

Dariusz BORUSZKO

Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska
ul. Wiejska 45B, 15-351 Białystok

Doświadczenia z zastosowania niskonakładowych metod przetwarzania osadów ściekowych

Jedną z najbardziej uciążliwych w utylizacji grup odpadów są osady ściekowe. Jest to związane przede wszystkim z ich właściwościami, a także składem chemicznym. Z punktu widzenia higienicznego osady mogą być nośnikami różnych bakterii (np. *Salmonella*), wirusów (np. *Hepatitis*) czy helmintów (np. *Ascaris*, *Toxocara*), które wywołują niebezpieczne choroby. Osady są źródłem zanieczyszczeń mineralnych i organicznych. Szczególnie dużo uwagi w ostatnich latach poświęca się badaniom zanieczyszczeń organicznych. W osadach ściekowych zidentyfikowano 516 związków, które sklasyfikowane zostały w 15 klasach. Zalicza się do nich wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), adsorbowane organiczne związki chloru (AOX), polichlorowane bifenyle i inne. Oprócz tych związków w osadach ściekowych należy wyróżnić pierwiastki śladowe, które ze względu na swoje toksyczne właściwości stwarzają duże problemy z ich utylizacją. Osady to również źródło materii organicznej, makro- i mikroelementów o znaczeniu rolniczym, dzięki czemu przy spełnieniu warunków prawnych mogą być wykorzystywane w rolnictwie.

Gospodarka osadowa w regionie północno-wschodnim Polski coraz powszechniej wykorzystuje niskonakładowe metody przeróbki. Na takie działanie mają wpływ następujące czynniki: rolniczo-przemysłowa specyfika regionu, charakter powstających osadów, dostępna na obszarze Zielonych Płuc Polski biomasa w postaci słomy, trocin i zrębków, niska klasa gleb, przewaga małych i średnich oczyszczalni ścieków. Metody niskonakładowe są rozumiane jako metody charakteryzujące się: prostą konstrukcją i technologią, łatwością obsługi, wykorzystaniem naturalnych procesów zachodzących w środowisku, stosowaniem urządzeń technologicznych i technicznych w niewielkim stopniu, niezawodnością działania, nieznaczną kontrolą w trakcie trwania procesu, niewielkim udziałem energii elektrycznej, niskimi kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi.

W badaniach poddano ocenie kilka instalacji stosujących hydrofity oraz wermikulturę do przetwarzania osadów ściekowych, dokonując analizy porównawczej sposobu prowadzenia procesu przetwarzania osadów oraz jego skuteczności. Wykorzystano badania i obserwacje własne prowadzone na oczyszczalni ścieków w Zambrowie oraz doświadczenia zebrane z eksploatacji innych tego typu obiektów w Polsce i w Danii z ostatnich kilkunastu lat.

Słowa kluczowe: niskonakładowe metody, osady ściekowe, kompost, wermikultura, hydrofity, zagospodarowanie

Wprowadzenie

Jedną z możliwości rozwiązania problemu przeróbki i utylizacji osadów ściekowych w skali lokalnej są naturalne (niskonakładowe) metody przetwarzania osadów. Umożliwiają one przebieg wielokierunkowych procesów biologicznych w osadach.

Do jednej z nich zaliczana jest metoda symulująca procesy zachodzące w naturalnych ekosystemach bagiennych, zwana metodą hydrofitową. Polega ona na przeróbce osadów ściekowych w obiektach zasiedlonych roślinnością wodną i wodolubną, taką jak np. trzcina pospolita, pałka wodna, sit, tatarak, wiklina. Najczęściej stosowana jest trzcina pospolita (*Phragmites Australis*). Obecność roślin hydrofitowych umożliwia szybsze odwodnienie osadów oraz rozwój mikroorganizmów heterotroficznych. Obiekty trzcinowe są proste w budowie i tanie w eksploatacji, a ich naturalny wygląd umożliwia ich łatwe wkomponowanie w istniejący krajobraz. Doprowadzany osad na trzcinowiska nie jest usuwany przez długi czas, nawet przez 10-15 lat [1, 2].

Literatura podaje, że pierwsze doświadczenia nad zastosowaniem trzciny do odwadniania osadów prowadzone były przez Seidel i Kickutha w Niemczech w latach sześćdziesiątych. Proces ten był później wykorzystywany w innych obiektach w Niemczech w latach siedemdziesiątych. Większe zainteresowanie stosowaniem trzciny zaobserwowano dopiero w latach osiemdziesiątych. Metoda ta doczekała się wielu wdrożeń w Europie, zwłaszcza we Francji i Danii [3-7].

Wermikompostowaniem, zarówno z punktu widzenia badań naukowych, jak i wdrożeniowych, zajmuje się wiele ośrodków badawczych i wyspecjalizowanych firm handlowych na całym świecie. W Wielkiej Brytanii podejmowane były próby wykorzystania dżdżownic głównie do przetwarzania gnojowicy z hodowli trzody chlewnej i bydła oraz odpadów przemysłowych, pochodzących z browarów, wytwórni frytek i papieru, w USA i Kanadzie natomiast do przetwarzania osadów ściekowych. W Polsce także były podejmowane próby wykorzystania wermikultur do utylizacji odpadów pochodzących z przetwórstwa mięsnego oraz odpadów komunalnych w dużych kompostowniach. W Rzeszowie na początku lat dziewięćdziesiątych rozpoczęto badania hodowli *Eisenia fetida* na osadach ściekowych, które kontynuowane są do chwili obecnej. Badania nad przetwarzaniem osadów ściekowych na wermikompost prowadzone były również w innych krajowych ośrodkach naukowych. Podejmowano też próby wspólnego wermikompostowania komunalnych osadów ściekowych ze ściekami z przemysłu włókienniczego. W Polsce wermikulturową utylizację osadów ściekowych zastosowano z sukcesem w oczyszczalniach w Zambrowie, Kluczborku, Praszce, Wrocławiu, Łowiczu i Brzesku. W tych oczyszczalniach zastosowana biotechnologia działa uszlachetniająco na osady ściekowe, powodując:

- szybki zanik zapachu gnicia,
- powstawanie grubej struktury poprawiającej warunki wzrostu roślin,
- wzrost poziomu składników pokarmowych roślin [8, 9].

W Polsce na bazie prowadzonych wcześniej doświadczeń laboratoryjnych zaczęto między innymi stosować wermikulturę na oczyszczalniach ścieków. Pierwsza udana próba wykorzystania zagęszczonych populacji dżdżownic do przyspieszonego kompostowania osadów ściekowych została zrealizowana na oczyszczalni w Pyrzycach na początku lat 90. Otrzymywane z osadów ściekowych wermikom-

posty miały właściwości dobrych nawozów do zastosowania rolniczego oraz przyrodniczego [10].

Celem badań była analiza i ocena procesów przetwarzania osadów ściekowych z zastosowaniem hydrofitów i wermikultury w wybranych obiektach, a także analiza parametrów technologicznych i eksploatacyjnych w tego typu obiektach. Wykorzystano do tego celu obserwacje, pomiary i badania własne oraz doświadczenia innych autorów.

Zakres badań obejmował: prowadzenie wizji lokalnych, obserwacje poletek trzcinowych i wermikultury, wykonanie dokumentacji fotograficznej, pobór próbek do badań fizyczno-chemicznych i mikrobiologicznych oraz wykonanie badań. Pobór próbek, zakres i metodykę badań wykonano zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (DzU Nr 134, poz. 1140).

1. Obiekty badań

Dotychczas w Polsce badania dotyczące odwadniania osadów metodą hydrofitową prowadzone były w Darzłubiu i Swarzewie koło Pucka. Obiekty te, o charakterze pilotowym, nie były jednak eksploatowane w sposób systematyczny.

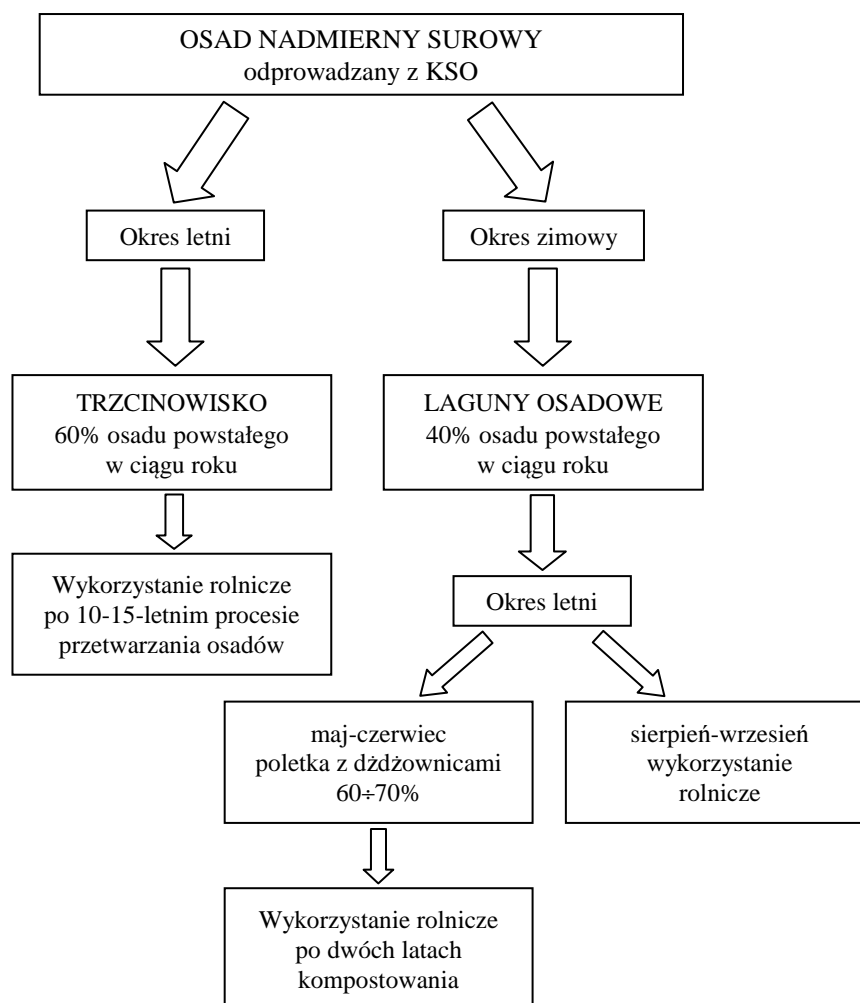
Współpraca z duńską firmą Hedelskabet Company, a także Orbicon Company umożliwiła wspólne badania dotyczące zmian jakości osadów podczas ich długookresowego unieszkodliwiania w basenach trzcinowych. Celem badań było określenie zmian stężenia suchej masy i substancji organicznych oraz związków fosforu i azotu w warstwach akumulowanych osadów w czasie. Materiał badawczy uzyskano z czterech obiektów zlokalizowanych koło Kopenhagi (Dania) w następujących miejscowościach: Rudkobing, Naskov, Vallo i Helsinge [11].

Podobne badania w skali technicznej zostały przeprowadzone w latach 1997-2001 na terenie dwóch oczyszczalni ścieków miejskich, w których do intensyfikacji procesu odwadniania zastosowano trzcinę. Wyniki przeprowadzonych badań i obserwacji, przedstawione m.in. przez Kalisz i Sałbut, były podstawą opracowania zaleceń do projektowania i eksploatacji tego typu obiektów [12, 13].

Zastosowanie metody hydrofitowej i wermikultury w Zambrowie

Zambrów jest położony w południowo-zachodniej części województwa podlaskiego nad rzeką Jabłonką na terenie Zielonych Płuc Polski.

Oczyszczalnia miejska w Zambrowie produkuje około 1 tony s.m./dobę osadu nadmiernego surowego. Gospodarka osadowa została rozwiązana w oparciu o laguny osadowe, laguny trzcinowe oraz poletka z dżdżownicami. Schemat gospodarki osadowej w Zambrowie przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Schemat postępowania z osadem nadmiernym w oczyszczalni miejskiej w Zambrówie

W sezonie letnim osad z KSO (komory stabilizacji tlenowej osadu) odprowadzany jest bezpośrednio na 2 trzcinowiska o powierzchni 5500 m² każde. Osad ten stanowi 50÷60% osadu powstającego w ciągu roku. W 2005 r. dokonano nasadzeń trzciny na kolejnej drugiej lagunie o powierzchni 5500 m². Zapewniło to skuteczność i powtarzalność cykli przeróbki osadu w następnych latach bez nakładów inwestycyjnych przy minimalnych kosztach eksploatacyjnych. Czas zatrzymania osadu na lagunach trzcinowych wynosi ok. 10-15 lat.

W sezonie zimowym osad z KSO kierowany jest do 2 lagun osadowych wyposażonych w drenaż pionowy, zapewniający wysoką skuteczność odwadniania osadu w trakcie napełniania laguny. Pojemność lagun zwiększono, z 1500 m³ do 2500 m³ każda, poprzez zwiększenie napełnienia do 2 m. W okresie letnim, tj. maj-czerwiec, 60÷70% osadu zgromadzonego w lagunach osadowych jest przepompowywane na

poletka z dżdżownicami o powierzchni 2000 m². Pozostały osad z lagun osadowych w okresie jesiennym (po żniwach) wykorzystywany jest rolniczo, m.in. do rekultywacji [14, 15].

Trzcinowisko

Laguny osadowe - trzcinowiska posadzone są częściowo w wykopie i częściowo w nasypie. Wysokość od korony nasypu do dna laguny wynosi 3,2 m, podłoże gruntowe lagun zbudowano z gliny zwartej. Poziom wody gruntowej występuje poniżej 6 m, licząc od powierzchni terenu. Nachylenie skarp wynosi 1:1,5, natomiast szerokość grobli 2÷4 m. Laguny wyposażone są w zjazdy służące do wywożenia osadu.

Zjazdy zabezpieczono płytami typu IOMB w celu umożliwienia wjazdu środków transportowych do wywozu osadu. W dnie zostały ułożone ciągi drenarskie \varnothing 100, w podsypce filtracyjnej, doprowadzone do pompowni zlokalizowanej w lagunie. Odciek z trzcinowiska odpompowany jest do ciągu technologicznego do ścieków surowych dopływających do oczyszczalni - pompownia lokalna. Osad doprowadzany jest poprzez ułożone na koronie skarp rurociągi z rur PVC z wbudowanymi trójnikami. W celu dozowania osadu należy przekręcić trójnik wylotem w dół.

W górnej warstwie podsypki filtracyjnej nasadzono trzcinę w ilości 4 szt. na m². Sadzonki pozyskano z naturalnych trzcinowisk (stawy), część sadzonek pochodziła z Zatoki Puckiej (Swarzewo). Kilkuletnia eksploatacja pozwoliła stwierdzić, że większą zdolność adaptacyjną mają sadzonki pochodzące z najbliższych okolic oczyszczalni [16].



Rys. 2. Laguny trzcinowe w oczyszczalni ścieków w Zambrowie

Trzciny po zakończeniu okresu wegetacyjnego nie są wycinane, ale przewracają się i ulegają rozkładowi, wzbogacając i zagęszczając powstający kompost. O ile tradycyjnymi metodami udawało się zagęścić osad do 15% suchej masy, o tyle przy zastosowaniu lagun trzcinowych zagęszczenie osadu wzrosło do 50% suchej masy. Najstarsza z nich wypełniana jest od 11 lat, już niedługo będzie można sprawdzić jakość powstającego na niej kompostu. Po opróżnieniu laguny trzcinowej z kompostu i przeprowadzeniu ewentualnych prac remontowych laguna trzcinowa będzie gotowa do ponownego przyjmowania osadów ściekowych przez następne co najmniej dziesięć lat.

Rysunek 2 przedstawia laguny trzcinowe w oczyszczalni ścieków w Zambrowie.

Poletka kompostowe w Zambrowie

Wspomniane poletka do przerobu osadu na kompost z udziałem dżdżownic zostały wykonane na podłożu gruntowym, który stanowią gliny zwarte. Dno poletek znajduje się w odległości większej od 1,5 m w odniesieniu do poziomu wody gruntowej. Na zdrenowanym podłożu piaskowym ułożono płyty betonowe-drogowe. Umożliwia to zmechanizowanie robót oraz zabezpiecza dżdżownice przed kretami. Cały teren poletek otoczony jest płytami betonowymi o wysokości 0,5 m. Na dno poletka zasypana jest warstwa 15÷20 cm trocin, które stanowią drenaż, a jednocześnie regulują stosunek C/N, którego prawidłowość warunkuje proces rozrodczy dżdżownic. Celuloza stanowi niezbędny składnik do budowy kokonów. W dokumentacji projektowej określono stosunek ilości osadu o uwodnieniu poniżej 90% zmieszanego z trocinami na 2:1.

W ostatnim okresie prowadzenia kompostowania zrezygnowano z dokładnego mieszania osadu z trocinami. Sama obecność obydwu składników w odpowiednich ilościach na poletku jest wystarczająca do prawidłowego rozwoju dżdżownic. Pozwoliło to na ograniczenie pracy ludzi do kilkunastu dni w roku i wyeliminowanie pracy urządzenia mieszająco-pompującego (Pobet). Osad z lagun pompowany jest na przygotowane podłoże z trocin poprzedzielane pryzmami z częściowo przerobionego kompostu z lat poprzednich, zawierającego całą populację dżdżownic. Usypywanie pryzm powyżej poziomu zalewania osadu zapewnia dżdżownicom warunki tlenowe w czasie zalewania oraz w okresach deszczowych. Populacja dżdżownic wykazuje cechy populacji rozwojowej. W jej strukturze znajdują się kokony, osobniki świeżo wyklute niewybarwione, osobniki młode wybarwione, osobniki dojrzałe płciowo. Dżdżownice, zjadając osad, wydają koprolioty, czyli wermikompost. Drażąc kanały, spulchniają i napowietrzają osad, aktywizują bakterie odpowiedzialne za procesy usuwania materii organicznej w podłożu.

Dodatковым efektem pracy dżdżownic jest trwała redukcja wielu czynników patogennych. W okresie wiosennym (maj) wybierane są te części pryzm, które są przerobione i opuszczone przez dżdżownice. Z pozostałego materiału formowane są nowe pryzmy, uzupełniana jest ilość trocin i wpompowany zostaje osad. Po zmniejszeniu objętości i częściowym przerobieniu osad przetrucany jest na pryzmy. Po-

między przyzmy zalewany jest osad z laguny. Operacja powtarzana jest 2-3-krotnie w zależności od warunków pogodowych. W ten sposób wermikompost jest produkowany bez uciążliwego kilkakrotnego przewracania przyzmy, co jest rutynowym zabiegiem przy kompostowaniu bez udziału dżdżownic. Uzyskany kompost ma wygląd i zapach ziemi ogrodowej, jest sypki, ma strukturę gruzełkową. Składowany na placu bez zadaszenia nie ulega uwodnieniu w czasie intensywnych opadów. Po uzyskaniu pozytywnych wyników badań wykorzystywany jest przyrodniczo, do rekultywacji trawników.

Rysunki 3 i 4 przedstawiają poletka z wermikompostem.



Rys. 3. Poletka kompostowe (wermikultura) w Zambrowie



Rys. 4. Widok ogólny na poletka kompostowe, lagunę osadową i laguny trzcinowe w oczyszczalni ścieków w Zambrowie

2. Metodyka badań

Ogólna koncepcja badań przewidywała porównanie zebranych wyników badań osadów oraz trzciny z wybranych obiektów unieszkodliwiania osadów ściekowych metodą hydrofitową i z zastosowaniem dżdżownicy kalifornijskiej. Zebrane wyniki obejmowały: oczyszczalnie ścieków w Zambrowie, Darżlubiu, Swarzewie, Rudkoping, Naskov, Vallo, Helsinge oraz dwie oczyszczalnie ścieków miejskich zlokalizowane w Polsce.

Analiza zebranego materiału obejmowała m.in. wykonanie następujących oznaczeń: zawartości metali ciężkich, wartości nawozowych, wskaźników bakteriologicznych i parazytologicznych, uwodnienia, suchej masy, odczynu. Określono również wytyczne technologiczne i eksploatacyjne, obejmujące między innymi: ilość i częstotliwość zasilania obiektów osadami ściekowymi, czas zasilania, sposób rozprawdzania osadu na powierzchni poletek.

Badania przeprowadzono także w Zakładzie Biologii Sanitarnej i Biotechnologii na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej. Materiał do badań pobrano z placu składowego wermikompostu w Oczyszczalni Ścieków Miejskich w Zambrowie.

Naważki osadów poddano mineralizacji na mineralizatorze firmy HACH przy użyciu kwasu siarkowego i nadtlenu wodoru oraz w mieszaninie kwasu azotowego i solnego w proporcji 1:3. Do dalszej analizy mineralizaty przefiltrowano przez filtr membranowy o średnicy porów 0,45 µm oraz sącdek bibułowy typu MN 616 G.

Oznaczenia zawartości kadmu, niklu oraz chromu ogólnego wykonano w próbkach mineralizatów na spektrometrze absorpcji atomowej firmy Perkin-Elmer 4100 ZL, wyposażonym w poprzecznie ogrzewaną kuwetę grafitową i korekcję tła efektem Zeemana. Oznaczenia zawartości rtęci wykonano w próbkach mineralizatów techniką zimnych par na spektrometrze absorpcji atomowej firmy Perkin-Elmer 4100 ZL, wyposażonym w przystawkę FIAS-200. Oznaczenia zawartości cynku, ołowiu i miedzi wykonano w próbkach mineralizatów na spektrometrze absorpcji atomowej firmy Varian SpectrAA 20 Plus techniką atomizacji płomieniowej. Oznaczenia zawartości potasu wykonano w próbkach mineralizatów na spektrometrze absorpcji atomowej firmy Varian SpectrAA 20 Plus techniką emisyjnej spektrometrii atomowej.

Obecność bakterii chorobotwórczych z rodzaju *Salmonella* wykrywano, prowadząc hodowlę na podłożach namnażających i różnicująco-selektywnych, potwierdzając wyniki badaniem biochemicznym. Obecność jaj pasożytów jelitowych *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.* i *Toxocara sp.* wykrywano, izolując je z reprezentatywnej próbki osadu przez wstrząsanie, płukanie i wirowanie oraz flotację, następnie wykonując obserwacje mikroskopowe.

3. Wyniki badań

W tabelach 1-4 przedstawiono wybrane wyniki badań zestawienia i porównania obserwacji oraz analiz. W tabeli 1 zaprezentowano wyniki badań własnych z lagun

trzciniowych oczyszczalni w Zambrowie, laguna I i II - średnie stężenia z badań prowadzonych w 2003 roku, Zambrów - średnie stężenia z badań uśrednione z laguny I i II prowadzone w 2007 roku. Laguna I jest zasilana osadami ściekowymi od 1996 roku, natomiast laguna II od 2001 roku.

Tabela 1

Stężenia metali ciężkich w osadach utylizowanych w obiektach trzciniowych

Obiekt badań	Stężenia metali ciężkich, mg/kg s.m.						Źródło danych
	Cu	Pb	Ni	Zn	Cr	Cd	
Darżlubie	28,20	31,39	16,68	869,32	22,46	1,69	[11, 17-19]
Swarzewo	21,96	16,44	15,44	649,32	22,46	1,69	
Rudkobing	219	14,6	20,3	542	32,1	0,84	
Vallo	166	10	26,3	520	11,3	1,07	
Naskov	81	15,6	22,4	437	17,5	0,74	
Helsinge	237	10,7	20,7	416	18,1	0,95	
Osad nadmierny	164,0	65,6	13,0	478,7	32,7	1,03	[12]
Osad przefermentowany	193,2	67,6	50,4	1547,3	229,7	3,1	
Zambrów laguna I 2003	118	22,7	6,8	764	6,8	1,87	[14, 16]
Zambrów laguna II 2003	154	27,8	5,6	891	11,1	1,2	
Zambrów 2007	130	33	12,0	689	11,8	1,2	
Rozp. MOŚZNiL przy rolniczym wykorzystaniu	800	500	100	2500	500	10	[20]
Dyr. Rady Europy przy rolniczym wykorzystaniu	1000	750	300	2500	1000	20	[21]

Tabela 2

Charakterystyka odwadnianych osadów w obiektach trzciniowych na oczyszczalni ścieków w Zambrowie w latach 2003-2007 (wartości średnie)

Parametry	Jednostki	Zambrów		
		laguna I lipiec 2003	laguna II lipiec 2003	laguny I i II październik 2007
Odczyn	pH	6,51	6,60	6,90
Sucha masa osadu	%	88,1	78,9	82,1
Substancje organiczne	% s.m.	65,1	62,3	69,1
Uwodnienie osadu	%	11,9	21,1	17,9
Azot ogólny	% s.m.	2,49	2,16	2,62
Azot amonowy	% s.m.	0,039	0,036	0,01
Fosfor ogólny	% s.m.	15,86	15,28	8,42
Wapń	% s.m.	6,01	7,05	4,25
Magnez	% s.m.	0,74	0,83	0,62
Obecność bakterii <i>Salmonella</i>	w 25 g osadu	brak	brak	brak
Jaja pasożytów:				
- <i>Ascaris sp.</i>	szt./kg s.m.	0	0	0
- <i>Trichuris sp.</i>	szt./kg s.m.	0	0	0
- <i>Toxocara sp.</i>	szt./kg s.m.	0	0	0

Tabela 3

Charakterystyka osadów ściekowych unieszkodliwianych w porównywanych obiektach trzcinowych [11, 17, 18]

Obiekt	Parametr					
	Wilgotność %	Substancja organiczna % s.m.o.	Azot ogólny % s.m.o.	Azot amonowy % s.m.o.	Fosfor ogólny % s.m.o.	Sucha masa %
Darżlubie						
Osad surowy	92,00	47,60	3,14	0,33	0,41	8,00
Złoże trzcinowe po 6 miesiącach	46,40	33,90	2,63	0,03	0,39	53,60
Swarzewo						
Osad surowy	94,62	65,00	5,45	0,11	1,94	5,38
Laguna trzcinowa po 1 miesiącu	86,79	62,40	5,14	0,11	2,27	13,21
Laguna trzcinowa po 1 roku	44,77	58,20	4,67	0,13	2,38	55,23
Rudkobing						
Osad po 2 latach	70,7	42,0	1,9	–	4,7	29,3
Naskov						
Osad po 3 miesiącach	76,4	44,1	2,4	–	4,1	23,6
Vallo						
Osad po 2 miesiącach	73,9	46,0	2,2	–	4,2	26,1
Helsinge						
Osad po 2 tygodniach	79,3	41,1	2,0	–	3,8	20,7

Wyniki badań własnych prowadzonych w oczyszczalni w Zambrowie porównano i zestawiono z wynikami innych autorów otrzymanych w analogicznych obiektach.

Przedstawione wyniki badań z Darżlubia wykazały, że w osadach zgromadzonych w złożach trzcinowych po 6 miesiącach unieszkodliwiania uwodnienie osadów zmalało dwukrotnie (z 92 do 46,4%). Zawartość substancji organicznych zmniejszyła się z 47,6 do 33,9% s.m.o. Nastąpił również spadek ilości azotu ogólnego o 16,2% oraz azotu amonowego o 91%. Zmiany te mogły być spowodowane przemianami związków azotu. Nityfikacja i denityfikacja następują w dolnych warstwach osadów na skutek rozwoju mikroorganizmów heterotroficznych w strefie korzeniowej trzciny na mineralnym podłożu. Nieznaczna zmiana zawartości fosforu przypuszczalnie wystąpiła na skutek bioakumulacji w roślinach i mikroorganizmach systemu (tab. 3).

W lagunie trzcinowej w Swarzewie po pierwszym miesiącu uwodnienie osadów zmalało o 8,3%, natomiast po roku o 52,7%. Zawartość substancji organicznych uległa obniżeniu z 65,0 do 58,2% s.m.o. Zauważono także spadek zawarto-

ści azotu ogólnego o 14,3%. Wzrosła natomiast ilość azotu amonowego z 0,11 do 0,13% s.m.o., czyli o 18,2%. Mogło być to spowodowane procesem mineralizacji materii organicznej oraz azotu organicznego. Nastąpił również wzrost ilości fosforu ogólnego w osadach. Można to wyjaśnić ubytkiem masy osadu, spowodowanym procesem mineralizacji materii organicznej z jednoczesnym zachowaniem całej ilości fosforu (tab. 3).

Tabela 4

Charakterystyka odwadnianych osadów (wartości średnie) w ciągu pięcioletniej eksploatacji poletek trzcinowych na oczyszczalniach ścieków miejskich w latach 1997-2001 [12, 13]

Parametry	Jednostki	Osad nadmierny		Osad przefermentowany	
		w ciągu 5-letniej eksploatacji	po 5-letniej eksploatacji	w ciągu 5-letniej eksploatacji	po 5-letniej eksploatacji
Odczyn	pH	7,0	6,7	6,9	6,4
Sucha masa osadu	g/kg	381	376	390	373
Substancje mineralne	% s.m.	44,1	46,1	47,2	49,7
Substancje organiczne	% s.m.	55,9	53,9	52,8	50,3
Uwodnienie osadu	%	61,9	62,4	61,0	62,7
Azot ogólny	% s.m.	3,34	3,0	3,65	3,7
Azot amonowy	% s.m.	–	0,004	–	0,015
Fosfor ogólny	% s.m.	1,28	0,88	1,18	2,5
Wapń	% s.m.	–	3,1	–	4,1
Magnez	% s.m.	–	0,42	–	0,41
Obecność bakterii <i>Salmonella</i>	w 25 g osadu	–	brak	–	brak
Jaja pasożytów:					
– <i>Ascaris sp.</i>	szt./kg s.m.	–	89	–	37
– <i>Trichuris sp.</i>	szt./kg s.m.	–	0	–	0
– <i>Toxocara sp.</i>	szt./kg s.m.	–	157	–	116

W obiektach zlokalizowanych koło Kopenhagi średnia zawartość suchej masy w analizowanych osadach zmieniała się od 20,7% w Helsinge do 29,3% w Rudkobing. Różnice w zawartościach suchej masy w badanych osadach wynikały z czasu, w którym odwadniany był osad. Obiekt w Rudkobing nie był zasilany świeżymi osadami ściekowymi przez okres dwóch lat i tu osiągnięto najwyższy stopień odwadniania. Natomiast najniższą zawartość suchej masy zanotowano w Helsinge, gdzie obiekt zasilano zaledwie dwa tygodnie przed poborem próbek. Średnia zawartość substancji organicznej w analizowanych osadach zmieniała się od 41,1% s.m.o. w Helsinge do 46,0% s.m.o. w Vallo. Obecność związków biogenych: azotu i fosforu wskazuje na możliwość wykorzystania przetworzonych osadów jako nawozu (tab. 3).

W badaniach opisanych w pracy [12], w poszczególnych latach badań, w nadziemnych częściach roślin wykrywano małą zawartość metali ciężkich. W trzcinie rosnącej zarówno na lagunie z osadem nadmiernym, jak i z przefermentowanym zanotowano takie same zawartości ołowiu, wynoszące od $<0,03$ mg/kg s.m.o. w 1998 roku do $<0,05$ mg/kg s.m.o. w 2001 roku. W kolejnych latach eksploatacji nastąpił niewielki wzrost zawartości kadmu wahający się w granicach od 0,12 do 0,18 mg/kg s.m. (osady nadmierne) oraz od 0,13 do 0,17 mg/kg s.m. (osady przefermentowane). Brak istotnych zmian stężenia ołowiu i kadmu w okresie wegetacyjnym może być spowodowany tym, iż ołów jest metalem ciężkim biernie pobieranym przez rośliny i akumulowanym głównie w korzeniach. Znaczne różnice pomiędzy roślinnością rosnącą na osadach czynnych i na przefermentowanych wykazują pierwiastki Cr, Cu, Ni oraz Zn. Zawartość miedzi w przypadku osadów nadmiernych zmieniała się od 7,5 mg/kg s.m. w 1998 roku do 10,5 mg/kg s.m. w 2001 roku. W przypadku osadów przefermentowanych wartości Cu wynosiły odpowiednio: 3,0 mg/kg s.m. w 1998 roku oraz 4,0 mg/kg s.m. w 2001 roku (tabela 1, 4). Według Obarskiej-Pempkowiak i in., miedź jest pierwiastkiem ruchliwym, łatwo przyswajalnym dla roślin i ulega akumulacji głównie w korzeniach. Podobnymi właściwościami charakteryzuje się pierwiastek cynk.

Z badań osadów pobranych z lagun trzcinowych i wermikultury w Zambrowie wynika, iż osady spełniają wszystkie warunki biologiczno-sanitarne oraz fizyczno-chemiczne. Mogą być zatem stosowane w rolnictwie, do rekultywacji gruntów na potrzeby rolnicze oraz do kompostowania. W wynikach zanotowano bardzo duże różnice w zawartości suchej masy od 12 do 88%. Zmiany te mogły być spowodowane wprowadzeniem świeżych osadów o wysokiej wilgotności, w krótkim czasie przed pobraniem próbek do badań. Mogło być to również przyczyną dwukrotnego spadku poziomu fosforu w 2007 roku w porównaniu do poziomu w 2003 roku. Zanotowano również spadek azotu amonowego do wartości 0,01% s.m. (tabela 1, 2).

Podsumowanie i wnioski

Materiały do badań pobierane były z różnych etapów procesu unieszkodliwiania osadów ściekowych na analizowanych obiektach. Charakterystyczne parametry osadów zmieniały się w ciągu całego okresu badawczego. Zmienność ta może wynikać ze specyfiki osadów poddawanych unieszkodliwianiu, powstałych na rozpatrywanych oczyszczalniach ścieków. Czynnikiem wpływającym na przebieg procesu odwadniania oraz jakością badanego osadu były również warunki atmosferyczne - różne w analizowanych obiektach.

We wszystkich obiektach przeprowadzone badania wykazały, że zawartości analizowanych metali ciężkich dla stabilizowanych osadów ściekowych są poniżej dopuszczalnych wartości obowiązujących przy rolniczym wykorzystaniu osadów ściekowych określonych przez ministra środowiska i Radę Europy.

Dokonane obserwacje, przegląd literatury, zestawienie zebranych wyników badań oraz ich interpretacja, wizje lokalne instalacji i pozostałe informacje pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- Bogactwo procesów oraz zjawisk biologicznych i fizykochemicznych zachodzących w systemach hydrofitowych oraz w procesie kompostowania z zastosowaniem wermikultury czyni je atrakcyjnym i dość uniwersalnym narzędziem rozwiązywania problemów gospodarki wodno-ściekowej w gminach.
- Z przeprowadzonych analiz wyników badań z oczyszczalni zlokalizowanych w Polsce i w okolicach Kopenhagi i porównania ich z wymaganiami określonymi w aktach prawnych wynika, że osady przetworzone w tych obiektach spełniają warunki pod względem zawartości metali ciężkich. Mogą być zatem stosowane w rolnictwie, do rekultywacji gruntów na potrzeby rolnicze oraz do kompostowania.
- Na podstawie wyników badań zauważono, że po dłuższym okresie stabilizacji zawartość suchej masy osadów przetwarzanych na poletkach trzcinowych wzrasta w znacznym stopniu.
- Zastosowane systemy nie powodują uciążliwości dla ludzi oraz środowiska. Sztucznie wytworzone trzcinowiska mogą spełniać jednocześnie funkcję ekologiczną.
- Zastosowanie obiektów hydrofitowych stanowi długotrwałe rozwiązanie problemu osadu przy bardzo niskich kosztach eksploatacyjnych.
- Na podstawie zebranych danych stwierdzono, że efekt odwadniania osadów ściekowych na poletkach trzcinowych był dobry.

Literatura

- [1] Grabowska B., Kubala T., *Rośliny wodne i wilgociolubne*, Officina Botanica, Kraków 2006.
- [2] Kosowscy S. i G., *Rośliny wodne i bagienne*, MULTICO, Warszawa 2006.
- [3] Obarska-Pempkowiak H. i in., *Metoda hydrofitowa w ochronie środowiska w Polsce*, Materiały II Kongresu Inżynierii Środowiska, Lublin 2005, tom 1, 881-889.
- [4] Obarska-Pempkowiak H., *Oczyszczalnie hydrofitowe*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2002.
- [5] Lienard A., Esser D., Deguin A., Virloget F., *Sludge dewatering and drying in reed beds: an interesting solution? General investigation and first trials in France*, Proceedings of the conference, Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control, Cambridge 1990, 257-267.
- [6] Nielsen S., *Sludge drying reed beds*, 8th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Vol. I, Arusha International Conference Centre (AICC), University of Dar Salaam 2002, 24-39.
- [7] Kim B., *Field evaluations of reed bed sludge dewatering technology: summary of benefits and limitations based on 4 years experience at Fort Campbell, Kentucky*, Paper presented at the 67th annual Conference of the Water and Environment Federation, Chicago 1994.
- [8] Kalisz L. i in., *Wykorzystanie dżdżownic do przetwarzania osadów stabilizowanych tlenowo*, Monografia: Wyd. SGGW Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 2000.
- [9] Kostecka J., *Poradnik hodowcy dżdżownic*, Akademia Rolnicza w Krakowie, Filia w Rzeszowie, Rzeszów 1993.

- [10] Góra-Drożdż E., Produkcja i wykorzystanie kompostów, Materiały Konferencji Naukowej nt. Produkcja i wykorzystanie kompostów z terenu miasta Krakowa, Akademia Rolnicza w Krakowie, Kraków 2001.
- [11] Obarska-Pempkowiak H., Zastosowanie systemów hydrofitowych do oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych, [w:] Woda, ścieki i odpady w małych miejscowościach województwa podlaskiego, praca zbiorowa pod red. nauk. D. Boruszki, W. Dąbrowskiego, Agencja Wydawniczo-Edytorska EkoPress, Białystok 2009.
- [12] Kalisz L., Sałbut J., Nechay A., Odwadnianie osadów ściekowych na poletkach z trzciną. Monografia, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 2002.
- [13] Kalisz L., Sałbut J., Wykorzystanie trzciny do odwadniania stabilizowanych osadów ściekowych, Monografia, Wyd. SGGW Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 1999.
- [14] Alachimowicz J., Modernizacja i rozbudowa gospodarki osadowej i linii ściekowej oczyszczalni ścieków miejskich w Zambrowie, [w:] Woda, ścieki i odpady w małych miejscowościach województwa podlaskiego, praca zbiorowa pod red. nauk. D. Boruszki, W. Dąbrowskiego, Wyd. Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych, Białystok 2005.
- [15] Dokumentacja techniczna oczyszczalni ścieków w Zambrowie.
- [16] Alachimowicz J., Gawkowski W., Gospodarka osadowa oczyszczalni ścieków w Zambrowie, Inżynieria i Ochrona Środowiska 2001, 4, 2, 263-272.
- [17] Obarska-Pempkowiak H., Zwara W., Cytawa S., Unieszkodliwianie osadów ściekowych w złożach trzcinowych i na plantacji wikliny, Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. Osady ściekowe - odpad czy surowiec? Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1997, 68-75.
- [18] Obarska-Pempkowiak H., Zwara W., Przemiany biochemiczne osadów ściekowych w złożach trzcinowych, Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. Osady ściekowe w praktyce, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa-Ustroń 1998, 91-102.
- [19] KołECKA K., Długookresowe zmiany specjacji metali ciężkich w osadach ściekowych utylizowanych w złożach trzcinowych, Rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2007.
- [20] Rozporządzenie MOŚZNIŁ z dn. 1 sierpnia 2002 r., DzU Nr 134, poz. 1140.
- [21] Dyrektywa Rady Europy 1986/278/EEC.

Experience of the Application of Low-Cost Methods of Sewage Sludge Processing

Sewage sludge is a source of organic matter, micro and macro elements. Due to Polish regulations it can be used as a fertilizer or for land reclamation. Sewage sludge management in north eastern part of Poland is often based on low-cost methods. This is related to agricultural and non-industrial characteristic of this part of Poland. Also the big quantity of biomass just like saw dust, straw and chips is available in the area of Green Lounge of Poland. Other important aspect is low quality of soil in this part of Poland. Low input methods are characterized by: simple construction, reliable simple technology and maintenance, low cost of building and exploitation. Especially the energy (electricity) consumption is very low.

The paper presents results from real scale installations in Poland and other countries. The composting method should be recommended for sludge generated in small and medium waste water treatment plants, according to the EU waste strategy - preference of recycling to composting. Many Polish treatment plants use composting at present. Waste water treatment plant in Zambrow (Podlaskie Province) is the only one object using sewage sludge dewatering with constructed wetlands and vermicomposting. The qualitative analysis of vermicompost in Zambrow and sewage sludge after treatment with constructed wetlands in Zambrow, Darżlubie, Swarzewo was presented.

Keywords: low-cost methods, sewage sludge, compost, vermicompost, constructed wetlands