

WPLYW ŁADUNKU ZANIECZYSZCZEŃ DOPROWADZANEGO DO FILTRÓW PIASKOWYCH O PRZEPLYWIE PIONOWYM NA ŁADUNEK USUWANY

Krzysztof Chmielowski, Ryszard Ślizowski

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Badano zależność między ładunkiem zanieczyszczeń doprowadzonym do filtra piaskowego o przepływie pionowym a ładunkiem usuniętym przez filtr. Obiektem badań wykonanych w okresie od października 2003 do lutego 2006 r. były cztery przydomowe oczyszczalnie ścieków składające się z osadnika gnilnego oraz filtra piaskowego o przepływie pionowym. Ładunek zanieczyszczeń niesiony przez ścieki określono na podstawie ilości ścieków dopływających do oczyszczalni oraz wartości BZT₅, ChZT_{Cr}, zawiesiny ogólnej, azotu ogólnego i fosforanów w ściekach wstępnie oczyszczonych oraz w ściekach oczyszczonych. Stwierdzono bardzo wysoką korelację między ładunkiem doprowadzonym do filtra a ładunkiem zatrzymanym w złożu filtra, szczególnie w przypadku BZT₅ ($r = 0,99$), ChZT_{Cr} ($r = 0,98$), zawiesiny ogólnej ($r = 0,93$) i azotu ogólnego ($r = 0,98$), natomiast dla fosforanów związek badanych czynników był słaby ($r = 0,27$).

Słowa kluczowe: przydomowa oczyszczalnia ścieków, filtr piaskowy, ścieki bytowe, zanieczyszczenia, ładunek

WSTĘP

Zużywanie wody wodociągowej pociąga za sobą powstawanie ścieków, które nieoczyszczone stanowią poważne zagrożenia dla środowiska naturalnego. Brak równoległej budowy systemów kanalizacyjnych na terenach wiejskich przyczynił się do powstania znacznych dysproporcji pomiędzy zaopatrzeniem w wodę a odprowadzeniem ścieków [Ciupa 1995, Klugiewicz i Totczyk 1995, Błaszczyk 1999, Eymontt 2000, Pawełek i in. 2004]. Na terenach, gdzie ze względów na konfigurację terenu nie można wybudować konwencjonalnej kanalizacji zbiorowej, a budowa kanalizacji ciśnieniowej lub podciśnieniowej pod względem ekonomicznym jest nieuzasadniona, pozostaje wybudowanie przydomowej oczyszczalni ścieków. Jednym z najprostszych układów oczyszczania małych ilości ścieków jest połączenie osadnika gnilnego z filtrem piaskowym o przepływie pionowym.

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Krzysztof Chmielowski, Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: k.chmielowski@ar.krakow.pl

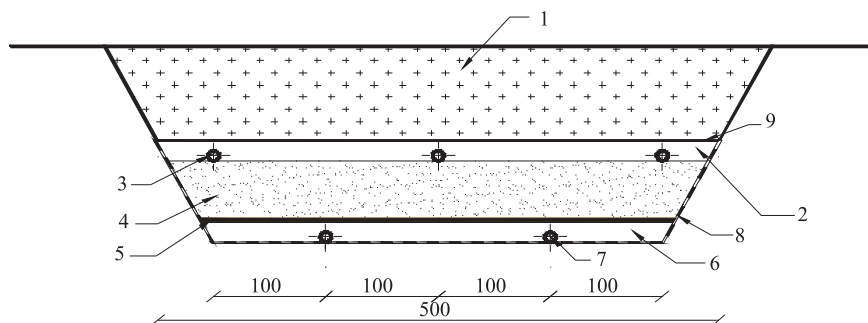
Filtry te zapewniają wysoki stopień oczyszczania ścieków z nityfikacją, ale bez wysokiej defosfatacji i denitryfikacji [Błażejowski 1997]. Bardzo istotne dla długoletniej eksploatacji filtrów piaskowych jest systematyczne opróżnianie osadnika gnilnego z osadu, tak aby jego nadmiar nie dostawał się na złożę filtru, gdyż przyspiesza to jego kolmatację [Ślizowski i Chmielowski 2005]. Filtry piaskowe zalecane są do oczyszczania ścieków pochodzących z pojedynczych domów oraz ich zespołów; mogą być również stosowane w większych oczyszczalniach ścieków z obiektów użyteczności publicznej i usługowych [Osmulski-Mróż 1995]. Mimo że w złożu filtracyjnym przeważają warunki tlenowe, to w lokalnych mikrostrefach może zachodzić proces denitryfikacji [Heidrich i Tichończuk 1995].

Według Tannera [2001], wraz ze wzrostem ładunku doprowadzonego do złoża usunięty został większy ładunek zanieczyszczeń. Dotyczy to trzech wskaźników zanieczyszczenia ścieków: BZT₅ i ChZT oraz azotu ogólnego.

Celem pracy było określenie wpływu ładunku zanieczyszczeń doprowadzonego do filtrów piaskowych o przepływie pionowym na ładunek usuwany.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w czterech przydomowych oczyszczalniach ścieków zlokalizowanych w miejscowości Moszczenica Wyżna w powiecie nowosądeckim. Każda oczyszczalnia składała się z osadnika gnilnego oraz filtra piaskowego o przepływie pionowym. Przekrój poprzeczny takiego filtra przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Filtr piaskowy o przepływie pionowym (przekrój poprzeczny): 1 – grunt rodzimy (grubość 80 cm), 2 – warstwa rozprowadzająca (żwir ϕ 4–15 mm, grubość 20 cm), 3 – układ perforowanych przewodów rozprowadzających, 4 – właściwa warstwa filtracyjna (piasek ϕ 0,25–1,0 mm, grubość 60 cm), 5 – warstwa podtrzymująca (piasek ϕ 1,0–2,0 mm, grubość 5 cm), 6 – warstwa zbierająca (żwir ϕ 8–10 mm, grubość 20 cm), 7 – układ perforowanych przewodów zbierających umieszczony w dolnej części filtru i obsypany żwirem, 8 – folia z tworzywa sztucznego, 9 – geowłóknina

Fig. 1. Vertical-flow sand filter (cross section): 1 – native ground (thickness 80 cm), 2 – distributing layer (gravel ϕ 4–15 mm, thickness 20 cm), 3 – system of perforated distributing pipes, 4 – proper filter layer (sand ϕ 0.25–1.0 mm, thickness 60 cm), 5 – sustaining layer (sand ϕ 1.0–2.0 mm, thickness 5 cm), 6 – collecting layer (gravel ϕ 8–10 mm, thickness 20 cm), 7 – system of perforated collecting pipes placed in bottom part of filter and covered with gravel, 8 – plastic foil, 9 – non-woven geotextile fabric

Ze względu na niewielką ilość ścieków dopływających do oczyszczalni nie został zaprojektowany dawkovnik.

Do oczyszczalni dopływały tylko ścieki bytowe: do oczyszczalni numer 1 – od 5 mieszkańców, numer 2 – od 4 mieszkańców, numer 3 – od 3 mieszkańców, numer 4 – od 4 mieszkańców. Badania trwały od października 2003 do lutego 2006 r. Próbkę do analizy fizykochemicznej pobierano w dwóch punktach każdej przydomowej oczyszczalni ścieków. Punktem pierwszym była studzienka rozdzielcza po osadniku gnilnym, a przed filtrem piaskowym o przepływie pionowym (ścieki wstępnie oczyszczone). Drugi punkt stanowił wylot rury odprowadzającej ścieki oczyszczone do odbiornika (po filtrze piaskowym – ścieki oczyszczone). Analizie fizykochemicznej poddano trzy wskaźniki z grupy podstawowej: BZT₅, ChZT_{Cr} i zawiesinę ogólną, oraz dwa z grupy eutroficznej: azot ogólny i fosforany. Dla czterech oczyszczalni łącznie zbadano 72 próbki ścieków wstępnie oczyszczonych i oczyszczonych.

Badaniami objęto również ilość ścieków trafiających do przydomowych oczyszczalni. W tym celu zamontowano specjalne wodomierze wyposażone w miernik impulsów. Do tak zamontowanego wodomierza podłączono rejestrator impulsów. Taki zestaw pozwolił uzyskać bardzo dokładny obraz ilości zużywanej wody trafiającej do przydomowych oczyszczalni ścieków. Rejestrator impulsów zapisywał w pamięci elektronicznej impulsy generowane przez wodomierz. Jeden impuls odpowiadał 1 dm³ zużytej wody. Rejestrator zliczał i zapisywał impulsy co godzinę. Wyposażony on był w złącze umożliwiające podłączenie komputera i archiwizację danych. Na tej podstawie autor uzyskał dane dotyczące ilości wody zużywanej w gospodarstwie na potrzeby bytowe. Następnie założono, że do oczyszczalni trafia 95% ilości wody odczytanej z wodomierza (woda na podlewanie ogródka czy mycie samochodu była ujmowana odrębnym przyłączem, a pomniejszenie wynika z wody traconej na gotowanie posiłków, podlewanie kwiatków w domu itp.).

Mając dane dotyczące ilości ścieków oraz stężenia ścieków wstępnie oczyszczonych i oczyszczonych, obliczono ładunek dopływający do oczyszczalni i z niej odpływający.

Obciążenie ładunkiem zanieczyszczeń złoża filtracyjnego obliczono według wzoru:

$$L = \frac{Q}{A_p} \cdot S_1 \text{ [g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}] \quad (1)$$

gdzie:

- Q – średni dopływ ścieków do oczyszczalni w okresie równym średniemu hydraulicznemu czasowi zatrzymania w osadniku gnilnym (3 doby poprzedzające pobór próbki ścieków do oznaczeń stężeń zanieczyszczeń S_1) ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$),
- A_p – pole powierzchni (rzutu poziomego) złoża filtracyjnego (m^2),
- S_1 – stężenie badanego zanieczyszczenia lub wartość wskaźnika w ściekach przed filtrem ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$).

Ładunek usunięty przez filtr piaskowy obliczono ze wzoru:

$$L_{us} = \frac{Q}{A_p} \cdot (S_1 - S_2) \text{ [g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}] \quad (2)$$

gdzie:

- Q, A_p, S_1 , – jak we wzorze (1),
 S_2 – stężenie badanego zanieczyszczenia lub wartość wskaźnika w ściekach oczyszczonych ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$).

Ponieważ przydomowe oczyszczalnie ścieków wybrane do badań były takiej samej konstrukcji, pracowały w podobnych warunkach atmosferycznych i stężenie zanieczyszczeń ścieków odpływających z poszczególnych filtrów piaskowych było podobne, autorzy zdecydowali się na określenie związku pomiędzy ładunkiem dopływającym do złoża a ładunkiem zatrzymanym wspólnie dla czterech obiektów. Pozwoliło to również na uśrednienie wyników dla badanych obiektów.

W tabeli 1 przedstawiono podstawowe dane dotyczące badanych oczyszczalni.

Dodatkowo określono współczynnik skuteczności usuwania zanieczyszczeń η . Wykorzystano wzór:

$$\eta = \frac{\mathcal{L}_{us}}{\mathcal{L}} [-] \quad (3)$$

gdzie:

- \mathcal{L}_{us} – ładunek usunięty przez filtr piaskowy ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$),
 \mathcal{L} – ładunek zanieczyszczeń doprowadzony na filtr ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$).

WYNIKI I DYSKUSJA

Na rysunkach 2–6 przedstawiono zależności między ładunkiem usuniętym na złożu filtracyjnym a ładunkiem dopływającym do złoża. W tabeli 2 zaprezentowano współczynniki skuteczności usuwania zanieczyszczeń (η) dla badanych oczyszczalni.

Stwierdzono wysoce istotny ($r = 0,999$) związek liniowy między ładunkiem BZT₅ doprowadzonym do złoża a ładunkiem BZT₅ usuniętym (rys. 2). Niskie wartości BZT₅ w odpływie z filtrów piaskowych o przepływie pionowym informują o intensywnych procesach utleniania substancji organicznej zachodzących wewnątrz złoża filtracyjnego. Przyczyną tego stanu mogą być bardzo dobre warunki tlenowe w złożu filtracyjnym. Zaobserwowane przez autorów dopływy ścieków do oczyszczalni wskazują kilkugodzinny okres bez dopływu ścieków do oczyszczalni (od 23 do 5 rano). W tym czasie złożo filtracyjne ma możliwość uzupełnienia tlenu niezbędnego do tlenowych procesów oczyszczania.

Podobna sytuacja odnosi się do ładunku ChZT_{Cr} (rys. 3), gdzie wartość współczynnika korelacji wyniosła 0,986.

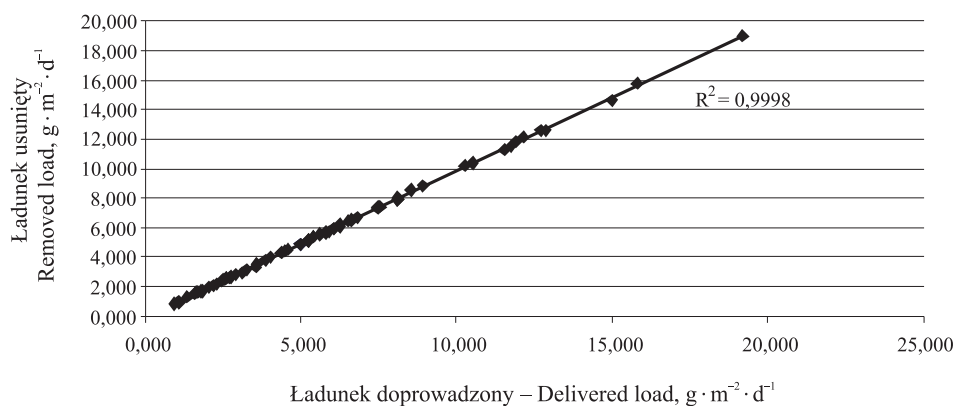
Wraz ze wzrostem ładunku zawiesiny ogólnej doprowadzanego do złoża filtracyjnego zaobserwowano wzrost ładunku zawiesiny ogólnej usuniętego na złożu (rys. 4). Może to być efekt odpowiedniego uziarnienia złoża filtracyjnego ($d = 0,25 \div 1,0$ mm), pozwalającego na zatrzymanie znacznej ilości zawiesiny ogólnej.

Wraz ze wzrostem ładunku azotu ogólnego doprowadzanego zaobserwowano wzrost ładunku azotu ogólnego usuniętego na złożu (rys. 5). Przyczyną tego stanu, podobnie jak w wypadku BZT₅ i ChZT_{Cr}, mogą być bardzo dobre warunki tlenowe w złożu filtracyj-

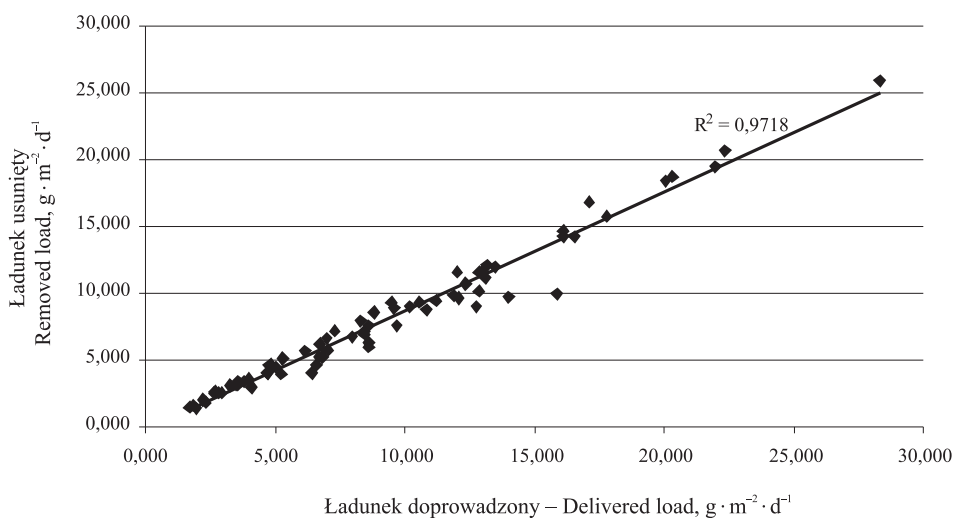
Tabela 1. Podstawowe dane dotyczące badanych obiektów – oczyszczalni ścieków zlokalizowanych w Moszczenicy Wyznej (pow. nowosądecki)
 Table 1. Basic data on tested objects – treatment plants located in Moszczenica Wyzna (Nowy Sącz district)

Nr oczyszczalni Treatment plant No.	Rok budowy (rozruchu) Year of building (starting operation)	Liczba mieszkańców Number of residents	Q_{dbr} $m^3 \cdot d^{-1}$	Stężenie zanieczyszczeń w ściekach za osadnikiem gnilnym leaving septic tank $g \cdot m^{-3}$			Stężenie zanieczyszczeń w ściekach za filtrem piaskowym leaving sand filter $g \cdot m^{-3}$			Pole pow. filtra Surface area of filter (A^p) m^2	Ładunek usunięty Removed load $g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$	BZT ₅ – BOD ₅	ChZT _{Cr} – COD _{Cr}	Zawiesina ogólna Total susp. solids	Azot ogólny Total nitrogen	Fosforany Phosphates	BZT ₅ – BOD ₅	ChZT _{Cr} – COD _{Cr}	Zawiesina ogólna Total susp. solids	Azot ogólny Total nitrogen	Fosforany Phosphates
				BZT ₅ – BOD ₅	ChZT _{Cr} – COD _{Cr}	Zawiesina og Total susp. solids	Azot ogólny Total nitrogen	Fosforany Phosphates	BZT ₅ – BOD ₅												
1	1997	5	0,500	283,1	425,9	201,0	81,6	52,1	3,1	51,9	43,3	10,2	39,4				5,8	7,8	3,3	1,5	0,3
2	1997	4	0,416	237,8	414,4	234,6	99,3	60,7	2,4	42,1	32,4	10,5	52,0				5,2	8,2	4,4	1,9	0,2
3	1997	3	0,320	201,2	328,6	139,9	91,2	53,8	2,5	39,3	17,3	10,5	43,1				3,3	4,9	2,1	1,4	0,2
4	1997	4	0,384	281,6	465,1	190,7	114,0	91,2	4,8	51,8	26,6	17,3	70,9				4,4	6,6	2,6	1,5	0,3

Q_{dbr} – przepływ dobowy średni – mean flow
 BZT₅ – BOD₅ – biologiczne zapotrzebowanie na tlen – biological oxygen demand
 ChZT_{Cr} – COD_{Cr} – chemiczne zapotrzebowanie na tlen – chemical oxygen demand



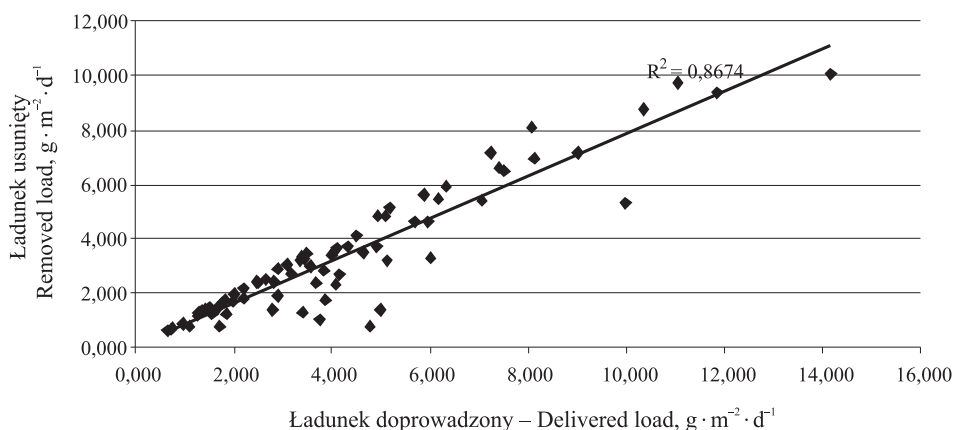
Rys. 2. Związek ładunku BZT₅ usuniętego na złożu i ładunku BZT₅ doprowadzonego do złoża
 Fig. 2. Relationship between BOD₅ load removed on bed and BOD₅ load delivered to bed



Rys. 3. Związek ładunku ChZT_{Cr} usuniętego na złożu i ładunku ChZT_{Cr} doprowadzonego do złoża
 Fig. 3. Relationship between COD_{Cr} load removed on bed and COD_{Cr} load delivered to bed

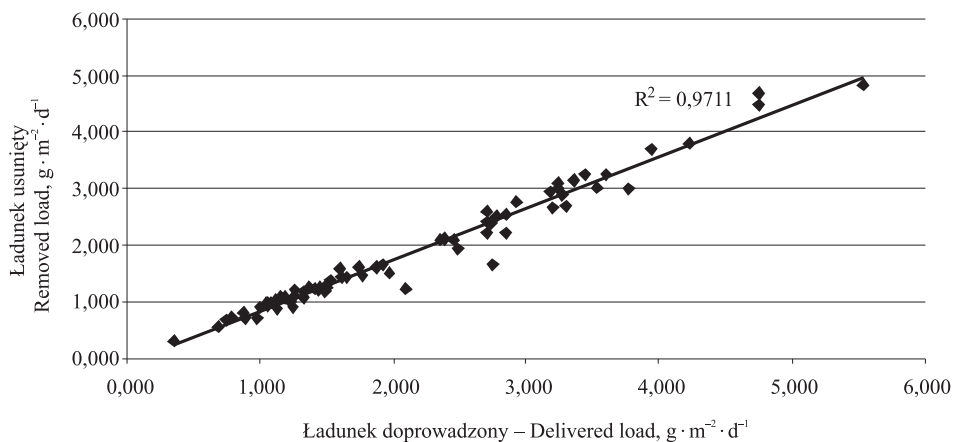
nym. Do pełnego usunięcia azotu wymagany jest proces denitryfikacji. W tym wypadku konieczne jest niedotlenienie. Dlatego też można przypuszczać, że w lokalnych mikrostrefach złoża filtracyjnego występują obszary uboższe w tlen.

Związek ładunku fosforanów doprowadzonych do złoża i usuniętych w niewielkim stopniu wpływał na ładunek fosforanów usunięty na złożu (rys. 6). Przyczyną tego stanu może być niska zdolność sorpcyjna piasku złoża filtracyjnego związana z brakiem



Rys. 4. Związek ładunku zawiesiny ogólnej usuniętego na złożu i ładunku zawiesiny ogólnej doprowadzonego do złoża

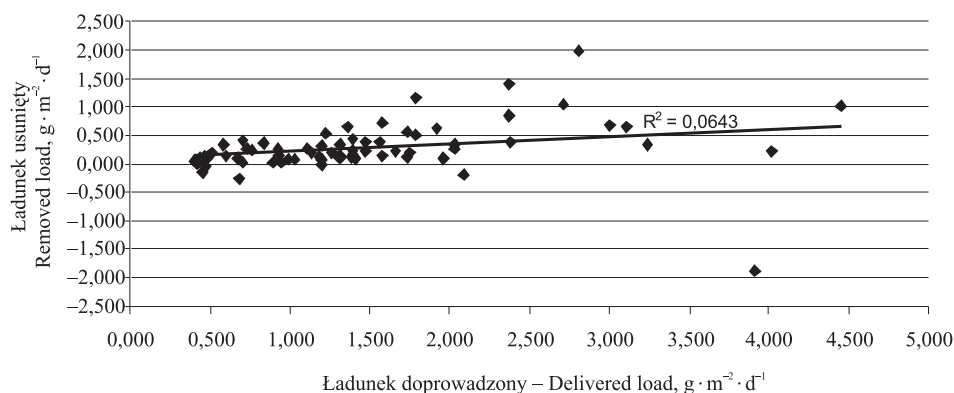
Fig. 4. Relationship between suspended solids load removed on bed and suspended solids load delivered to bed



Rys. 5. Związek ładunku azotu ogólnego usuniętego na złożu i ładunku azotu ogólnego doprowadzonego do złoża

Fig. 5. Relationship between total nitrogen load removed on bed and total nitrogen load delivered to bed

w składzie granulometrycznym piasku złoża filtracyjnego cząstek spławialnych, które charakteryzują się znacznie większymi zdolnościami sorpcyjnymi w porównaniu z piaskiem.



Rys. 6. Związek ładunku fosforanów usuniętego na złożu i ładunku fosforanów doprowadzonego do złoża

Fig. 6. Relationship between phosphate load removed on bed and phosphate load delivered to bed

Tabela 2. Średnie wartości współczynników skuteczności usuwania zanieczyszczeń (η) dla badanych oczyszczalni

Table 2. Average values of pollutant removal effectiveness indexes (η) for tested treatment plants

Nr oczyszczalni Treatment plant No.	η				
	BZT ₅ BOD ₅	ChZT _{Cr} COD _{Cr}	zawiesina ogólna total suspended solids	azot ogólny total nitrogen	fosforany phosphates
1	0,99	0,86	0,77	0,87	0,25
2	0,99	0,88	0,78	0,89	0,09
3	0,99	0,86	0,85	0,88	0,19
4	0,98	0,87	0,87	0,83	0,21

BZT₅, ChZT_{Cr} – patrz tabela 1

BOD₅, COD_{Cr} – see Table 1

WNIOSKI

1. Filtry piaskowe o przepływie pionowym w wysokim stopniu zatrzymują (usuwiają) zanieczyszczenia organiczne (BZT₅, ChZT_{Cr}), zawiesinę ogólną i azot ogólny.
2. Istnieje bardzo wysoka korelacja liniowa między ładunkiem doprowadzonym do filtra a ładunkiem usuniętym na filtrze; w szczególności dotyczy to BZT₅ ($r = 0,99$), ChZT_{Cr} ($r = 0,98$), zawiesiny ogólnej ($r = 0,93$) i azotu ogólnego ($r = 0,98$).

3. Dla fosforanów stwierdzono słabą współzależność liniową badanych czynników ($r = 0,27$) przy jednocześnie niskiej skuteczności usuwania tych związków, czego przyczyną może być brak w złożu filtracyjnym najdrobniejszych ziaren ($< 0,02$ mm), których kompleks sorpcyjny jest większy niż w przypadku ziaren o większej średnicy.

PIŚMIENNICTWO

- Błaszczak P., 1999. Stan obecny i perspektywy rozwoju kanalizacji w Polsce. Mat. Konf. „Stan obecny i perspektywy rozwoju inżynierii sanitarnej i gazownictwa”. PZLiTS Warszawa, 37–45.
- Błażejowski R., 1997. Przydomowe oczyszczalnie ścieków. Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Zarzeczewie Włocławek.
- Ciupa R., 1995. Porównanie kosztów budowy, eksploatacji i osiągniętych efektów oczyszczania wybranych typów małych oczyszczalni ścieków w północno-wschodniej Polsce. [W:] Kontenerowe i przydomowe oczyszczalnie ścieków oraz stacje uzdatniania wody. Mat. VIII Ogólnopol. Konf. Nauk.-Tech. „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”. Red. E.H. Grygorczuk-Petersons. Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych Białystok, 143–147.
- Eymontt A., 2000. Możliwości zastosowania nowych materiałów i rozwiązań technicznych w projektowaniu i wykonawstwie systemów odprowadzania ścieków na wsiach. Zesz. Nauk. AR Krak., Sesja Nauk. 72, 341–350.
- Heidrich Z., Tichończuk P., 1995. Wstępne zasady projektowania przydomowych oczyszczalni ścieków. PZLiTS Warszawa – Poznań.
- Klugiewicz J., Totczyk G., 1995. Zastosowanie kontenerowych oczyszczalni ścieków z TZB na terenach rolniczo-przemysłowych. Kontenerowe i przydomowe oczyszczalnie ścieków oraz stacje uzdatniania wody. Mat. VIII Ogólnopol. Konf. Nauk.-Tech. „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”. Red. E.H. Grygorczuk-Petersons. Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych Białystok, 119–127.
- Osmulka-Mróż B., 1995. Lokalne systemy unieszkodliwiania ścieków. Poradnik. Instytut Ochrony Środowiska Warszawa
- Pawełek J., Kaczor G., Bergel T., 2004. Wybrane zagadnienia ilościowo-jakościowe ścieków bytowych odprowadzanych wiejskimi systemami kanalizacyjnymi. Ogólnopol. Konf. Nauk.-Tech. „Kanalizacja wsi – Stan obecny – Perspektywy rozwoju”. Puszczykowo 18–20 II. PZLiTS – AR Poznań, [publ. elektr.] 1–24.
- Ślizowski R., Chmielowski K., 2005. Skuteczność oczyszczania ścieków w przydomowej oczyszczalni „Duofilter” opartej na bazie filtra piaskowego o przepływie pionowym. Zesz. Nauk. AR Krak., Inż. Środ. 26, 299–308.
- Tanner C.C., 2001. Plants as ecosystem engineers in subsurface-flow treatment wetlands. 7th Int. Conf. on Wetland Systems for Water Pollution Control. Lake Buena Vista FL, 11–16 XI 2000. IWA London, 805–812.

EFFECT OF POLLUTANT LOAD DELIVERED TO VERTICAL-FLOW SAND FILTERS ON REMOVED LOAD

Abstract. The relationship between the load of pollutants delivered to a vertical-flow sand filter on the load removed by the filter was studied using the data from four household sewage treatment plants consisting of a septic tank and a vertical-flow sand filter, investigated from

October 2003 to February 2006. The pollutant load carried by sewage was determined on the basis of the amount of sewage coming to a treatment plant and the values of BOD_5 , COD_{Cr} , suspended solids, total nitrogen, and phosphates in pretreated and in treated sewage. There was a very high correlation between the pollutant load entering the filter bed and the load retained in the bed, especially for BOD_5 ($r = 0.99$), COD_{Cr} ($r = 0.98$), total suspended solids ($r = 0.93$), and total nitrogen ($r = 0.98$), whereas for phosphates the relationship between the two factors was weak ($r = 0.27$).

Key words: household sewage treatment plant, sand filter, domestic sewage, pollutants, load

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 1.10.2008