

Rozwiązania gospodarki ściekowej na obszarach niezurbanizowanych

Małe oczyszczalnie ścieków zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju

Wastewater treatment and management solutions for non-urban areas. Small wastewater treatment plants in accordance with the principles of sustainable development

Wiele małych gmin wiejskich w Polsce nie ma jeszcze prawidłowo rozwiązane problemu oczyszczania ścieków. Obszary te często nie są dostatecznie skanalizowane, brakuje również lokalnych, małych oczyszczalni, które przyczyniłyby się do poprawy i utrzymania dobrego stanu wód zgodnie z Ramową Dyrektywą Wodną 2000/60/WE. Ten aspekt powinien stanowić priorytet w gospodarce ściekowej gmin.

Gospodarka ściekowa na obszarach niezurbanizowanych jest zagadnieniem, z którym nadal muszą mierzyć się zarówno sami mieszkańcy, jak i lokalne władze. Aspekt ekonomiczny stał się obecnie jednym z najważniejszych przy wyborze układu oczyszczania ścieków. Niezwykle ważne jest dobranie optymalnych finansowo rozwiązań do konkretnych sytuacji i obszarów zastosowań. Gospodarka ściekowa w miastach powinna być realizowana poprzez zbiorcze systemy sieci kanalizacyjnych, natomiast charakter obszarów wiejskich (niska gęstość zaludnienia i rozproszona zabudowa) sprawia, że projektowanie złożonych sieci kanalizacyjnych jest bardzo trudne, a co ważniejsze, nieopłacalne.

Rozpatrywany problem dotyczy niemałej liczby miejscowości, mamy w Polsce 1594 gmin o ludności do 10 000 mieszkańców (64,3% wszystkich). Natomiast miast o liczbie mieszkańców do 10 000 jest 510 (55,5%) [3].

Stan gospodarki ściekowej w Polsce

Odsetek ludności korzystającej z oczyszczalni ścieków stale wzrasta. W 2015 r. wynosił on 72,7%, przy czym w miastach jest to blisko 95% mieszkańców, natomiast na terenach

wiejskich 40%. Stan gospodarki ściekowej pod kątem korzystania z oczyszczalni ścieków w poszczególnych województwach przedstawiono na rys. 1 [4].

W tabeli 1 scharakteryzowano polskie miejscowości pod względem liczby funkcjonujących oczyszczalni ścieków dla analizowanych w artykule wielkości oczyszczalni (liczba mieszkańców do 10 000).

Warto zwrócić uwagę, że połowa (dokładnie 50,4%) oczyszczalni ścieków w Polsce obsługuje miasta mające do 10 000 mieszkańców. ▶▶

Streszczenie

Tematem artykułu jest oczyszczanie ścieków bytowych na terenach o rozproszonej zabudowie. Omówiono dostępne technologie oczyszczania stosowane dla małych jednostek osadniczych. Scharakteryzowano i porównano pod względem ekonomicznym możliwe do zastosowania na takich obszarach rozwiązania gospodarki ściekowej, w tym małe, lokalne oczyszczalnie ścieków pracujące w technologii złóż hydrofitowych.

Abstract

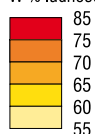
The subject of the article is treatment of domestic wastewater in areas with dispersed development. Available treatment technologies used for small-size settlements were discussed. Characterisation and comparison of feasible wastewater management solutions, in terms of economic cost-effectiveness was made, including small local wastewater treatment plants operating in treatment wetlands technology.

Ludność korzystająca z oczyszczalni ścieków

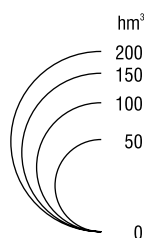
Polska

72,7%

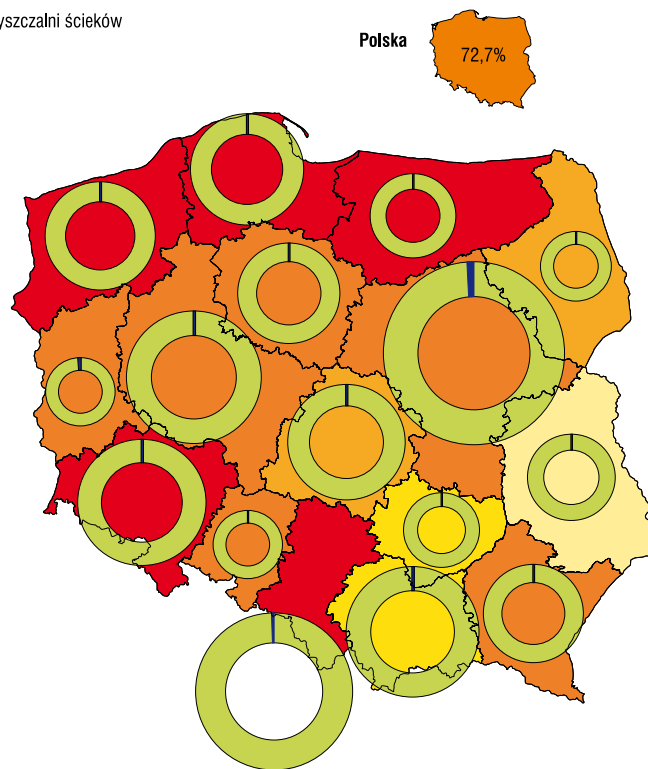
W % ludności ogółem



Ścieki odprowadzane siecią kanalizacyjną



W tym:



Rys. 1. Ludność korzystająca z oczyszczalni ścieków i stopień oczyszczenia ścieków odprowadzonych kanalizacją według województw w 2015 r. [3]

▶ Wśród wszystkich gmin wiejskich jednostki osadnicze, które użytkują obiekty oczyszczalni, stanowią 89%.

Na **rys. 2** przedstawiono ilościowo stosowane sposoby gospodarowania ściekami pochodzącymi z pojedynczych gospodarstw domowych w Polsce. W ciągu ostatnich kilku lat obserwuje się znaczący spadek liczby eksploatowanych zbiorników bezodpływowych, natomiast wzrasta liczba indywidualnych oczyszczalni ścieków.

Liczba zbiorników bezodpływowych spadła z ok. 2192 tys. w 2014 r. do 2136 tys. w 2015 r. (o 2,6%), podczas gdy liczba przydomowych oczyszczalni ścieków wzrosła z ok. 181 tys. w 2014 r. do 203 tys. w 2015 r. (o 11,9%). Większość, bo prawie 85% przydomowych urządzeń do odprowadzania nieczystości zlokalizowana była na obszarach wiejskich. Znajdowało się tam ok. 84% ogółu zbiorników bezodpływowych i ok. 92% ogólnej liczby przydomowych oczyszczalni ścieków [3].

Dostępne technologie oczyszczania ścieków

Biologiczne oczyszczanie ścieków bytowych oraz komunalnych polega na usuwaniu zanieczyszczeń organicznych oraz związków biogennych, tj. azotu i fosforu, w postaci rozpuszczonej i cząsteczkowej (koloidy oraz zawiesiny). Zanieczyszczenia organiczne stanowią najważniejszą grupę zanieczyszczeń ścieków bytowych oraz komunalnych, ich znaczna część stosunkowo łatwo podlega procesom biologicznej biodegradacji. Obecnie oczyszczanie ścieków na obszarach o niewielkiej liczbie mieszkańców nadal skupia się przede wszystkim na konwencjonalnych sposobach (reaktory osadu czynnego czy złoża biologiczne) [2, 5]. Charakterystykę możliwych dla zastosowania technologii oczyszczania ścieków przedstawiono w **tabeli 2**.

Metoda osadu czynnego polega na usuwaniu zanieczyszczeń przez mikroorganizmy tworzące charakterystyczne skupiska, pływające w ściekach poddawanych oczyszczaniu. Zależnie od systemu procesy mogą być prowadzone w warunkach wyłącznie tlenowych lub wielofazowo – w warunkach beztlenowych, anoksycznych i tlenowych. Stąd konieczne są systemy napowietrzania (sprężonym powietrzem, mechaniczne – aeratory powierzchniowe, hydrauliczne) oraz mieszania osadu czynnego (żeby osad w bioreaktorach nie podlegał sedimentacji). Przy zastosowaniu tej metody wymagane są osadniki wtórne oraz układy recyrkulacji osadu czynnego i odprowadzania osadu nadmiernego [2, 6]. Najważniejsze elementy techniczne

układu oczyszczania z osadem czynnym przedstawiono na **rys. 3**.

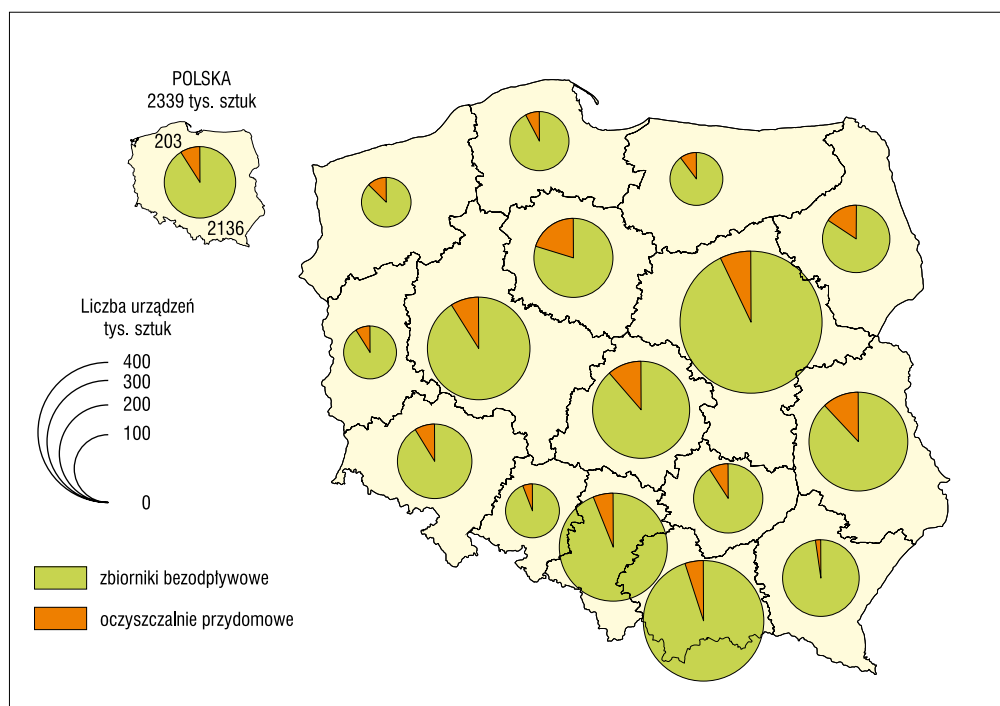
W związku z tym, że wzrost zespołów mikroorganizmów następuje w warunkach stałego przepływu ścieków, konwencjonalne oczyszczalnie z osadem czynnym są mało przydatne dla obszarów użytkowanych sezonowo, przede wszystkim ze względu na nierównomierność dopływu ścieków. Należy

podkreślić, że oczyszczalnie z osadem czynnym wymagają stałego obciążenia hydraulicznego oraz ładunkiem zanieczyszczeń [5, 7].

Usuwanie zanieczyszczeń organicznych metodą złożeń biologicznych odbywa się przy udziale mikroorganizmów bytujących na powierzchni specjalnego materiału wypełniającego złożo, tworząc błonę biologiczną. Oczyszczanie ścieków tą metodą polega

Wyszczególnienie	Ogółem	Miasta o liczbie ludności		
		poniżej 2000	2000–4999	5000–9999
Miasta	915	56	272	178
Obsługiwane przez oczyszczalnie ścieków:	913	55	271	178
– mechaniczne	1	–	–	1
– biologiczne	389	46	198	87
– z podwyższonym usuwaniem biogenów	523	9	73	90
Nieobsługiwane przez oczyszczalnie ścieków	2	1	1	–
Oczyszczalnie ścieków obsługujące miasta:	776	44	215	132
– mechaniczne	1	–	–	1
– biologiczne	388	40	173	76
– z podwyższonym usuwaniem biogenów	387	4	42	55
Gminy wiejskie obsługiwane przez oczyszczalnie ścieków:				
– mechaniczne			2	
– biologiczne			1241	
– z podwyższonym usuwaniem biogenów			698	
Razem Σ			1941	
Liczba gmin ogółem			2174	

Tabela 1. Oczyszczalnie ścieków w miastach i gminy obsługiwane przez oczyszczalnie ścieków w 2015 r. [4]



Rys. 2. Liczba gospodarstw domowych korzystających ze zbiorników bezodpływowych lub przydomowych oczyszczalni ścieków w 2015 r. [4]

na sorpcji zanieczyszczeń organicznych na powierzchni błony, a następnie ich wykorzystywaniu przez mikroorganizmy jako pokarmu. Zasadniczo proces oczyszczania ścieków na złożach biologicznych przebiega w warunkach tlenowych. Realizacja procesu biochemicznego rozkładu zanieczyszczeń wymaga zastosowania osadnika wtórnego lub mikrosita połączonego hydraulicznie ze złożem, w którym od oczyszczonych ścieków oddzielane są kawałki błony biologicznej. Stosuje się również urządzenia do recyrkulacji części oczyszczonych ścieków celem zmniejszenia stężenia zanieczyszczeń doprowadzanych oraz uzyskania obciążenia hydraulicznego umożliwiającego zrywanie części błony biologicznej [2, 6].

Obecnie najczęściej stosowane są układy oczyszczania ze złożem zanurzonym, zanurzonym fluidalnym i obrotowym. Schematyczne przekroje poprzeczne przez złożo zanurzone oraz obrotowe przedstawiono na **rys. 4 i 5**.

Złożo zanurzone jest rodzajem złoża biologicznego umieszczonego pod powierzchnią ścieków w sposób stały. W konstrukcjach tych najczęściej wykorzystuje się pakietowe wypełnienia z tworzyw sztucznych. W złożach zanurzonych napowietrzanie realizowane jest za pomocą sprężonego powietrza doprowadzonego od dołu poprzez rury perforowane lub dyfuzory drobnopełcherzykowe. Z kolei złożo obrotowe składa się z zestawu porowatych, częściowo zanurzonych w ściekach tarcz z wykształconą błoną biologiczną. Podczas zanurzania następuje kontakt błony ze ściekami, a podczas wynurzania natlenianie błony. Jej nadmiar oderwany od obracających się tarcz jest zbierany w dolnej części zbiornika i okresowo przepompowywany. Tarcze napędzane są silnikiem elektrycznym lub wdmuchiwanym sprężonym powietrzem [5, 7].

Oczyszczalnie ze złożem biologicznym nie wymagają stałej specjalistycznej obsługi, jak w przypadku osadu czynnego, co wiąże się z niskimi kosztami eksploatacji. Pewne ograniczenia stosowania tej metody wynikają z powstawania osadów wstępnych i wtórnych oraz braku możliwości biologicznego usuwania fosforu ze ścieków [5].

Oczyszczanie ścieków w systemach hydrofitowych jest wynikiem współdziałania procesów mechanicznych, chemicznych i biologicznych zachodzących w środowisku gruntowo-wodnym przy udziale roślin. Wysokie efekty oczyszczania osiągnąć można zarówno w zakresie zawiesiny, materii organicznej wyrażonej w BZT₅ i ChZT, jak i związków biogennych. W oczyszczalniach hydrofitowych zachodzi dodatkowo wysoce efektywne

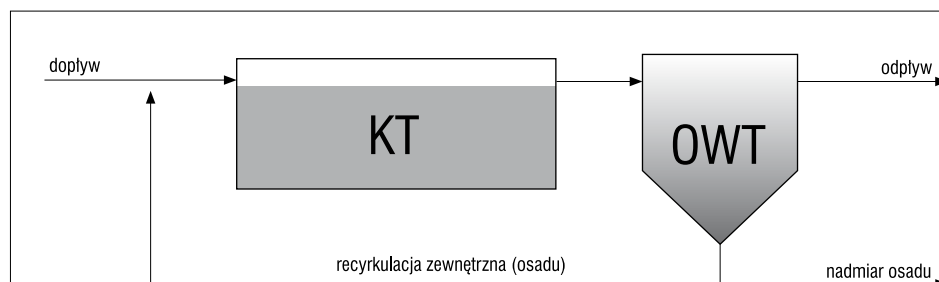
usuwanie ze ścieków metali ciężkich, które kumulują się w złożu lub/i roślinach.

W przeciwieństwie do tradycyjnych urządzeń biologicznych systemy hydrofitowe nie wytwarzają wtórnych osadów ściekowych. Do swej pracy nie potrzebują zasilania energią elektryczną lub potrzebują jej znikome ilości. Oczyszczalnie te charakteryzują się odpornością na nierównomierność dopływu ścieków, dlatego są przydatne dla obszarów wiejskich i rekreacyjnych, przy obiektach użytkowanych sezonowo, jak domy wczasowe, ośrodki wypoczynkowe itp. [8, 10, 11]. Przekrój przez typowe złożo hydrofitowe przedstawiono na **rys. 6**.

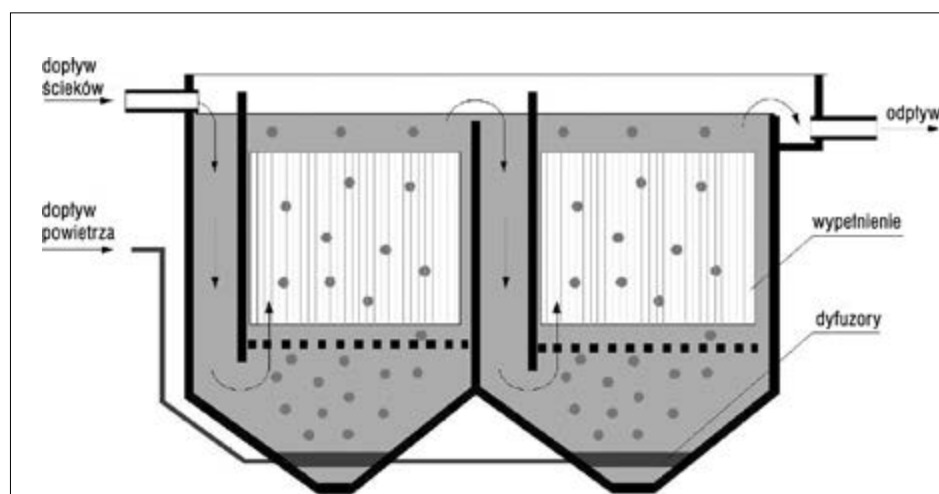
Technologia oczyszczalni hydrofitowych wpisuje się w założenia inżynierii ekologicznej co do uzyskiwania wysokich efektów (oczyszczania ścieków) przy wykorzystaniu niewielkiej ilości energii ze źródeł zewnętrznych oraz zasobów (na inicjację procesu oczyszczania – zbudowanie oczyszczalni), przy produkcji mniejszej ilości odpadów (osadów ściekowych) i przy jak najmniejszych stratach w środowisku. Przy zastosowaniu naturalnych metod oczyszczania ścieków możliwe jest uzyskanie najwyższego stopnia oczyszczenia przy minimalnym nakładzie kosztów, co wraz z pozostałymi wymienionymi wcześniej zaletami tego procesu stawia go na pierwszym

Kryteria porównawcze	Rodzaj oczyszczalni ścieków				
	filtr piaskowy	osad czynny	złożo biologiczne	system hydrofitowy	hydrofitowy system francuski
Koszty inwestycyjne	niskie	wysokie	wysokie	wysokie	wysokie
Koszty eksploatacyjne	niskie	wysokie	wysokie	niskie	niskie
Efektywność usuwania zanieczyszczeń	średnia	wysoka	wysoka	wysoka	wysoka
Osadnik wstępny	+	+	+	+	-
Osadnik wtórny	-	+	+	-	-
Zbiornik wyrównawczy	+	+	+	+/-	-

Tabela 2. Porównanie dostępnych technologii dla małych oczyszczalni ścieków [1]



Rys. 3. Schemat metody oczyszczania ścieków osadem czynnym; KT – komora tlenowa, OWT – osadnik wtórny [7]

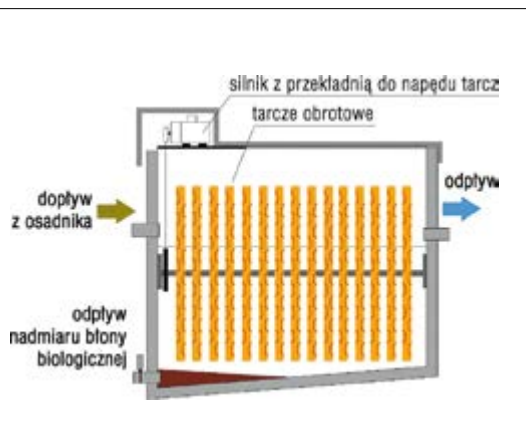


Rys. 4. Schemat napowietrzanego złoża zanurzonego [7]

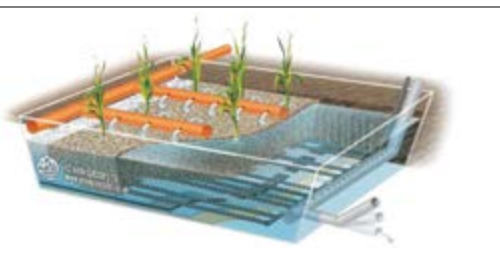
► miejscu obok metod osadu czynnego czy złóż biologicznych [9, 11].

Możliwe rozwiązania gospodarki ściekowej na obszarach nieurbanizowanych

Podstawą decyzji o wyborze odpowiedniego rozwiązania techniczno-technologicznego małej oczyszczalni ścieków powinna być staranna analiza rozwiązań z uwzględnieniem kryteriów zrównoważonego rozwoju, obejmujących w sposób zintegrowany aspekty technologiczne, środowiskowe, ekonomiczne



Rys. 5. Obrotowe złoże tarczowe [5]



Rys. 6. Schemat systemu hydrofitowego z pionowym przepływem ścieków [12]

i społeczne. Przedstawione na rys. 7 kryteria oceny stosowania i wyboru technologii oraz rozwiązań małych oczyszczalni uwzględniają zasady wyboru systemu oczyszczania ścieków zgodne z kryteriami zrównoważonego rozwoju [5].

Analizując gospodarkę wodno-ściekową na terenach o zabudowie rozproszonej, wyróżnić można trzy dostępne rozwiązania problemu oczyszczania ścieków bytowych [1]:

- wariant 1 – budowa lokalnej oczyszczalni ścieków wraz z siecią kanalizacyjną grawitacyjną i ciśnieniową,
- wariant 2 – budowa przydomowej oczyszczalni ścieków,
- wariant 3 – budowa szczelnych zbiorników bezodpływowych (szamb).

Analizę ekonomiczną poszczególnych wariantów przeprowadzono na przykładzie miejscowości liczącej 180 mieszkańców.

Wariant 1

Zastosowanie kanalizacji grawitacyjnej jest ekonomicznie uzasadnione wtedy, gdy sprzyjające jest ukształtowanie terenu, czyli

Koszt 1 m sieci grawitacyjnej [zł/m]	300
Koszt 1 m sieci ciśnieniowej [zł/m]	100
Średni koszt przepompowni [zł/sztuka]	5000
Indeks kosztów budowy zbiorczej oczyszczalni [zł]	1300
Średni koszt przyłączy kanalizacyjnych [zł/sztuka]	2500
Koszt inwestycyjny jednostkowy [zł]	6442

Tabela 3. Koszty inwestycyjne rozwiązania wg wariantu 1 [1]

spadek terenu w zlewni pokrywa się z kierunkiem transportu ścieków. W takim przypadku budowa lokalnej oczyszczalni wraz z siecią

grawitacyjną (i jeśli zachodzi konieczność – ciśnieniową) jest rozsądnym rozwiązaniem.

Największy wpływ na koszty całego przedsięwzięcia ma długość sieci kanalizacyjnej, bardzo często koszt jej wykonania znacznie przekracza nakłady potrzebne na wybudowanie samej oczyszczalni. Związane jest to oczywiście z rozproszoną zabudową osad wiejskich, gdzie znaczne odległości między gospodarstwami wymuszają konieczność budowy długich sieci kanalizacyjnych [1]. W tabeli 3 podano szacunkowe koszty inwestycyjne związane z wykonaniem sieci kanalizacyjnej i oczyszczalni ścieków.

Wariant 2

Przydomowe oczyszczalnie ścieków (tzw. POŚ) są definiowane jako obiekty obsługujące do 50 RLM, ich maksymalna przepustowość wynosi 5 m³/dobę (zgodnie z przepisami Prawa wodnego [13]). Istnieje kilka rodzajów możliwych do zastosowania oczyszczalni, dlatego należy zawsze przeanalizować wybór dla konkretnej miejscowości. W tabeli 4 zaprezentowano ogólne koszty trzech syste-

Rodzaj oczyszczalni	Koszty inwestycyjne na 1 gospodarstwo domowe [zł]	Koszty inwestycyjne na 1 mieszkańca [zł]
Komora osadu czynnego	14 000	3189
Złoże biologiczne	14 000	3189
Oczyszczalnia hydrofitowa	9000	2050

Tabela 4. Koszty inwestycyjne – wariant 2 [1]

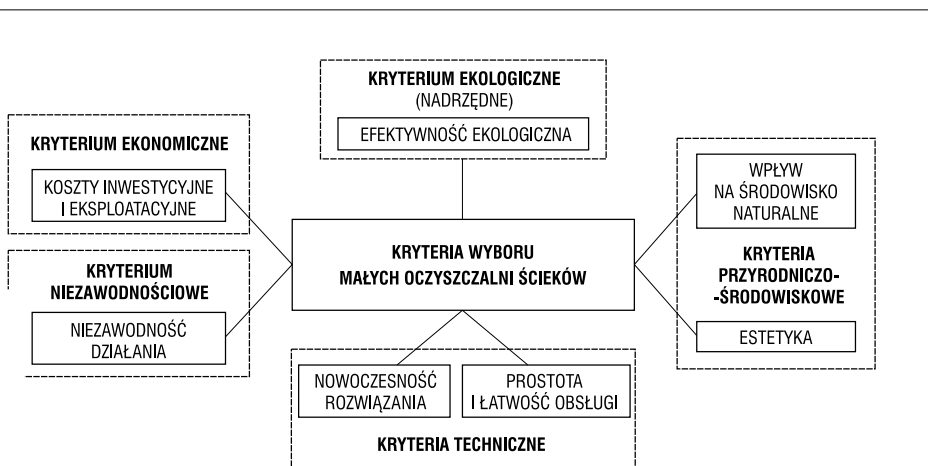
mów indywidualnych oczyszczalni ścieków proponowanych dla gospodarstw domowych.

Koszty inwestycyjne takich obiektów różnią się w zależności od rodzaju oczyszczalni: dla systemu hydrofitowego jest to ok. 2050 zł, a dla złoża biologicznego czy systemu osadu czynnego 3189 zł na 1 mieszkańca.

Wariant 3

Przy ustalaniu rzeczywistych kosztów inwestycji zbiornika bezodpływowego należy uwzględnić także budowę zbiorczej oczyszczalni, do której ścieki z tych zbiorników powinny być transportowane. Średni koszt inwestycyjny zastosowania zbiorników bezodpływowych w przeliczeniu na osobę wynosi ponad 2000 zł i jest porównywalny z kosztem budowy przydomowych oczyszczalni ścieków.

W odniesieniu do kosztów eksploatacyjnych jest to zdecydowanie najdroższe rozwiązanie – ok. 33 zł/m³, uwzględniając koszty gromadzenia i opłatę za oczyszczenie ścieków [1].



Rys. 7. Kryteria wyboru małych oczyszczalni ścieków zgodne z podstawowymi zasadami zrównoważonego rozwoju [5]

Wariant	Koszty inwestycyjne na 1 mieszkańca [zł]	Koszty eksploatacyjne na 1 mieszkańca [zł]	Koszty eksploatacyjne oczyszczania 1 m ³ ścieków [zł]
1	6441,67	619,77	21,23
2	2050-3189	63,21	2,17
3	2 277,78	832,50	28,51

Tabela 5. Podsumowanie kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych proponowanych rozwiązań [1]

W tabeli 5 podsumowano poszczególne rozwiązania pod względem koniecznych nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych.

Wariant 1 wydaje się rozwiązaniem najdroższym, ponieważ koszty inwestycyjne wynoszą w tym przypadku ok. 6442 zł na jednego mieszkańca, a roczne koszty eksploatacji również są wysokie. Największy wpływ na koszty eksploatacji ma roczna stawka amortyzacyjna (przyjmuje się najczęściej ok. 4,5%). Ponadto w przypadku lokalnej oczyszczalni ścieków istnieje potrzeba zatrudnienia wyspecjalizowanej kadry.

Analiza ekonomiczna prezentowanych opcji pokazuje znaczące różnice w kosztach unieszkodliwiania ścieków. Najwyższy jednostkowy wskaźnik inwestycyjny ma system sieciowy (wariant 1). Z kolei najniższe koszty inwestycyjne występują w wariantcie 2 (2050 zł na osobę). Z analizy kosztów eksploatacji wynika, że najwyższe nakłady finansowe związane są z utrzymaniem zbior-

ników bezodpływowych ze względu na ich specyfikę działania, natomiast koszty eksploatacji oczyszczalni hydrofitowych są niskie i wynoszą niewiele ponad 2 zł za 1 m³ ścieków.

Podsumowanie

Wybór sposobu oczyszczania ścieków na obszarach o zabudowie rozproszonej powinien się opierać na kryteriach środowiskowych (wpływ na środowisko naturalne i estetykę), kryteriach technicznych (prostota obsługi i konserwacji, jak również bezpieczeństwo w razie awarii) oraz ekonomicznych (koszty inwestycji i eksploatacji), a także kryterium niezawodności działania. W aspekcie finansowym powinny być brane pod uwagę zarówno koszty inwestycyjne, jak i koszty utrzymania.

Przeprowadzona analiza wykazała, że najlepszym rozwiązaniem gospodarki ściekowej na obszarach niezurbanizowanych jest w dłuższej perspektywie stosowanie indywidualnych

oczyszczalni ścieków pracujących w technologii złóż hydrofitowych.

Literatura

- Gajewska M., Kotecka K. i in., *Pre-feasibility study for treatment wetland application for wastewater treatment in dispersed development*, „Journal of Ecological Engineering” Volume 17, Issue 3, 2016, p. 79–86.
- Geneja M., *Technologia oczyszczania ścieków. Ścieki bytowe i komunalne. Materiały do wykładu z przedmiotu Technologia Wody i Ścieków*, Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Technologii Wody i Ścieków, Gdańsk 2014, s. 222–224, 232–233, 244.
- Główny Urząd Statystyczny, *Infrastruktura komunalna w 2015 r.*, Warszawa 2016.
- Główny Urząd Statystyczny, *Ochrona Środowiska 2016 r.*, Warszawa 2016.
- Grygorczuk-Petersons E., Boruszko D. i in., *Techniczne, prawne i ekonomiczne uwarunkowania stosowania przydomowych oczyszczalni ścieków*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 2015, s. 8, 38–39.
- Heidrich Z., *Zasady projektowania przydomowych oczyszczalni ścieków*, „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” nr 6/2004, s. 209–211.
- Miksch K., Sikora J., *Biotechnologia ścieków*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010, s. 111, 142.
- Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E., *Hydrofitowe oczyszczanie wód i ścieków*, PWN, Warszawa 2010, s. 1–4, 49–69, 130–146, 240–264.
- Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M. i in., *Nowe aplikacje technologii hydrofitowej w gospodarce komunalnej*, „Technologia Wody” nr 5, s. 39–45.
- Sadecka Z., *Zalety i wady oczyszczalni hydrobotanicznych*, „Ekotechnika” nr 4/2005, s. 24–27.
- Vymazal J., *Removal of nutrients in various types of constructed wetlands*, „Science of Total Environment”, 2007, 380, p. 48–65.
- www.enviropro.co.uk/entry/115537/ARM-Ltd/Forced-Bed-Aeration (11.01.2017).
- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (DzU 115/2001, poz. 1229, ze zm.).

XXV Międzynarodowe Targi Maszyn i Urządzeń dla Wodociągów i Kanalizacji w Bydgoszczy

16-18 maja 2017 www.targi-wod-kan.pl