62

20 lat doświadczeń z eksploatacji oczyszczalni hydrofitowych w Polsce[1]

Magdalena Gajewska, Hanna Obarska-Pempkowiak
Politechnika Gdańska

1. Wstęp

Ochrona zasobów wody w Polsce powoduje, że oczyszczanie ścieków w miejscu ich powstawania (u źródła) na obszarach niezurbanizowanych jest bardzo istotne. W tym celu, w okresie ostatnich dwudziestu lat, wprowadzane są oczyszczalnie hydrofitowe. Szacuje się, że liczba tych obiektów wynosi ponad 10 000 w Europie, a w Polsce ok. 1 000. Do zasiedlenia tych obiektów wykorzystywane są hydrofity (rośliny wodne i wodolubne) a w szczególności trzcina pospolita, rzadziej natomiast wiklina. Systemy hydrofitowe są stosowane najczęściej w drugim stopniu oczyszczania ścieków, chociaż jest wiele rozwiązań potwierdzających ich racjonalne zastosowanie w trzecim stopniu oczyszczania. Ścieki doprowadzane do złóż hydrofitowych są wstępnie oczyszczane, najczęściej w osadnikach gnilnych, osadnikach Imhoffa lub stawach.

Dotychczas udokumentowano, że najbardziej efektywne i stabilne działanie zapewniają Hybrydowe Systemy Hydrofitowe (HSH), a więc obiekty złożone z co najmniej dwóch filtrów wegetacyjnych ze zmiennym poziomym i pionowym przepływem ścieków [2÷5, 13]. W systemach hybrydowych złoża z poziomym przepływem ścieków typu HF-CW zapewniają one skuteczne usuwanie substancji organicznej, zawiesiny ogólnej oraz mogą tworzyć dogodne warunki do denitryfikacji. Natomiast w złożach z pionowym przepływem ścieków typu VF-CW tworzą się dogodne warunki do nitryfikacji. Efektywne na-

[1] Praca została wykonana ramach projektu badawczego finansowanego w ramach priorytetu „Badania naukowe" Mechanizmu Finansowego EOG i Norweskiego Mechanizmu Nr PL0271 i współfinansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr E033/P01/2008/02

tlenienie powoduje również bardzo skuteczne usuwanie substancji organicznej wyrażonej w BZT_5 i ChZT.

W większość europejskich obiektów hydrofitowych została zaprojektowana do oczyszczania ścieków bytowych pochodzących z jednostek o liczbie mieszkańców mniejszej niż 500. Jednak zdecydowana większość z nich obsługuje zwykle niewielkie jednostki osadnicze (poniżej 50 mieszkańców), lub domy jednorodzinne. Jedynie niewielka liczba obiektów jest przeznaczona do obsługi osiedli liczących powyżej 1000 mieszkańców [2].

Powszechnym problemem, na który napotykają właściciele domów na obszarach niezurbanizowanych stanowią warunki terenowe, które nie pozwalają na założenie kanalizacji. W takich sytuacjach stosowane lokalne oczyszczanie ścieków są przykładem wielu kłopotów eksploatacyjnych. Dlatego niezbędne są rozwiązania tanie, proste oraz wydajne i niezawodne. Oczyszczalnie hydrofitowe mogą być stosowane jako takie rozwiązanie.

Celem niniejszej pracy jest ocena działania dotychczas monitorowanych obiektów w Polsce. W pracy przedstawiono wyniki skuteczności usuwania zanieczyszczeń oraz problemy pojawiające się podczas ich eksploatacji w okresie ostatnich 20 lat.

2. Doświadczenie z eksploatacji obiektów jednostopniowych

Od końca lat osiemdziesiątych w Polsce powstało kilkadziesiąt obiektów hydrofitowych w postaci złóż z poziomym przepływem ścieków zwanych w literaturze angielskiej jako *horizontal flow constructed wetlands* (HF-CW) wykorzystywanych w II stopniu oczyszczania ścieków bytowych. Systemy te różnią się wielkością, od 5 M (mieszkańców) - budowane jako systemy zagrodowe do 2000 M - dla osiedli wiejskich. Niestety większość z nich nie jest monitorowana w sposób wystarczający i dlatego trudno jest określić ich efektywność. Wiele z powstałych obiektów było zaprojektowana na „wyczucie" i niezgodnie z zasadami projektowania. Tylko nieliczne z nich były zaprojektowane zgodnie z zasadami stosowanymi w Wielkiej Brytanii i Danii. Niska skuteczność usuwania związków azotu w wielu obiektach kształtowała złą opinię o idei oczyszczania ścieków w złożach hydrofitowych. Złagodzenie wymogów, co do jakości ścieków oczyszczonych odprowadzanych z małych obiektów poniżej 2000 RLM (Równoważnej Liczby Mieszkańców) Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 20 listopada 2002 r. (Dz. U. Nr 212, poz. 1799) otworzyło perspektywy dla ponownego rozwoju oczyszczania ścieków w tych obiektach.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

2.1 Obiekty przydomowe

Obiekty przydomowe zlokalizowane w okolicach Lublina i Ostrołęki, zostały zbudowane w ramach wspólnego projektu UNEP WHO i ówczesnego Ministerstwa Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa pt. „Sanitacja terenów wiejskich i poprawna gospodarka rolna". Kolejne obiekty przyzagrodowe zostały wybudowane k. Ciechanowa, wg projektu Instytutu Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa z Warszawy, gdzie zostały wprowadzone pewne modyfikacje dotyczące sposobu rozprowadzania ścieków i wypełnienia złoża. Powierzchnia jednostkowa tych obiektów (obiekty: 1÷ 7) w rejonie Ostrołęki i Lublina wynosiła 6,0 m^2/M zaś w rejonie Ciechanowa (obiekty: I, II, III i IV) - 4,5 m^2/M. Charakterystyka tych obiektów wraz z ich monitoringiem została przeprowadzona m.in. przez Obarską-Pempkowiak i Gajewską [11], oraz Obarską-Pempkowiak i in. [10].

Wiele z analizowanych obiektów nie pracowało prawidłowo. Główną przyczyną była niewłaściwa eksploatacja osadników gnilnych, brak odpowiednich trójników umożliwiających przepływ ścieków bez tłuszczów i zawiesin do filtrów hydrofitowych. Dopływ tych zanieczyszczeń był przyczyną zmniejszenia przewodności hydraulicznej zastosowanych materiałów filtracyjnych. Powodowało to niekiedy zmianę charakteru tych obiektów ponieważ zamiast zapewniać podpowierzchniowy przepływ ścieków umożliwiały tylko powierzchniowy przepływ ścieków. Dla tych systemów obowiązują odmienne zasady projektowania, budowy i eksploatacji.

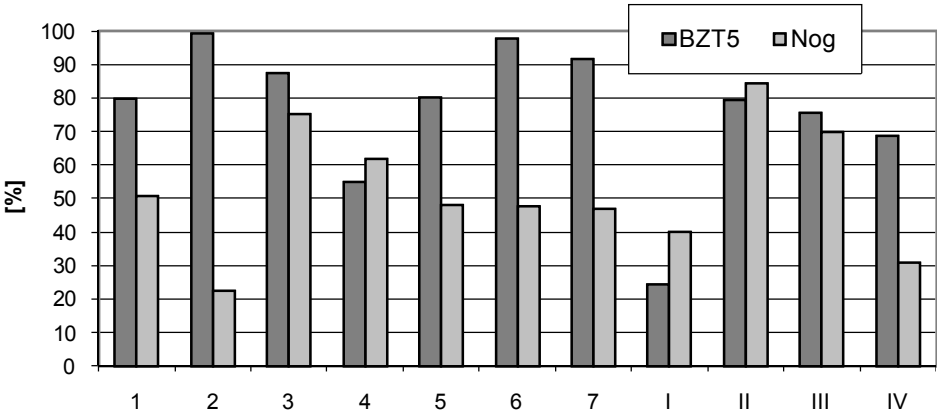
Uzyskane wyniki monitoringu w/w obiektów przyzagrodowych wykazały, że systemy hydrofitowe typu HF-CW stanowiące drugi stopień oczyszczenia ścieków zapewniały skuteczne usuwanie substancji organicznej wyrażonej w BZT_5 i ChZT oraz zawiesiny ogólnej. Efektywność usuwania BZT_5 wynosiła od 25,6 do 99,1%, średnio 62,4% w zakresie obciążeń od 11,2 do 115 kg O_2/ha·d. Natomiast skuteczność usuwania azotu ogólnego w tych obiektach była niższa i wynosiła od 22,4 do 84,2%, średnio 44,5% w zakresie obciążeń od 8,5 do 34,0 kg O_2/ha·d (tabela 1, rysunek 1).

Wydajność usuwania związków organicznych (BZT) oraz związków azotu (Nog) zmienia się w szerokim zakresie od 0,2 do 10,8 g BZT_5/m^2d oraz od 0,2 do 1,1 g Nog/m^2d. Średnie wartości tych wskaźników dla analizowanych obiektów wynoszą odpowiednio 3,5 g BZT_5/m^2d i 0,8 g Nog/m^2d i są zbliżone do danych podawanych w literaturze [1].

Do roku 2004 w Polsce nie stosowano w drugim stopniu oczyszczania jednostopniowych złóż hydrofitowych z pionowym przepływem ścieków, zwanych w literaturze angielskiej jako *vertical flow constructed wetlans* (VF-CW). Przeprowadzono tylko pilotowe badania, które zostały opisane przez Sorokę [16] i Kowalika i in. (2004). Średnia zdolność do usuwania substancji organicznej

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

wyrażonej w BZT_5 i N_{og} w badaniach Soroki [16] wynosiła odpowiednio 97,4% i 41,6% podczas gdy u Kowalika i in. (2004) dla ścieków w II stopniu oczyszczania wynosiła 89,1% i 76,1%, zaś w III stopniu oczyszczania wynosiła 93,8% i 79,1%.



Rys. 1. Skuteczność usuwania substancji organicznej oraz azotu ogólnego w przydomowych oczyszczalniach hydrofitowych (opracowanie własne)
Fig. 1. Efficiency of organic matter and total nitrogen removal in household wetland sewage treatment plants (own research)

Tabela 1. Usuwanie substancji organicznej wyrażonej w BZT_5 oraz Nog z 1 m^2 przydomowych obiektów hydrofitowych (opracowanie własne)
Table 1. Removal of organic matter (BOD) and Nog on 1 m^2 of household wetland sewage treatment plants (own research)

Obiekty przyzagrodowe					
k. Ciechanowa	k. Lublina	k. Ostrołęki	k. Ciechanowa	k. Lublina	k. Ostrołęki
BZT_5 [g/m^{2}d]			Nog [g/m^{2}d]		
I – 0,7	1 – 4,2	5 – 1,9	I – 2,2	1 – 0,6	5 – 0,8
II –3,4	2 – 8,2	6 – 2,7	II – 1,1	2 – 0,2	6 – 0,4
III –2,3	3 –10,8	7 – 0,2	III – 0,7	3 – 0,1	7 – 0,9
IV –0,4	4 – 2,1		IV – 0,6	4 – 1,1	

Badania te potwierdziły wysoką zdolności jednostopniowych złóż pionowych do usuwania zanieczyszczeń ze ścieków i są one obecnie chętnie stoso-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

wane jako systemy zapewniające oczyszczanie ścieków bytowych w województwie podlaskim. Wg Wasiak [19] w Gminie Sokoły od 2004 roku powstało ponad 600 przydomowych oczyszczalni z zastosowaniem jednostopniowego złoża z pionowym przepływem ścieków. Obiekty te budowane są przez indywidualnych rolników na własnych działkach wg koncepcji i wytycznych zaproponowanych przez Instytut Ekologii Stosowanej. Koncepcja przewiduje dla jednej rodziny osadnik gnilny (o czasie zatrzymania ścieków 5 dni) i następnie złoże z pionowym przepływem ścieków (które okresowo jest zasilane ściekami za pomocą pompy). W przypadku, gdy wymagana jest denitryfikacja odpływu przewidziano staw denitryfikacyjny. Brzegi stawu są uszczelnione folią do pewnej wysokości co zapewnia swobodny odpływ nadmiaru ścieków do gruntu. Eksploatacja osadnika przewiduje usuwanie osadów raz na pół roku co umożliwia zasilanie części biologicznej małocząsteczkowymi związkami substancji organicznej. Obiekty te pozostają w polu zainteresowań wielu ośrodków badawczych, jednak wyniki monitoringu nie są jednoznaczne. Wg badań prowadzonych przez Wierzbickiego (2007) średnie wartości charakterystycznych zanieczyszczeń nie przekraczały BZT_5 = 13 mg O_2/dm^3, ChZT = 93 mg O_2/dm^3, zawiesina ogólna = 42 mg/dm^3. Natomiast wyniki badań uzyskane dla dwóch obiektów na terenie Gminy Sokoły w roku 2007 i 2008 przez Magrela [8] zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Średnie wartości charakterystycznych zanieczyszczeń w ściekach surowych i oczyszczonych wraz ze skutecznością usuwania w gminie Sokoły, woj. podlaskie [8]

Table 2. Average values of characteristic pollutants in raw wastewater and treated wastewater together with efficiency of their removal in Sokoły commune, podlaskie province [8]

Obiekt	Parametr	Zaw.og	ChZT	BZT_5	Pog	Nog	NH_4-N
Jamił-kowski	dopływ [mg/dm^3]	239,3	707,3	443,3	30,8	94,6	75,2
	odpływ [mg/dm^3]	28,4	78,3	8,3	17,9	36,4	4,9
	skuteczność [%]	**88,1**	**88,9**	**98,1**	**41,9**	**61,5**	**93,5**
Stypół-kowski	dopływ [mg/dm^3]	574,3	467,7	260,0	13,4	84,3	79,3
	odpływ [mg/dm^3]	90,4	61,7	13,3	11,6	38,7	3,5
	skuteczność [%]	**84,3**	**86,8**	**94,9**	**13,4**	**54,1**	**95,6**

Obiekty te charakteryzowały się bardzo wysoką skutecznością usuwania zawiesiny ogólnej oraz substancji organicznej (ChZT i BZT) i w konsekwencji stężenia tych zanieczyszczeń spełniały wymagania obowiązującego Rozporządzenia z 24 lipca 2006. Natomiast skuteczności usuwania związków biogennych szczególnie fosforu ogólnego była niestabilna. Zaproponowany ciąg technolo-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

giczny zapewniał bardzo dobre warunki do procesu nitryfikacji co potwierdzają bardzo niskie stężenia azotu amonowego odpływie z obu analizowanych obiektów. Jednak skuteczność usuwania azotu ogólnego była znacznie niższa w porównaniu do skuteczności usuwania azotu amonowego. W konsekwencji w odpływie z oczyszczalni dominującą formą azotu były azotany V co sugeruje, iż zaproponowany w koncepcji staw denitryfikacyjny nie do końca spełnia swoją funkcję (tabela 2).

2.2 Jednostopniowe obiekty lokalne

Na początku lat dziewięćdziesiątych powstały pierwsze w Polsce lokalne obiekty hydrofitowe w rejonie Gorzowa Wielkopolskiego (w Wawrowie, Gralewie, Małszynie i Rokitnie). Monitoring tych obiektów została opisany przez Sadecką [15], która m in. wykazała, że systemy hydrofitowe typu HF-CW stanowiące drugi stopień oczyszczenia ścieków zapewniały skuteczne usuwanie substancji organicznej wyrażonej w BZT_5 i ChZT oraz zawiesiny ogólnej. Efektywność usuwania BZT_5 wynosiła od 45,6 do 78,7%, średnio 62,1% w zakresie obciążeń od 3,4 do 98 kg O_2/ha·d. Natomiast skuteczność usuwania azotu ogólnego w tych obiektach była niższa i wynosiła od 24,2 do 44,7%, średnio 34,5% w zakresie obciążeń od 2,5 do 37,0 kg/ha·d.

Usuwanie substancji organicznej wyrażonej w BZT_5 oraz Nog z 1 m^2 złoża analizowanych obiektach przyzagrodowych i lokalnych podano w tabeli 3.

Tabela 3. Usuwanie substancji organicznej wyrażonej w BZT_5 oraz Nog z 1 m^2 w obiektach lokalnych [15]
Table 3. Removal of organic matter (BOD) and Nog on 1 m^2 of local plants [15]

Obiekty lokalne k. Gorzowa Wielkopolskiego	
BZT_5 [g/m^2d]	Nog [g/m^2d]
G – 6,5	G – 0,2
W – 1,0	W – 1,2
M – 0,1	M – 0,1
R – 4,5	R – 0,9

Wydajność usuwania związków organicznych (BZT) oraz związków azotu (Nog) w obiektach lokalnych zmienia się zakresie od 0,1 do 6,5 g BZT_5/m^2d oraz od 0,1 do 1,2 g Nog/m^2d. Średnie wartości tych wskaźników dla obiektów przyzagrodowych były zbliżone do warości wskaźników dla obierków przydomowych i wynosiły odpowiednio 4,0 g BZT_5/m^2d i 0,6 g Nog/m^2d.

W okresie 7 lat obserwacji obiektów lokalnych wykazano m.in. sezonowe zmiany usuwania związków fosforu wyższe w sezonie wegetacyjnym i niższe w sezonie po wegetacyjnym (tabela 4). Wiele z tych obiektów nie pra-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

cowało prawidłowo. Główną przyczyną była niewłaściwa eksploatacja osadników gnilnych, brak odpowiednich trójników umożliwiających przepływ ścieków bez tłuszczów i zawiesin do filtrów hydrofitowych. Dopływ tych zanieczyszczeń był przyczyną zmniejszenia przewodności hydraulicznej tych obiektów. Powodowało to niekiedy zmianę ich charakteru z obiektów z podpowierzchniowym na obiekty z powierzchniowym przepływem ścieków, gdzie obowiązują odmienne zasady projektowania i eksploatacji. Powierzchnia jednostkowa tych obiektów wynosiła odpowiednio: w Wawrowie 2,7 m^2/M, w Gralewie 3,0 m^2/M, w Małyszynie 4,0 m^2/M i w Rokitnie 6,1 m^2/M.

Tabela 4. Sezonowa skuteczność usuwania zanieczyszczeń ze ścieków bytowych w obiektach lokalnych, % [15]
Table 4. Seasonal efficiency of pollutants removal from household wastewater in local plants, % [15]

Parametr	Oczyszczalnia ścieków							
	Wawrów		Gralewo		Małyszyn		Rokitno	
	jesień-zima	wio-sna-lato	jesień-zima	wio-sna-lato	jesień-zima	wio-sna-lato	jesień-zima	wio-sna-lato
ChZT	41,9	52,2	62,5	7,6	60,4	42,9	42,9	42,5
BZT_5	52,2	68,1	67,6	30,5	71,4	45,2	52,2	56,1
Azot amonowy	19,4	42,0	38,3	3,0	35,8	21,5	19,4	33,2
Azot ogólny	18,6	37,4	31,5	37,8	35,2	41,6	18,6	27,6
Fosfor ogólny	0,2	13,6	1,5	40,6	20,6	26,3	0,2	11,4

Podobne zależności zostały wykazane dla stawu trzcinowego we Fromborku, gdzie średnia skuteczność usuwania fosforu w sezonie letnim wynosiła 10%, a w okresie zimy ok. 5% dla obiektu o powierzchni jednostkowej wynoszącej zaledwie 8,5 m^2/M (zamiast co najmniej 20 m^2/M) (Obarska-Pempkowiak 1991).

3. Doświadczenia z eksploatacji obiektów wielostopniowych

Badania prowadzono w pięciu lokalnych Hybrydowych Systemach Hydrofitowych (HSH), przeznaczonych do oczyszczania ścieków bytowych: w Darżlubiu w rejonie Pucka, w Wieszynie, Wiklinie i Sarbsku w rejonie Słupska oraz Schodnie k. Kościerzyny. Mieszkańcy tych wsi zaopatrywani są w wodę z wiejskiego wodociągu. Obiekty są zasilane ściekami pochodzącymi

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

od 15 do 750 mieszkańców. Biologiczne oczyszczanie ścieków jest poprzedzone usuwaniem zanieczyszczeń w osadnikach gnilnych. Charakterystykę analizowanych systemów HSH podano w tabeli 5.

Tabela 5. Charakterystyka analizowanych HSH
Table 5. Characteristics of analysed Hybrid Hydrophyte Systems

Obiekt	Q[m^3/d]	Konfiguracja	Pow [m^2]	Głebokość[m]	Obciążenie hydr, [mm/d]	Jedn.pow. [m^2/M]
Darżlubie	56,7	HF-CW I	1 200	0,6	47,3	2,0
		Filtr kaskadowy	400		141,2	0,67
		HF-CW II	500	0,6	113,4	0,8
		VF-CW	250	1,0	226,8	0,4
		HF-CW III	1 000	0,6	56,7 16,9	1,7
			∑ 3 350			5,6
Wiklino	18,6	HF I	1050	0,6	17,7	7,0
		VF	624	0,4	46,9	2,0
		HF II	540	0,6	34,4	3,4
			∑ 2 214		8,4	∑ 12,4
Wieszyno	24,5	HF I	600	0,6	40,8	3,0
		VF	300	0,6	81,7	1,5
		HF II	600	0,6	40,8	3,0
			∑ 1 500		16,3	∑ 7,5
Sarbsk*	29,7	HF	1610	0,6	18,5	8,5
		VF	520	0,5	38,6	2,6
			∑ 2 130		13,9	∑ 9,1
Schodno	2,2- 8,9	HF I	416	0,6	5,3-21,4	27,8-6,4
		VF I	307	0,45-0,6	7,2-28,9	20,5- 4,7
		HF II	432	0,6	5,1-20,6	28,8-6,6
		VF II	180	0,45- 0,6	12,2-49,4	12,0- 2,8
		Złoże wiklinowe	∑ 1 300		1,7-6,8	∑ 86,7-20

*recyrkulacja

Porównanie średnich wartości stężeń charakterystycznych zanieczyszczeń w ściekach doprowadzanych i odprowadzanych dla analizowanych HSH podano odpowiednio w tabeli 6 .

Jakość ścieków doprowadzanych do analizowanych obiektów różniła się znacznie. Obiekt w Wieszynie zasilany był ściekami o najwyższych stężeniach zanieczyszczeń. Wysokie stężenie zawiesiny ogólnej oraz substancji organicznej w ściekach doprowadzanych do pierwszego złoża w tym obiekcie wskazuje na bardzo złą pracę osadnika gnilnego. Natomiast ścieki doprowadzane do oczyszczalni w Schodnie charakteryzowały się dużą zmiennością, co potwierdzają duże odchylenia standardowe (ok. 30%). Bardzo wysokie stężenia substancji organicznej doprowadzane do obiektów w Darżlubiu i Schodnie mo-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

gą świadczyć, iż do ścieków przedostaje się np. gnojowica lub doprowadzane są ścieki z przemysłu spożywczego. Za wyjątkiem oczyszczalni w Darżlubiu 2/3 azotu doprowadzanego do pozostałych oczyszczalni hydrofitowych występowało w formie azotu amonowego, co może wskazywać na intensywny przebieg procesu amonifikacji w osadnikach wstępnych.

Tabela 6. Średnie wartości stężeń charakterystycznych zanieczyszczeń w ściekach doprowadzanych i oczyszczonych w analizowanych obiektów (opracowanie własne)

Table 6. Average values of concentrations of characteristic pollutants in the inflowing and outflowing wastewater in analysed objects (own research)

Parametr	Jednostka	Dopływ		Odpływ	
		Średnia	Zakres	Średnia	Zakres
Zawiesina og	mg/dm^3	628,9	156,6÷1 269,5	65,8	36,3÷106,4
ChZT	$mg\ O_2/dm^3$	778,7	687,6÷1 021,9	128,1	31,5÷210,5
BZT_5	$mg\ O_2/dm^3$	438,5	265,2÷448,5	56,9	19,0÷96,6
Nog	mg/dm^3	112,9	73,8÷176,3	46,1	21,7÷87,3
$N\text{-}NH_4^+$	mg/dm^3	75,9	47,1÷87,3	30,2	6,0÷67,1
$N\text{-}NO_3^-$	mg/dm^3	0,8	0,1÷1,3	4,3	0,3÷9,6
Norg	mg/dm^3	35,5	16,2÷90,8	11,9	4,3÷22,5
Pog	mg/dm^3	15,4	11,9÷20,1	8,2	3,5÷14,6

Jedynie ścieki odprowadzane z dwóch obiektów (z Wiklina i Sarbska) spełniały kryteria zgodnie z obowiązującym Rozporządzeniem z dnia 8 lipca 2004 oraz 24 lipca 2006. Pozostałe obiekty pomimo dość wysokiej skuteczności usuwania zanieczyszczeń nie zapewniały odpowiedniej jakości oczyszczonych ścieków, głównie z powodu niezadowalającej pracy osadników wstępnych. Znaczne stężenia zawiesiny ogólnej na dopływie do obiektów hydrofitowych potwierdzają nieprawidłowe działanie mechanicznej części oczyszczania.

Stężenia fosforu ogólnego doprowadzanego do obiektów zmieniały się w szerokim zakresie od 11,9 do 20,1 mg/dm^3, a skuteczność usuwania tego pierwiastka nie przekraczała 78,0%.

Najwyższą skuteczność usuwania substancji organicznej wyrażonej w ChZT uzyskano dla obiektu w Wiklinie a najniższą w Darżlubiu. Zdolność analizowanych obiektów do usuwania substancji organicznej wyrażonej w ChZT i BZT opisano następującym szeregiem:

	Wiklino	>	Sarbsk	>	Wieszyno	>	Schodno	>	Darżlubie
ChZT	95,5%	>	84,7%	>	93,6%	>	79,8%	>	74,9%
	Wiklino	>	Sarbsk	>	Wieszyno	>	Darżlubie	>	Schodno
BZT	95,9%	>	95,1%	>	86,9%	>	82,1%	>	78,5%

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Najwyższą skutecznością usuwania azotu ogólnego charakteryzował się obiekt w Wiklinie natomiast najniższą obiekt w Wieszynie. Uzyskane średnie efektywności usuwania N_{og} zestawiono następująco:

	Wiklino	>	Darżlubie	>	Sarbsk	>	Schodno	>	Wieszyno
N_{og}	79,2%	>	67,9%	>	62,6%	>	61,3%	>	23,4%

Najwyższą skuteczność usuwania azotu zaobserwowano dla obiektu w Wiklinie (w którym kwatery VF-CW pracowały naprzemiennie, a ścieki podawane były do nich okresowo). Podobnie dla obiektu w Schodnie zaobserwowano wysoką skuteczność usuwania azotu pomimo bardzo wysokich stężeń tego pierwiastka doprowadzanych do obiektu. Skuteczność usuwania azotu dla czterech z pięciu analizowanych obiektów przekraczała 60% potwierdzając, iż zastosowana konfiguracja złóż naprzemiennych poziomych i pionowych sprzyja skutecznemu usuwaniu związków azotu.

HSH w Wieszynie charakteryzował się jedynie skutecznym usuwaniem substancji organicznej, natomiast skuteczność usuwania azotu ogólnego była niezadowalająca. W tabeli 7 podano średnie obciążenie ładunkiem substancji organicznej (BZT_5 i ChZT) i azotu ogólnego oraz wydajność ich usuwania z 1 m^2 dla analizowanych HSH.

Tabela 7. Średnie obciążenie oraz jednostkowa wydajność usuwania substancji organicznej oraz azotu w analizowanych HSH (opracowanie własne)
Table 7. Average loading and unit efficiency of organic matter and nitrogen removal in analysed HHS (own research)

Parametr	ChZT		BZT_5		Nog	
	Obciążenie [g/m²d]	Wydajność [g/m²d]	Obciążenie [g/m²d]	Wydajność [g/m²d]	Obciążenie [g/m²d]	Wydajność [g/m²d]
Schodno	1,5-6,1	1,2-4,8	0,8-3,1	0,6-2,4	0,2-0,7	0,1-0,4
Darżlubie	14,2	10,6	6,8	5,6	3,0	2,0
Wieszyno	16,7	13,8	10,7	9,3	1,9	0,4
Wiklino	3,9	3,7	2,2	2,1	0,9	0,7
Sarbsk	9,6	9,0	5,9	5,6	1,0	0,65

Zakres stosowanych obciążeń w obiektach HSH był duży. Najmniej obciążony był obiekt w Schodnie podczas gdy obiekt w Wieszynie otrzymywał prawie 10krotnie wyższe obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń. Jednak w analizowanych obiektach nie zostały przekroczone maksymalne dopuszczalne obciążenia podawane w literaturze: dla ChZT = 25 g O_2/m^2d i dla Nog = 20 g/m^2d [7, 13]. W porównaniu do analizowanych obiektów w Hiszpanii, w których obciążenie złóż HF–CW wynosiło od 0,8 do 23,0 g BZT_5/m^2d, oraz dla złóż

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

VF-CW 12,8÷29,8 g BZT_5/m^2d i dla takich obciążeń złoża te usuwały odpowiednio 80,0% i 95,0% ładunku BZT_5 [14]. W analizowanych obiektach obciążenie złóż substancją organiczną zmieniało się od 0,8 (Schodno) do 10,7 g BZT_5/m^2d (Wieszyno) a skuteczność usuwania od 78,5 (Schodno) do 95,9% (Wiklino). Na podstawie analizy otrzymanych wyników stwierdzono, że najmniej obciążony obiekt (Schodno) nie zapewniał najwyższej skuteczności usuwania zanieczyszczeń. Jednocześnie w tym obiekcie różnice w skuteczności usuwania związków azotu i substancji organicznej były małe. Zastosowanie dużych ładunków obciążeń substancją organiczną w obiekcie w Wieszynie powodowało niską wydajność usuwania związków azotu, pomimo zadowalającego usuwania substancji organicznej. Najwyższą wydajność usuwania azotu ogólnego zaobserwowano dla obiektu w Darżlubiu pomimo wysokich obciążeń ładunkiem substancji organicznej. Jednostkowa wydajność przekraczała prawie trzykrotnie wartość 0,7 g Nog/m^2d podaną dla obiektów pracujących w Dani [1]. Jednocześnie obiekt w Darżlubiu charakteryzował się podobnie jak obiekt w Schodnie małymi różnicami w skuteczności usuwania zanieczyszczeń. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że efektywność usuwania zanieczyszczeń z 1 m^2 zmieniała się proporcjonalnie wraz z obciążeniem. Jednocześnie substancja organiczna w hybrydowych systemach hydrofitowych usuwana jest bardzo efektywnie w bardzo szerokim zakresie obciążeń i niezależnie od zastosowanej konfiguracji HSH, natomiast jednostkowa wydajność usuwania związków azotu jest bardziej uzależniona od zastosowanej konfiguracji niż od stosowanych wielkości obciążeń ładunkiem azotu.

Wnioski

Na podstawie wieloletniego monitoringu oraz analizy uzyskanych rezultatów sformułowano następujące wnioski:

1. Technologiczne rozwiązanie składające się z osadnika gnilnego oraz złoża hydrofitowego z podpowierzchniowym przepływem ścieków może być zalecane do oczyszczania ścieków bytowych powstających na obszarach niezurbanizowanych.
2. Niewłaściwa eksploatacja osadników gnilnych oraz nieprawidłowe rozprowadzenie ścieków są przyczyną kolmatacji złóż i w konsekwencji spadku skuteczności usuwania zanieczyszczeń.
3. W przypadku pojedynczych gospodarstw zalecane są złoża z pionowym przepływem ścieków zasilane pulsacyjnie oraz dodatkowo z recyrkulacją ścieków do osadnika gnilnego.
4. Dotychczasowe doświadczenia z eksploatacji obiektów wykazały, że bardziej efektywne i stabilne w działaniu są obiekty kombinowane (tzw. hybrydowe) złożone ze złóż ze zmiennym przepływem ścieków. Obiekty tego typu są możliwe do zastosowania w warunkach lokalnych.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Literatura

1. **Brix H., Arias C.A., Johansen N-H.:** *Experiments in a two-stage constructed wetland system: nirtification capacity and effects of recycling on nitrogen removal, Wetland-nutrient, metal and mass cycling.* (Ed.) J.Vymazal, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherland, 237-258, 2003.
2. **Cooper P.:** *A review of the design and performance of vertical flow and hybrid reed bed treatment systems.* In: 6th International Conference on Wetland System for Water Pollution Control, Brazil 1998, 229-242, 1998.
3. **Cooper P.:** *The performance of Vertical Flow Constructed Wetland systems with special reference to the significance of Oxygen Transfer and Hydraulic Loading Rates.* In: 9th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Avignon (France), 153-163, 2004.
4. **Gajewska M. Tuszyńska A. Obarska-Pempkowiak H.:** *Influence of Configuration of the Beds on Contaminations Removal in Hybrid Constructed Wetlands.* Polish Journal of Environmental Studies. Vol 13, 149-153, 2004.
5. **Kayser K., Kunst S., Fehr G., Voermanek H.:** *Nitrification in reed beds-capacity and potential control methods.* World water congress, published at the IWA, Berlin, Germany, October 2001: 126-138, 2001.
6. **Kayser K., Kunst S.:** *Processes in Vertical- flow reed beds – nitrifiacation, oxygen transfer and soil clogging.* In: 9th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Avignon (France), 385-393, 2004.
7. **Langergraber G., Prandtstetten C., Pressl A., Rohrhofer R., Harbel R.:** *Removal efficiency of subsurface vertical flow constructed wetland for different organic loads.* In: 10 th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control: 587-599, 2006.
8. **Magrel L.:** *Oczyszczalnie hydrofitowe w Gminie Sokoły woj. Podlaskie (w druku),* 2008.
9. **Müller V., Lützner K.:** *Kolmatacja oczyszczalni roślinnych.* Gaz, Woda i Technika Sanitarna 9/1999, 1999.
10. **Obarska-Pempkowiak H., Kowalik P., Gajewska M., Tuszyńska A.:** *Oczyszczalnie hydrofitowe – doświadczenia i perspektywy rozwoju.* „Gospodarka wodnościekowa w regionach rolniczo- przemysłowych". Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, 16, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, tom II: 192-202, 2003.
11. **Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M.:** *Recent development in wastewater treatment in constructed wetlands in Poland.* Kluwer Academic Publishers B.V., The Netherlands (in press), 2003.
12. **Platzer C., Mauch K.:** *Evaluations concerning soil clogging in vertical flow reed beds-mechanisms, parameters, consequences and... solutions?* Proceedings of 5th International Conference on Wetland System for Water Pollution Control, Universitaet fuer Bandenkutur Wien and International Association on Water Quality, Vienna 1996 p. IV/2-11, 1996.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

13. **Platzer C.:** *Design recommendations for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification*. Proceedings of 6th International Conference on Wetland System for Water Pollution Control, Brazil 1998, chapter 4- Design of Wetland Systems: 253-263, 1998.
14. **Puigagut J., Salvadó H., García J.:** *Effect of soluble and particulate organic compounds on microfauna the community in subsurface flow constructed wetlands*. Ecological Engineering, In Press Available online 29 December 2006, 2007.
15. **Sadecka Z.:** *Ocena efektywności pracy wybranych oczyszczalni hydrobotanicznych,* Ochrona Środowiska, 25 (1): 13-16, 2003.
16. **Soroko M.:** *Skuteczność usuwania substancji organicznej oraz związków biogenicznych w kilku oczyszczalniach hydrofitowych*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie t.1z.1(1): 173-186, 2001.
17. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 lipca 2004, w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. Nr 168, poz.1763)
18. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006, w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U.nr 137 poz. 984)
19. **Wasiak A.:** *W Sokołach się udało*. Poradnik Rolnika 8/2008: 21-31, 2008.

20 Years of Experience of Hybrid Constructed Wetlands Exploitation in Poland

Abstract

In this paper are presented the experience with constructed wetlands systems in Poland applied for treatment of domestic wastewater. Based on achieved results of monitoring objects was found that one-stage system ensure effective removal of organic matter expressed by BOD_5 and COD and total suspended solids. The average efficiency of BOD_5 removal was 76.4% for the range of loads from 15.0 to 115.0 kg O_2/ha·day. It was proved that improper operation of the septic tanks resulted in clogging of the beds and was the main reason removal efficiency decreasing.

In the last years vertical flow beds become more popular for individual household. However, the results of monitoring indicate high changes of pollutants efficiency removal. Operation monitoring of multistage (hybrid) constructed wetlands consisted of vegetation beds with horizontal and vertical flow of wastewater were fund more effective and stable in comparison with one-stage objects. The average efficiency removal of BOD_5 was 86.7% in range of loads between 21÷123 kg O_2/ha·day. While the average load of removed nitrogen was 7.8 kg O_2/ha·day. A lot of investigated pilot and local communities HF-CW did not provide effective removal of ammonia nitrogen due to the

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

lack of conditions for nitrification and sorptiotion. It was proved that only Hybrid Constructed Wetlands (HCW) provide efficient and stable either suspended solids and organic matter removal, in a wide loadings range: 1.5÷17.0 g COD/m^2day, irrespectively to the configuration applied. Up till now only 10% of operating CW systems are with VF-CW, although vertical flow beds seems to be very promising solution in rural areas due to better efficiency removal and less unit areas demand.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl