

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2019), 28 (2), 257–267
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2019), 28 (2)
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2019), 28 (2), 257–267
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2019), 28 (2)
<http://iks.pn.sggw.pl>
DOI 10.22630/PNIKS.2019.28.2.24

Marek KALENIK

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie
Faculty of Civil and Environmental Engineering, Warsaw University of Life Sciences
– SGGW

Badania modelowe skuteczności oczyszczania ścieków w piasku średnim z warstwą wspomagającą z hydro-antracytu Model investigations on the effectiveness of sewage purification in medium sand with assisting hydro-anthracite layer

Słowa kluczowe: przydomowa oczyszczalnia ścieków, drenaż rozsączający ścieki, hydro-antracyt

Key words: home sewage treatment plant, sub-surface sewage drain field, hydro-anthracite

Wprowadzenie

Drenaż rozsączający jest urządzeniem służącym do wprowadzania do gruntu ścieków bytowych wstępnie oczyszczonych w osadniku gnilnym. Zbyt duże obciążenie złoża gruntowego zawiesinami i koloidami prowadzi do tworzenia się na powierzchni gruntu i w jego porach tak zwanego placka kolmatacyjnego (Spychała i Nieć, 2013; Mazur, Bedla, Chmielowski, Nowak i Mazurkiewicz, 2016) oraz spadku prze-

puszczalności gruntu (Nieć i Spychała, 2014). Zawartość zawiesin ogólnych w ściekach surowych wpływających z osadnika gnilnego do złoża gruntowego może wahać się od 20 aż do 475 g·m⁻³ (Spychała i Nieć, 2013). Analizy mikroskopowe wykazały, że powstający w gruncie plack kolmatacyjny głównie zawiera nitkowate włókna papieru toaletowego, który jest wypłukiwany z osadnika gnilnego i nie ulega biodegradacji (Spychała i Nieć, 2013).

Przeprowadzone badania na samym tylko złożu gruntowym z piasku średniego pokazują, że średnia skuteczność usuwania azotu ogólnego (22%) i fosforu ogólnego (23%) była mała (Kalenik i Wancerz, 2013). Inni badacze w swoich pracach (Gill, O’Luanaigh, Johnston, Missetar i O’Suilleabhain, 2009; Siecz-

ka i Koda, 2016; Karczmarczyk i Kocik, 2017; Wąsik i Chmielowski, 2017) również potwierdzili małą skuteczność usuwania azotu i fosforu ogólnego ze ścieków oczyszczonych przez grunt dobrze przepuszczalny. Duża liczba przydomowych oczyszczalni ścieków z drenażem rozsączającym na danym obszarze może doprowadzić do zanieczyszczenia wód gruntowych związkami azotu (Heatwole i Mccray, 2007; Wysocka, 2018) i fosforu (Eveborn, Kong i Gustafsson, 2012). Zakumulowane związki fosforu w złożu gruntowym pod drenażem rozsączającym mogą być wykorzystywane przez rośliny (Kvarnström, Morel i Krogstad, 2004).

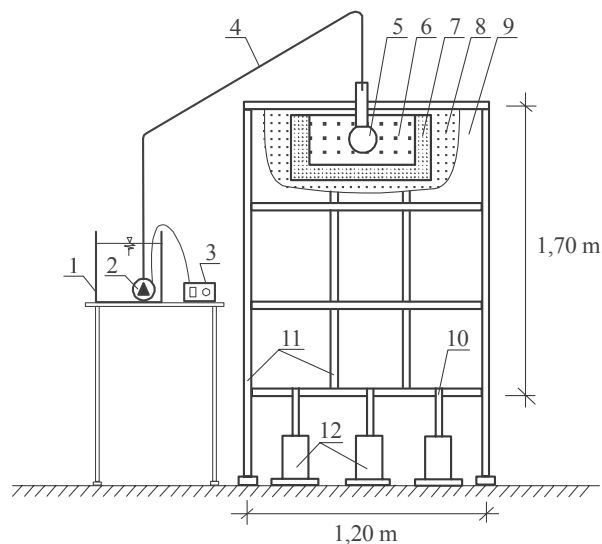
W celu poprawienia skuteczności oczyszczania ścieków w złożu gruntowym dobrze przepuszczalnym wykonywano badania z zastosowaniem warstwy wspomagającej z dolomitu (Kalenik i Cieśluk, 2009), popiołu (Kalenik i Charkiewicz, 2010), chalcedonitu (Kalenik i Wancerz, 2013), kinoptylolitu (Kalenik, 2014), keramzytu i opoki (Dacewicz, 2018). W literaturze naukowo-technicznej nie ma badań dotyczących zastosowania hydro-antracytu do oczyszczania ścieków bytowych w złożach gruntowych, dlatego też celem badań było sprawdzenie w warunkach laboratoryjnych, czy wprowadzenie do gruntu warstwy wspomagającej z hydro-antracytu o granulacji 1,8–2,5 mm poprawi skuteczność usuwania związków azotu i fosforu ze ścieków. Wykorzystano do tego modelowe złoża gruntowe z piasku średniego z warstwami hydro-antracytu o miąższości 0,10 i 0,20 m, które umieszczono pod drenażem rozsączającym ścieki.

Hydro-antracyt ze względu na swoje właściwości adsorpcyjne często jest sto-

sowany do uzdatniania wody, a rzadziej do oczyszczania ścieków. Do badań hydro-antracytu wybrano dlatego, że charakteryzuje się bardzo silnymi zdolnościami wiązania na powierzchni substancji adsorbowanych i ma znaczną powierzchnię właściwą wynikającą z dużego udziału bardzo małych porów, jest materiałem odpornym na ścieranie i obojętnym dla środowiska naturalnego (Skoczko, Horysz, Szatyłowicz i Malinowski, 2016). Ze względu na właściwości adsorpcyjne hydro-antracytu na powierzchni jego ziaren będą się immobilizowały bakterie biorące udział w tlenowym procesie oczyszczania ścieków.

Opis stanowiska pomiarowego

Do badań skuteczności oczyszczania ścieków wybudowano stanowisko pomiarowe w postaci szczelnego zbiornika o długości 1,20 m, szerokości 0,20 m i wysokości 1,70 m (rys. 1). Zbiornik został wykonany z płyt z tworzywa sztucznego (9), zamocowanych w metalowych ramach (11). Ścieki ze zbiornika (1) przewodem tłocznym (4) za pomocą pompy (2) uruchamianej sterownikiem (3), podawano do rurociągu rozsączającego (5) o średnicy 100 mm, który był ułożony w warstwie złoża (6) wykonanego z kamieni o średnicy 20–40 mm. Wymiary warstwy złoża rozsączającego wynosiły: długość 0,50 m, szerokość 0,20 m, wysokość 0,20 m. Ścieki do warstwy złoża rozsączającego dopływały przez otwór o średnicy 8 mm znajdujący się w dnie rurociągu rozsączającego. Ścieki po przejściu przez warstwę rozsączającą przepływały następnie przez warstwę wspomagającą (7) w głąb złoża grun-



1 – zbiornik – tank; 2 – pompa – pump; 3 – sterownik – programmer; 4 – rurociąg tłoczny – delivery pipe; 5 – rurociąg rozsączający – drain line; 6 – złożo rozsączające – drainage bed; 7 – warstwa wspomagająca (hydro-antracyt) – assist layer (hydro-anthracite); 8 – złożo gruntowe (piasek średni) – soil bed (mean sand); 9 – przezroczysta płyta z tworzywa sztucznego – transparent plastic plate; 10 – odpływ cieków – sewage outflow; 11 – rama metalowa – metal frame; 12 – naczynia zbierające przefiltrowane ścieki – effluent collecting vessels

RYSUNEK 1. Schemat stanowiska pomiarowego
FIGURE 1. Schematic diagram of measuring stand

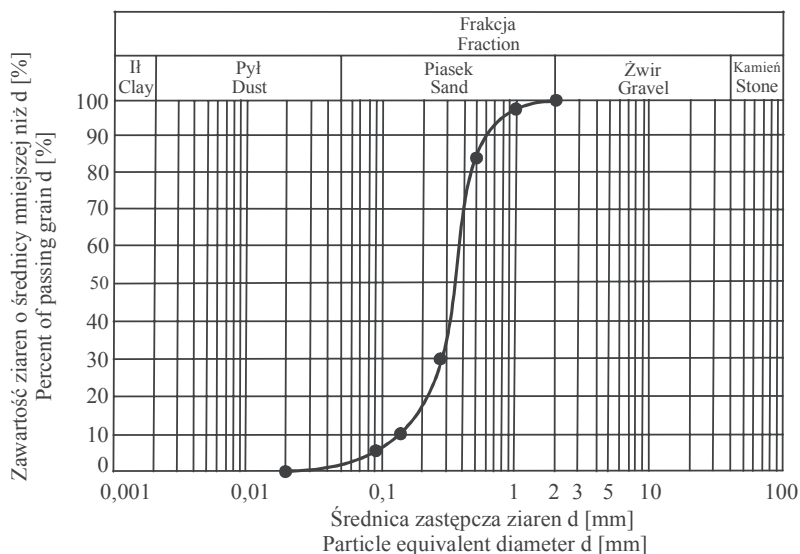
towego (8). Wentylacja złoża rozsączającego (6) odbywała się przez rurociąg rozsączający (5).

Badania zostały przeprowadzone z użyciem złoża gruntowego z piasku średniego z warstwą wspomagającą z hydro-antracytu o miąższości 0,10 lub 0,20 m, którego granulacja wynosiła 1,8–2,5 mm. Miąższość piaszkowego złoża gruntowego wynosiła 1,30 m. W dnie stanowiska pomiarowego zostały wykonane trzy otwory (10), które umożliwiały odpływ ścieków przesączonych przez warstwę wspomagającą i złożo gruntowe do naczyń zbiorczych (12). Pojemnik napełniono gruntem warstwami o miąższości 0,20 m i zagęszczono je przez ubijanie (nie określono stopnia

zagęszczenia gruntu). Najlepsze efekty zagęszczania gruntów uzyskuje się, zagęszczając je warstwami (Tymosiak i Sulewska, 2016).

Zawartości poszczególnych frakcji uziarnienia gruntu zostały określone metodą analizy sitowej. Wykonano badania granulometryczne trzech próbek piasku średniego, a uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 2. Dzięki przeprowadzonym próbom traserowym określono, że czas przesączania ścieków przez piaszkowe złożo gruntowe wynosił 15 h.

Znając rodzaj gruntu (piasek średni), określono dobową dawkę ścieków, odnosząc ją (zgodnie z polskimi zaleceniami) do długości rurociągu rozsączającego. Obciążenie hydrauliczne rurociągu roz-



RYSUNEK 2. Krzywa uziarnienia gruntu – piasek średni
 FIGURE 2. Grain size distribution – mean sand

sączającego według wytycznych CUGW (1971) odnosi się do rurociągu o długości 1 m i w przypadku piasku średniego wynosi $15 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. W związku z tym dobową dawkę ścieków wyniosła $3 \text{ dm}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Na stanowisku pomiarowym (rys. 1) ścieki w ilości 1 dm^3 podawano do rurociągu rozsączającego (5) o godzinie 7:00, 15:00 i 23:00.

Metodyka badań

Do badań użyto ścieków modelowych, które sporządzano zgodnie z normą PN-C-04616/10:1987 na wodzie destylowanej z następujących składników: bulion wzbogacony suchy, pepton, mocznik, octan sodowy bezwodny, skrobia rozpuszczalna, mydło szare, chlorek wapniowy krystaliczny, siarczan magnezowy, chlorek sodowy, chlorek potasowy. Ścieki zarówno przed ich wprowadzeniem do złoża, jak

i po ich przesączeniu przez złożę gruntowe z warstwą wspomagającą poddawano analizom fizyczno-chemicznym w celu określenia wartości następujących wskaźników: zawiesiny ogólne, BZT₅, ChZT, azot ogólny, fosfor ogólny, azot amonowy, azot azotanowy, azot azotynowy i odczyn. Oznaczenia wartości poszczególnych wskaźników wykonywano w odstępach tygodniowych, uwzględniając czas filtracji ścieków przez złożę gruntowe z warstwą wspomagającą o miąższości 0,10 lub 0,20 m.

Ścieki modelowe były przygotowywane co sześć dni, a wskaźniki jakościowe ścieków oznaczano zawsze na początku, w środku i na końcu czasu ich dawkowania. Temperatura w laboratorium przez cały czas badań była stabilna i wynosiła 14°C. Zawiesiny ogólne oznaczano metodą wagową, BZT₅ metodą elektrochemiczną, ChZT metodą miareczkową z dwuchromianem potasu, azot amonowy, azot azotynowy, azot

azotanowy oraz azot ogólny i fosfor ogólny oznaczano z zastosowaniem metod kolorymetrycznych, a odczyn metodą elektrometryczną.

Dyskusja wyników badań

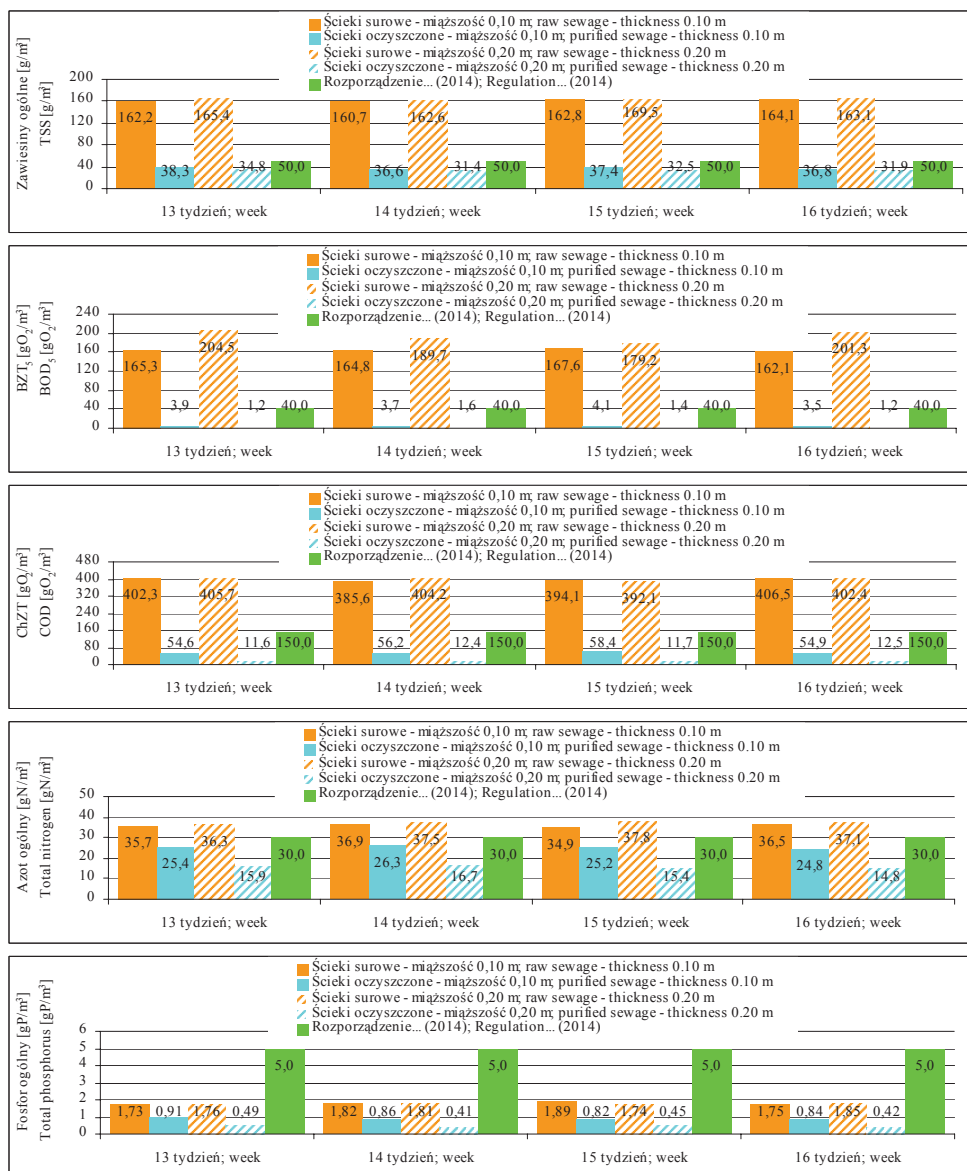
Wpracowanie złóż gruntowych z piasku średniego z warstwą hydro-antracytu trwało 12 tygodni. W trakcie filtracji ścieków przez badane złoża gruntowe pod warstwą rozsączającą wytworzyła się błona biologiczna o grubości 2,5–3,0 cm, która była siedliskiem bakterii i innych mikroorganizmów. W trakcie badań złożo gruntowe (piasek średni) było nasycone ściekami (było mokre), ale ścieki nie stagnowały w złożu gruntowym podczas filtracji.

Na rysunkach 3 i 4 zestawiono średnie wartości wskaźników zanieczyszczenia ścieków nieoczyszczonych i oczyszczonych na złożach gruntowych z piasku średniego z warstwą wspomagającą z hydro-antracytu o dwóch wartościach miąższości (0,10 i 0,20 m) w zależności od czasu pracy stanowiska pomiarowego. Analizując wyniki badań, stwierdzono, że po przesączeniu ścieków modelowych przez piaskowe złożo gruntowe z warstwą wspomagającą z hydro-antracytu nastąpiło zmniejszenie zawartości zawiesin ogólnych, a także wartości BZT₅, ChZT, azotu ogólnego, azotu amonowego i fosforu ogólnego. Azot azotynowy w ściekach oczyszczonych występował w ilościach śladowych, a zawartość azotanów oraz wartość pH wzrosły.

Średnia skuteczność usuwania azotu ogólnego w złożu gruntowym z warstwą hydro-antracytu o miąższości 0,10 m

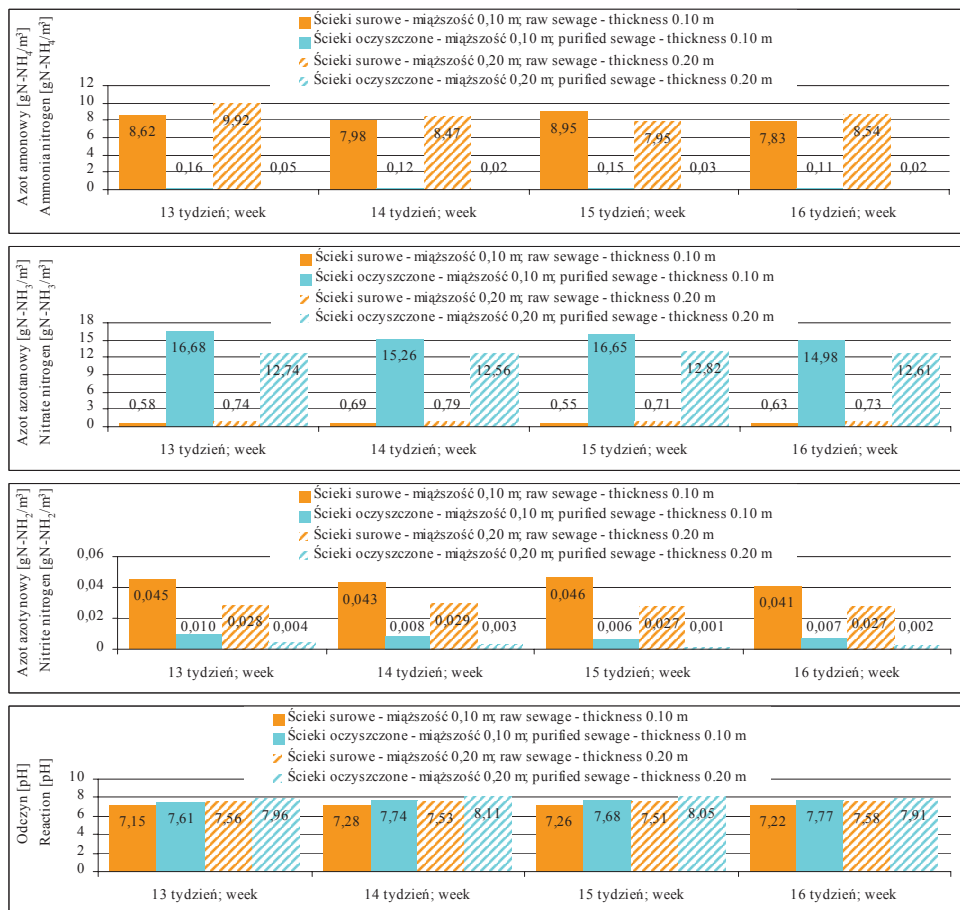
wyniosła 28,4%, a z warstwą 0,20 m – 57,8%. W złożu z samego piasku skuteczność usuwania azotu ogólnego wynosiła tylko 22% (Kalenik i Wancerz, 2013). W związku z tym zastosowanie warstwy wspomagającej z hydro-antracytu znacznie poprawiło skuteczność usuwania azotu ogólnego ze ścieków. Skuteczność usuwania azotu amonowego w złożu z warstwą hydro-antracytu o miąższości 0,10 m była duża i wyniosła średnio 98,4%, a zawartość azotu azotanowego w ściekach oczyszczonych wzrosła średnio 26-krotnie. W złożu z warstwą wspomagającą o miąższości 0,20 m skuteczność usuwania azotu amonowego była jeszcze większa i wyniosła średnio 99,6%, a zawartość azotu azotanowego w ściekach oczyszczonych wzrosła średnio tylko 17-krotnie. Duża zawartość azotu azotanowego w ściekach oczyszczonych w badanych złożach gruntowych świadczy o bardzo dobrych warunkach procesu nityfikacji, z czego wynika, że na hydro-antracycie dobrze immobilizują się bakterie nityfikacyjne. W ściekach oczyszczonych (dla obu badanych złóż gruntowych) odczyn wzrósł średnio o około 5,8%. W złożu z samego piasku skuteczność usuwania azotu amonowego również była duża i wyniosła 99%, a zawartość azotu azotanowego w ściekach oczyszczonych wzrosła średnio 147-krotnie (Kalenik i Wancerz, 2013).

Fosfor w złożu gruntowym głównie jest usuwany w procesach adsorpcji i strącania, a także jest pobierany przez rośliny. Badania wykazały, że w złożu gruntowym z warstwą wspomagającą z hydro-antracytu o miąższości 0,10 m średnia skuteczność usuwania fosforu ogólnego wyniosła 52,3%, a w złożu



RYSUNEK 3. Charakterystyka jakości ścieków przed oczyszczeniem i po oczyszczeniu w piasku średnim z warstwą wspomagającą z hydro-antracytu (wartości średnie) – wskaźniki: zawiesiny ogólne, BZT₅, ChZT, azot ogólny, fosfor ogólny

FIGURE 3. Characteristics of sewage quality before and after purification in medium sand with assisting hydro-anthracite layer (average values) – indicators: TSS, BOD₅, COD, total nitrogen, total phosphorus



RYSDUNEK 4. Charakterystyka jakości ścieków przed oczyszczeniem i po oczyszczeniu w piasku średnim z warstwą wspomagającą z hydro-antracytu (wartości średnie) – wskaźniki: azot amonowy, azot azotanowy, azot azotynowy, odczyn

FIGURE 4. Characteristics of sewage quality before and after purification in medium sand with assisting hydro-anthracite layer (average values) – indicators: ammonia nitrogen, nitrate nitrogen, nitrite nitrogen, reaction

o miąższości 0,20 m – 75,3%. W złożu z samego piasku skuteczność usuwania fosforu ogólnego wynosiła tylko 23% (Kalenik i Wancerz, 2013). W związku z tym zastosowanie warstwy wspomagającej z hydro-antracytu znacznie poprawiło skuteczność usuwania fosforu ogólnego ze ścieków.

Przeprowadzone badania wykazały (rys. 3), że skuteczność oczyszczania ścieków w złożu gruntowym z warstwą wspomagającą z hydro-antracytu spełnia polskie normy wprowadzania ścieków do gruntu i wód (Rozporządzenie Ministra Środowiska z 2014 r.). Otrzymane wyniki badań skuteczności oczyszczania

TABELA. Wyniki obliczeń statystyki z testu t-Studenta
 TABLE. Results of calculations of the t-Student statistics

Parametr Parameter	Mięszkość warstwy wspomagającej Thickness of assisting layer	\bar{x}	SD	$ t_{obl} $	P_{obl}	Wartość odczytana* Value read
Zawiesiny ogólne – TSS	0,10	37,275	0,763	12,120	0,001209	2,447
	0,20	32,650	1,502			
BZT ₅ – BOD ₅	0,10	3,800	0,258	16,333	0,000499	
	0,20	1,350	0,191			
ChZT – COD	0,10	56,025	1,729	46,167	0,000022	
	0,20	12,050	0,465			
Azot ogólny – Total nitrogen	0,10	25,425	0,634	87,717	0,000003	
	0,20	15,700	0,804			
Azot amonowy – Ammonia nitrogen	0,10	0,135	0,024	16,267	0,000505	
	0,20	0,030	0,014			
Azot azotanowy – Nitrate nitrogen	0,10	15,893	0,899	8,103	0,003928	
	0,20	12,683	0,119			
Azot azotynowy – Nitrite nitrogen	0,10	0,008	0,002	21,000	0,000236	
	0,20	0,003	0,001			
Fosfor ogólny – Total phosphorus	0,10	0,858	0,039	25,025	0,000140	
	0,20	0,443	0,036			
Odczyn – Reaction	0,10	7,700	0,071	-5,488	0,011902	
	0,20	8,008	0,090			

*Wartość odczytana z tablic wyników testu t-Studenta dla $p = 0,05$; $\nu = 6$; $t_{obl} = 0,05$ – t-Student statistics value read from the tables for $p = 0.05$; $\nu = 6$; $t_{obl} = 0.05$.

Różnice wartości średnich są istotne z prawdopodobieństwem $p < 0,05$ – The differences of average values are significant with probability $p < 0.05$.

ścieków w złożu gruntowym z warstwą wspomagającą z hydro-antracytu są porównywalne z wcześniej wykonywanymi badaniami z zastosowaniem warstwy wspomagającej z dolomitu (Kalenik i Cieśluk, 2009), popiołu (Kalenik i Charkiewicz, 2010), chalcodonitu (Kalenik i Wancerz, 2013), kinoptylolitu (Kalenik, 2014), keramzytu i opoki (Dawciewicz, 2018).

Uzyskane wyniki badań poddano analizie statystycznej. Sprawdzając, czy różnice wartości średnich w wynikach skuteczności usuwania zanieczyszczeń ze ścieków dla warstw wspomagających z hydro-antracytu o miąższości 0,10 i 0,20 m (rys. 3 i 4) są statystycznie istotne. Najpierw sprawdzono normalność rozkładów testem Shapiro-Wilka, a następnie jednorodność wariancji testem Levene'a.

W obu testach dla poszczególnych grup otrzymano wartości obliczonego prawdopodobieństwa $p_{obl} > 0,05$ od przyjętego poziomu istotności $\alpha = 0,05$, co oznacza, że spełnione zostały rozkłady normalne i jednorodność wariancji w badanych grupach. Obliczenia normalności rozkładów i jednorodności wariancji wykonano programem komputerowym Statistica. Następnie zastosowano test t-Studenta dla dwóch populacji, stawiając hipotezę zerową ($H_0: n_1 = n_2$), że różnice wartości średnich są statystycznie równe, oraz hipotezę alternatywną ($H_1: n_1 \neq n_2$), że różnice wartości średnich są statystycznie różne. Obliczenia wartości statystyki $|t_{obl}|$ (t-Studenta) wykonano również programem komputerowym Statistica, a uzyskane wyniki zestawiono w tabeli.

Dla hipotezy alternatywnej określono obszar krytyczny $|t_{obl}| \geq t_{\alpha=0,05}$ i z tablic rozkładu t-Studenta dla $v = n_1 + n_2 - 2 = 6$ stopni swobody i $\alpha = 0,05$, czyli obranym pięcioprocentowym ryzykiem błędu (poziomem istotności), odczytano wartość krytyczną $t_{\alpha=0,05} = 2,447$. Analizując dane z tabeli, można zauważyć, że $|t_{obl}| \geq t_{\alpha=0,05}$, czyli hipotezę zerową odrzuca się i wnioskuje, że różnice między średnimi wartościami w wynikach skuteczności usuwania zanieczyszczeń ze ścieków dla warstw wspomagających z hydro-antracytu o miąższości 0,10 i 0,20 m są istotnie statystycznie różne. Potwierdza to również obliczona wartość prawdopodobieństwa, czyli p_{obl} jest mniejsze od $p < 0,05$ (przyjętego poziomu istotności).

Podsumowanie

Ścieki oczyszczone w modelowych piaskowych złożach gruntowych z warstwą hydro-antracytu o granulacji 1,8–2,5

mm w zakresie podstawowych wskaźników jakościowych (zawiesiny ogólne, BZT₅, ChZT, azotu ogólnego i fosforu ogólnego) spełniały polskie zalecenia dotyczące zasad wprowadzania ścieków do gruntu i wód (Rozporządzenie Ministra Środowiska z 2014 r.). Wykazano, że lepszą skutecznością oczyszczania ścieków charakteryzowało się złożo gruntowe z piasku średniego z warstwą hydro-antracytu o miąższości 0,20 m w porównaniu do złoża o miąższości 0,10 m. Zastosowanie w złożu gruntowym z piasku średniego warstwy wspomagającej z hydro-antracytu o miąższości 0,20 m poprawiło skuteczność usuwania zawiesin ogólnych średnio o 3,1%, BZT₅ średnio o 1,5%, ChZT średnio o 11,3%, azotu ogólnego średnio o 29,4%, azotu amonowego średnio o 1,2% i fosforu ogólnego średnio o 23,0% w stosunku do złoża z warstwą wspomagającą o miąższości 0,10 m.

Hydro-antracyt o granulacji 1,8–2,5 mm może być wykorzystywany do wspomagania usuwania związków azotu i fosforu ze ścieków w przydomowych oczyszczalniach z drenażem rozsączającym. Bardzo dobra skuteczność usuwania zawiesin ogólnych ze ścieków w badanych złożach gruntowych może prowadzić do szybkiej kolmatacji złoża pod drenażem rozsączającym. Z tego względu należy tak projektować osadniki gnilne, aby mogły zatrzymać jak najwięcej zawiesin ogólnych – np. osadniki kilkukomorowe zamiast jednokomorowych.

Literatura

Centralny Urząd Gospodarki Wodnej [CUGW] (1971). Budownictwo oczyszczalni ścieków. Wytyczne techniczne projektowania drenaży

- rozsączających i filtrów piaskowych. Warszawa: Wydawnictwo Katalogów i Cenników.
- Chmielowski, K. i Ślizowski, R. (2008). Defining the optima range of a filter bed's d_{10} replacement diameter in vertical flow sand filters. *Environment Protection Engineering*, 34(3), 35-42.
- Dacewicz, E. (2018). Application of selective and porous materials for the removal of biogenic compounds and indicator bacteria from domestic wastewater. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus*, 17(2), 47-55.
- Eveborn, D., Kong, D. i Gustafsson, J.P. (2012). Wastewater treatment by soil infiltration: Long-term phosphorus removal. *Journal of Contaminant Hydrology*, 140-141(10), 24-33.
- Gill, L.W., O'Luanigh, N., Johnston, P.M., Misteer, B.D.R. i O'Suilleabhain, C. (2009). Nutrient loading on subsoils from on-site wastewater effluent, comparing septic tank and secondary treatment systems. *Water Research*, 43(10), 2739-2749.
- Hawkins, C.L., Shipitalo, M.J., Moye Rutledge, E., Savin, M.C. i Brye, K.R. (2008). Earthworm populations in septic system filter fields and potential effects on wastewater renovation. *Applied Soil Ecology*, 40(1), 195-200.
- Heatwole, K.K. i McCray, J.E. (2007). Modeling potential vadose – zone transport of nitrogen from onsite wastewater systems at the development scale. *Journal of Contaminant Hydrology*, 91(1-2), 184-201.
- Kalenik, M. (2014). Skuteczność oczyszczania ścieków w gruncie piaszczystym z warstwą naturalnego klinoptylolitu. *Ochrona Środowiska*, 36(3), 43-48.
- Kalenik, M. i Charkiewicz, J. (2010). Porównanie skuteczności oczyszczania ścieków w złożach gruntowych pod drenażem rozsączającym ścieki. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 1, 75-88.
- Kalenik, M. i Cieśluk, M. (2009). Sewage treatment in gravel with assisting dolomite layer. W W. Sądęj (red.), *Sewages and waste materials in environment* (strony 23-33). Olsztyn: Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn.
- Kalenik, M. i Wancierz, M. (2013). Badania oczyszczania ścieków w piasku średnim z warstwą wspomagającą z chalcedonitu – skala laboratoryjna. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3(1), 163-173.
- Karczmarczyk, A. i Kocik, A. (2017). Wpływ miąższości reaktywnej warstwy drenażowej na odpływ fosforanów z zielonego dachu. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 26(4), 447-456.
- Kvarnström, M.E., Morel, C.A.L. i Krogstad, T. (2004). Plant-availability of phosphorus in filter substrates derived from small-scale wastewater treatment systems. *Ecological Engineering*, 22(1), 1-15.
- Mazur, R., Bedla, D., Chmielowski, K., Nowak, A. i Mazurkiewicz J. (2016). Wpływ warunków tlenowych na skuteczność oczyszczania ścieków bytowych w technologii zatapialnych filtrów włókninowych. *Przemysł Chemiczny*, 95(8), 1000-1004.
- Nieć, J. i Spychała, M. (2014). Hydraulic conductivity estimation test impact on long-term acceptance rate and soil absorption system design. *Water*, 6, 2808-2820.
- PN-C-04616/10:1987. Woda i ścieki. Badania specjalne osadów. Hodowla standardowego osadu czynnego w warunkach laboratoryjnych. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. 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. 2014, poz. 1800.
- Sieczka, A. i Koda, E. (2016). Identyfikacja parametrów sorpcji związków azotu w środowisku gruntowo-wodnym metodą eksperymentu kolumnowego. *Ochrona Środowiska*, 38(3), 29-34.
- Skoczko, I., Horysz, M., Szatyłowicz, E. i Malinowski, Ł. (2016). Analiza ekonomiczna wybranych złóż adsorpcyjnych stosowanych do oczyszczania wody. *Inżynieria Ekologiczna*, 46, 88-98.
- Spychała, M. i Nieć, J. (2013). Impact of septic tank sludge on filter permeability. *Environment Protection Engineering*, 39(2), 77-89.
- Spychała, M. i Pilc, L. (2011). Can Earthworms De-Clog Sand Filters? *Polish Journal of Environmental Studies*, 20(4), 1037-1401.
- Tymosiak, D. i Sulewska, M.J. (2016). Badania parametrów zagęszczalności gruntów nie-

spoistych metodą Proctora. *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura*, 15(3), 43-54.

Wąsik, E. i Chmielowski, K. (2017). Ammonia and indicator bacteria removal from domestic sewage in a vertical flow filter filled with plastic material. *Ecological Engineering*, 106, 378-384.

Wysocka, E.M. (2018). Zanieczyszczenie gruntów pod nieuszczelnionym gminnym składowiskiem odpadów komunalnych. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 27(2), 132-141.

Streszczenie

Badania modelowe skuteczności oczyszczania ścieków w piasku średnim z warstwą wspomagającą z hydro-antracytu. Badania modelowe oczyszczania ścieków przeprowadzono w złożu z piasku średniego z warstwą wspomagającą z hydro-antracytu o miąższości 0,10 i 0,20 m. Zaobserwowano, że w odniesieniu do podstawowych parametrów jakościowych (zawiesin ogólnych, BZT₅, ChZT, azotu ogólnego, fosforu ogólnego), skuteczność oczyszczania ścieków była zgodna z polskimi normami odprowadzania ścieków do gruntu i wód powierzchniowych. Stwierdzono, że złożo gruntowe z piasku średniego z warstwą wspomagającą z hydro-antracytu o miąższości 0,20 m wykazuje większą skuteczność oczyszczania ścieków w porównaniu do warstwy wspomagającej o miąższości 0,10 m. Zastosowanie w złożu gruntowym tego rozwiązania zwiększyło skuteczność usuwania zawiesiny ogólnej średnio o 3,1%, BZT₅ średnio o 1,5%, ChZT średnio o 11,3%, azotu ogólnego o 29,4%, azotu amonowego średnio o 1,2% i fosforu ogólnego o 23,0% w porównaniu do warstwy wspomagającej o miąższości 0,10 m. Badania potwierdziły, że hydro-antracyt o granulacji 1,8–2,5 mm może być stosowany do wspomagania usuwania związków azotu i fosforu ze ścieków z zastosowaniem drenaży rozsączających.

Summary

Model investigations on the effectiveness of sewage purification in medium sand with assisting hydro-anthracite layer.

The model investigations of sewage purification were carried out in a medium sand bed with an assisting hydro-anthracite layer with thickness of 0.10 and 0.20 m. It has been observed that the effectiveness of sewage purification related to basic qualitative parameters (total suspended solids – TSS, BOD₅, COD, total nitrogen, total phosphorus) is in accordance with the Polish standards on sewage disposal into grounds and surface water. It has been stated that the medium sand soil bed with the 0.20-meter thick assisting hydro-anthracite layer shows higher effectiveness of sewage purification than the 0.10 m thick assisting layer. This application in the medium sand soil bed increased the removal efficiency regarding TSS by 3.1%, total nitrogen by 29.4%, ammonia nitrogen by 1.2% and total phosphorus by 23.0%, and reduction efficiency regarding BOD₅ by 1.5% and COD by 11.3% with relation to the 0.10-meter thick assisting hydro-anthracite layer (all percentages – in average). The investigations confirm that the hydro-anthracite with the granulation of 1.8–2.5 mm can be used to assist in removal of nitrogen and phosphorus compounds from sewages with application of infiltration drainages.

Author's address:

Marek Kalenik
(<https://orcid.org/0000-0001-6184-1899>)
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Katedra Inżynierii Budowlanej
Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland
e-mail: marek_kalenik@sggw.pl