

*Marek Kalenik, Jarosław Charkiewicz*

**PORÓWNANIE SKUTECZNOŚCI OCZYSZCZANIA  
ŚCIEKÓW W ZŁOŻACH GRUNTOWYCH  
POD DRENAŻEM ROZSĄCZAJĄCYM ŚCIEKI**

**COMPARING THE EFFECTIVENESS OF SEWAGE  
TREATMENT IN GROUND BED  
UNDER SUBSURFACE SEWAGE DISPOSAL FIELD**

**Streszczenie**

W artykule przedstawiono analizę wyników badań skuteczności oczyszczania ścieków w złożu gruntowym pod drenażem rozsączającym ścieki. Badania zostały przeprowadzone na stanowisku pomiarowym wybudowanym w laboratorium. Do badań wykorzystano ścieki syntetyczne. Złożem gruntowym był żwir z warstwą popiołu mineralnego i piasek pylasty z warstwą popiołu organicznego. Badaniami objęto następujące wskaźniki zanieczyszczenia ścieków: zawiesiny ogólne, BZT<sub>5</sub>, ChZT, azot ogólny, azot amonowy, azot azotanowy, azot azotynowy, fosfor ogólny i odczyn.

Po przefiltrowaniu ścieków przez złożo gruntowe ze żwiru, nastąpił wzrost azotu azotanowego i odczynu. Wartości pozostałych wskaźników w ściekach oczyszczonych uległy zmniejszeniu. BZT<sub>5</sub>, ChZT, azot ogólny, fosfor ogólny, spełniają obowiązujące zalecenia. Zawiesiny ogólne nie spełniają obowiązujących zaleceń.

Natomiast po przefiltrowaniu ścieków przez złożo gruntowe ze żwiru z warstwą popiołu mineralnego, nastąpił wzrost azotu azotanowego i odczynu. Wartości pozostałych wskaźników w ściekach oczyszczonych uległy zmniejszeniu. Zawiesina ogólna, BZT<sub>5</sub>, ChZT, azot ogólny, fosfor ogólny spełniają obowiązujące zalecenia.

Z kolei po przefiltrowaniu ścieków przez złożo gruntowe z piasku pylastego, nastąpił wzrost azotu azotanowego, azotu azotynowego i odczynu. Wartości pozostałych wskaźników w ściekach oczyszczonych uległy zmniejszeniu. BZT<sub>5</sub> i fosfor ogólny spełniają obowiązujące zalecenia. Zawiesiny ogólne i azot ogólny nie spełniają obowiązujących zaleceń.

Również po przefiltrowaniu ścieków przez złożę gruntowe z piasku pylastego z warstwą popiołu organicznego nastąpił wzrost azotu azotanowego i odczynu. Wartości pozostałych wskaźników w ściekach oczyszczonych uległy zmniejszeniu. BZT<sub>5</sub> i fosfor ogólny spełniają obowiązujące zalecenia. Zawiesiny ogólne i azot ogólny nie spełniają obowiązujących zaleceń.

**Słowa kluczowe:** ścieki, oczyszczanie ścieków, drenaż rozsączający ścieki

### **Summary**

*The efficiency of sewage treatment in the ground bed under the subsurface sewage disposal field was tested in laboratory conditions using synthetic sewage. The ground bed was composed of gravel with mineral ash and dusty sand with organic ash. The experiment determined the following indicators: suspended solids, BOD<sub>5</sub>, COD, total nitrogen, ammonia nitrogen, nitrate nitrogen, nitrite nitrogen, total phosphorus and pH.*

*In the sewage filtered through the ground bed of gravel increase in the values of nitrite nitrogen and pH was observed. The values other indicators of the treated sewage, was undergo a decrease. The BOD<sub>5</sub>, COD, total nitrogen, total phosphorus of the treated sewage, are meeting obligatory recommendations. The suspended solids of the treated sewage, aren't meeting obligatory recommendations.*

*In the sewage filtered through the ground bed of gravel with mineral ash increase in the values of nitrite nitrogen and pH was observed. The values other indicators of the treated sewage, was undergo a decrease. The suspended solids BOD<sub>5</sub>, COD, total nitrogen, total phosphorus of the treated sewage, are meeting obligatory recommendations.*

*In the sewage filtered through the ground bed of dusty sand increase in the values of nitrite nitrogen, nitrite nitrogen and pH was observed. The values other indicators of the treated sewage, was undergo a decrease. The BOD<sub>5</sub> and total phosphorus of the treated sewage, are meeting obligatory recommendations. The suspended solids and total nitrogen of the treated sewage, aren't meeting obligatory recommendations.*

*In the sewage filtered through the ground bed of dusty sand with organic ash increase in the values of nitrite nitrogen and pH was observed. The values other indicators of the treated sewage, was undergo a decrease. The BOD<sub>5</sub> and total phosphorus of the treated sewage, are meeting obligatory recommendations. The suspended solids and total nitrogen of the treated sewage, aren't meeting obligatory recommendations.*

**Key words:** sewage, sewage treatment, subsurface sewage disposal field

## **WPROWADZENIE**

Duża liczba wsi w Polsce oraz małe miasta nie mają uporządkowanej gospodarki ściekowej. Najczęściej spotykaną metodą usuwania ścieków z budynków mieszkalnych i gospodarskich jest gromadzenie w zbiorniku bezodpływowym, a później wywóz samochodem asenizacyjnym do oczyszczalni ście-

ków, niekiedy na pole lub do rowu. W eksploatacji ten system kanalizacji jest drogi, a zbiorniki bezodpływowe często są nieszczelne i nieprawidłowo eksploatowane. Ścieki i osady, wywożone na pole bez dezynfekcji, stanowią duże zagrożenie sanitarne z uwagi na obecność w nich bakterii chorobotwórczych i jaj pasożytów [Kalenik 2009].

Przydomowe oczyszczalnie ścieków na obszarach wiejskich zaleca się stosować na terenach o zabudowie bardzo rozproszonej, gdzie budowa sieci kanalizacyjnych z powodów ekonomicznych jest nieuzasadniona. Ścieki bytowe mogą być odprowadzane do gruntu, gdy pochodzą z wolno stojących domów, zlokalizowanych poza obszarami stref ochrony ujęć wody podziemnej, gdy ilość ścieków nie przekracza  $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  oraz gdy BZT<sub>5</sub> tych ścieków zostanie zredukowane co najmniej o 20%, a zawartość zawiesiny ogólnej – co najmniej o 50% [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2006]. W małych jednostkach osadniczych (wieś) na jednego mieszkańca przyjmuje się jako optymalną jednostkową ilość ścieków  $q = 120 \text{ dm}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , a w dużych jednostkach osadniczych (miasto)  $q = 200 \text{ dm}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  [PN-EN 752-4, 2001].

Przydomowa oczyszczalnia ścieków z drenażem rozsączającym jest najtańszym systemem kanalizacyjnym, służącym do oczyszczania ścieków bytowych. System ten jest prosty w budowie i eksploatacji, nie wymaga wykwalifikowanej obsługi oraz nadzoru technicznego i laboratoryjnego. Może być obsługiwany przez odpowiednio przeszkolonego właściciela gospodarstwa rolnego. Do jego budowy nie jest wymagane pozwolenie na budowę, jedynie w gminie należy złożyć zgłoszenie budowlane, że taki system zostanie wybudowany w obrębie działki siedliskowej.

Drenaż rozsączający jest to urządzenie służące do wprowadzania do gruntu ścieków bytowych wstępnie oczyszczonych w osadniku gnilnym. W wyniku przesączania się przez naturalne warstwy gruntu ścieki ulegają procesom oczyszczania biologicznego pod wpływem bakterii aerobowych i innych mikroorganizmów, które pobierają tlen z powietrza znajdującego się w gruncie. Drobne zawiesiny stałe i koloidalne są zatrzymywane na powierzchni ziaren piasku. Część ścieków jest pobierana przez korzenie roślin, część podnosi się ku powierzchni terenu dzięki kapilarności gruntu, skąd woda paruje, pozostała ilość infiltruje do wód podziemnych.

Przydomowe oczyszczalnie z drenażem rozsączającym budujemy w gruntach dobrze przepuszczalnych (żwiry, piaski) i kiedy maksymalny poziom zwierciadła wody gruntowej znajduje się, co najmniej 1,5 m poniżej poziomu rozsączania ścieków [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2006].

Budowę, zasadę działania oraz zalecenia i wytyczne projektowania drenaży rozsączających można znaleźć w licznych publikacjach [CUGW 1971; Tabernacki i in. 1990; Kalenik 1998, 2000, 2009]. Niewiele jest natomiast publikacji dotyczących skuteczności oczyszczania ścieków w złożu gruntowym pod drenażem rozsączającym ścieki [Reed i in. 1989; Żytyński 1998; Kalenik,

Grzyb 2001; Siemieniec, Krzanowski 2001; Van Cuyk i in. 2001; Kalenik, Grzyb 2003]. W szczególności powoduje to utrudnienia w uzyskiwaniu pozwolenia na budowę tego systemu na obszarach Natura 2000.

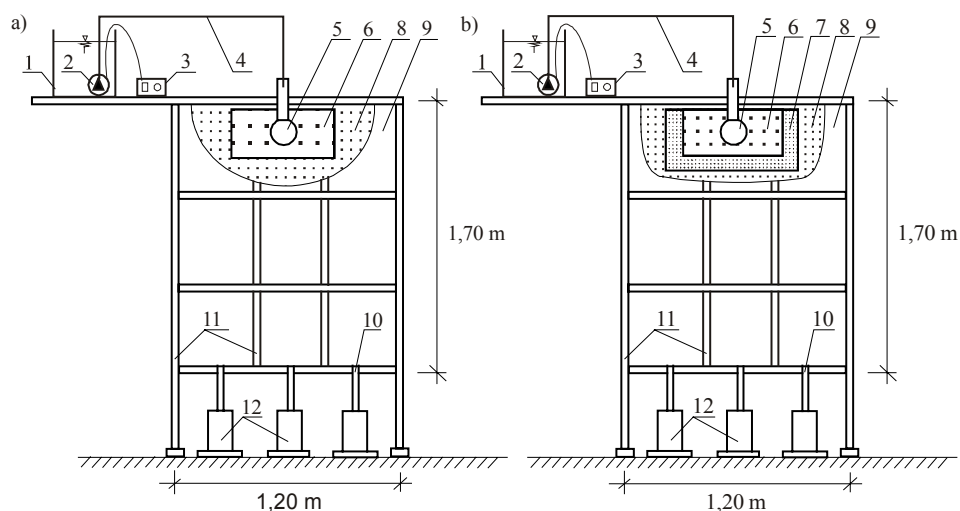
W artykule przedstawiono analizę wyników badań, której celem była ocena skuteczności oczyszczania ścieków w złożach gruntowych (żwir, piasek pylasty) z warstwami wspomagającymi (popiół mineralny i organiczny) pod drenażem rozsączającym ścieki.

### METODYKA BADAŃ

Do pomiaru skuteczności oczyszczania ścieków w złożu gruntowym pod drenażem rozsączającym wybudowano stanowisko pomiarowe w postaci szczelnego pojemnika o wymiarach: długość 1,20 m, wysokość 1,70 m, szerokość 0,20 m (rys. 1). Pojemnik został wykonany z płyt z tworzywa sztucznego (9), zamocowanych w metalowych ramach (11). Ścieki ze zbiornika (1) przewodem tłocznym (4) podawano pompą (2) do przewodu rozsączającego o średnicy 100 mm (5), który ułożony był w warstwie złoża rozsączającego (6), wykonanego z kamieni o średnicy 20–40 mm. Pompa była włączana i wyłączana przez sterownik (3). Wymiary warstwy złoża rozsączającego wynoszą: długość 0,50 m, szerokość 0,20 m, wysokość 0,20 m. Ścieki do warstwy złoża rozsączającego filtrują przez otwór o średnicy 8 mm znajdujący się w dnie przewodu rozsączającego. Po przefiltrowaniu przez warstwę rozsączającą, ścieki filtrują przez warstwę wspomagającą (7) w głąb złoża gruntowego (8). Badania zostały przeprowadzone dla złoża gruntowego ze żwiru i piasku pylastego bez warstw wspomagających oraz dla złoża gruntowego ze żwiru z warstwą wspomagającą z popiołu mineralnego i złoża gruntowego z piasku pylastego z warstwą wspomagającą z popiołu organicznego. Popiół mineralny pobrano z hałdy w elektrowni Siekierki w Warszawie, a popiół organiczny uzyskano przez spalanie drewna. Miąższość warstwy wspomagającej z popiołu mineralnego wynosiła 0,10 m, a z popiołu organicznego 0,15 m. Natomiast miąższość złoża gruntowego ze żwiru jak i z piasku pylastego wynosiła 1,30 m. W dnie stanowiska pomiarowego zostały wykonane trzy otwory (10), które umożliwiały odpływ przefiltrowanych ścieków przez warstwę wspomagającą i złożo gruntowe do naczyń zbierających (12). Pojemnik napełniano gruntem warstwami o miąższości 5 cm i zagęszczano je przez ubijanie.

Do badań użyto ścieków syntetycznych, które sporządzano wg PN-C-04616/10 [1987]. Ścieki syntetyczne (ścieki surowe) dozowano trzy razy na dobę, a ich dobową dawkę została określona w zależności od rodzaju złoża gruntowego i minimalnego dopuszczalnego obciążenia hydraulicznego gruntu ściekami wg zaleceń polskich [CUGW 1971, Tabernacki i in. 1990]. Przed wprowadzeniem ścieków surowych na złożo gruntowe z warstwą wspomagającą, jak i po przefiltrowaniu ich przez złożo gruntowe z warstwą wspomagającą,

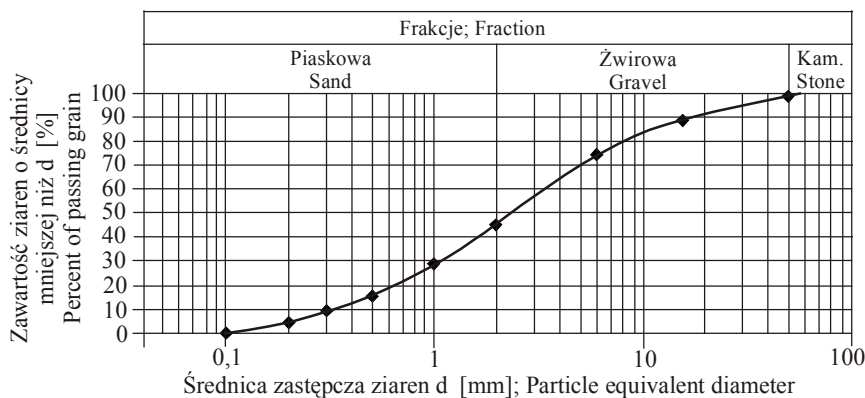
oznaczano następujące wskaźniki zanieczyszczenia ścieków [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2006]: zawiesiny ogólne, BZT<sub>5</sub> i ChZT, azot ogólny i fosfor ogólny oraz dodatkowo azot amonowy, azot azotanowy, azot azotynowy i odczyn. Oznaczenia wskaźników zanieczyszczeń w ściekach wykonywano raz na tydzień, uwzględniając czas filtracji ścieków przez złoża gruntowe bez warstw wspomagających oraz z warstwami wspomagającymi.



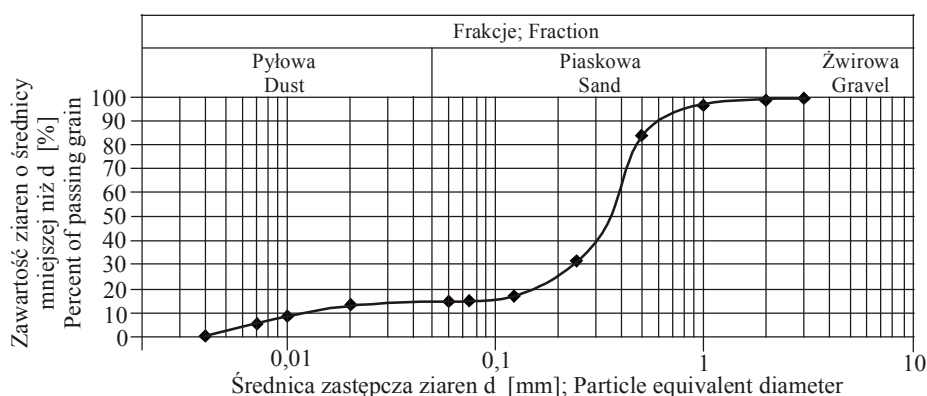
**Rysunek 1.** Schemat stanowiska pomiarowego: a) bez warstwy wspomagającej, b) z warstwą wspomagającą, 1 – zbiornik, 2 – pompa, 3 – sterownik, 4 – przewód tłoczny, 5 – przewód rozsączający, 6 – złożo rozsączające, 7 – warstwa wspomagająca (popiół), 8 – złożo gruntowe, 9 – przezroczysta płyta plastikowa, 10 – odpływ ścieków, 11 – rama metalowa, 12 – naczynia zbierające przefiltrowane ścieki

**Figure 1.** Scheme of the measuring stand: a) without assist layer, b) with assist layer, 1 – tank, 2 – pump, 3 – programmer, 4 – delivery pipe, 5 – drain line, 6 – seepage bed, 7 – assist layer (ash), 8 – ground bed, 9 – transparent plastic plate, 10 – sewage outflow, 11 – metal frame, 12 – collecting vessel

Zawartości poszczególnych frakcji uziarnienia gruntu zostały określone metodą analizy sitowej. Badania wykonano na trzech próbkach, a uzyskane wyniki badań przedstawiono na rysunku 2 i 3. Współczynnik filtracji dla złoża gruntowych określono w aparacie Z. Wiłuna ITB-ZW-K2. Pomiar wykonano dla sześciu próbek. Dla badanego żwiru współczynnik filtracji ( $k$ ) wyniósł  $0,005 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . [Kalenik, Ambroziak 2005], natomiast dla piasku pylastego  $0,0029 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  [Kalenik, Grzyb 2003]. Z przeprowadzonych prób traserowych uzyskano, że czas filtracji ścieków w samym żwirze wyniósł 14 godzin, a w żwirze z warstwą wspomagającą wyniósł 26 godzin, natomiast w samym piasku pylastym wyniósł 3 doby, a w piasku pylastym z warstwą wspomagającą 3,5 doby.



**Rysunek 2.** Krzywa uziarnienia gruntu dla żwiru [Kalenik, Ambroziak 2005]  
**Figure 2.** Grain size distribution for gravel [Kalenik, Ambroziak 2005]



**Rysunek 3.** Krzywa uziarnienia gruntu dla piasku pylastego [Kalenik, Grzyb 2003]  
**Figure 3.** Grain size distribution for dusty sand [Kalenik, Grzyb 2003]

Znając rodzaj gruntu i jego współczynnik filtracji, określono dobową dawkę ścieków, odnosząc zgodnie z zaleceniami polskimi [CUGW 1971; Tabernacki i in. 1990] do długości przewodu rozsączającego ścieki. Obciążenie hydrauliczne przewodu rozsączającego wg zaleceń polskich odnosi się do 1 m długości przewodu i dla żwiru wynosi  $15 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ , a dla piasku pylastego  $4 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ . W związku z tym dobową dawkę ścieków dla żwiru wyniosła  $3 \text{ dm}^3$ , a dla piasku pylastego  $0,8 \text{ dm}^3$ . Dobową dawkę ścieków podzielono na trzy dawki (dla żwiru po  $1,0 \text{ dm}^3$ , a dla piasku pylastego po  $0,25 \text{ dm}^3$ ) i podawano na złożę rozsączające o godzinie  $8^{00}$ ,  $12^{00}$ ,  $16^{00}$ .

Ścieki syntetyczne (ścieki surowe) były przygotowywane, co szósty dzień a wskaźniki zanieczyszczeń w nich były oznaczane na początku, w środku i na końcu okresu dozowania, a następnie zostały uśrednione (tab. 1, 2, 3, 4). Zawiesiny ogólne oznaczano metodą wagową. BZT<sub>5</sub> oznaczano metodą elektrochemiczną Sensomat firmy Lovibond. ChZT oznaczano metodą miareczkowania z dwuchromianem potasu. Azot ogólny, azot azotynowy i fosfor ogólny oznaczano spektrofotometrem firmy Hach. Azot amonowy i azot azotanowy oznaczano metodą kolorymetryczną. Odczyn oznaczano metodą elektrometryczną.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Badane złoża gruntowe zaczęły pracować prawidłowo po ośmiu tygodniach. Pod warstwą rozsączającą ścieki wytworzyła się błona biologiczna o miąższości od 2,5 do 5,0 cm, która jest siedliskiem bakterii i mikroorganizmów. Temperatura w pomieszczeniu przez cały okres badań była stabilna i wynosiła 14°C.

W tabeli 1 podano wyniki badań ścieków surowych i oczyszczonych dla złoża gruntowego ze żwiru. Analizując wyniki badań przedstawione w tabeli 1, można stwierdzić, że po przefiltrowaniu ścieków surowych przez żwir nastąpiło obniżenie zawartości zawiesiny ogólnej, BZT<sub>5</sub>, ChZT, azotu ogólnego. Azot amonowy, azot azotynowy i fosfor ogólny w ściekach oczyszczonych występował w ilościach śladowych. Natomiast azot azotanowy wzrósł kilkadziesiąt razy, a odczyn wzrósł średnio o 6%. Zawiesina ogólna w ściekach oczyszczonych wahała się od 75,0 mg·dm<sup>-3</sup> do 86 mg·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosiła 80,3 mg·dm<sup>-3</sup>, nie spełniała polskich zaleceń wprowadzania ścieków do gruntu [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2006]. Wartość dopuszczalna zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych, która wynosi 50,0 mg·dm<sup>-3</sup> [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2006], była przekroczona średnio o 38%. Skuteczność usuwania zawiesiny ogólnej wahała się od 50% do 56% i średnio wyniosła 53%. Duża ilość zawiesiny ogólnej wprowadzanej do złoża gruntowego powoduje szybką jego kolmatację [Łomotowski 1999]. W związku z tym zmniejsza współczynnik przepuszczalności złoża i ogranicza żywotności przydomowej oczyszczalni ścieków z drenażem rozsączającym.

Wskaźnik BZT<sub>5</sub> i ChZT określa zawartość związków organicznych w ściekach. Wskaźnik BZT<sub>5</sub> w ściekach oczyszczonych wahał się od 0,6 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> do 2,10 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosił 1,4 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>, natomiast wskaźnik ChZT w ściekach oczyszczonych wahał się od 36,5 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> do 47,0 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosił 43,5 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Zarówno wskaźnik BZT<sub>5</sub>, jak i ChZT spełniał polskie zalecenia wprowadzania ścieków do gruntu [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2006]. Skuteczność zmniejszenia wskaźnika BZT<sub>5</sub> wahała się od 98,4% do 99,5%, natomiast wskaźnika ChZT wahała się od 84,7%

do 88,1% i średnio wyniosła dla wskaźników odpowiednio 98,7% i 86%. Wskaźniki form azotu i fosforu określają zawartość związków biogennych w ściekach. Azot ogólny w ściekach oczyszczonych wahał się od 23,4 mg N·dm<sup>-3</sup> do 24,3 mg N·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosił 23,6 mg N·dm<sup>-3</sup>. Skuteczność usuwania azotu ogólnego średnio wyniosła 26%. Zarówno azot ogólny, jak i fosfor ogólny, spełniały polskie zalecenia wprowadzania ścieków do gruntu [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2006].

**Tabela 1.** Wyniki badań ścieków surowych i oczyszczonych dla żwiru (wartości średnie) [Kalenik, Ambroziak 2005, Kalenik, Cieśluk 2009]

**Table 1.** Test results of raw sewage and treated sewage for gravel (mean values) [Kalenik, Ambroziak 2005, Kalenik, Cieśluk 2009]

Wskaźniki Indicators	Jednostka Unit	Ścieki surowe Raw sewage	Ścieki oczyszczone Treated sewage			
			9 tydz. 9 week	10 tydz. 10 week	11 tydz. 11 week	12 tydz. 12 week
Zawiesiny ogólne Suspended solids	[mg·dm <sup>-3</sup> ]	172,00	86,00	75,00	80,00	80,00
BZT <sub>5</sub> ; BOD <sub>5</sub>	[mg O <sub>2</sub> ·dm <sup>-3</sup> ]	109,70	0,60	1,80	2,10	1,20
ChZT; COD	[mg O <sub>2</sub> ·dm <sup>-3</sup> ]	308,00	47,00	45,10	45,30	36,50
Azot ogólny Total nitrogen	[mg N·dm <sup>-3</sup> ]	31,90	23,30	23,30	23,30	24,3
Azot amonowy Ammonia nitrogen	[mg N-NH <sub>4</sub> ·dm <sup>-3</sup> ]	10,70	0,00	0,06	0,00	0,005
Azot azotanowy Nitrate nitrogen	[mg N-NO <sub>3</sub> ·dm <sup>-3</sup> ]	0,03	5,20	4,80	5,10	4,50
Azot azotynowy Nitrite nitrogen	[mg N-NO <sub>2</sub> ·dm <sup>-3</sup> ]	0,0019	0,0035	0,0027	0,0081	0,0022
Fosfor ogólny Total phosphorus	[mg P·dm <sup>-3</sup> ]	1,70	0,00	0,06	0,02	0,04
Odczyn Reaction	[pH]	7,70	8,00	8,20	8,20	8,20

W tabeli 2 podano wyniki badań ścieków surowych i oczyszczonych dla złoża gruntowego ze żwiru z warstwą wspomagającą z popiołu mineralnego. Analizując wyniki badań przedstawione w tabeli, można stwierdzić, że po prze-filtrowaniu ścieków surowych przez żwir z warstwą wspomagającą z popiołu mineralnego o miąższości 0,10 m nastąpiło obniżenie zawartości zawiesiny ogólnej, BZT<sub>5</sub>, ChZT, azotu ogólnego, azotu amonowego, azotu azotanowego i fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych. Natomiast nastąpił wzrost azotu azotanowego i odczynu. Zawiesina ogólna w ściekach oczyszczonych wahała się od 0,0 mg·dm<sup>-3</sup> do 9,0 mg·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosiła 4,5 mg·dm<sup>-3</sup>. Natomiast skuteczność jej usuwania wahała się od 90% do 100% i średnio wyniosła 95%.



**Tabela 2.** Wyniki badań ścieków surowych i oczyszczonych dla żwiru z warstwą wspomagającą z popiołu mineralnego (wartości średnie) [Kalenik, Wilkowska 2008]  
**Table 2.** Test results of raw sewage and treated sewage for gravel with assisting mineral ash layer (mean values) [Kalenik, Wilkowska 2008]

Wskaźniki Indicators	Jednostka Unit	Ścieki surowe Raw sewage	Ścieki oczyszczone Treated sewage			
			Warstwa wspomagająca o miąższości 0,10 m Assist layer about thickness 0,10 m			
			9 tydz. 9 week	10 tydz. 10 week	11 tydz. 11 week	12 tydz. 12 week
Zawiesiny ogólne Suspended solids	[mg·dm <sup>-3</sup> ]	86,2	9,0	2,5	0,0	5,0
BZT <sub>5</sub> ; BOD <sub>5</sub>	[mg O <sub>2</sub> ·dm <sup>-3</sup> ]	173,5	0,0	3,2	2,1	3,5
ChZT; COD	[mg O <sub>2</sub> ·dm <sup>-3</sup> ]	294,3	53,0	49,3	45,8	33,5
Azot ogólny Total nitrogen	[mg N·dm <sup>-3</sup> ]	42,2	–	27,8	26,5	26,7
Azot amonowy Ammonia nitrogen	[mg N-NH <sub>4</sub> ·dm <sup>-3</sup> ]	6,60	0,35	0,05	0,01	0,14
Azot azotanowy Nitrate nitrogen	[mg N-NO <sub>3</sub> ·dm <sup>-3</sup> ]	0,03	3,02	3,45	4,25	3,54
Azot azotynowy Nitrite nitrogen	[mg N-NO <sub>2</sub> ·dm <sup>-3</sup> ]	0,120	0,006	0,009	0,005	0,008
Fosfor ogólny Total phosphorus	[mg P·dm <sup>-3</sup> ]	1,41	0,12	0,07	0,08	0,07
Odczyn Reaction	[pH]	7,74	8,22	8,27	8,25	8,10

Wskaźnik BZT<sub>5</sub> w ściekach oczyszczonych wahał się od 0,0 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> do 3,5 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosił 1,8 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>, natomiast wskaźnik ChZT w ściekach oczyszczonych wahał się od 33,5 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> do 53,0 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosił 43,3 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Skuteczność zmniejszenia wskaźnika BZT<sub>5</sub> wahała się od 98% do 100 %, natomiast wskaźnika ChZT wahała się od 82% do 89% i średnio wyniosła dla wskaźników odpowiednio 99% i 85%.

Azot ogólny w ściekach oczyszczonych wahał się od 26,5 mg N·dm<sup>-3</sup> do 27,8 mg N·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosił 27,2 mg N·dm<sup>-3</sup>. Skuteczność usuwania azotu ogólnego wahała się od 34% do 37% i średnio wyniosła 35,5%. Azot amonowy w ściekach oczyszczonych wahał się od 0,01 mg N-NH<sub>4</sub>·dm<sup>-3</sup> do 0,35 mg N-NH<sub>4</sub>·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosił 0,14 mg N·dm<sup>-3</sup>. Skuteczność usuwania azotu amonowego wahała się od 94% do 99% i średnio wyniosła 97%. Azot azotynowy w ściekach oczyszczonych występował w ilości śladowej, natomiast azot azotanowy wzrósł kilkadziesiąt razy. Duże wartości azotu azotanowego w ściekach oczyszczonych świadczą o tym (tab. 1 i 2), że w złożu gruntowym panują warunki tlenowe i zachodzi proces nityfikacji. Fosfor ogólny w ściekach oczyszczonych wahał się od 0,07 mg P·dm<sup>-3</sup> do 0,12 mg P·dm<sup>-3</sup> i średnio wyno-

sił  $0,095 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Skuteczność usuwania fosforu ogólnego wahała się od 91% do 95% i średnio wyniosła 93%. Odczyn w ściekach oczyszczonych średnio wzrósł o 9%. W złożu gruntowym ze żwiru z warstwą wspomagającą z popiołu mineralnego wskaźniki: zawiesiny ogólnej, BZT<sub>5</sub>, ChZT, azotu i fosforu ogólnego spełniały polskie zalecenia wprowadzania ścieków oczyszczonych do gruntu [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2006].

W tabeli 3 podano wyniki badań ścieków surowych i oczyszczonych dla złoża gruntowego z piasku pylastego, który zawierał materiał organiczny w postaci próchnicy iluwialnej. Analizując wyniki badań przedstawione w tabeli 3, można stwierdzić, że po przefiltrowaniu ścieków surowych przez piasek pylasty nastąpiło obniżenie zawartości zawiesiny ogólnej, BZT<sub>5</sub>, azotu ogólnego, azotu amonowego i fosforu ogólnego. Natomiast nastąpił wzrost azotu azotanowego i azotynowego. Odczyn ścieków oczyszczonych nie był stabilny i wahał się od 6,81 pH do 7,66 pH, czyli w trakcie badań ulegał zmniejszeniu średnio o 8% i zwiększeniu średnio o 3%.

**Tabela 3.** Wyniki badań ścieków surowych i oczyszczonych dla piasku pylastego (wartości średnie)

**Table 3.** Test results of raw sewage and treated sewage for dusty sand (mean values)

Wskaźniki Indicators	Jednostka Unit	Ścieki surowe Raw sewage	Ścieki oczyszczone Treated sewage			
			9 tydz. 9 week	10 tydz. 10 week	11 tydz. 11 week	12 tydz. 12 week
Zawiesiny ogólne Suspended solids	[ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	236,0	120,0	78,0	128,0	82,0
BZT <sub>5</sub> ; BOD <sub>5</sub>	[ $\text{mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	218,0	10,6	10,3	7,1	5,3
Azot ogólny Total nitrogen	[ $\text{mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	170,0	66,0	60,0	73,0	81,0
Azot amonowy Ammonia nitrogen	[ $\text{mg N-NH}_4\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	13,7	1,44	1,80	2,85	1,25
Azot azotanowy Nitrate nitrogen	[ $\text{mg N-NO}_3\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	2,23	4,51	3,92	2,53	3,0
Azot azotynowy Nitrite nitrogen	[ $\text{mg N-NO}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	0,33	0,76	0,90	0,65	0,65
Fosfor ogólny Total phosphorus	[ $\text{mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	0,84	0,29	0,28	0,16	0,34
Odczyn Reaction	[pH]	7,42	6,81	7,66	7,58	6,84

Zawiesina ogólna w ściekach oczyszczonych wahała się od  $78,0 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  do  $128 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  i średnio wynosiła  $103,0 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  i nie spełniała polskich zaleceń wprowadzania ścieków do gruntu [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2006]. Wartość dopuszczalna zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych była przekroczona średnio o 51%. Skuteczność usuwania zawiesiny ogólnej wahała się od 46% do 67% i średnio wyniosła 56%.

Wskaźnik BZT<sub>5</sub> w ściekach oczyszczonych wahał się od 5,3 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> do 10,6 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosił 8,3 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Skuteczność zmniejszenia wskaźnika BZT<sub>5</sub> wahała się od 95% do 98%, i średnio wyniosła 96%. Azot ogólny w ściekach oczyszczonych wahał się od 60,0 mg N·dm<sup>-3</sup> do 81,1 mg N·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosił 70,0 mg N·dm<sup>-3</sup>, i nie spełniał polskich zaleceń wprowadzania ścieków do gruntu [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2006]. Wartość dopuszczalna azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych, która wynosi 30,0 mg N·dm<sup>-3</sup> [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2006], była przekroczona średnio o 57%. Skuteczność usuwania azotu ogólnego wahała się od 52% do 61% i średnio wyniosła 59%. Azot amonowy w ściekach oczyszczonych wahał się od 1,25 mg N-NH<sub>4</sub>·dm<sup>-3</sup> do 2,85 mg N-NH<sub>4</sub>·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosił 1,84 mg N-NH<sub>4</sub>·dm<sup>-3</sup>. Skuteczność usuwania azotu amonowego wahała się od 79% do 91% i średnio wyniosła 87%. Natomiast azot azotanowy wzrósł średnio tylko o 50%, a azot azotynowy aż o 120%. Małe wartości azotu azotanowego w ściekach oczyszczonych, a duże wartości azotu azotynowego świadczą o tym (tab. 3), że w złożu gruntowym panują warunki beztlenowe i zachodzi proces denitryfikacji. Fosfor ogólny w ściekach oczyszczonych wahał się od 0,16 mg P·dm<sup>-3</sup> do 0,34 mg P·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosił 0,27 mg P·dm<sup>-3</sup>. Skuteczność usuwania fosforu ogólnego wahała się od 60% do 81% i średnio wyniosła 68%.

W tabeli 4 podano wyniki badań ścieków surowych i oczyszczonych dla złoża gruntowego z piasku pylastego, który zawierał materiał organiczny w postaci próchnicy iluwialnej z warstwą wspomagającą z popiołu mineralnego. Analizując wyniki badań przedstawione w tabeli 4, można stwierdzić, że po przefiltrowaniu ścieków surowych przez piasek pylasty z warstwą wspomagającą z popiołu organicznego o miąższości 0,15 m nastąpiło obniżenie zawartości zawiesiny ogólnej, BZT<sub>5</sub>, azotu ogólnego, azotu amonowego, azotu azotynowego i fosforu ogólnego. Natomiast nastąpił wzrost azotu azotanowego i odczynu.

Zawiesina ogólna w ściekach oczyszczonych wahała się od 95,0 mg·dm<sup>-3</sup> do 110 mg·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosiła 103,0 mg·dm<sup>-3</sup>, i nie spełniała polskich zaleceń wprowadzania ścieków do gruntu [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2006]. Wartość dopuszczalna zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych była przekroczona średnio o 51%. Skuteczność usuwania zawiesiny ogólnej wahała się od 53% do 60% i średnio wyniosła 56%.

Wskaźnik BZT<sub>5</sub> w ściekach oczyszczonych wahał się od 13,6 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> do 17,7 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosił 15,7 mg O<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Skuteczność zmniejszenia wskaźnika BZT<sub>5</sub> wahała się od 92% do 94%, i średnio wyniosła 93%. Azot ogólny w ściekach oczyszczonych wahał się od 52,0 mg N·dm<sup>-3</sup> do 87,0 mg N·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosił 69,0 mg N·dm<sup>-3</sup>, i nie spełniał polskich zaleceń wprowadzania ścieków do gruntu [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2006]. Wartość dopuszczalna azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych była przekroczona średnio o 57%. Skuteczność usuwania azotu ogólnego wahała się od 49%

do 69% i średnio wyniosła 59%. Azot amonowy w ściekach oczyszczonych wahał się od 3,92 mg N-NH<sub>4</sub>·dm<sup>-3</sup> do 4,80 mg N-NH<sub>4</sub>·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosił 4,41 mg N-NH<sub>4</sub>·dm<sup>-3</sup>. Skuteczność usuwania azotu amonowego wahała się od 65% do 71% i średnio wyniosła 69%. Azot azotanowy w ściekach oczyszczonych wahał się od 0,16 mg N-NHO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> do 0,24 mg N-NHO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosił 0,20 mg N-NHO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Skuteczność usuwania azotu azotanowego wahała się od 27% do 52% i średnio wyniosła 39%. Natomiast azot azotanowy wzrósł średnio tylko o 50%. Małe wartości azotu azotanowego w ściekach oczyszczonych, i małe wartości azotu amonowego świadczą o tym (tab. 4), że w złożu gruntowym panują warunki niedotlenione i zachodzi jednocześnie proces nityfikacji i denityfikacji. Fosfor ogólny w ściekach oczyszczonych wahał się od 0,16 mg P·dm<sup>-3</sup> do 0,31 mg P·dm<sup>-3</sup> i średnio wynosił 0,23 mg P·dm<sup>-3</sup>. Skuteczność usuwania fosforu ogólnego wahała się od 63% do 81% i średnio wyniosła 73%. Odczyn w ściekach oczyszczonych średnio wzrósł o 4%.

**Tabela 4.** Wyniki badań ścieków surowych i oczyszczonych dla piasku pylastego z warstwą wspomagającą z popiołu organicznego (wartości średnie)

**Table 4.** Test results of raw sewage and treated sewage for dusty sand with assisting organic ash layer (mean values)

Wskaźniki Indicators	Jednostka Unit	Ścieki surowe Raw sewage	Ścieki oczyszczone Treated sewage			
			Warstwa wspomagająca o miąższości 0,15 m Assist layer about thickness 0,15 m			
			9 tydz. 9 week	10 tydz. 10 week	11 tydz. 11 week	12 tydz. 12 week
Zawiesiny ogólne Suspended solids	[mg·dm <sup>-3</sup> ]	236,0	105,0	95,0	110,0	105,0
BZT <sub>5</sub> ; BOD <sub>5</sub>	[mg O <sub>2</sub> ·dm <sup>-3</sup> ]	218,0	17,7	15,6	13,6	16,1
Azot ogólny Total nitrogen	[mg N·dm <sup>-3</sup> ]	170,0	52,0	64,0	87,0	73,0
Azot amonowy Ammonia nitrogen	[mg N-NH <sub>4</sub> ·dm <sup>-3</sup> ]	13,7	4,35	3,92	4,80	4,58
Azot azotanowy Nitrate nitrogen	[mg N-NO <sub>3</sub> ·dm <sup>-3</sup> ]	2,23	3,18	3,35	3,73	3,17
Azot azotynowy Nitrite nitrogen	[mg N-NO <sub>2</sub> ·dm <sup>-3</sup> ]	0,33	0,24	0,20	0,21	0,16
Fosfor ogólny Total phosphorus	[mg P·dm <sup>-3</sup> ]	0,84	0,16	0,17	0,31	0,26
Odczyn Reaction	[pH]	7,42	7,57	7,60	7,99	7,81

## PODSUMOWANIE

Po przeprowadzonym eksperymencie można stwierdzić, że związki organiczne (mierzone wskaźnikami BZT<sub>5</sub> i ChZT) i biogenne (azot ogólny i fosfor ogólny) w złożu gruntowym ze żwiru są usuwane w ilości zgodnej z obowiązującymi zaleceniami [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2006]. Natomiast zawiesiny ogólne nie są usuwane w zadowalającym stopniu i nie spełniają obowiązujących zaleceń. Po zastosowaniu w złożu gruntowym ze żwiru warstwy wspomagającej z popiołu mineralnego o miąższości 0,10 m można stwierdzić, że zawiesina ogólna, związki organiczne i biogenne są usuwane w ilości zgodnej z obowiązującymi zaleceniami [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2006].

W złożu gruntowym z samego piasku pylastego, który zawierał materiał organiczny w postaci próchnicy iluwalnej, jak i z warstwą wspomagającą z popiołu organicznego o miąższości 0,15 m można stwierdzić, że związki organiczne (mierzone wskaźnikiem BZT<sub>5</sub>) i biogenne (tylko fosfor ogólny) są usuwane w ilości zgodnej z obowiązującymi zaleceniami [Rozporządzenie Ministra Środowiska 2006]. Natomiast zawiesiny ogólne i azot ogólny nie są usuwane w zadowalającym stopniu i nie spełniają obowiązujących zaleceń.

Ograniczone zdolności usuwania zawiesiny ogólnej w złożu gruntowym ze żwiru, jak i piasku pylastego wskazują, że musi być ona usuwana w osadniku gnilnym. W związku z tym, w przydomowych oczyszczalniach ścieków z drenażem rozsączającym w złożu gruntowym ze żwiru, jak również z piasku pylastego, należy stosować osadniki gnilne minimum z dwiema komorami.

## BIBLIOGRAFIA

- CUGW. *Budownictwo oczyszczalni ścieków. Wytyczne techniczne projektowania drenaży rozsączających i filtrów piaskowych*. Wydawnictwo Katalogów i Cenników. Warszawa 1971, s. 23.
- Kalenik M. *Wymiarowanie urządzenia do podziemnego rozsączania ścieków po osadniku gnilnym*. Przegląd Naukowy Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska, z. 15, 1998, s. 269–279.
- Kalenik M. *Tendencje zmian zwierciadła wody gruntowej pod drenażem rozsączającym ścieki*. Przegląd Naukowy Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska, z. 18, 2000, s. 61–118.
- Kalenik M., Grzyb A. *Eksperymentalne badania skuteczności oczyszczania ścieków w złożu gruntowym pod drenażem rozsączającym*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, nr 475, 2001, s. 111–118.
- Kalenik M., Grzyb A. *Skuteczność oczyszczania ścieków w złożu gruntowym pod drenażem rozsączającym ścieki*. ACTA Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus nr 2 (1), 2003, s. 15–22.
- Kalenik M., Ambroziak R. *Skuteczność oczyszczania ścieków w złożu gruntowym ze żwiru pod drenażem rozsączającym ścieki*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, nr 506, 2005, s. 221–226.
- Kalenik M., Wilkowska M. *Badania modelowe oczyszczania ścieków w żwirze z warstwą wspomagającą*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, nr 526, 2008, s. 363–370.
- Kalenik M. *Zaopatrzenie w wodę i odprowadzanie ścieków*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2009, s. 283.

- Kalenik M., Cieśluk M. Sewage treatment in gravel with assisting dolomite layer. Sewages and waste materials in environment. Monograph edited by Wiera Sądej. Printing: Warmia and Mazury Center of Agriculture Consulting Service in Olsztyn. Olsztyn 2009. Chapter II, p. 23–33.
- Łomotowski J. *Kolmatacja drenaży rozsączających*. V Ogólnopolskie Sympozjum Szkoleniowe. Projektowanie i eksploatacja przydomowych oczyszczalni ścieków, luty 1999, Poznań-Kiekrz, Eko-Tech., s. 11–20.
- PN-B-04492. *Grunty budowlane. Badania właściwości fizycznych. Oznaczenie wskaźnika wodoprzepuszczalności*. Wydawnictwa Normalizacyjne Alfa. Warszawa 1955, s. 3.
- PN-C-04616/10. *Woda i ścieki. Badania specjalne osadów. Hodowla standardowego osadu czynnego w warunkach laboratoryjnych*. Wydawnictwa Normalizacyjne Alfa. Warszawa 1987, s. 4.
- PN-EN 752-4. *Zewnętrzne systemy kanalizacyjne. Obliczenia hydrauliczne i oddziaływanie na środowisko*. PKN, Warszawa 2001, s. 31.
- Reed B.E., Matsumoto M.R., Wake A., Iwamoto H., Takeda F. *Improvements in soil absorption trench design*. Journal of Environmental Engineering, No. 115 (4), 1989, p. 853–857.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska. *Z dnia 24 lipca 2006 w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego*. Dz. U. Nr 137, poz. 984, 2006.
- Siemieniec A., Krzanowski S. *Ocena skuteczności oczyszczania ścieków przez filtry gruntowe w warunkach terenowych*. VII Ogólnopolskie Sympozjum Szkoleniowe. Projektowanie i eksploatacja przydomowych oczyszczalni ścieków, 28 luty–1 marzec 2001. Poznań-Kiekrz, Eko-Tech., s. 77–89.
- Tabernacki J., Heidrich Z., Sikorski M., Kuczewski K., Łomotowski J., Jasiński P., Lipowski K. *Album wzorcowych rozwiązań odprowadzania i unieszkodliwiania ścieków bytowo-gospodarczych z wiejskich gospodarstw zagrodowych*. IMUZ Falenty 1990.
- Van Cuyk S., Siegrist R., Logan A., Masson S., Fisher E., Figueroa L. *Hydraulic and purification behaviors and their interaction during wastewater treatment in soil infiltration systems*. Water Research, No. 35 (4), 2001, pp. 953–964.
- Żytyński W. *Skuteczność oczyszczania ścieków w złożu gruntowym pod drenażem rozsączającym*. IV Ogólnopolskie Sympozjum Szkoleniowe. Projektowanie, wykonawstwo i użytkowanie przydomowych oczyszczalni ścieków, luty 1998 Poznań-Kiekrz, Eko-Tech., s. 1–14.

Dr inż. Marek Kalenik  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska  
Katedra Budownictwa i Geodezji  
Zakład Wodociągów i Kanalizacji  
02-776 Warszawa  
ul. Nowoursynowska 159  
tel.: (0 22) 59-35-156  
e-mail: marek\_kalenik@sggw.pl

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ryszard Ślizowski