

Krzysztof Chmielowski, Andrzej Wałęga

**FILTRY PIASKOWE O PRZEPLYWIE PIONOWYM
JAKO DRUGI STOPIEŃ OCZYSZCZANIA
MAŁYCH ILOŚCI ŚCIEKÓW BYTOWYCH**

***VERTICAL FLOW SAND FILTERS AS THE SECOND STEP
OF THE SMALL AMOUNT
OF LIVING SEWAGE TREATMENT***

Streszczenie

Celem artykułu było gruntowne przedstawienie rozwiązań konstrukcyjnych stosowanych przy budowie filtrów piaskowych o przepływie pionowym, opisanie materiałów stosowanych do ich budowy oraz przedstawienie skuteczności ich działania. Filtry piaskowe stosowane są głównie jako drugi stopień oczyszczania ścieków po osadnikach gnilnych lub osadnikach Imhoffa, jak również jako trzeci stopień po biologicznych procesach oczyszczania, gdy wymagany jest odpływ ustabilizowany i o wysokiej jakości. Filtry piaskowe zalecane są do oczyszczania ścieków z pojedynczych domów oraz z ich zespołów, jak również mogą być stosowane w większych oczyszczalniach ścieków z obiektów użyteczności publicznej i usługowej. W artykule przedstawiono dodatkowo skuteczności oczyszczania ścieków w filtrach piaskowych o przepływie pionowym. Artykuł kończy się podsumowaniem i wnioskami gdzie stwierdza się, że filtry piaskowe o przepływie pionowym stanowią bardzo dobre rozwiązanie przy budowie przydomowych oczyszczalni ścieków, na terenach gdzie nie można zastosować kanalizacji zbiorczej. Ponadto skuteczność oczyszczania ścieków w tych obiektach jest bardzo wysoka.

Słowa kluczowe: filtr piaskowy, ścieki, przydomowa oczyszczalnia ścieków

Summary

The article presents the thorough description of the vertical flow sand filters. The construction of sand filters was also presented and materials used for building filters were described. In the next part, capacities of sewage treatment in the vertical flow sand filters were presented. Vertical flow sand filters are mainly used as the second step of sewage treatment after septic tanks or after Imhoff tanks, as well as the third step after biological treatment processes when the high quality and stable outflow is required. Sand filters are useful for treatment sewage from single households and from the group of houses, but they also can be used in bigger sewage treatment plants for the public utility objects.

The article ends with the summary and conclusions where it is ascertained that the vertical flow sand filters are very good solution regarding household sewage treatment plants, in the areas where the combined sewerage system cannot be applied. Moreover the efficiency of sewage treatment in these objects is high.

Key words: sand filter, sewage, household sewage treatment plant

WSTĘP

Na obszarach wiejskich gdzie ze względu na ukształtowanie terenu nie można zbudować grawitacyjnej kanalizacji zbiorczej, a budowa kanalizacji ciśnieniowej lub podciśnieniowej jest z ekonomicznego punktu nie uzasadniona, pozostaje wybudowanie dołu bezodpływowego lub przydomowej oczyszczalni ścieków. Biorąc pod uwagę przyszłą eksploatację dołu bezodpływowego (częste i kosztowne wywożenie nieczystości taborem asenizacyjnym) jedynym słusznym rozwiązaniem pozostaje budowa przydomowej oczyszczalni ścieków. Jednym z takich rozwiązań jest układ osadnika gnilnego z filtrem piaskowym o przepływie pionowym. Stanowią one jedno z najbardziej popularnych rozwiązań unieszkodliwiania ścieków. Filtry piaskowe okresowo zalewane wprowadzono do techniki oczyszczania ścieków w 1868 roku [Osmulska-Mróż 1995].

Według Błażejewskiego [1994] filtry piaskowe można podzielić na:

- filtry z pionowym przepływem ścieków, wśród których możemy wyróżnić filtry pionowe zakryte i filtry pionowe odkryte z jednorazowym przepływem ścieków oraz wielokrotnym przepływem ścieków (recyrkulacja),
- filtry piaskowe z poziomym przepływem ścieków.

Filtry piaskowe stosowane są głównie jako drugi stopień oczyszczania ścieków po osadnikach gnilnych lub osadnikach Imhoffa, jak również jako trzeci stopień po biologicznych procesach oczyszczania, gdy wymagany jest dopływ ustabilizowany i o wysokiej jakości. Ścieki po filtrze piaskowym najczęściej odprowadzane są do wód powierzchniowych, ale mogą być również odprowadzane do gruntu przez studnię chłonną [Heidrich 1998]. Filtry piaskowe zalecane są do oczyszczania ścieków z pojedynczych domów oraz z ich zespołów, jak również mogą być stosowane w większych oczyszczalniach ścieków z obiektów

użyteczności publicznej i usługowej [Osmulska-Mróż 1995]. Filtry piaskowe pionowe stosuje się tam, gdzie grunt jest nieprzepuszczalny (gliniasty) lub mamy do czynienia z większą liczbą użytkowników (czyli tam, gdzie systemy klasyczne: drenaż lub złoża biologiczne są za małe).

OPIS KONSTRUKCJI FILTRÓW PIASKOWYCH O PRZEPLYWIE PIONOWYM

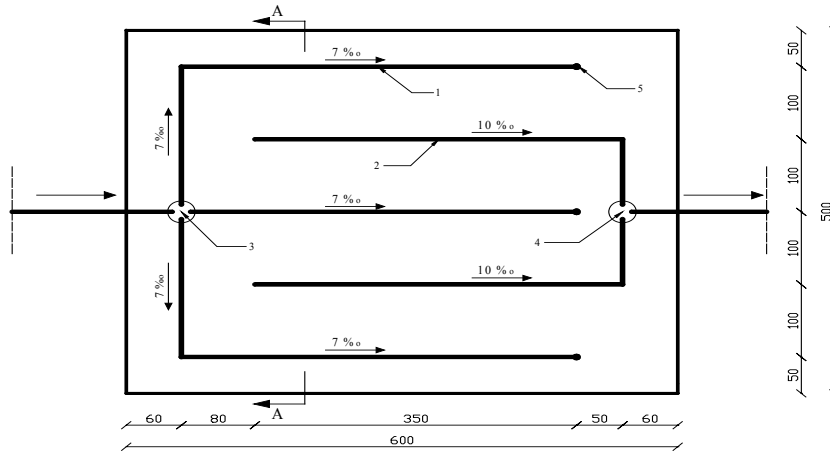
Filtry piaskowe o przepływie pionowym wykonuje się jako złoża filtracyjne lub jako rowy filtracyjne. W pierwszym przypadku wykopuje się grunt rodzimy na całej szerokości filtru i wprowadza się materiał o odpowiednim uziarnieniu, najczęściej piasek lub drobny żwir. W przypadku rowów filtracyjnych wykopuje się w gruncie rodzimym rowy o głębokości przesiąkania minimum 60 cm, szerokości 50 cm, które wypełniane są podobnie, jak w przypadku złoża, materiałem o odpowiednich parametrach. W Saksonii buduje się zoptymalizowane rowy filtracyjne, w których grubość warstwy przesiąkania ścieków wynosi aż 120 cm. Zbudowane są one z trzech warstw filtracyjnych: górnej i dolnej wykonanej z dużych ziaren oraz części środkowej wypełnionej drobnym żwirem.

Przy budowie filtru należy usunąć warstwę gruntu rodzimego i w jego miejsce wbudować materiał o odpowiednim uziarnieniu. Zasada działania filtrów piaskowych jest prosta, polega ona na okresowym doprowadzeniu ścieków na złoża filtracyjne i przesączeniu ich przez warstwę filtracyjną. Jako wypełnienie złoża filtracyjnego stosuje się najczęściej piasek lub drobny żwir. Nad warstwą rozpraszającą należy umieścić warstwę gruntu rodzimego w celu izolacji termicznej filtra. Grubość tej warstwy nie powinna być mniejsza niż 0,80 m. Na efektywność filtrów piaskowych najbardziej oddziałują warunki tlenowe oraz temperatura [Osmulska-Mróż 1995]. Tlen jest niezbędny do tlenowego rozkładu zanieczyszczeń, natomiast temperatura bezpośrednio wpływa na szybkość wzrostu bakterii, przebieg reakcji biochemicznych, mechanizm adsorpcji i inne czynniki, od których zależy utrzymanie wysokiej efektywności oczyszczania.

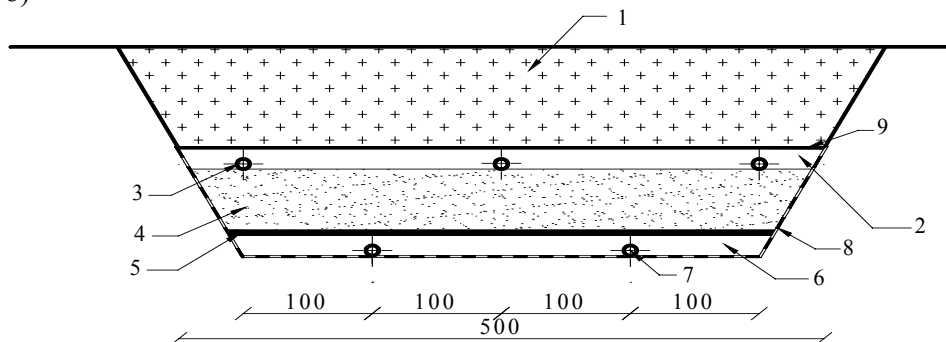
Mikroorganizmy rozwijające się w złożu powodują rozkład substancji organicznych w warunkach tlenowych oraz przemianę amoniaku w azotany. W złożu filtracyjnym może również zachodzić proces denitryfikacji w niedotlenionych częściach wypełnienia złoża [Heidrich, Tichończuk 1995].

Na rysunku 1 przedstawiono standardowy schemat filtra piaskowego o przepływie pionowym.

a)



b)



Rysunek 1. Filtr piaskowy o przepływie pionowym – a) widok z góry, b) przekrój poprzeczny A-A: (1 – grunt rodzimy, 2 – żwirowa warstwa rozpraszająca – żwir ϕ 4–15 mm, grubość 20 cm, 3 – układ perforowanych przewodów rozpraszających, 4 – właściwa warstwa filtracyjna – piasek ϕ 0,25–1,0 mm, grubość 60 cm, 5 – żwirowa 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 ułożony w dolnej części filtru i obsypany żwirem, 8 – folia z tworzywa sztucznego, 9 – geowłóknina, 10 – studzienka rozdzielcza, 11 – studzienka zbiorcza (Ślizowski i Chmielowski 2005)

Figure 1. Vertical flow sand filter – a) view from the top, b) cross section A-A: (1 – mother ground, 2 – gravel spreading level– gravel ϕ 4–15 mm, thickness 20 cm, 3 – system of perforated spreading tubes, 4 – exact filter layer – sand ϕ 0,25–1,0 mm, thickness 60 cm, 5 – gravel 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 spreading tubes placed in the bottom part of the filter and covered with gravel, 8 – plastic foil, 9 – non-woven geotextile fabric, 10 – distributive well, 11 – collective well

CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW UŻYWANYCH DO BUDOWY FILTRÓW PIASKOWYCH

Szkielet gruntowy składa się z ziaren i cząstek różnych rozmiarów i zazwyczaj różnych nieregularnych kształtów. Dlatego też wielkości ziaren i cząstek są wyrażone za pomocą tzw. średnic zastępczych. Polska norma określa pięć zasadniczych frakcji uziarnienia gruntów.

Tabela 1. Frakcje uziarnienia gruntów nie skalistych (PN-86/B-02480)
Table 1. loose ground grain fraction (PN-86/B-02480)

Nazwa frakcji Fraction name	Wymiary i zakres średnic zastępczych d [mm] Dimensions and alternate diameter range d [mm]
Kamienista (f_k)/Stone	$d > 40$
Żwirowa (f_z)/ Gravel	$40 \geq d > 2$
Piaskowa (f_p)/ Sand	$2 \geq d > 0,05$
Pyłowa (f_w)/Dust	$0,05 \geq d > 0,002$
Iłowa (f_i)/Loam	$d \leq 0,002$

Istotną cechą fizyczną gruntów przeznaczonych do oczyszczania ścieków jest porowatość. Porowatość gruntu, a ściślej współczynnik porowatości objętościowej, określa się ilorazem objętości porów do objętości całego gruntu.

$$n = \frac{V_p}{V} [-]$$

Gdzie:

- n – współczynnik porowatości [-]
- V_p – objętość porów w gruncie [dm^3]
- V – objętość całej próbki gruntu [dm^3]

Współczynnik porowatości objętościowej można oszacować na podstawie badań polowych przy użyciu pojemnika o znanej objętości. Do pojemnika należy wsypać badany grunt i lekko go zagęścić przez kilkakrotne potrząsanie pojemnikiem. Następnie wlać wodę do poziomu gruntu. Objętość dodanej wody stanowi objętość porów V_p . Znając całkowitą objętość gruntu w pojemniku, można obliczyć współczynnik porowatości.

Poniżej przedstawiono wartości współczynników porowatości wybranych gruntów sypkich.

Wytyczne dotyczące uziarnienia warstwy filtracyjnej i wymiarów projektowych filtrów piaskowych podaje Metcalf i Eddy [1991]:

- grubość warstwy filtracyjnej 0,6–0,9 m,
- średnica miarodajna ziaren złoża $d_{10} = 0,5\text{--}1,0$ mm,
- współczynnik nierównomierności uziarnienia $k < 4$,
- materiał filtracyjny nie może zawierać więcej niż 1% części organicznych,

- obciążenie hydrauliczne powierzchni $q_f \leq 40 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,
- obciążenie powierzchni złoża filtracyjnego ładunkiem zanieczyszczeń organicznych $A_f \leq 5 \text{ g BZT}_5 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.

Tabela 2. Współczynniki porowatości objętościowej gruntów sypkich
Table 2. Indexes of loose ground porosity

Rodzaj gruntu/Type of grund	Współczynnik porowatości objętościowej n [-] Porosity index n [-]
Żwir/Gravel	0,30–0,55
Pospółka /Grout	0,20–0,40
Piaski równoziarniste / Equal grain size sands	0,26–0,48
Piaski różnoziarniste / Unequal grain size sands	0,20–0,45

- Niemiecka norma DIN 4261 [1994] zaleca stosowanie następujących zasad:
- jednostkowa długość filtru piaskowego równa długości perforowanego przewodu rozprowadzającego nie może być mniejsza od $6 \text{ m} \cdot \text{m}^{-1}$,
 - długość filtru piaskowego nie może przekraczać 30 m,
 - przewody rozprowadzające i zbierające należy wykonać z rur o średnicy 100 mm,
 - grubość warstwy filtracyjnej nie może być mniejsza niż 0,60 m,
 - warstwa filtracyjna powinna być wykonana z piasku gruboziarnistego i grubego żwiru,
 - odległość między przewodami rozprowadzającymi nie może być mniejsza niż 1 m.

W tabeli 3 przedstawiono podstawowe kryteria wymiarowania filtrów piaskowych o przepływie pionowym [Błażejewski 1996].

Tabela 3. Kryteria wymiarowania filtrów piaskowych o przepływie pionowym dla oczyszczania ścieków po osadniku gnilnym [Błażejewski 1996]
Table 3. Dimensioning criteria for vertical flow sand filters for treatment of sewage after the septic tank [Błażejewski 1996]

Parametr/Parameter	Jednostka /Unit	Rodzaj filtra/Filter type		
		Zakryty/ Covered	Odkryty /Uncovered	Z recyrkulacją /With recirculation
Grubość warstwy filtracyjnej/ Filter layer thickness	cm	60–100	60–100	60–100
Maksymalna średnica ziaren gruntu/ Maximal ground grain diameter	mm	4,0	4,0	4,0
Średnica efektywna d_{10} / Effective diameter d_{10}	mm	0,7–1,0	0,4–1,0	1,0–1,5

Średnica efektywna d_{10} złoża filtracyjnego (zakrytego) powinna się mieścić w przedziale od 0,7 do 1,0 mm. W przypadku filtrów odkrytych zakres ten wynosi od 0,4 do 1,0 mm. Znacznie wyższe wartości średnicy miarodajnej można stosować w przypadku wypełnienia filtrów piaskowych z recyrkulacją ścieków. Mieszczą się one w przedziale od 1,0 do 1,5 mm. Średnica ziaren użytych do budowy filtrów piaskowych nie powinna przekraczać 4,0 mm.

Tabela 4. Parametry projektowe filtrów piaskowych okresowo zalewanych [Metcalf, Eddy 1991, Onsite Wastewater Treatment... 1980]

Table 4. Designed parameters of periodically drenched sand filters [Metcalf, Eddy 1991, Onsite Wastewater Treatment... 1980]

Parametr/ Parameter	Jednostka / Unit	Rodzaj filtru/ Filter type		
		Podziemny/ Ground	o swobodnej powierzchni/ Free surface	z recyrkulacją/ with recirculation
Wymiar efektywny ziaren d_{10} / Effective grain size dimension d_{10}	[mm]	0,5–1,0	0,35–1,0	1,0–5,0
Współczynnik równomierności uziarnienia / Grain size equality index	[-]	<4	<4	<2,5
Grubość właściwej warstwy filtracyjnej złoża / Thickness of the bed's proper filter layer	[m]	0,6–0,9	0,6–0,9	0,6–0,9
Obciążenie hydrauliczne powierzchni złoża / Hydraulic loading of the bed surface	[dm ³ ·m ⁻² ·d ⁻¹]	<40	<120	<200

Tabela 5. Podział gruntów na klasy w zależności od ich przepuszczalności [Błażejowski, Murat-Błażejewska 1995]

Table 5. Ground division into classes depending on their permeability [Błażejowski, Murat-Błażejewska 1995]

Klasa przepuszczalności gruntu/ Ground permeability class	Czas wsiąkania wody/ Water soaking time		Rodzaj gruntu/ Type of ground
	t_p [min·139mm ⁻¹]	Współczynnik filtracji k_f / Filtration index k_f [m·d ⁻¹]	
A	do 2	>5,659	rumosze, żwiry, pospółki/ rubble, gravel, grout
B	od 2 do 18	do 0,628	piaski grube, średnie/ Thick, mean sand
C	od 18 do 180	do 0,000727	piaski drobne, lessy/ Small sand, loess
D	od 180 do 780	do 0,000167	piaski pylaste i gliniaste / Dusty and clay sand
E	> 780 (13 h)	< 0,000167	gliny, ily, skały niespękane / clay, loam, not fissured rock

Kolejnym ważnym parametrem gruntów stosowanych do budowy filtrów piaskowych jest współczynnik filtracji. Podział na klasy przepuszczalności gruntów zaproponowali Błażejowski i Murat-Błażejowska (1995). Podzielili oni grunty na pięć klas, od rumoszu i pospółki aż po gliny i ły.

Współczynnik filtracji można obliczyć wg równania Hazena z następującej zależności:

$$k_f = \frac{d_{10}^2}{100} [m \cdot s^{-1}]$$

Gdzie:

d_{10} – średnica miarodajna [mm]

Następnym parametrem, mającym wpływ na proces oczyszczania ścieków w filtrach piaskowych o przepływie pionowym, jest obciążenie hydrauliczne złoża filtracyjnego.

Tabela 6. Charakterystyka hydrauliczna gruntu oraz zalecane obciążenia rowów i pól drenażowych ściekami po mechanicznym oczyszczeniu [Osmulska-Mróż 1995]
Table 6. Hydraulic characteristic of the ground and recommended loading of drainage ditches and fields by the sewage after mechanical treatment [Osmulska-Mróż 1995]

Rodzaj gruntu/ Type of ground	Prześlakliwość/ Permeability [min·cm ⁻¹]	Szybkość filtracji/ Filtration speed [cm·h ⁻¹]	Dopuszczalne obciążenie / Admissible loading [dm ³ ·m ⁻² ·d ⁻¹]
Żwir i gruby piasek/ Gravel and thick sand	<0,4	>150	grunt nieodpowiedni/ Inadequate ground
Piasek gruby do średniego / Thick to mean sand	0,4–2	150–30	48
piasek drobny i gliniasty / Small and clay sand	2,5–6	24–10	32
Gлина piaszczysta i glina / Sandy clay and clay	6,5–12	9–5	24
Gлина i glina pylasta / Clay and dusty clay	12,5–24	4,5–2,5	18
Gлина pylasta ciężka i bardzo ciężka / Heavy and very heavy dusty clay	24,5–48	2,4–1,25	8
И / Loam	>48	<1,25	grunt nieodpowiedni/ Inadequate ground

Wraz ze wzrostem średnicy uziarnienia złoża filtracyjnego dopuszczalne obciążenie hydrauliczne się zwiększa. Dla piasków średnich i grubych wynosi 48 [dm³·m⁻²·d⁻¹], a dla gliny ciężkiej i bardzo ciężkiej tylko 8 [dm³·m⁻²·d⁻¹] [Osmulska-Mróż 1995].

BŁONA BIOLOGICZNA

W trakcie eksploatacji filtrów piaskowych na powierzchni materiału wypełniającego filtr powstaje błona biologiczna. Jest to zbiór mikroorganizmów, bakterii i śluzu. Charakterystyka błony biologicznej porastającej podłoże stałe jest zbliżona do błony biologicznej przytwierdzonej do rumowiska rzeczno-ogólnego oraz do skupisk zooglealnych zawieszonych, wykorzystywanych do oczyszczania ścieków w procesie osadu czynnego [Suschka 2000]. Błonę biologiczną tworzą na powierzchni ziaren filtra w głównej mierze matryca pozakomórkowa, mikroorganizmy i bakterie. Matrycę stanowią makrocząsteczki polimerowe zawierające od 50 do 90% węgla organicznego błony. Flora bakteryjna zawarta w błonie biologicznej jest ściśle związana z jakością oczyszczonych ścieków. Grzyby w złożu występują znacznie częściej niż w osadzie czynnym, a przyczyną tego jest korzystniejsze środowisko fizyczne oraz stałe dostarczanie złożonych związków organicznych do powierzchni błony biologicznej. W zewnętrznej warstewce błony biologicznej zachodzą procesy z najwyższą aktywnością. Występuje tam największa ilość mikroorganizmów ze względu na duże stężenie substratu organicznego oraz tlenu niezbędnego do życia. Wraz ze wzrostem grubości błony biologicznej dostęp tlenu jest ograniczony i zaczynają się procesy beztlenowe.

SKUTECZNOŚĆ OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW BYTOWYCH W FILTRACH PIASKOWYCH O PRZEPLYWIE PIONOWYM

Ścieki odpływające z filtrów piaskowych są bezbarwne, pozbawione zapachu i można je odprowadzić do środowiska gruntowego, rowu, rzeki lub jeziora.

Dane zawarte w tabeli 7 świadczą o bardzo wysokiej skuteczności oczyszczania ścieków w filtrach piaskowych o przepływie pionowym. Według danych francuskich podstawowy wskaźnik zanieczyszczenia ścieków, jakim jest BZT₅, zredukowany jest w 98,7%. Świadczy to o bardzo dobrych warunkach tlenowych panujących w złożu filtracyjnym. Na uwagę zasługuje również znaczna redukcja azotu ogólnego wynosząca 83,8% (Asenizacja indywidualna 1982). Wynika z tego, że w złożu filtracyjnym zachodzą zarówno procesy nitryfikacji, jak i denitryfikacji w lokalnych mikrostrefach.

Tabela 7. Skuteczność oczyszczania ścieków w filtrach piaskowych na podstawie badań przeprowadzonych we Francji (Asenizacja indywidualna 1982)
Table 7. Effectiveness of sewage treatment in the sand filters on the basis of the research carried out in France (Asenizacja indywidualna 1982)

Wskaźnik zanieczyszczenia/ Pollution index	Ścieki po osadniku gnilnym/ Sewage after septic tank		Ścieki po filtrze pia- skowym/ Sewage after sand filter		Efekt oczyszcza- nia ścieków / Sewage treatment effect [%]
	Zakres/ Range	Średnia/ Mean	Zakres/ Range	Średnia/ Mean	
BZT ₅ / BOD ₅ [go ₂ ·m ⁻³]	90–280	169	0,2–5,0	1,8	98,9
Zawiesiny ogólne/ Total suspended solids [g·m ⁻³]	187–610	344	10–88	22	93,6
Azot ogólny/ General nitrogen [gN _{og} ·m ⁻³]	31–130	68	3–30	11	83,8
Fosfor ogólny/ General phosphorus [gP _{og} ·m ⁻³]	0,1–0,3	0,15	6,8–56	32,1	–
Bakterie Coli / Coliforms [MPN/100ml]	8–25	14,2	4,3–15	8,2	42,3

PODSUMOWANIE

1. Filtry piaskowe o przepływie pionowym są powszechnie stosowane jako drugi stopień oczyszczania ścieków,
2. Skuteczność oczyszczania ścieków w filtrach piaskowych o przepływie pionowym jest bardzo wysoka,
3. Fosfor ogólny jest usuwany w niewielkim zakresie w filtrach piaskowych o przepływie pionowym co może być spowodowane wyczerpaniem się kompleksu sorpcyjnego złoża filtracyjnego,
4. Filtry piaskowe mogą być z powodzeniem stosowane po osadnikach gnilnych do oczyszczania ścieków z pojedynczych domów lub grupy domów,

BIBLIOGRAFIA

- Asenizacja indywidualna Zeszyty Techniczne Francuskiego Ministerstwa Ochrony Środowiska. Warszawa 1982.
- Błażejowski R. 1994. *Przegląd indywidualnych systemów oczyszczania ścieków stosowanych w kraju i na świecie*. Ogólnopolskie Seminarium Szkoleniowe. Poznań 1994.
- Błażejowski R. *Przydomowe oczyszczalnie ścieków*. Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Zarzeczu. Włocławek 1996.
- Błażejowski R., Murat Błażejowska S. *Ocena wodoprzepuszczalności gruntu dla celów podziemnego rozsączania wstępnie oczyszczonych ścieków bytowo-gospodarczych*. Materiały sesji Modelowanie przepływów i jakości wód. Politechnika Szczecińska. Szczecin 1995.
- Heidrich Z. *Przydomowe oczyszczalnie ścieków – poradnik*. Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa, Warszawa 1998.

- Heidrich Z., Tichończuk P. 1995. *Wstępne zasady projektowania przydomowych oczyszczalni ścieków*. PZITS O/w Poznaniu. Warszawa–Poznań 1995.
- PN-86/B-02480. 1986. Grunty budowlane – określenia, symbole, podział i opis gruntów. Wydawnictwo normalizacyjne Alfa.
- Metcalf, Eddy. 1991. *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse*. Third edition. New York.
- DIN 4261. 1994. Kleinklaranlagen. Teil 1. Teil2, 1991.
- Onsite Wastewater Treatment and Disposal System. 1980. Design Manuel. EPA – USA.
- Osmulska-Mróż B. 1995. *Lokalne systemy unieszkodliwiania ścieków – poradnik*. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 1995.
- Suschka J. *Złoża i filtry biologiczne*. Politechnika Łódzka filia w Bielsku-Białej. Bielsko-Biała 2000.
- Ślizowski R., Chmielowski K. *Skuteczność oczyszczania ścieków w przydomowej oczyszczalni „Duofilter” opartej na bazie filtra piaskowego o przepływie pionowym*. 2005

Dr inż. Krzysztof Chmielowski,
Dr inż. Andrzej Wałęga
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej
Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Recenzent: *Prof. Dr hab. Stanisław Czaban*