

Agnieszka KARCZMARCZYK

Katedra Kształtowania Środowiska, SGGW w Warszawie
Department of Environmental Improvement, WULS – SGGW

Ocena wybranych technologii stosowanych w przydomowych systemach oczyszczania ścieków na podstawie słów kluczowych inżynierii ekologicznej

Key words of ecological engineering as a base for assessment of on-site wastewater treatment technologies

Słowa kluczowe: energia, inżynieria ekologiczna, odpady, przydomowe oczyszczalnie, szkody w środowisku, ścieki, zasoby

Key words: energy, ecological engineering, waste, on-site treatment, environmental damages, wastewater, resources

Wprowadzenie

Inżynieria ekologiczna realizuje cele polegające na odtwarzaniu ekosystemów zniszczonych przez działalność człowieka oraz na tworzeniu zrównoważonych ekosystemów, które mają wartość zarówno z punktu widzenia człowieka, jak i ekologii (Mitsch 2012). Założenia inżynierii ekologicznej można zdefiniować jako: uzyskanie wysokich efektów (np. oczyszczenie ścieków) przy wykorzystaniu niewielkiej ilości energii ze źródeł zewnętrznych oraz zasobów (na

inicjację procesu oczyszczania np. zbudowanie oczyszczalni), przy produkcji mniejszej ilości odpadów (np. osadów ściekowych) i przy jak najmniejszych stratach w środowisku. Energię, zasoby, odpady i szkody w środowisku można uznać za kluczowe w przypadku technologii, które nie tylko rozwiązują problemy środowiskowe, ale również minimalizują obciążenie środowiska.

Według założeń inżynierii ekologicznej wkład energii ze źródeł zewnętrznych w funkcjonowanie systemu powinien być możliwie mały i jednorazowy, tylko na stworzenie warunków i stymulację procesów. Funkcjonowanie systemu natomiast powinno być oparte na bezpośrednio dostępnych naturalnych źródłach energii (Odum i in. 1963). Należy tu zwrócić uwagę, że nawet energia odnawialna dostarczana ze źródeł zewnętrznych nie spełnia tych kryteriów,

gdyż do jej uzyskania potrzebne są urządzenia w postaci kolektorów słonecznych czy turbin wiatrowych, których produkcja wywiera istotny wpływ na środowisko w postaci zużycia surowców (woda, minerały), energii (ropa, węgiel) oraz wytwarzanych emisji (ścieki, odpady, emisje do atmosfery).

Realizacja założeń inżynierii ekologicznej jest zbieżna z ideą zrównoważonego rozwoju. Rozwiązania zrównoważone to takie, które minimalizują zużycie i degradację zasobów, jednocześnie unikając rozprzestrzeniania problemu w czasie i przestrzeni (Balkema i in. 2002). W świetle tych założeń technologie dedykowane oczyszczaniu ścieków w miejscu ich powstawania spełniają tę zasadę. W pracy przedstawiono porównanie najczęściej stosowanych w Polsce

przydomowych oczyszczalni ścieków, na podstawie wkładu energii ze źródeł zewnętrznych, zużycia zasobów, generowania odpadów i ewentualnych szkód wywoływanych w środowisku.

Material i metody

Do porównania wybrano technologie oczyszczania ścieków najczęściej stosowane w Polsce w systemach przydomowych: filtr piaskowy pionowy, osad czynny w metodzie SBR, złożo biologiczne niskoobciążone, oczyszczalnię hydrofitową z przepływem podpowierzchniowym oraz drenaż rozsączający. Zestawienie parametrów charakterystycznych dla wybranych technologii przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Ogólna charakterystyka wybranych technologii przydomowych oczyszczalni ścieków
TABLE 1. General characteristic of assessed technologies used in on-site treatment

Technologia Technology	Filtr piaskowy Sand filter	Złożo biologiczne lub osad czynny Trickling filter or Activated sludge	Oczyszczalnia hydrofitowa Constructed wetland	Drenaż rozsączający Soil infiltration system
Parametry charakterystyczne Characteristic parameters				
1	2	3	4	5
Możliwość sterowania procesem oczyszczania Control of treatment process possible	-	+	-	-
Prosta konstrukcja i działanie niewymagające wykwalifikowanej obsługi Simple construction and maintenance	+	-	+	+
Wrażliwość na zmienne obciążenie hydrauliczne i ładunkiem BZT HLR and BOD load sensitivity	-	+/-	-	-
Wrażliwość na przerwy w dostawie energii Sensitivity to energy supply	-	+	-	-

TABELA 1 cd.

1	2	3	4	5
Możliwość kontroli jakości oczyszczonych ścieków Possible control of treatment efficiency	+	+	+	-
Ryzyko kolmatacji złoża filtracyjnego Risk of clogging	+	-	+	+
Konieczność zagospodarowania osadu po biologicznym oczyszczaniu Necessity of biological sludge utilization	-	+	-	-

Objaśnienia / Explanations: + potwierdzenie, – negacja / + positive, – negative.

Filtr piaskowy pionowy (FP). Oczyszczanie ścieków zachodzi w specjalnie skonstruowanym zbiorniku lub uszczelnionej niecce. Ścieki rozprowadzane są perforowanymi rurami na powierzchni filtru, następnie infiltrują przez warstwę specjalnie dobranego piasku, po czym zbierane są przy dnie za pomocą rur drenażowych ułożonych w warstwie filtracyjnej i odprowadzane do odbiornika.

Oczyszczalnia z osadem czynnym (OC). Podstawowy układ oczyszczania składa się z trzech części: osadnika wstępnego, komory osadu czynnego (z napowietrzaniem) i osadnika wtórnego. Do zawracania części osadu konieczna jest pompa. Nadmiar osadu usuwa się z układu oczyszczania. Sekwencyjne reaktory biologiczne (SBR) działają według cyklu kolejnych faz następujących po sobie: napełniania komory bioreaktora, natleniania, sedymentacji osadu, zrzutu oczyszczonych ścieków do odbiornika, okresowego usuwania osadu nadmiernego. System SBR jest szczególnie polecany dla oczyszczalni przydomowych ze względu na odporność na

zmienność składu ścieków (Błażejewski 2003, Mucha i in. 2012).

Złoże biologiczne (ZB). Złóża biologiczne są urządzeniami do tlenowego oczyszczania ścieków. Ich wypełnienie stanowi wyselekcjonowany materiał naturalny lub sztuczny w postaci kształtek z tworzyw sztucznych (Łomotowski i Szpindor 1999). W instalacjach przydomowych stosuje się złoża zraszane wyposażone w zraszacz obrotowy, który ma za zadanie równomiernie rozprowadzać ścieki po całej powierzchni złoża, złoża zanurzone oraz złoża zalewane. Oczyszczanie ścieków odbywa się na powierzchni błony biologicznej rozwiniętej na złożu. Przerośnięta błona biologiczna odrywa się od złoża i jest oddzielana od ścieków w osadniku wtórnym. Część błony biologicznej, jako osad, jest przepompowywana do osadnika wstępnego, a część może być zawracana na złożo, żeby zapewnić w nim odpowiednią koncentrację mikroorganizmów. Oczyszczone ścieki są odprowadzane do odbiornika.

Oczyszczalnia hydrofitowa z podpowierzchniowym przepływem ścieków (typu HF lub VF). Systemy hydrofitowe

z podpowierzchniowym przepływem ścieków to porośnięte roślinnością uszczelnione złoża, w których przepływ ścieków odbywa się w strefie korzeniowej roślin. W zależności od kierunku przepływu ścieków wyróżnia się złoża pionowe (VF) i poziome (HF). Oczyszczanie ścieków jest wynikiem procesów fizycznych, biologicznych i chemicznych, zachodzących podczas przepływu ścieków przez strefę korzeniową. Oczyszczone ścieki są zbierane i odprowadzane do odbiornika.

Drenaż rozsączający (DR). Drenaż rozsączający jest urządzeniem służącym wprowadzeniu ścieków do ziemi pod jej powierzchnią. Składa się z systemu perforowanych rur ułożonych na warstwie rozsączającej z materiału gruboziarnistego (żwir, kamienie), która ułatwia rozproszczenie ścieków w gruncie. Działanie tego systemu zależy od rodzaju gruntu, a zakres jego stosowalności jest ograniczony przepuszczalnością gruntu i poziomem wód gruntowych.

W założeniu każda z tych technologii powinna występować w zestawie z osad-

nikiem, który zapewni wstępne oczyszczenie ścieków. Nie jest on przedmiotem opracowania, ale osad wstępny jest odpadem i został uwzględniony w analizie. Z punktu widzenia specyfiki obszarów wiejskich (problemy z dostawą energii elektrycznej, nierównomierność jakości i ilości produkowanych ścieków) technologie polegające na oczyszczaniu ścieków w środowisku gruntowym i bagiennym są bardziej bezpiecznym rozwiązaniem, jednak technologie konwencjonalne dają możliwość sterowania procesem oczyszczania.

Porównanie technologii oparto na słowach kluczowych inżynierii ekologicznej. Analizowano zużycie energii i zasobów, powstawanie odpadów i inne rodzaje presji na środowisko na etapie eksploatacji oczyszczalni. Efektywność oczyszczania ścieków w granicach określonych prawem (Rozporządzenie 2006) przyjęto jako warunek nadrzędny. Każde z analizowanych słów kluczowych oceniano w skali od 1 do 5, przyporządkowując punkty według kryteriów zestawionych w tabeli 2. Ocena 5 odpowiada

TABELA 2. Parametry charakteryzujące metodę oceny
TABLE 2. Parameters characterising method of assessment

Kategoria Category	Energia Energy	Zasoby Resources	Odpady Waste	Szkody Damages
1	2	3	4	5
Punkty za zdarzenie Points per event	Energia elektryczna Electricity	Wykorzystanie powierzchni ziemi Land use	Osady ściekowe Biological sludge	Odór, hałas, ryzyko awarii, utrata skuteczności oczyszczania Odour, noise, risk of breakdown, lost of treatment efficiency
1	> 1,8 kWh·d ⁻¹	> 20 m ²	osad wywożony taborem asenizacyjnym sludge transported by trucks to WWTP	duże ryzyko, skutki trwałe high risk, durable effect

TABELA 2 cd.

1	2	3	4	5
2	1,2–1,8 kWh·d ⁻¹	15–20 m ²	osad częściowo zagospodarowany sludge partially utilized on site	znaczne ryzyko, skutki krótkotrwałe considerable risk, short-term effect
3	0,6–1,2 kWh·d ⁻¹	10–15 m ²	osad w całości zagospodarowany sludge utilized on site	średnie ryzyko, zasięg i czas oddziaływania ograniczony average risk, limited effect
4	0,3–0,6 kWh·d ⁻¹	5–10 m ²	powstaje tylko osad mechaniczny no sludge is generated in biological treatment	małe ryzyko, czas oddziaływania bardzo ograniczony low risk, low effect
5	< 0,3 kWh·d ⁻¹	< 5 m ²	nie powstają osady no sludge is generated in treatment system	nie występują no risk, no effect

idealnemu scenariuszowi „0”. Kategorie odpady i szkody scharakteryzowano w sposób opisowy, a energię i zasoby – w sposób liczbowy. Zużycie energii określono jako procent przeciętnego dobowego zużycia energii w gospodarstwie domowym (Zużycie energii... 2012). Ocena najniższa odpowiada zwiększeniu dobowego zużycia energii o ponad 30%. W przypadku zasobów jako podstawowy wskaźnik we wszystkich technologiach uznano wykorzystanie powierzchni ziemi. Określono ją w stosunku do przeciętnej wielkości działki w Polsce (Polski rynek... 2009). Ocena 1 odpowiada wykorzystaniu więcej niż 2% powierzchni działki. W przypadku rozbieżności danych przyjmowano wariant najmniej korzystny. Ocenę przeprowadzono w dwóch wariantach: w wariantcie 1. przeciętnym, odpowiadającym panującym realiom, oraz w wariantcie 2., uwzględniającym zredukowanie powierzchni

oczyszczalni na podstawie powierzchni biologicznie czynnej oraz zagospodarowania powstających osadów w miejscu ich powstawania.

Zużycie energii i zasobów. Zużycie energii w złożach biologicznych i systemach SBR określono w tabeli 3. Dla oczyszczalni z filtrem piaskowym i systemów hydrofitowych VF przyjęto okresowe doprowadzanie ścieków przy użyciu pompy pływakowej pracującej 1 godzinę w ciągu doby.

W przypadku wszystkich wymienionych technologii istotnym elementem jest wykorzystanie zasobu w postaci powierzchni ziemi. Przykładowe powierzchnie niezbędne do prawidłowego zainstalowania i funkcjonowania omawianych technologii zestawiono w tabeli 3. W analizowanych przypadkach pominięto stosowane czasami w małych oczyszczalniach biopreparaty i koagulanty.

Wytwarzanie odpadów. Procesom oczyszczania ścieków może towarzyszyć powstawanie osadu ściekowego. W małych oczyszczalniach ścieków, gdzie głównym celem jest usunięcie zawiesin i obniżenie ChZT i BZT₅, może powstawać osad wstępny (wynik sedimentacji łatwo opadających zawiesin) oraz osad wtórny (po biologicznym oczyszczaniu ścieków). Oba rodzaje osadów powstają w przypadku oczyszczania ścieków na złożach biologicznych i w technologii osadu czynnego (Heidrich i Tiunajtis 2008). Ilość osadów powstających w wymienionych typach obiektów zestawiono w tabeli 3. W pozostałych technologiach (filtr piaskowy, systemy hydrofitowe, drenaż rozsączający) powstaje tylko osad wstępny w ilości

od 24,2 do 39,6 g s.m.·M⁻¹·d⁻¹ (Heidrich i Tiunajtis 2008).

Szkody w środowisku. W analizie potencjalnych szkód w środowisku uwzględniono możliwość występowania odoru, hałasu oraz ryzyko awarii. Odór w oczyszczalniach ścieków jest uciążliwy, głównie w części mechanicznej, w okolicach pompowni oraz w ciągu osadowym. W przydomowych oczyszczalniach emisja odoru może zachodzić głównie w czasie opróżniania osadnika wstępnego. Hałas trwale może towarzyszyć jedynie w przypadku pracy sprężarek (w oczyszczalni z osadem czynnym). Ryzyko awarii w oczyszczalniach klasycznych związane jest z usterką urządzeń mechanicznych oraz systemu sterowania. Często jest ono związane

TABELA 3. Zestawienie wybranych parametrów charakteryzujących omawiane technologie (na podstawie folderów informacyjnych firm instalujących analizowane systemy w Polsce)

TABLE 3. Characteristic of chosen parameters for assessment (based on information materials from companies distributing analysed technologies in Poland)

Technologia Technology	Zużycie energii Use of energy	Powierzchnia jednostkowa (i/lub minimalna) Unit land use (and/or minimal)	Odpady (osad ściekowy wtórny) Waste (biological sludge)
Filtr piaskowy (pionowy) Vertical sand filter	0,5 kWh·d ⁻¹	2,0–2,5 (nie mniej niż 20 m ²) (not less than 20 m ²)	–
System hydrofitowy HF HSF constructed wetland	niekonieczne not necessary	4,0–5,0 m ² ·M ⁻¹ (nie mniej niż 25 m ²) (not less than 25 m ²)	–
System hydrofitowy VF VF constructed wetland	0,5 kWh·d ⁻¹	1,0–3,0 m ² ·M ⁻¹ (nie mniej niż 15 m ²) (not less than 15 m ²)	–
Osad czynny (SBR) Activated sludge (SBR)	1,0–3,0 kWh·d ⁻¹	łącznie 6,0–10,0 m ² all-in 6,0–10,0 m ²	10,6 dm ³ ·M ⁻¹ ·d ⁻¹
Złoże biologiczne (niskoobciążone) Trickling filter	1,3–1,5 kWh·d ⁻¹	łącznie 6,0–15,0 m ² all-in 6,0–15,0 m ²	2,7 dm ³ ·M ⁻¹ ·d ⁻¹
Drenaż rozsączający Soil infiltration system	niekonieczne not necessary	zależna od warunków gruntowych depends on site soil	–

z brakiem energii elektrycznej. W pozostałych oczyszczalniach ryzyko awarii związane jest zwykle z kolmatacją materiału filtracyjnego, wywołaną wadliwą pracą osadnika wstępnego. Najwyższe ryzyko takiej awarii występuje w przypadku drenażu rozsączającego, ponieważ ze względu na brak odpływu nie można zaobserwować sygnałów spowolnienia przepływu i utraty zdolności filtracyjnych gruntu pod drenażem.

Wyniki

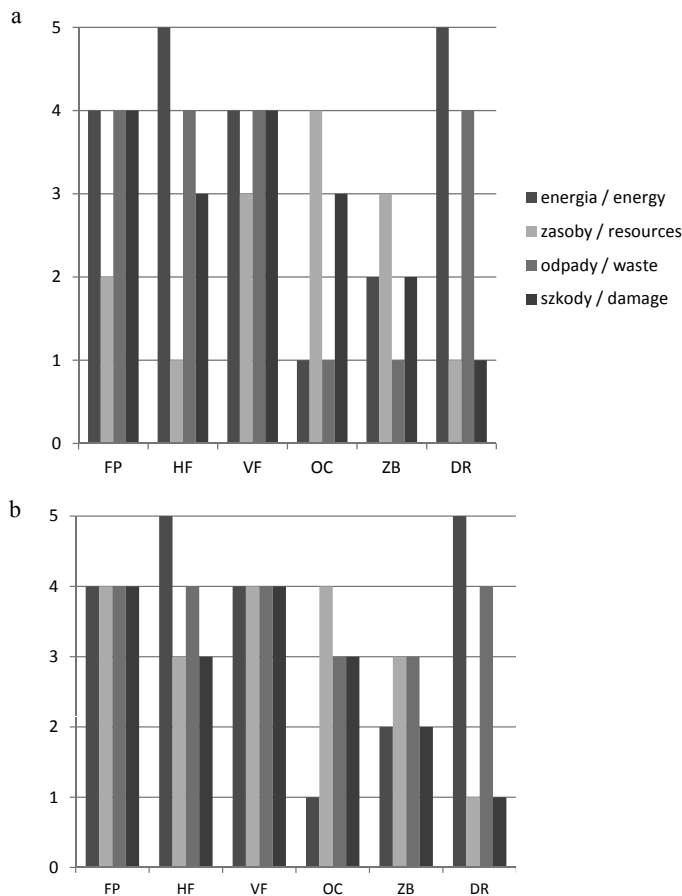
Najwyższą ocenę w kategorii „energia” uzyskał system hydrofitowy z przepływem podpowierzchniowym poziomym (HF) oraz drenaż rozsączający (DR). Są to technologie, w których przepływ ścieków może odbywać się dzięki sile grawitacji, niezależnie od konfiguracji terenu. System hydrofitowy z przepływem pionowym (VF) oraz filtr piaskowy (FP) do prawidłowego funkcjonowania wymagają zastosowania pompy działającej okresowo. Oczyszczalnie oparte na technologiach konwencjonalnych: z osadem czynnym lub złożem biologicznym (OC i ZB) zużywają energię elektryczną na stałą lub okresową pracę pomp i/lub sprzężarek. Te oczyszczalnie uzyskały oceny najniższe (rys. 1).

Żużycie zasobów w postaci wykorzystania powierzchni ziemi jest większe w przypadku technologii niekonwencjonalnych, które powierzchnią kompensują małe zapotrzebowanie na energię ze źródeł zewnętrznych. Ich działanie opiera się na energii słońca, gleby, mikroorganizmów i roślin, a te potrzebują miejsca, by funkcjonować. Dlatego ocena przyznana systemom najprostszym (HF oraz DR, FP) jest najniższa (rys. 1a).

W drugim wariancie do oceny przyjęto, że powierzchnia zajmowana przez systemy naturalne (HF, VF, DR, FP) może zostać wliczona do powierzchni biologicznie czynnej działki (wliczono 50% zajmowanej powierzchni), a ocenę punktową wykonano dla powierzchni zredukowanej o połowę (rys. 1b).

W kategorii „odpady” żadna z technologii nie uzyskała najwyższej oceny, gdyż generują one co najmniej osady wstępne w nierozłącznie powiązonym z nimi oczyszczaniu mechanicznym. Najniższe noty uzyskały systemy oparte na osadzie czynnym (OC) i złożach biologicznych (ZB), generujące również osady po oczyszczeniu biologicznym. Zastosowana do oceny metoda uwzględnia możliwość zagospodarowania osadów w miejscu ich powstawania, i taki przypadek rozpatrzono w wariancie drugim analizy (rys. 1b).

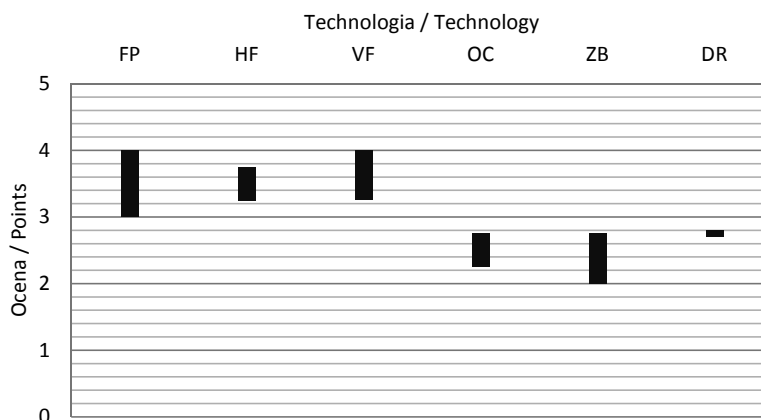
W kategorii „szkody w środowisku” najniższą ocenę uzyskał drenaż rozsączający (DR). Przyczyną tak niskiej oceny jest specyfika systemu, a konkretnie brak możliwości kontroli pracy urządzenia. Powoduje ona to, że w momencie gdy zaobserwuje się skutki w postaci na przykład podtopienia instalacji, zwykle jest już za późno na interwencję. Niską ocenę uzyskały również technologie klasyczne (OC i ZB), bo ich działanie jest zależne od dostawy energii elektrycznej. System OC (SBR), który jest mniej wrażliwy na skład i ilość ścieków uzyskał ocenę o jeden punkt wyższą niż ZB. System hydrofitowy z przepływem poziomym (HF) uznano za system łatwiej ulegający kolmatacji niż filtry pionowe: hydrofitowe (VF) i piaskowe (FP), głównie ze względu na mniejszą powierzchnię strefy rozprowadzenia ścieków.



RYSUNEK 1. Wynik oceny punktowej wybranych technologii w kategoriach: energia, zasoby, odpady, szkody w środowisku: a – wariant 1, b – wariant 2; 1 – ocena najniższa, 5 – ocena najwyższa
 FIGURE 1. Result of assessment of on-site treatment technologies in categories: energy, resources, waste and damage to environment: a – variant 1, b – variant 2; 1 – the lowest note, 5 – the highest note

Ocenę wykonano dla warunków przeciętnych (realnych) oraz z uwzględnieniem kompensacji terenu i zagospodarowania osadów ściekowych. Wynikiem oceny są przedziały, w których mieszczą się analizowane technologie (rys. 2). W końcowej ocenie systemy można uszeregować następująco: VF > FP > HF > DR > OC > ZB. W obydwu analizowanych wariantach najlepszą ocenę uzyskała oczyszczalnia hydrofito-

wa z przepływem podpowierzchniowym pionowym. System z przepływem poziomym ma niższą ocenę ze względu na większą zajmowaną powierzchnię i większe ryzyko kolmatacji strefy rozpraszającej złoża. Stosunkowo wysoką ocenę na podstawie kryteriów inżynierii ekologicznej uzyskał drenaż rozsączający. Decydujące tu były słowa kluczowe: energia i odpady. Wybór drenażu rozsączającego do zestawu ocenia-



RYSUNEK 2. Wynik oceny technologii przydomowych oczyszczalni ścieków na podstawie słów kluczowych inżynierii ekologicznej (według analizowanych wariantów)

FIGURE 2. Result of assessment of on-site wastewater treatment systems based on key words of ecological engineering (limits are the result of analyzed variants)

nych technologii jest wynikiem założenia, że jako system oczyszczania ścieków jest „efektywny” w rozumieniu uregulowań prawnych zapisanych w Rozporządzeniu (2006). Małe wymagania dotyczące odprowadzania ścieków do ziemi (określone jedynie minimalne redukcje zawiesin i wskaźnika BZT₅) powodują, że według polskiego prawa sam drenaż nie musi ścieków oczyszczać, może jedynie wprowadzać podczyszczone w osadniku ścieki do ziemi. Dyskusyjne jest zatem omawianie drenażu rozsączającego jako systemu oczyszczania ścieków, chociaż jest to najczęściej stosowane w Polsce rozwiązanie w oczyszczalniach przydomowych (Karczmarczyk i Mosiej 2011).

Przewaga technologii naturalnych nad konwencjonalnymi polega na tym, że nie wytwarzają one wtórnych osadów ściekowych. W przydomowych oczyszczalniach istnieje jednak możliwość zagospodarowania osadów w miejscu ich powstawania i wprowadzenia zawartych w nich składników pokarmowych do

obiegu biologicznego. Oczyszczalnie kontenerowe, zautomatyzowane, muszą być objęte kontrolą serwisową, co wpływa na koszty ich utrzymania. W przypadku oczyszczalni hydrofitowych zaleca się okresowe usuwanie roślinności. Jest to jednak czynność niewymagająca wykwalifikowanej obsługi. Czynnikiem decydującym będzie zatem zużycie energii elektrycznej i obciążenie środowiska związane z jej produkcją. Ryzyko awarii na skutek kolmatacji przy prawidłowej eksploatacji oczyszczalni jest znacznie mniejsze niż ryzyko zaistnienia przerwy w dostawie energii elektrycznej, co czyni metody naturalne bardziej adekwatnymi do stosowania na terenach wiejskich.

Dyskusja

W pracy wykorzystano słowa kluczowe stosowane w inżynierii ekologicznej jako podstawę do oceny i porównania najczęściej spotykanych rozwią-

zań technologicznych przydomowych oczyszczalni ścieków. Inżynieria ekologiczna promuje rozwiązania zrównoważone w rozumieniu ograniczonej konsumpcji zasobów i minimalnej produkcji odpadów. Ponadto każdy system służący oczyszczaniu ścieków w miejscu ich powstawania (przydomowa oczyszczalnia ścieków) jest zrównoważoną alternatywą dla transportu ścieków na duże odległości za pomocą systemów kanalizacyjnych. Zastosowana metoda oceny wydaje się mieć tę przewagę nad innymi metodami, skonstruowanymi na bazie wskaźników zrównoważonego rozwoju (Bradley i in. 2002, Błażejewski i Mazurkiewicz 2007, Muga i Mihelcic 2008), że nie uwzględnia aspektów społecznych innych niż jakość życia i środowiska (uwzględnione są one w kryterium nadrzędnym metody). W metodzie oceny wielokryterialnej zastosowanej przez Błażejewskiego i Mazurkiewicza (2007) kryterium społeczne uwzględnia liczbę miejsc pracy, co w przypadku przydomowych oczyszczalni ścieków wydaje się nie mieć racjonalnego wytłumaczenia. W obszarach o rozproszonej zabudowie i braku wykwalifikowanej obsługi prostotę eksploatacji należy traktować jako zaletę systemu. Takie podejście znajduje potwierdzenie w pracy Muchy i innych (2012), gdzie łatwość obsługi oraz niezawodność działania zostały uznane za kryteria o najwyższej wadze w metodzie oceny wielokryterialnej technologii oczyszczania ścieków. Pozostałe analizowane w tej metodzie kryteria szczegółowe to: aspekty ekonomiczne, wpływ na środowisko, nowoczesność i estetyka rozwiązania (Mucha i in. 2012). Metody wielokryterialne znajdują zastosowanie nie tylko do wyboru tech-

nologii oczyszczania różnej ilości ścieków (od oczyszczalni przydomowych, przez systemy lokalne, aż do dużych obiektów tzw. grupowych), ale także do wariantu zagospodarowania ścieków na danym obszarze (Mucha i Iwanejko 2012) czy wyboru wariantu rozwiązania innych problemów środowiskowych, jak na przykład zagospodarowanie odpadów (Generowicz i in. 2011). Jednak im bardziej rozbudowana metoda, tym większa trudność jej stosowania i większa liczba informacji (w tym danych technicznych) niezbędnych do zgromadzenia. W przypadku wyboru technologii przydomowej oczyszczalni ścieków maksymalne uproszczenie metody czyni ją bardziej użyteczną w rękach indywidualnego użytkownika.

Wnioski

1. Słowa kluczowe inżynierii ekologicznej mogą być wykorzystane do oceny technologii oczyszczania ścieków stosowanych w systemach przydomowych.

2. W kategorii „zużycie energii” najwyższą ocenę uzyskał system hydrofitowy z przepływem podpowierzchniowym poziomym oraz drenaż rozsączający. Obydwa systemy mogą funkcjonować bez energii dostarczonej ze źródeł zewnętrznych.

3. W kategorii „zużycie zasobów” najwyższą ocenę uzyskała kontenerowa oczyszczalnia oparta na technologii osadu czynnego (SBR).

4. W kategorii „produkcja odpadów” najwyższą notę uzyskały technologie naturalne (HF, VF, FP i DR). Żadna z technologii nie uzyskała oceny maksymalnej,

gdyż wszystkie generują osad ściekowy w oczyszczaniu wstępnym.

5. W kategorii „szkody w środowisku” najwyższe noty uzyskały systemy hydrofitowy z przepływem podpowierzchniowym pionowym oraz filtr piaskowy pionowy.

6. Wyniki przeprowadzonej oceny można wykorzystać w procesie decyzyjnym wyboru technologii dla przydomowej oczyszczalni ścieków.

Literatura

- BALKEMA A.J., PREISIG H.A., OTTER-POHL R., LAMBERT F.J.D. 2002: Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. *Urban Water* 4: 153–161.
- BŁAŻEJEWSKI R. 2003: Kanalizacja wsi. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Poznań.
- BŁAŻEJEWSKI R., MAZURKIEWICZ J. 2007: Wybór małej oczyszczalni ścieków dla terenów nieurbanizowanych. *Gaz, Woda, Technika Sanitarna*, styczeń: 22–26.
- BRADLEY B.R., DAIGGER G.T., RUBIN R., TCHOBANOGLOUS G. 2002: Evaluation of onsite treatment technologies using sustainable development criteria. *Clean Techn. Environ. Policy* 4: 87–99.
- GENEROWICZ A., KULCZYCKA J., BANACH M. 2011: Assessment of waste management technology using BATNEEC options, technology quality method and multi-criteria analysis. *Journal of Environmental Management* 92: 1314–1320.
- HEIDRICH Z., TIUNAJTIS K. 2008: Ilości osadów pochodzących z wiejskich oczyszczalni ścieków i kierunki ich unieszkodliwiania. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 5: 191–198.
- KARCZMARCZYK A., MOSIEJ J. 2011: Dobre praktyki w oczyszczaniu ścieków na obszarach wiejskich. Ekoinnowacje na Mazowszu. Poradnik dobrych praktyk w ochronie środowiska na Mazowszu: polskie i norweskie doświadczenia w transferze technologii. Wyd. Centrum Transferu Technologii i Rozwoju Przedsiębiorczości Politechniki Warszawskiej, Warszawa: 49–82.
- ŁOMOTOWSKI J., SZPINDOR A. 1999: Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków. Wydawnictwo Arkady, Warszawa.
- MITSCHE W.J. 2012: What is ecological engineering? *Ecological Engineering* 45: 5–12.
- MUCHA Z., IWANEJKO R. 2012: Zastosowanie metody AHP do wyboru systemu usuwania i oczyszczania ścieków z małej jednostki osadniczej. *Gaz, Woda, Technika Sanitarna*, październik: 444–447.
- MUCHA Z., MIKOSZ J., GENEROWICZ A. 2012: Zastosowanie analizy wielokryterialnej do wyboru technologii w małych oczyszczalniach ścieków. *Czasopismo Techniczne. Środowisko*, 1-Ś, 109, 4: 145–155.
- MUGA H.E., MIHELICIC J.R. 2008: Sustainability of wastewater treatment technologies. *Journal of Environmental Management* 88: 437–447.
- ODUM H.T., SILER W.L., BEYERS R.J., ARMSTRONG N. 1963: Experiments with engineering of marine ecosystems. *Publ. Inst. Marine Sci. Univ. Texas* 9: 374–403.
- Polski rynek działek i gruntów 2009. Raport Emmerston (www.emmerston.pl).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Dz.U. z 2006 r. nr 137, poz. 984.
- Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2009 r., 2012. GUS, Warszawa (www.stat.gov.pl).

Streszczenie

Ocena wybranych technologii stosowanych w przydomowych systemach oczyszczania ścieków na podstawie słów kluczowych inżynierii ekologicznej. Minimalizacja zużycia energii i zasobów, produkcji odpadów oraz szkód wywołanych w środowisku jest kluczowa w przypadku technologii, które nie tylko rozwiązują problemy środowiskowe, ale również minima-

lizują obciążenie środowiska, czyli technologii zrównoważonych. Na podstawie słów kluczowych stosowanych w inżynierii ekologicznej przeprowadzono ocenę i porównanie popularnych technologii oczyszczania ścieków w systemach przydomowych. Najlepszą ocenę uzyskały oczyszczalnia hydrofitowa z przepływem podpowierzchniowym pionowym i filtr piaskowy pionowy. Największy wpływ na wynik oceny miało zużycie energii.

Summary

Key words of ecological engineering as a base for assessment of on-site wastewater treatment technologies. Minimization of energy and resources use, waste generation and damage to environment is essential

in case of sustainable technologies. Such technologies not only solve environmental problems but also minimize pressure on environment. The assessment of most popular on-site wastewater treatment technologies was performed based on keywords of ecological engineering (energy, resource, waste, damage). The best systems are constructed wetland with vertical subsurface flow (VF) and vertical sand filter (FP). The result was strongly influenced by energy use in treatment plant.

Author's address:

Agnieszka Karczmarczyk
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Kształtowania Środowiska
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa,
Poland
agnieszka_karczmarczyk@sggw.pl