

ZMNIJSZENIE POWIERZCHNI INFILTRACJI ŚCIEKÓW DO GRUNTU DZIĘKI ZASTOSOWANIU FILTRÓW DOCZYSZCZAJĄCYCH

Marcin Spychała¹, Jakub Mazurkiewicz¹

¹ Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, Wydział Inżynierii Środowiska i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznań, e-mail: marsp@up.poznan.pl, upjama@gmail.com

STRESZCZENIE

Celem artykułu było określenie możliwości i celowości zastosowania filtrów doczyszczających przed odprowadzaniem ścieków do ziemi w kontekście spełnienia warunków aktualnego Rozporządzenia 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. Ze względu na spodziewane w praktyce zastosowanie i popularność jako warianty porównawcze zastosowano reaktory o bardzo prostej konstrukcji. Porównano uśrednione wartości zmniejszenia BZT_5 , $ChZT_{Cr}$ i zawiesiny ogólnej dla trzech technologii filtrów doczyszczających: złoża biologicznego zraszanego z naturalną wentylacją, filtra piaskowego odkrytego oraz filtra włókninowego. Dodatkowo jako czwarty wariant zaprezentowano prosty model matematyczny i pozwalający na oszacowanie BZT_5 na odpływie z biologicznego złoża zraszanego celem zinterpretowania danych empirycznych. Model ten mimo dużej przydatności jest rzadko stosowany w naszym kraju. Stwierdzono możliwość zmniejszenia powierzchni infiltracji (rozsączenia) na skutek zastosowania filtrów doczyszczających (powierzchnia po redukcji stanowi 38–63% powierzchni wejściowej). W przypadku dużego pierwotnego zapotrzebowania powierzchni pod drenaż rozsączający zysk w kosztach (kilka tysięcy złotych) wynikający z jej zmniejszenia może nawet znacząco przekraczać koszt zakupu taniego filtra doczyszczającego. Dodatkowo zmniejszenie zajętej powierzchni działki (w skrajnych przypadkach nawet o 100 m²), dzięki zastosowaniu filtra doczyszczającego, umożliwia wykorzystanie niezajętej powierzchni na inne cele i daje w ten sposób dodatkową korzyść ekonomiczną.

Słowa kluczowe: filtr piaskowy, złożo zraszane, filtr włókninowy, infiltracja ścieków, grunt.

REDUCTION OF SOIL INFILTRATION AREA THANKS TO THE WASTEWATER SECONDARY TREATMENT FILTERS

ABSTRACT

The aim of the article was to determine the feasibility and advisability of the use of secondary filters applied before discharge of wastewater into the ground in the context of the fulfillment of the conditions of the current Regulation of the Minister of Environment of 18 November 2014 on the conditions to be met during the discharge of wastewater into the water or the ground and on substances particularly harmful to the aquatic environment. Due to expected in practice, an application and popularity, as compared variants, reactors having a very simple construction were used. The average values of removal of BOD_5 , COD and total suspended solids for three secondary filters technologies: biological trickling filter with natural ventilation, sand filter and nonwoven filter were compared. Additionally, as a fourth option a simple mathematical model has been presented. This model allows to estimate of BOD_5 at the outflow from biological trickling filter and to verify the empirical data. Despite a large usefulness, it is rarely used in our country. It has been found the possibility of reduction of the infiltration area (surface area after reduction is 38–63% of the initial value) due to the application of secondary filters. In the case of a high initial demand of the terrain area for drainage localization the benefit in costs resulting from the reduction (several thousand of PLN) or may even significantly exceed the cost of buying and installing a cheap secondary filter. In addition, reduction the occupied area of the lot (in extreme cases up to 100 m²) by using the secondary filter allows to use the unoccupied space for other purposes, and thus gives additional economic advantage.

Keywords: sand filter, trickling filter, textile filter, wastewater infiltration, soil.

WPROWADZENIE

W ostatnich latach wzrasta potrzeba budowy indywidualnych systemów w związku z zakończeniem kanalizacji aglomeracji oraz pogarszającymi warunkami dla ekonomicznej efektywności budowy sieci kanalizacyjnych (obniżający się wskaźnik liczby osób przyłączonych do kanalizacji w przeliczeniu na jej długość).

Istnieje wiele rozwiązań lokalnych oczyszczalni ścieków (przedomowych), przy czym ciągle najbardziej popularne ze względów ekonomicznych i eksploatacyjnych są systemy złożone z osadnika gnilnego i drenażu rozsączającego [Hämmerling i Spychała 2015]. Nie zawsze jednak systemy te są wprost dostosowane do lokalnych warunków, np. ograniczona jest dostępna do wykorzystania dla infiltracji (pod drenaż) powierzchnia działki, obliczona powierzchnia jest bardzo duża ze względu na dużą wartość dobowego odpływu ścieków lub też ze względu na małą chłonność gruntu. W takich sytuacjach wskazane może być lub nawet niezbędne uzupełnienie systemu przez filtr lub złożo doczyszczające.

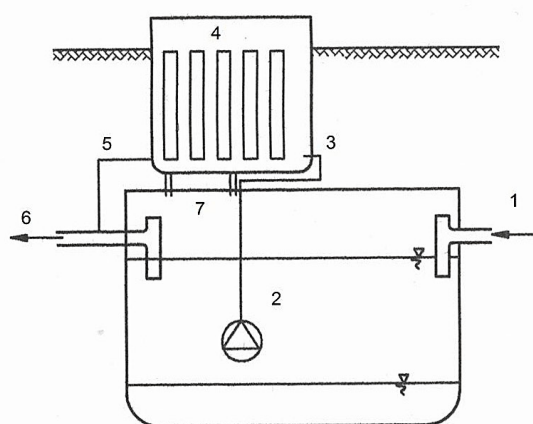
Użytkownicy, dostawcy, a nawet projektanci wychodzą często z założenia, że dobrane tylko na podstawie danych katalogowych złożo będzie pełniło prawidłowo swoją funkcję. Doświadczenia praktyczne autorów oraz wyniki obliczeń pokazują natomiast, że tylko dobrze zaprojektowane i eksploatowane złożo może uzyskiwać odpowiednio wysoką skuteczność oczyszczania.

W dodatku zależy ona od czynników i warunków, które nie są oczywiste.

Celem artykułu było zweryfikowanie przydatności filtrów doczyszczających przed odprowadzaniem ścieków do ziemi w kontekście spełnienia warunków aktualnego rozporządzenia dot. warunków jakie należy zachować przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi [RMŚ 2014]. Jako warianty porównawcze zastosowano reaktory o bardzo prostej konstrukcji. Dodatkowo zaprezentowano model pozwalający na oszacowanie BZT_5 na odpływie z biologicznego złoża zraszanego celem zinterpretowania danych empirycznych.

OPIS BADAŃ

Porównano uśrednione wartości zmniejszenia BZT_5 , $ChZT_{Cr}$ i zawiesiny ogólnej dla czterech wariantów, trzech technologii filtrów/złóż doczyszczających: złożo biologiczne zraszanego (konwencjonalnego – średnio obciążonego z naturalną wentylacją), filtra piaskowego odkrytego oraz filtra włókninowego (rys. 1). Dla dwóch pierwszych wariantów przyjęto uśrednione wartości literaturowe, uzyskane w skali technicznej lub półtechnicznej, a dla wariantu trzeciego – wyniki uzyskane w skali półtechnicznej dla nowej technologii będącej jeszcze na etapie badań. Konstrukcja tego typu filtrów została opisana we wcześniejszych publikacjach [Spy-



Rys. 1. Filtr włókninowy, z lewej – model badawczy [Haba RL 2015], z prawej – rysunek poglądowy lokalizacji filtra włókninowego (model wykonany przez firmę Haba R.L.): 1 – wlot do osadnika gnilnego, 2 – pompa dozująca ścieki do filtra włókninowego, 3 – wlot do filtra włókninowego, 4 – filtr włókninowy, 5 – wylot z filtra włókninowego, 6 – wylot z osadnika gnilnego, 7 – króćce do odprowadzania osadu

Fig. 1. Textile filter, on the left hand side – experimental set-up [Haba RL 2015], on the right hand side – overall drawing of textile filter localisation: 1 – inflow to the septic tank, 2 – pump dosing the wastewater into the filter, 3 – inflow to the textile filter, 4 – textile filter, 5 – outflow from the textile filter, 6 – outflow from the septic tank, 7 – outflow of sludge

chała i in. 2013, Spychała i Łucyk 2015, Spychała 2016]. Jako dodatkowy – czwarty wariant zaprezentowano prosty model pozwalający na oszacowanie BZT₅ na odpływie z biologicznego złoża zraszanego celem zinterpretowania danych empirycznych. Aktualnie w kraju brak jest szczegółowych regulacji prawnych dotyczących warunków stosowania prefabrykowanych urządzeń do oczyszczania odpływu z osadników gnilnych, gdyż część 6 normy PN-EN 12566 (zwierająca wytyczne, do tego typu układów) jest ciągle w przygotowaniu i formalnie nie obowiązuje.

Mimo teoretycznie znaczącego i pozytywnego wpływu recyrkulacji na stężenie związków organicznych (BZT₅) w ściekach oczyszczonych, niektóre badania [Kopeć 2009] nie wykazują już tak korzystnego i dużego wpływu. Między innymi ze względu na zróżnicowanie skuteczności różnych obiektów w terenie, a także np. zbyt krótki czas kontaktu ścieków ze złożem lub nierównomiernym obciążeniem powierzchni lub objętości złoża. Dlatego do analizy porównawczej przyjęto stopień recyrkulacji wynoszący 1 (100%), co jest zgodne z zaleceniami literaturowymi dla większości złóż niezależnie od stopnia ich obciążenia [Błażejowski 2003]. Przyjęta do obliczeń powierzchnia rozwinięta (właściwa) wynosiła $F_w = 120 \text{ m}^2/\text{m}^3$ a temperatura $T = 10^\circ\text{C}$.

Założono przeciętny dla obszaru kraju odpływ ścieków, wynoszący $100 \text{ dm}^3/\text{d}$ od jednej osoby, co przy gospodarstwie domowym zamieszkanym przez 4 osoby daje $400 \text{ dm}^3/\text{d}$. Przy założeniu ładunków jednostkowych po 60 g/d od jednego mieszkańca zarówno dla BZT₅, jak i zawiesiny ogólnej, uzyskano stężenia 600 g/m^3 .

Przyjęto skuteczność osadnika gnilnego (lub wstępnego) dla BZT₅ – wynoszącą 60% [Błażejowski 2003], co oznacza wartość w ściekach z niego odpływających równą 240 g/m^3 . Dla usuwania zawiesiny ogólnej przyjęto skuteczność

osadnika gnilnego (lub wstępnego) równą 75% [Błażejowski 2003], co dało stężenie na odpływie z osadnika wynoszące 150 g/m^3 .

W przeprowadzonej analizie uwzględniono istotne właściwości filtrów, takie jak: powierzchnia właściwa wypełnienia filtra (F_w), wysokość wypełnienia filtra (H_z), średni dobowy dopływ ścieków (Q_{dsr}), maksymalne godzinowe obciążenie hydrauliczne powierzchni filtra, przyjęte jako $q_{ph} = N_h N_d N_r Q_{dsr} / (86400 A_p)$, pole powierzchni filtra w rzucie poziomym (A_p). Dane techniczne dotyczące tych właściwości przedstawiono w tabeli 1.

W pracy wykorzystano empiryczne (empirycznie wyznaczone stałe) równanie Viessmana i Hammera [1998], które określa skuteczność usuwania substancji organicznej (BZT₅) przez złoża w postaci kształtek wykonanych z tworzywa sztucznego. Model uwzględnia kilka istotnych zmiennych i parametrów, między innymi stałą szybkości reakcji k , powierzchnię właściwą wypełnienia z tworzyw sztucznych, wysokość złoża, stopień recyrkulacji itp. Wspomniane równanie ma postać:

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{\exp(-k_{20} \Theta^{T-20} F_w H_z / (q_{ph} (1+R))^n)}{(1+R) - R \cdot \exp(-k_{20} \Theta^{T-20} F_w H_z / (q_{ph} (1+R))^n)} \quad (1)$$

- gdzie: S_2 – BZT₅ na odpływie z filtra (złoża), mg/dm^3 ,
 S_1 – BZT₅ na dopływie do filtra (złoża), mg/dm^3 ,
 k_{20} – stała szybkości reakcji dla 20°C , $(\text{dm}^3/\text{m}^2\text{s})^{0,5}$,
 Θ – współczynnik temperaturowy (równy 1,035),
 T – temperatura ścieków, $^\circ\text{C}$, przyjęto 10°C ,
 F_w – powierzchnia właściwa wypełnienia filtra (złoża), m^2/m^3 , przyjęto $F_w = 120 \text{ m}^2/\text{m}^3$,

Tabela 1. Dane techniczne analizowanych filtrów
Table 1. Technical data of the analyzed filters

Rodzaj filtra	Średni dobowy dopływ ścieków	Obciążenie hydrauliczne powierzchni filtracyjnej	Powierzchnia właściwa wypełnienia filtra	Wysokość wypełnienia filtra (złoża)	Pole powierzchni filtra w rzucie poziomym	Obciążenie hydrauliczne objętości filtra
	Q_{dsr} [dm^3/d]	q_{ph} [$\text{dm}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$]	F_w [m^2/m^3]	H_z [m]	A_p [m^2]	[$\text{m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$]
Złoże zraszane	do 1000	670	120	1,0	1,5	do 0,67
Model złoża zraszanego	400	510	120	1,0	1,5	0,34
Filtr włókninowy	400	40–50	ok. 10000	0,3–0,35	około 1,0	2,4
Filtr piaszkowy	400	40–50	60–100	0,6–1,0	8,0	0,05–0,08

H_z – wysokość wypełnienia filtra (złoża), m,
 q_{ph} – maksymalne godzinowe obciążenie hydrauliczne powierzchni filtra (złoża), przyjęte jako $q_{ph} = N_h \cdot N_d \cdot N_r \cdot Q_{dsr} / (86400 A_p)$ – $\text{dm}^3/\text{m}^2\text{s}$,
 Q_{dsr} – średni dobowy dopływ ścieków, dm^3/d ,
 A_p – pole powierzchni filtra (złoża) w rzucie poziomym, m^2 ,
 R – stopień recyrkulacji, ($R=1$),
 n – stała empiryczna (równa 0,5).

Do obliczenia powierzchni infiltracji ściekami odpływającymi z filtrów doczyszczających (A_2) wykorzystano empiryczną formułę Laaka [1986], która określa o ile można zmniejszyć powierzchnię (A_1) ściekami oczyszczonymi jedynie w osadniku gnilnym:

$$A_2/A_1 = \sqrt[3]{\frac{S_2 + Z_2}{S_1 + Z_1}} \quad (2)$$

gdzie: S_1 i Z_1 – to odpowiednio BZT_5 i stężenie zawiesiny w ściekach oczyszczonych jedynie w osadniku gnilnym,
 S_2 i Z_2 – to BZT_5 i stężenie zawiesiny w ściekach odpływających z filtrów doczyszczających.

WYNIKI I DYSKUSJA

Wartości BZT_5 na odpływie z oczyszczalni, wynikające z uzyskanego efektu oczyszczania zależą od wielu zmiennych, zwłaszcza od powierzchni rozwiniętej złoża, stopnia recyrkulacji oraz wysokości złoża. Bardzo duże znaczenie ma również temperatura, ale jest to w nor-

malnych warunkach (klasyczne złożo zraszane) zmienna niesterowalna.

Istnieje wiele innych, niż podane wcześniej [Viessman i Hammer 1998], równań pozwalających na obliczenie oczekiwanego efektu usuwania zanieczyszczeń wyrażonych jako BZT_5 .

Starsze formuły, odnoszące się do wypełnień naturalnych [Eckenfelder 1961] nie mają obecnie zastosowania, ponieważ nie uwzględniają powierzchni rozwiniętej, stopnia recyrkulacji [Germain 1966] lub wysokości złoża [Galler i Gotaas 1964]. Z kolei inne modele, opracowane dla wypełnień z tworzyw sztucznych, uwzględniają tylko parametr stosunku przepływu do objętości złoża (Q/V), ale nie odnoszą się już do wysokości filtra. Brak ujęcia wysokości filtra w formule należy, zdaniem autorów, uznać za wadę, gdyż w przypadku reakcji biochemicznego rozkładu pierwszego i wyższych rzędów, a takie zachodzą najczęściej w przypadku reaktorów rurowych, których przedstawicielem są złoża zraszane, odległość od początku do końca reaktora ma istotne znaczenie. Z drugiej strony stosowanie zaawansowanych modeli, uwzględniających wszystkie istotne czynniki (parametry) wydają się nie zawsze celowe – ze względu na zapotrzebowanie na specjalistyczne oprogramowanie i szczegółowe dane.

Stopień zmniejszenia powierzchni filtracji dzięki zastosowaniu filtrów doczyszczających dla przyjętych skuteczności usuwania zanieczyszczeń organicznych (BZT_5) i zawiesiny ogólnej zestawiono w tabeli 2.

Dla złoża zraszanego wykonano badania wykazujące skuteczność wynoszącą średnio 84% przy obciążeniu ładunkiem $0,35 \text{ kg } BZT_5 / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$. Wynik obliczeń skuteczności usuwania BZT_5

Tabela 2. Stopień zmniejszenia powierzchni filtracji dzięki zastosowaniu filtrów doczyszczających

Table 2. The degree of reduction of surface filtration thanks the use of purification filters

Technologia	Skuteczność, %				Stosunek powierzchni po redukcji do powierzchni wyjściowej [%]
	Dane literaturowe		Przyjęta do obliczeń		
	BZT_5	zawiesina ogólna	BZT_5	zawiesina ogólna	
Złożo zraszane	80,0 [Błażejowski 2003], 88,0 [Eckenfelder 1961]	90*	84,0	90,0	48
Model złoża zraszanego [Viessman i Hammer 1998]	–	–	74,3	90,0	42
Filtr włókninowy	72,0 [Spychała 2016], 78,9 [Spychała i Łucyk 2015]	79,0 [Spychała 2016]	75,0	79,0	38
Filtr piaskowy	98,9 [Bruce i Merkens 1973], 97 [Heidrich i Kuszniak 2006], 98,9 [Puchlik i Ignatowicz 2014]	93,6 [Bruce i Merkens 1973]	98,0	90,0	63

* Wynik ze skuteczności osadnika wtórnego, który zazwyczaj jest stosowany.

z wykorzystaniem równania Viessmana i Hammera [1998] jest możliwy na tym poziomie dla 10°C tylko przy założeniu bardzo wysokiego stopnia recyrkulacji (400–600%) lub dla stosunkowo wysokiej temperatury (20 °C) zakładając stopień recyrkulacji od 200 do 400%. Przy recyrkulacji mogącej być realnie stosowaną (200%) i temperaturze 10 °C obliczona z wykorzystaniem tego równania skuteczność dla BZT₅ wynosi 74,3% (tabela 2). Jest to wartość znacząco niższa niż w przypadku filtrów piaskowych i nieco niższa niż efektywność filtrów włókninowych. Porównywanie filtrów biologicznych z filtrami włókninowymi jest trudne ze względu na znacząco różne obciążenia powierzchni filtracji (inna zasada działania), przy czym kubatury reaktorów dla takich samych przepływów dobowych są zbliżone. Dla wszystkich typów reaktorów przyjęto skuteczność usuwania zawiesiny wynoszącą 90%, z wyjątkiem filtra włókninowego. Badania wykazały nieco niższą jego skuteczność – 79,0%, jednak warto zaznaczyć, że nie stosowano w tym przypadku osadnika wtórnego.

Analiza wyników modelowania z wykorzystaniem różnych wzorów wykazała dość znacząco rozbieżne wartości uzyskanego BZT₅ na odpływie ze złożeń biologicznych. Stosując model Viessmana i Hammera [1998] wartości powyżej 90% można uzyskać dla powierzchni efektywnej równej 120 m²/m³, temperatury 10 °C, przy recyrkulacji ścieków oczyszczonych powyżej 300% i dla wysokości złoża równej 1,5 m. Dla wysokości złoża rzeczywistego przyjętego do analizy – równej 1,0 m, przy tym samym stopniu recyrkulacji, można uzyskać już tylko około 80% skuteczności. Niektóre inne modele [Bruce i Merkens 1973, Joint Task Force 1992] dają z kolei bardzo wysokie wartości skuteczności usuwania BZT₅ – powyżej 97%, chociaż nie uwzględniają wysokości złoża, a także i inne właściwości są niedoprecyzowane (np. zakres stosowalności, wpływ recyrkulacji). Podsumowując analizę skuteczności złożeń z wykorzystaniem wspomnianych modeli, wydają się bardziej racjonalne przyjmowanie wartości nie wyższych niż 90%. Można wtedy uznać, że na złożach o przeciętnych właściwościach (powierzchnia rozwinięta, objętość, wysokość) bez problemu będzie można taką skuteczność uzyskać niezależnie od stopnia stosowanej recyrkulacji i nawet przy stosunkowo niskich temperaturach.

Dość duże zróżnicowanie wartości skuteczności działania złożeń zraszanych można również

znaleźć w danych literaturowych – od około 75–84% (dla 10 °C) [Heidrich i Kuszniak 2006] do ponad dziewięćdziesięciu procent [Puchlik i Ignatowicz 2014].

Po wykonaniu obliczeń z użyciem formuły Laaka [1986] stwierdzono zmniejszenie powierzchni infiltracji (rozsączania) od 37 do 62%. Według amerykańskiej agencji ochrony środowiska [US EPA 2002] dla piasków drobnych i drobnych gliniastych można przy zmniejszeniu stężenia BZT₅ ze 150 g/m³ na 30 g/m³ (80% redukcji) zwiększyć obciążenie 2,5 krotnie, co oznacza, że powierzchnia po takim zmniejszeniu stężenia będzie stanowić tylko 40% powierzchni, która byłaby potrzebna gdyby stężenie nie zostało zmniejszone.

W przypadku dużego pierwotnego zapotrzebowania powierzchni pod drenaż rozsączający oszczędność w kosztach wynikający z jej zmniejszenia o 40–60% (kilkaset tysięcy złotych) może przekraczać koszt zakupu taniego filtra doczyszczającego. Dodatkowo zmniejszona zostanie wymagana powierzchnia działki przeznaczona na drenaż (w skrajnych przypadkach nawet do 100 m²), co umożliwia jej wykorzystanie na inne cele i daje korzyść ekonomiczną związaną z kosztem zajęcia powierzchni terenu. Wydatek ten jest jednak dość trudny do określenia (wykorzystanie powierzchni zajętej przez drenaż jest pod wieloma względami ograniczone).

Nie wykonywano w ramach niniejszej pracy szczegółowej analizy ekonomicznej, gdyż jest ona uwarunkowana bardzo licznymi czynnikami (warunki terenowe, spadki terenu, kształt dostępnej powierzchni, użyte materiały, produkty, sposób nadzoru nad wykonawstwem, odległość transportu materiałów, zwłaszcza żwiru/tłuczni oraz innymi). Celem analizy było raczej wskazanie i zachęcenie inwestorów, projektantów i wykonawców do wzięcia pod uwagę, w określonych przypadkach, zastosowania filtrów doczyszczających. Wówczas zaleca się wykonanie analizy rzeczywistych kosztów (już dla konkretnych warunków), a także dobranie odpowiedniej procedury obliczeń technologicznych (np. model na obliczenie wartości BZT₅ na odpływie z filtra biologicznego), tak aby z jednej strony zoptymalizować wybór pod kątem ekonomicznym, a z drugiej strony przyjąć odpowiednią powierzchnię rozsączania w zależności od stężeń zanieczyszczeń znajdujących się w ściekach doprowadzanych do tej powierzchni.

WNIOSKI

Uzyskane wyniki pozwoliły na wyciągnięcie poniżej przedstawionych wniosków:

1. Przy dość powszechnie spotykanych stężeniach zanieczyszczeń w ściekach dopływających (po osadniku gnilnym lub wstępnym) można uzyskać, w przypadku wszystkich trzech technologii, spełnienie warunków rozporządzenia dla lokalizacji oczyszczalni poza aglomeracją, gdyż wystarczające są niezbyt wysokie skuteczności oczyszczania na poziomie około 70–80%.
2. Aby spełnić warunki rozporządzenia w przypadku lokalizacji oczyszczalni w granicach aglomeracji wymagane są niższe stężenia na odpływie i bez większych problemów spełnia je tylko filtr piaskowy, a pozostałe technologie wymagają uwzględnienia tego faktu przy projektowaniu lub ewentualnie w ramach ustawień technologicznych np. w formie zwiększonej recyrkulacji lub zmiany systemu z jednostopniowego na dwustopniowy.
3. Wszystkie technologie pozwalają na znaczące zmniejszenie powierzchni infiltracji (rozszczynania) w porównaniu z zastosowaniem tylko osadnika gnilnego – powierzchnia po zmniejszeniu stężenia zanieczyszczeń na odpływie z osadnika ze złożem, stanowi od 38% do 63% powierzchni, która byłaby potrzebna gdyby stężenie nie zostało zmniejszone; na podstawie szacunków można zakładać, że filtr tani w zakupie i eksploatacji (co najczęściej wymaga prostej konstrukcji) pozwoli zaoszczędzić określoną kwotę dzięki zmniejszeniu powierzchni, a tym samym wielkości systemu drenarskiego oraz da dodatkowe możliwości wpływu na działanie systemu (zwłaszcza w perspektywie wieloletniej) aczkolwiek generuje to dodatkowe koszty eksploatacyjne, a ewentualna ingerencja w działanie systemu wiąże się oczywiście z koniecznością fachowego nadzoru.

LITERATURA

1. Błażejowski R. 2003. Kanalizacja wsi. PZITS, Poznań.
2. Bruce A.M., Merckens J.C. 1973. Further Studies of Partial Treatment of Sewage by High-Rate Biolog-

- ical Filtration. *Water Pollution Control*, 72(5), 499.
3. Eckenfelder W.W., Jr. 1961. Trickling Filtration Design and Performance. *Journal of the Sanitary Engineering Division, Proc. ASCE*, 87(SA4), 33.
4. Germain J.E. 1966. Economical Treatment of Domestic Waste by Plastic-Medium Trickling Filters. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 38(2), 192.
5. Galler W.S., Gotaas H.B. 1964. Analysis of Biological Filter Variables. *Journal of the Sanitary Engineering Division, Proc. ASCE*, 90(SA4), 59.
6. Heidrich Z., Kuszniak W. 2006. Złoża biologiczne poradnik projektanta. www.terracon-pol.com/data/files/z_o_a_biologiczne_poradnik_projektanta.pdf Dostęp: 13.12.2015.
7. Hämmerling M., Spychała M. 2015. Wykorzystanie Wielokryterialnej metody podejmowania decyzji (AHP) do wyboru przydomowej oczyszczalni ścieków z odprowadzaniem ścieków do gruntu. *Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus* 14(4), w druku.
8. Joint Task Force of the Water Environment Federation and the American Society of Civil Engineers 1992. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants: Volume II. Chapters 13–20, WEF Manual of Practice No. 8, ASCE Manual and Report on Engineering Practice No. 76. Water Environment Federation, Alexandria, VA; American Society of Civil Engineers, New York.
9. Kopec Ł. 2009. Wpływ recyrkulacji zewnętrznej na jakość ścieków w oczyszczalniach Bioclere. *Śródkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska*, Tom 11, 1373–1380.
10. Laak R. 1986. Wastewater Engineering Design for Unsewered Areas. Technomic Publ. Co., Basel-Lancaster.
11. Puchlik M., Ignatowicz K. 2014. Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska. Praca zbiorowa pod redakcją T.M. Traczewskiej i B. Kaźmierczaka. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
12. RMŚ 2014. 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).
13. Spychała M., Błażejowski R., Nawrot T. 2013. Performance of innovative textile biofilters for domestic wastewater treatment. *Environmental Technology*, 34(2), 157–163.
14. Spychała M., Łucyk P. 2015. Effect of thickness of textile filter on organic compounds and nutrients removal efficiency at changeable wastewater surface level. *Nauka Przyroda Technologie*, Tom 9, z. 3, 44.

15. Spychała M. 2016. Skuteczność filtrów włókninowych do oczyszczania ścieków w warunkach stałego poziomu piętrzenia. *Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus* 15(1), w druku.
16. US EPA 2002. Onsite Wastewater Treatment Systems Manual. www.norweco.com/pdf/epa/625R00008.pdf Dostęp: 13.12.2015.
17. Viessman Jr. W., Hammer M.J. 1998. *Water Supply and Pollution Control*. Addison-Wesley.