materiał z jakiego wykonana jest kanalizacja	Kamionka			
Długość sieci (bez przyłączy), [m]	5 200	10 000	15 200	22 000
Ilość przyłączy kanalizacyjnych, [szt.]	330	470	455	730
Średnice przewodów, [mm]	200–400	200–400	200–300	200–300
Typ bioreaktora w oczyszczalni do której odprowadzane są ścieki	reaktor przepływowy			
Przepływ średni dobowy podczas pogody bezdeszczowej, [m ³ · d ⁻¹]	188,3	218,7	158,5	883,1
Obciążenie hydrauliczne oczyszczalni podczas pogody bezdeszczowej, [%]	90	95	28	100

Mechaniczno-biologiczne oczyszczalnie, do których odprowadzane są ścieki, charakteryzują się bardzo podobnym układem technologicznym obejmującym: kratę bębnową Hubera, osadniki wstępne Imhoffa, przepływowy reaktor biologiczny z wydzielonymi strefami nityfikacji, denityfikacji i defosfatacji oraz osadniki wtórne pionowe.

Kryterium doboru obiektu do badań stanowił wynik wstępnej analizy rocznej zmienności dobowych przepływów ścieków. Wyraźny wzrost dobowego natężenia przepływu ścieków w okresie intensywnych opadów deszczu był wyznacznikiem, że dany system kanalizacyjny jest okresowo zasilany wodami przypadkowymi.

Dla potrzeb zaplanowanych badań w okresie od 01.01.2009 do 31.12.2011 pobrano łącznie 120 próbek ścieków surowych i oczyszczonych podczas pogody suchej oraz w okresie opadów atmosferycznych. Analizy fizyczno-chemiczne próbek ścieków wykonano zgodnie z aktualnie obowiązującymi metodami referencyjnymi w Laboratorium Oceny Jakości Wody i Ścieków Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Analizowano m.in. takie wskaźniki zanieczyszczeń jak BZT₅, ChZT, zawiesinę ogólną, azot ogólny oraz fosfor ogólny.

Pomiary dobowego natężenia przepływu ścieków wykonywano na terenie poszczególnych oczyszczalni za pomocą przepływomierzy ultradźwiękowych. Mierzono także dobową wysokość opadów atmosferycznych na terenie poszczególnych zlewni kanalizacyjnych za pomocą automatycznych korytkowych czujników opadu. Dla każdego obiektu oraz roku badań ustalono wartość średniego dobowego przepływu ścieków podczas pogody bezdeszczowej. Do pogody suchej (bezdeszczowej) zaliczono daną dobę, jeżeli podczas jej trwania oraz w ciągu kolejnych pięciu dób ją poprzedzających nie wystąpił opad atmosferyczny lub jego wysokość dobową nie przekraczała 1 mm. Dobową objętość wód przy-

padkowych, dopływających do kanalizacji podczas pogody mokrej, ustalono na podstawie różnicy pomiędzy przepływem dobowym zmierzonym podczas opadów atmosferycznych i przepływem średnim dobowym z okresu pogody bezdeszczowej.

W analizie wyników badań ilość wód przypadkowych wyrażono poprzez ich udział w przepływie średnim dobowym [Pecher 1998]:

$$U_{wp} = \frac{Q_d - Q_{bd}}{Q_d} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:

U_{wp} – udział wód przypadkowych, [%]

Q_d – dobowy dopływ ścieków i wód przypadkowych do oczyszczalni, [$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$],

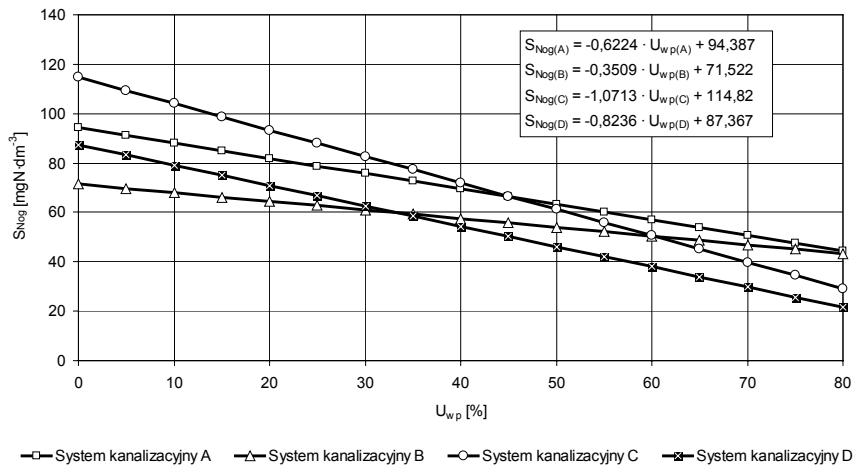
Q_{bd} – średni dobowy dopływ ścieków do oczyszczalni podczas pogody bezdeszczowej, [$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$]

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Dysponując ciągiem pomiarowym składającym się z wartości wskaźnika zanieczyszczeń oraz wartości procentowej udziału wód przypadkowych sporządzono wykresy rozrzutu oraz ustalono parametry równań regresji liniowej opisujące wpływ zawartości wód przypadkowych w przepływie dobowym na stężenie azotu i fosforu ogólnego. Istotność ustalonych współczynników korelacji badano testem t-Studenta na przyjętym poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Analizę przeprowadzono osobno dla ścieków surowych oraz ścieków oczyszczonych.

Zależność pomiędzy procentowym udziałem wód przypadkowych (U_{wp}) w przepływie dobowym a stężeniem azotu ogólnego (S_{Nog}) w ściekach surowych przedstawiono na rysunku 1.

Wartość współczynnika korelacji (r), opisującego zależność pomiędzy udziałem wód przypadkowych a stężeniem azotu ogólnego w ściekach surowych, wyniosła 0,62 dla kanalizacji A, 0,51 dla kanalizacji B, 0,81 dla kanalizacji C i 0,79 dla kanalizacji D. Wszystkie uzyskane wartości r okazały się statystycznie istotne na poziomie $\alpha = 0,05$. Uzyskane wyniki (rys. 1) wskazują, że wraz z udziałem wód przypadkowych podczas pogody mokrej maleje stężenie azotu ogólnego w ściekach surowych. Jest to związane z rozcieńczeniem ścieków wodami w małym stopniu zanieczyszczonymi.



Rysunek 1. Wpływ wód przypadkowych na stężenie azotu ogólnego w ściekach dopływających do oczyszczalni

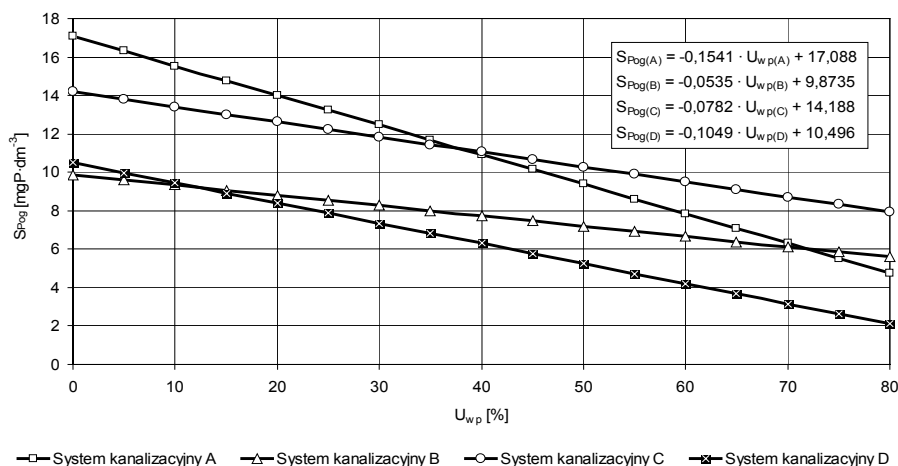
Figure 1. The effect of infiltration water on the concentration of total nitrogen in sewage flowing into the treatment plant

Największe obniżenie wartości analizowanego wskaźnika zachodziło w kanalizacji C, a najmniejsze w kanalizacji B. Analiza wykazała, że wzrost udziału wód przypadkowych w przepływie dobowym o 10% powodował obniżenie stężenia azotu ogólnego od 2,5 do 4,7% w zależności od obiektu. Przy udziale wód przypadkowych wynoszącym 50% (przepływ dobowy o 100% większy niż podczas pogody bezdeszczowej) obniżenie wartości azotu ogólnego sięgało od 24,5% (kanalizacja B) do 47,1% (kanalizacja D).

Na rysunku 2 przedstawiono analogiczną zależność pomiędzy procentowym udziałem wód przypadkowych (U_{wp}) w przepływie dobowym a stężeniem fosforu ogólnego (S_{pog}) w ściekach surowych. Wartość współczynnika korelacji opisującego zależność pomiędzy udziałem wód przypadkowych a stężeniem fosforu ogólnego w ściekach surowych podczas pogody mokrej wyniosła 0,47 dla kanalizacji A i B, 0,74 dla kanalizacji C i 0,73 dla kanalizacji D. Wszystkie uzyskane wartości r okazały się statystycznie istotne na poziomie $\alpha = 0,05$.

Podobnie jak w przypadku azotu ogólnego – wody przypadkowe obniżały wartość fosforu ogólnego w ściekach dopływających do oczyszczalni. Największe obniżenie wartości analizowanego wskaźnika zachodziło w kanalizacji D, a najmniejsze w kanalizacji B. Wzrost udziału wód przypadkowych w przepływie dobowym o 10% powodował obniżenie stężenia fosforu ogólnego od 2,7 do 5,0% w zależności od obiektu. Przy udziale wód przypadkowych wynoszącym 50% (przepływ dobowy o 100% większy niż podczas pogody bezdeszczowej)

obniżenie stężenia fosforu ogólnego sięgało od 27,1% (kanalizacja B) do 50,0% (kanalizacja D).

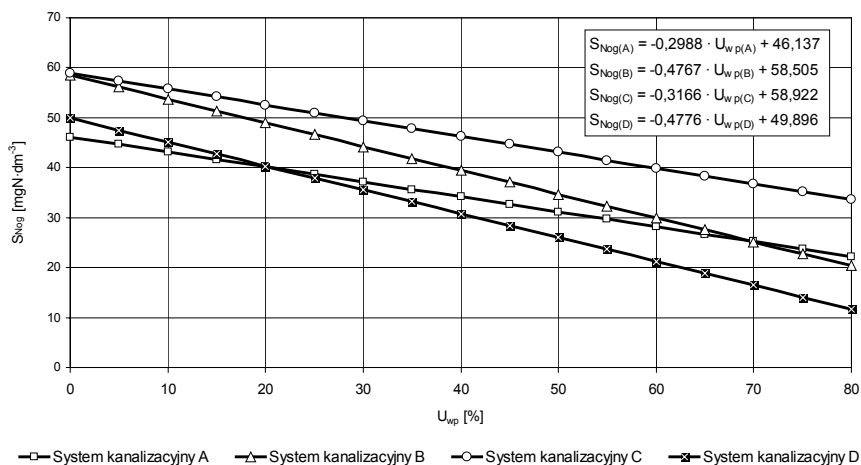


Rysunek 2. Wpływ wód przypadkowych na stężenie fosforu ogólnego w ściekach dopływających do oczyszczalni

Figure 2. The effect of infiltration water on the concentration of total phosphorus in sewage flowing into the treatment plant

Uzyskane wyniki potwierdzają przyjmowaną w literaturze tezę stwierdzającą, że wody przypadkowe rozcieńczają ścieki surowe, czyli obniżają wartości podstawowych wskaźników zanieczyszczeń [Kaczor i Bugajski 2012]. Jednakże w systemie kanalizacyjnym B obniżenie stężenia związków biogenych nie jest wprost proporcjonalne do objętości wód przypadkowych. Można z tego wnioskować, że wody przypadkowe w tej kanalizacji wnoszą ze sobą znaczne ilości związków biogenych, prawdopodobnie spłukiwanych z powierzchni ulic, placów lub okolicznych pól.

Kolejny etap badań dotyczył ustalenia zakresu oddziaływania wód przypadkowych na stężenie związków biogenych w ściekach oczyszczonych. Oczywistym jest, że efekt końcowy oczyszczenia ścieków jest wypadkową bardzo wielu czynników, z których dopływ wód obcych do kanalizacji jest tylko jednym z wielu. Przyjęto jednakże, że średnia sprawność unieszkodliwiania zanieczyszczeń podczas pogody bezdeszczowej w okresie letnim będzie stanowiła poziom porównawczy, do którego będą odnoszone wyniki uzyskane w okresie deszczowym. Na rysunku 3 przedstawiono jaki wpływ ma wzrastający udział wód przypadkowych w przepływach dobowych ma stężenie azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych, odprowadzanych do odbiornika z analizowanych oczyszczalni ścieków podczas pogody mokrej.

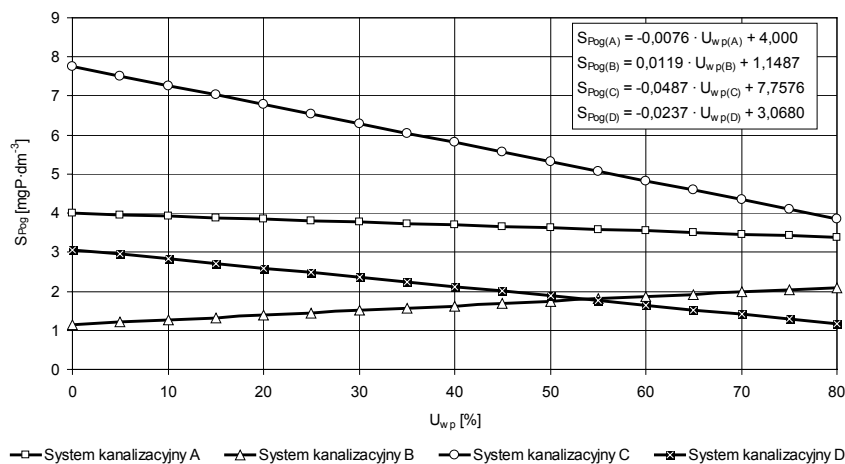


Rysunek 3. Wpływ wód przypadkowych na stężenie azotu ogólnego w ściekach odprowadzanych do odbiornika po procesie oczyszczania
Figure 3. The effect of infiltration water on the concentration of total nitrogen in sewage discharged into the receiver after the process of treatment

Wartość współczynnika korelacji, opisującego zależność pomiędzy udziałem wód przypadkowych a stężeniem azotu ogólnego w ściekach surowych, wyniosła: 0,49 dla kanalizacji A, 0,79 dla kanalizacji B, 0,65 dla kanalizacji C i 0,86 dla kanalizacji D.

Wszystkie uzyskane wartości r okazały się statystycznie istotne na poziomie $\alpha = 0,05$. Badania wykazały, że we wszystkich analizowanych obiektach stężenie azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych zmniejszało się wraz ze wzrostem ilości wód przypadkowych. Zależność tę można interpretować tylko w aspekcie rozcieńczenia ścieków. Wzrost udziału wód przypadkowych w przepływach dobowych o 10% powodował obniżenie stężenia azotu ogólnego od 2,7 do 4,8% w stosunku do wartości porównawczej ustalonej dla pogody bezdeszczowej. Przy wzroście udziału wód obcych do 50%, obniżenie analizowanego wskaźnika wynosiło od 26,9% w kanalizacji C do 47,9% w kanalizacji D.

Nieco odmienne wyniki otrzymano w analizie oddziaływania wód przypadkowych na stężenie fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych podczas pogody mokrej (rys. 4).



Rysunek 4. Wpływ wód przypadkowych na stężenie fosforu ogólnego w ściekach odprowadzanych do odbiornika po procesie oczyszczania

Fig. 4. The effect of infiltration water on the concentration of total phosphorus in sewage discharged into the receiver after the process of treatment

Zależność korelacyjna pomiędzy procentowym udziałem wód obcych w przepływach dobowych (U_{wp}) a stężeniem fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych (S_{Pog}) była znacznie niższa jak w przypadku azotu ogólnego. Wartości współczynnika korelacji wyniosły: 0,24 dla kanalizacji A, 0,27 dla kanalizacji B, 0,64 dla kanalizacji C i 0,31 dla kanalizacji D. W dwóch przypadkach korelację można było ocenić jako słabą, a w jednym jako przeciętną. Dodatkowo w przypadku kanalizacji A i B uzyskana wartość współczynnika korelacji okazała się nieistotna statystycznie na przyjętym poziomie $\alpha = 0,05$.

Badania wykazały, że w kanalizacji B wraz ze wzrostem o 10% udziału wód przypadkowych w przepływach dobowych – stężenie fosforu ogólnego wzrosło o 5,2%. W kanalizacji A, C i D przy takim samym udziale wód obcych stężenie analizowanego wskaźnika obniżyło się odpowiednio o 0,9, 3,1 i 3,9%.

Uzyskane wyniki wskazują jednoznacznie, że w przypadku kanalizacji B następuje wynoszenie osadu czynnego z komór reaktora biologicznego oraz osadników wtórnych. Obserwacje przeprowadzone w terenie potwierdziły tę tezę. Oczyszczalnia w systemie kanalizacyjnym B funkcjonuje na granicy dopuszczalnej przepustowości hydraulicznej w czasie pogody bezdeszczowej, podczas pogody mokrej wody przypadkowe wywołują przeciążenie hydrauliczne obiektu, przez co w ściekach oczyszczonych pojawia się osad czynny zawierają-

cy związki fosforu. Podobne problemy występują w kanalizacji A. Bardzo nisko obniżenie stężenia fosforu ogólnego, wynoszące zaledwie 9,5% przy udziale wód przypadkowych wynoszącym nawet 50% wskazuje, że tak jak w oczyszczalni B w ściekach oczyszczonych pojawiają się kłaczkosy osadu czynnego zawierające związki fosforu. Oczyszczalnia C jest obciążona zaledwie w 28% podczas pogody bezdeszczowej, przez co wody przypadkowe skutecznie obniżają stężenie analizowanego wskaźnika w ściekach oczyszczonych. Oczyszczalnia w systemie kanalizacyjnym D jest podobnie jak obiekt B w dużym stopniu obciążona hydraulicznie podczas pogody bezdeszczowej, ale przez to, że stężenie fosforu ogólnego w ściekach surowych jest niższe średnio o $4 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Oczyszczalnia D jest pod względem hydraulicznym cztery razy większa niż B. Dopływ wód przypadkowych nie powodował pogorszenia sprawności usuwania fosforu ogólnego.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały, że wody przypadkowe dopływające do kanalizacji sanitarnej, podczas pogody mokrej, w każdym analizowanym przypadku wpływały na obniżenie stężenia azotu ogólnego i fosforu ogólnego w ściekach surowych. Należy jednak zaznaczyć, że obniżenie stężenia tych składników w nie było zawsze wprost proporcjonalne do objętości wód przypadkowych. W niektórych przypadkach przy udziale wód przypadkowych wynoszącym 50% – stężenie związków biogennych ulegało obniżeniu tylko o 24,5% (system kanalizacyjny B) w porównaniu do pogody bezdeszczowej. Można zatem przyjąć, że dopływające do kanalizacji sanitarnej wody przypadkowe mogą zawierać znaczne ilości związków biogennych spłukiwanych z powierzchni terenu lub wypłukiwanych z osadów dennych zalegających w kolektorach ściekowych.

Nie stwierdzono negatywnego wpływu wód przypadkowych na stężenie azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych odprowadzanych do odbiornika podczas pogody mokrej. Badania wykazały, że stężenie tego wskaźnika ulegało obniżeniu od 2,7 do 4,8%, w zależności od obiektu, przy wzroście udziału wód przypadkowych o 10% w przepływie dobowym.

Badania wykazały negatywny wpływ wód przypadkowych na stężenie fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych w przypadku obiektów o małej przepustowości hydraulicznej. Podwyższone wodami przypadkowymi przepływy ścieków powodowały wynoszenie, zawierającego związki fosforu, osadu czynnego z komór bioreaktora oraz lejów osadników wtórnych.

W obiektach charakteryzujących się dużą rezerwą przepustowości hydraulicznej dopływy do kanalizacji wód przypadkowych powodowały obniżenie stężenia fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych od 0,9 do 3,9% (w zależności od obiektu) na każdy 10% wzrost udziału tych wód w przepływie dobowym.

Przedstawione wyniki badań są kolejnym argumentem wskazującym na potrzebę podjęcia skutecznych działań w aspekcie poprawy szczelności sieci w małych systemach kanalizacyjnych.

W pracy wykorzystano wyniki badań projektu badawczego własnego Nr N N305 073236, finansowanego ze środków na naukę, realizowanego w latach 2009-2012

BIBLIOGRAFIA

- Błażejewski R. *Kanalizacja wsi*. PZITS Oddz. Wielkopolski, Poznań 2003.
- Butler D., Davies J.W. *Urban Drainage*. 3rd ed. Spon Press, London – New York 2001.
- Franz T. *Spatial classification methods for efficient infiltration measurements and transfer of measuring results*. Dissertation Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft, TU Dresden 2007, Dresdner Bericht 28.
- Kaczor G. *Otwory we włączach kanalizacyjnych, jako jedna z przyczyn przedostawania się wód przypadkowych do kanalizacji sanitarnej*. Infrastr. Ekol. Ter. Wiej. 9, 2009, s. 155–163.
- Kaczor G. *Wpływ wiosennych roztopów śniegu na dopływ wód przypadkowych do oczyszczalni ścieków bytowych*. *Formatio Circumiectus (Kształtowanie Środowiska)*, Acta Scientiarum Polonorum, Wydawnictwo UR w Krakowie, 2011, s. 27–34.
- Kaczor G., Bergel T. *Wpływ wód przypadkowych na ładunki zanieczyszczeń dopływających do oczyszczalni i odprowadzanych do odbiornika*. *Przem. Chem. Sigma-Not* 87(5), 2008, s. 476–478.
- Kaczor G., Bugajski P. *Wpływ wód przypadkowych na jakość ścieków oczyszczonych odprowadzanych do odbiornika podczas pogody mokrej*. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 8'2012, Wydawnictwo Sigma NOT, Warszawa, 2012, s. 334–337.
- Kaczor G., Satora S. *Problem wód przypadkowych w wiejskich systemach kanalizacyjnych województwa małopolskiego*. *Inżynieria Rolnicza* 3(45), 2, 2003, s. 35–46.
- Karpf C., Krebs P. *Assessment of Extraneous Water Inflow in Separated Sewer Networks*. Proc. 10th ICUD Conference, Copenhagen, Denmark, 21–26 August 2005.
- Kwietniewski M., Rak J. *Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce*. PAN, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, nr 67, Warszawa 2010.
- Łomotowski J., Szpindor A., 1999. *Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków*. Arkady Warszawa.
- Pecher R. *Fremdwasseranfall im Kanalnetz -ein wasserwirtschaftliches Problem?* *Korrespondenzabwasser* 12 (45), 1999, s. 2250–2258.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód i do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego*. (Dz. U. 2006 nr 137 poz. 984.)

Tchobanoglous G., Burton F., Stensel D. *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse*. Metcalf & Eddy. McGraw-Hill Boston 2003.

Dr inż. Grzegorz Kaczor
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej,
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków,
tel. (012) 632-57-88, e-mail: rmkaczor@cyf-kr.edu.pl

