

# Wykorzystanie metody hydrofitowej do rozwiązywania problemów gospodarki osadowej w nowych i modernizowanych oczyszczalniach ścieków dla 500 ÷ 25 000 MR.

Małgorzata Helman-Grubba  
„Ekol - Unicon” Sp. z oo.  
ul. Równa 2, 80 - 067 Gdańsk  
tel. (058) 306-36-56, tel./fax 306-36-59,  
tel. kom. (0601) 61-80-86

## 1.0. Metoda hydrofitowa

Już w starożytnych Chinach i Egipcie obserwowano oczyszczające i uzdrawiające właściwości ekosystemów bagiennych oraz wykorzystywano je do utylizacji nieczystości [3]. W Europie zachodniej pierwsze doświadczenia z wykorzystaniem ekosystemów bagiennych w inżynierii sanitarnej sięgają ok. 100 lat [3]. W związku z tymi doświadczeniami w inżynierii sanitarnej upowszechniają się obecnie angielskie terminy :

*wetlands* – obszary podmokłe, bagienne, w których poziom wody utrzymuje się ponad powierzchnią terenu przez znaczną część roku wywołując stan nasycenia gleby wodą oraz rozwój charakterystycznych gatunków roślin i zwierząt,

oraz

*constructed wetlands* - obiekty lub obszary symulujące pracę ekosystemów bagiennych, celowo tworzone przez człowieka dla ochrony lub podczyszczania wód i ścieków.

Uzdrawiające i oczyszczające właściwości ekosystemy bagienne zawdzięczają bardzo różnorodnym mechanizmom.

Obszary bagienne stwarzają szerokie możliwości sedymentacji i filtracji wszelkich zanieczyszczeń mechanicznych.

Utlenianie zanieczyszczeń organicznych oraz związków azotu (tzw. nityfikację) zawdzięczamy głównie mikroorganizmom - tym samym, które działają w procesie osadu czynnego czy złóż biologicznych.

Rośliny korzeniące się spełniają funkcję podłoża (analogia do złóż), mikroaeratorów (analogia do osadu czynnego), grzałki (otulina ochronna od wiatru i mrozu) oraz regulatora składu ścieków (szczególnie pod wzgl. zawartości dostępnych związków węgla).

Nic dziwnego więc, że w poprzerastanym kłęczami i korzeniami mokradle żyje ok. 2000 gatunków bakterii oraz kilka tysięcy grzybów, ogólnie ok. 100 razy więcej mikroorganizmów niż w osadzie czynnym (ok. 300 gatunków mikroorganizmów żyje a w natlenionych ściekach [2]).

Azot, fosfor i potas są pobierane przez rośliny i gromadzone głównie w liściach (najwięcej azotu - Manna, fosforu i potasu - Tatarak) [6]. Usuwając naziemne części roślin ( $3 \div 6,5 \text{ kg s.m./m}^2$ ) można usunąć ok. 20% ładunku azotu i ok. 10% ładunku fosforu dopływającego do mokrsdła [6].

W naszym klimacie rośliny przez ok. 9 miesięcy w roku funkcjonują jako pułapki związków fosforu i potasu. Poza sezonem wegetacyjnym część z nagromadzonych związków F i K jest uwalnianych do środowiska. Natomiast azot, który jest mało mobilny zostaje w większości trwale związany w detrytusie stając się źródłem pożywienia dla wielu gatunków zwierząt bentosowych [6].

Azot amonowy jest ponadto silnie sorbowany przez materiał glebowy a azot azotanowy w warunkach słabego natlenienia ulega redukcji do azotu gazowego przy udziale mikroflory bakteryjnej.

W stosunku do fosforu najważniejsze są procesy adsorpcji, tworzenia kompleksów (z glinem, żelazem i wapniem) oraz zjawisko *tworzenia torfów* [3].

Mokradła posiadają również zdolności higienizacyjne. Wiele groźnych patogenów (zwłaszcza jaja pasożytów i duże bakterie) jest zatrzymywanych na drodze filtracji. Wszystkie mikroorganizmy posiadają

bowiem konkretny fizyczny wymiar (ok. 1µm). Ponadto korzenie niektórych roślin wodnych np. Oczeretu jeziornego uwalniają antybiotyki toksyczne dla bakterii typu Coli, Salmonelli, Enterococci [3] a niektóre bakterie typowe dla ekosystemu bagiennego (np. Pseudomonas fluorescens) są naturalnymi antagonistami enterobakterii i powodują ich wymieranie [1].

Uzyskiwany efekt higienizacji wyraża się obniżeniem wskaźników bakteriologicznych o **2** a nawet o **4 rzędy** (np. z miana Coli 0,001 uzyskujemy 1). Oznacza to efektywność oczyszczania 99,99%.

Dzięki tym właściwościom obszary mokradłowe stanowią jeden z najważniejszych i najbogatszych gatunkowo ekosystemów na Ziemi a przez ekologów zostały ochrzczone mianem „*nerek ziemskiej przyrody*”[3].

Polski odpowiednik angielskiego „*constructed wetlands*” od dłuższego czasu stanowi przedmiot dyskusji i sporów. W piśmiennictwie przedmiotu są stosowane następujące terminy : oczyszczalnie korzeniowe, złoża trzcinowe, filtry gruntowo-roślinne, oczyszczalnie glebowo-roślinne i inne, które nie tłumaczą jednak w pełni istoty terminu „*constructed wetlands*” gdyż nie odwołują się kompleksowo do procesów oczyszczania zachodzących w ekosystemie bagiennym.

Po długich dyskusjach wydaje się, iż znaleziono wreszcie wspólny polski mianownik dla bardzo różnych rozwiązań technicznych kryjących się pod hasłem „*constructed wetlands*” - są nim charakterystyczne dla ekosystemu bagiennego rośliny wyższe, tzw. *hydrofity*. Z tego powodu, zamiast obcego terminu „*constructed wetlands*”, coraz częściej proponuje się stosowanie terminów: oczyszczalnie hydrofitowe, systemy hydrofitowe lub ochrona wód i oczyszczanie ścieków metodą hydrofitową [Kowalik, Obarska-Pempkowiak - Politechnika Gdańska].

Bogactwo procesów i zjawisk biologicznych i fizykochemicznych wykorzystywanych w systemach hydrofitowych czyni je atrakcyjnym i dość uniwersalnym narzędziem rozwiązywania problemów gospodarki wodno-ściekowej takich jak. :

- walka z zanieczyszczeniami obszarowymi,
- niedobory wody dla rolnictwa (mała retencja),
- oczyszczanie odcieków ze składowisk,
- podczyszczanie małych cieków wodnych i ochrona ujęć,
- oczyszczanie ścieków - w tym ścieków dowożonych,
- **przeróbka i „przyrodnicze uzdatnienie” osadów ściekowych.**

## 2.0. Mechanizmy funkcjonowania

Konstrukcje inżynierskie wykorzystujące metodę hydrofitową do przerwki osadów ściekowych odwołują się do zespołu fizycznych, chemicznych oraz biologicznych procesów występujących w ekosystemach bagiennych, takich jak.:

- sedymentacja, filtracja i sorpcja zanieczyszczeń mechanicznych (zawiesin) i mikroorganizmów patogennych;
- tlenowy i beztlenowy rozkład materii organicznej przez mikroorganizmy;
- mikrobiologiczne przemiany związków azotowych (nityfikacja, denityfikacja);
- sorpcja i strącanie fosforu na skutek reakcji chemicznych z mineralnymi składnikami wód i podłoża;
- pobieranie związków biogennych i metali ciężkich przez rośliny;
- spulchnianie, udrażnianie, dotlenianie podłoża oraz tworzenie znacznych obszarów siedliskowych dla mikroorganizmów przez korzenie i kłącza roślin;
- niszczenie organizmów patogennych przez naturalne promieniowanie ultrafioletowe oraz antagonistyczne oddziaływanie mikroflory bagiennej i wydzielin korzeni niektórych roślin;
- pobór znacznych ilości wody na potrzeby życiowe roślin, co intensyfikuje parowanie oraz prowadzi do zmniejszenia objętości zanieczyszczonego medium;
- zdolność roślin do poboru tzw. wody kapilarnej, nie oddawanej przez podłoże podczas odwadniania grawitacyjnego.

Dzięki wymienionym mechanizmom oprócz odwodnienia, mineralizacji i higienizacji samego osadu ściekowego metoda hydrofitowa zapewnia nam Dodatkowy efekt ekologiczny w postaci polepszenia

parametrów odcieku uzyskiwanego w procesie odwadniania w porównaniu z odciekami z wirówek czy pras :  
ok. 10 razy mniej azotu,  
ok. 75 razy mniej BZT<sub>5</sub>,  
ok. 20 razy mniej ChZT.

Stąd ładunek zanieczyszczeń trafiający do oczyszczalni wraz z odciekami jest przy zastosowaniu odwadniania osadów metodą hydrofitową od 4 do 50 razy mniejszy, niż przy stosowaniu odwadniania mechanicznego [4].

### **3.0. Zbiornice stacje przeróbki osadów ściekowych i ścieków dowożonych**

Mimo niewielkiej ilości osadów ściekowych w stosunku do objętości ścieków (1 ÷ 2%), koszty związane z ich utylizacją sięgają ok. 70% całkowitych kosztów eksploatacji oczyszczalni.

Wykorzystanie metody hydrofitowej do odwadniania i mineralizacji osadów ściekowych stanowi bardzo atrakcyjną alternatywę technologiczną dla małych i średnich oczyszczalni ścieków oraz dla zbiorczych (np. gminnych) stacji utylizacji osadów dowożonych z kilku mniejszych oczyszczalni.

Pod względem konstrukcyjnym hydrofitowe obiekty przeróbki osadów ściekowych przypominają tradycyjne poletka odwadniające. Różnica polega na wysokości ścian bocznych, które w tym przypadku powinny być wyniesione ok. 1 m powyżej powierzchni złoża (poletka).

Można je również realizować w formie lagun ziemnych o odpowiednio wysokich skarpach. Pamiętać jednak należy o bardzo starannej izolacji od podłoża rodzimego oraz o wykonaniu odpowiedniej warstwy drenażowej.

Roślinność bagienna (w tym przypadku głównie trzcina) porastająca złoża jest okresowo zalewana warstwą osadów. Korzenie i kłocza przerastają warstwę osadową czerpiąc z niej wilgoć i składniki odżywcze a zielone części roślin wyrastają ponad osady. W ten sposób powierzchnia złoża stopniowo podnosi się uzyskując po ok. 8÷10 latach wysokość 1 m. Wtedy osad, który w międzyczasie zamienił się w glebę, usuwa się a powierzchnię złoża ponownie obsadza trzcina i dalej użytkuje.

Długoletnie gromadzenie osadów powoduje ich automatyczną higienizację (większość mikroorganizmów patogennych ginie śmiercią naturalną z powodu braku żywiciela jakim jest dla nich człowiek lub zwierzęta). Ponadto funkcjonują mechanizmy aktywnego zwalczania patogenów przedstawione w § 1i 2.

W złożach trzcinowych do odwadniania osadów wykorzystywana jest przede wszystkim zdolność roślin do wchłaniania ogromnych ilości wody przez korzenie i kłocza oraz jej szybkiej transpiracji. W przeciwieństwie do odwadniania grawitacyjnego - jakie jest praktykowane na tradycyjnych poletkach ociekowych - w złożach trzcinowych usuwana jest również wilgoć kapilarna. Stąd proces odwadniania przebiega ok. **300 razy** szybciej niż na tradycyjnych poletkach, uzyskiwany jest znacznie większy stopień odwodnienia, a same złoża zajmują mniejszą powierzchnię.

W zależności od rodzaju osadu 1 m<sup>2</sup> złoża trzcinowego może w ciągu roku przerobić osady od 1,5 ÷ 6 MR [1,4].

### **3.1. Ścieki dowożone**

Często występujące nieszczelności lub zła jakość betonu, z którego wykonana jest większość istniejących szamb, małe zużycie wody oraz brak regularności w obsłudze asenizacyjnej sprawiają, iż tzw. „szambo” przypomina bardziej osad ściekowy w trakcie fermentacji niż ścieki bytowo-gospodarcze. Taka „bomba ekologiczna” stanowi utrapienie dla większości oczyszczalni ścieków. Tymczasem statystyki dotyczące ilości użytkowników kanalizacji wykazują, że w Polsce jeszcze przez wiele lat korzystanie z przydomowego szamba będzie w niektórych regionach rozwiązaniem bardzo popularnym, a kto wie czy nie najbardziej racjonalnym. Transport samochodowy nieczystości usuwanych z szamb nie nastęrcza bowiem specjalnych trudności. Trudności powstają dopiero wtedy, gdy brak jest odbiorcy chętnego do przyjęcia i zagospodarowania takiego „szamba”.

Stąd godny rozważenia wydaje się pomysł traktowania nieczystości usuwanych z szamb jako osadów ściekowych i przerabianie ich wspólnie z osadami ściekowymi, np. metodą hydrofitową. Idea ta jest obecnie

wdrażana na oczyszczalni ścieków w Darżlubiu (gmina Puck).

### 3.2. Efekty odwadniania

Dane z oczyszczalni duńskich potwierdzają wysoką efektywność złóż trzcinowych w stosunku do innych metod odwadniania.

**Zawartości suchej masy uzyskiwane w odwadnianiu osadów różnymi metodami [4].**

| Metoda odwadniania          | % suchej masy  |
|-----------------------------|----------------|
| Wirówki                     | 15 ÷ 20        |
| Prasy taśmowe               | 15 ÷ 20        |
| Prasy filtracyjne           | 28 ÷ 32        |
| Tradycyjne poletka ociekowe | 10 ÷ 20        |
| Złóża trzcinowe             | <b>30 ÷ 40</b> |

Z osadu czynnego nadmiernego o zawartości s.m. = 0,5% w ciągu 6 dni uzyskiwano s.m. = 15%.

Dane ukazujące się coraz częściej w polskich publikacjach wydają się być bardziej optymistyczne.

**Zmiany jakości osadów ściekowych unieszkodliwianych w lagunie trzcinowej w Swarzewie [7]**

| Parametr          | Jednostka | Osad surowy | Laguna trzcinowa po 1 miesiącu | Laguna trzcinowa po 1 roku |
|-------------------|-----------|-------------|--------------------------------|----------------------------|
| Wilgotność        | %         | 94,62       | 86,79                          | 44,77                      |
| Subst. organiczne | %         | 65,00       | 62,40                          | 58,20                      |
| Azot ogólny       | % s.m.o.  | 5,45        | 5,14                           | 4,67                       |
| Azot amonowy      | % s.m.o.  | 0,11        | 0,11                           | 0,13                       |
| Fosfor ogólny     | % s.m.o.  | 1,94        | 2,27                           | 2,38                       |

### 3.3. Warunki stosowania

Hydrofitowe obiekty przeróbki osadów najlepiej pracują na osadzie wstępnie ustabilizowanym tlenowo (nawet do 60 kg s.m./m<sup>2</sup> złoża rocznie [4]). W przypadku zalewania złóż osadem stabilizowanym beztlenowo (przefermentowanym) dawki s.m./m<sup>2</sup> muszą być odpowiednio mniejsze.

Ze względu na zapotrzebowanie powierzchni opisywana metoda wydaje się być racjonalna dla przepustowości do ok. 100 m<sup>3</sup> osadu/d. Stąd polecamy stosowanie odwadniania na złożach trzcinowych dla oczyszczalni obsługujących do 25 tys. MR (ok. 5000 m<sup>3</sup> ścieków/d).

Z kolei dla oczyszczalni poniżej 500 MR najbardziej racjonalne wydaje się być wywożenie osadów do zbiorczych stacji przeróbki.

## 4.0. Przykłady porównawcze

Poniżej przedstawiamy zyski z zamiany tradycyjnych poletek ociekowych na złoża hydrofitowe dla dwóch typów oczyszczalni.

### 4.1. Oczyszczalnia dla 1000 MR : osadniki gnilne lub osadnik Imhoffa + złożo biologiczne lub osad czynnego z pełną nityfikacją

Przy zastosowaniu tradycyjnych poletek ociekowych oczyszczalnia ta potrzebuje łącznie z placem magazynowo-składowym ok. 430÷560 m<sup>2</sup>.

Zakładając 6 zalewów poletek na rok, z oczyszczalni w sezonie zalewowym (9 m.-cy w roku) musimy co ok. 45 dni usunąć **11+18 t** osadów o uwodnieniu ok. 70÷75 % i o wątpliwej jakości sanitarnej. Rocznie z oczyszczalni trzeba wywieźć **62÷108 t** osadów.

Przerabiając istniejące poletka i plac magazynowy na złoża trzcinowe :

- a) Zaprzestajemy wywozu osadów na ok. 10 lat;
- b) Osady mogą być wylwane na złoża przez cały rok (również zimą);
- c) Podczas tak długiego leżakowania osad ulega częściowej mineralizacji i higienizacji;
- d) W trakcie 10 lat eksploatacji dzięki procesom odwadniania i mineralizacji z całkowitej masy osadu wylanego na złoża pozostaje tylko ok. 5÷10% (osady odwadniane są do zawartości s.m. = 30÷40%);
- e) Oznacza to, iż po 10 latach eksploatacji będziemy mieli do usunięcia maksimum 530 t osadów zmineralizowanych, odwodnionych i zhigienizowanych, o konsystencji torfu;
- f) Zmniejszamy znacznie ilość i poprawiamy parametry odcieku zawracanego do oczyszczalni, a tym samym zmniejszamy wtórne obciążenie oczyszczalni.

Objętość odcieku, dzięki zużyciu wody przez rośliny, wynosi ok. 20% objętości odcieku z odwadniania mechanicznego.

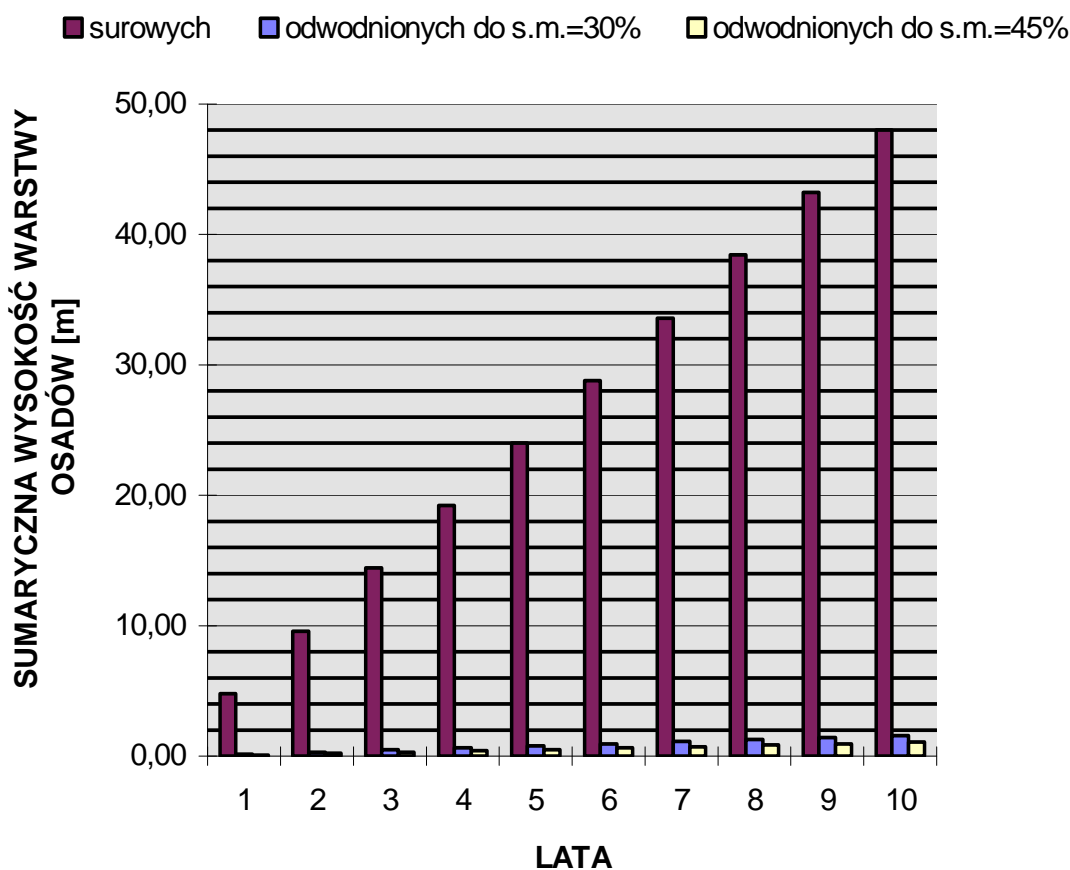
#### 4.2. Oczyszczalnia z osadem czynnym, bez osadników wstępnych (sita lub krata schodkowa)

Dla większych oczyszczalni, w których dominującym procesem jest oczyszczanie biologiczne metodą osadu czynnego z zastosowania złóż trzciniowych są jeszcze większe. Osad czynny wstępnie ustabilizowany tlenowo może być aplikowany na złoża trzciniowe w ilościach nawet do 60 kg s.m./m<sup>2</sup>×rok.

Oznacza to, że 1 m<sup>2</sup> złoża przerobi osad od 5÷6 mieszkańców równoważnych, a całkowita ilość osadu do wywozu po 10 latach wyniesie tylko 1/17 osadu wylanego na złoża.

Ilustruje to załączony wykres wykonany dla oczyszczalni wielkości 1000 MR posiadającej złoża lub laguny trzciniowe o powierzchni ok.230 m<sup>2</sup>.

#### AKUMULACJA OSADÓW ŚCIEKOWYCH NA ZŁOŻACH TRZCINOWYCH



## 5.0. Koszty budowy i eksploatacji obiektów hydrofitowych do przeróbki osadów ściekowych

Kontynuując analizę oczyszczalni dla **1000 MR**, możemy z dość dobrym przybliżeniem założyć jednostkowy wskaźnik całkowitych kosztów inwestycyjnych na poziomie co najmniej 1000 zł/MR. Jeżeli będzie to oczyszczalnia z osadem czynnym (bez osadników wstępnych), przeróbka osadów ściekowych metodą hydrofitową będzie wymagała budowy ok. **200 m<sup>2</sup>** złóż lub lagun. W zależności od dostępności oraz lokalnych cen kruszywa i stawek robocizny, możemy założyć koszt wykonania 1m<sup>2</sup> obiektu hydrofitowego na poziomie 100÷200 zł [5, 10]. Oznacza to, iż przy całkowitych kosztach budowy oczyszczalni na poziomie ok. **1 mln zł**, obiekty gospodarki osadowej wyniosą nie więcej niż **40 000 zł**, tj. maksimum 4% kosztów całkowitych.

Koszty inwestycyjne można znacząco zmniejszyć, wykonując obiekty hydrofitowe w tzw. systemie gospodarczym (autorowi znane są takie przykłady). Poniżej podajemy strukturę kosztów wykonania obiektów hydrofitowych opracowaną na podstawie kosztów różnych obiektów wykonanych przez „Eko-Unicon” Sp. z oo.

### Struktura kosztów realizacji obiektów hydrofitowych [10]

| Elementy     | % kosztów całkowitych inwestycji |                                     |
|--------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Materiały    | ~ 40 ÷ 45%                       |                                     |
| Wykonawstwo  | ~ 35 ÷ 40%                       | sprzęt : ~ 25%<br>robocizna : ~ 75% |
| Transport    | ~ 5 ÷ 12%                        |                                     |
| Dokumentacja | ~ 5 ÷ 15%                        |                                     |

Angażując własną robociznę można, w świetle ww. danych zaoszczędzić 25 ÷ 30% całkowitych kosztów inwestycji. Nie zaleca się natomiast dokonywania oszczędności na etapie dokumentacji technicznej a zwłaszcza instrukcji eksploatacji, gdyż drobne szczegóły projektowe oraz zalecenia eksploatacyjne determinują skuteczność pracy obiektów.

Koszty mechanicznej przeróbki osadów to 40÷50% ogólnych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych oczyszczalni ścieków. Wykorzystanie metody hydrofitowej pozwala na redukcję kosztów eksploatacyjnych gospodarki osadowej do kilku procent. Stwarza też możliwość produkcji cennego nawozu (o ile ścieki nie zawierają nadmiaru metali ciężkich), który stosunkowo łatwo zagospodarować przyrodniczo.

Eksploatacja obiektów hydrofitowych nie wymaga stosowania kosztownych polielektrolitów. Zapotrzebowanie energii elektrycznej ogranicza się do zapotrzebowania pomp dozujących osad na złoża lub laguny.

Należy się natomiast liczyć z okresowymi zabiegami konserwacyjnymi takimi jak uzupełnianie ewentualnych wypadów roślinności, okresowa konserwacja elementów drewnianych, stalowych, płukanie przewodów rozrządowych.

W świetle obowiązującej ustawy o odpadach zamiana szkodliwego odpadu (osady ściekowe zaliczane są obligatoryjnie do odpadów szkodliwych) na cenny przyrodniczo produkt ułatwi życie producentom osadów, jakimi są oczyszczalnie ścieków. Może to również znacząco obniżyć koszty eksploatacyjne (zagospodarowując osady przyrodniczo unikamy opłaty za składowanie).

## 6.0. Podsumowanie

W sprzyjających warunkach przestrzennych zastosowanie metody hydrofitowej do odwadniania i mineralizacji osadów ściekowych może stanowić atrakcyjną alternatywę zarówno w stosunku do tradycyjnych poletek ociekowych, jak i dość popularnych urządzeń workowych, wirówek czy nawet usług pras przewoźnych.

"Eko-Unicon" Sp. z oo. posiada przeszkoloną kadre (polsko-duńskie studium podyplomowe, praktyka w

Danii) przygotowaną do rozwiązywania problemów gospodarki ściekowej oczyszczalni ścieków w oparciu o metodę hydrofitową.

W zależności od potrzeb Inwestorów oferujemy Państwu :

- wykonanie projektów adaptacyjnych (przebudowa istniejących poletek ociekowych na złoża trzcinowe) lub budowlanych - dla nowych obiektów;
- wykonanie instrukcji eksploatacji;
- wykonanie prac budowlanych lub nadzór nad wykonawstwem.

## Literatura

- [1] „Oczyszczanie ścieków na filtrach gruntowo-roślinnych, możliwości uzdatniania ścieków, deszczówki i osadów ściekowych w terenie wiejskim” - Seminarium robocze z zakresu ekologii inżynierskiej - Cedzyna, 8-10.06.1994.
- [2] „Oczyszczalnie korzeniowe System Kickuth” - Seminarium specjalistyczne - Łódź, 9-10.12.1994.
- [3] H. Brix „Treatment wetlands : an overview”  
Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna - Oczyszczalnie Hydrobotaniczne - Gdańsk, 1-3.09.1995.
- [4] N.H. Johansen „Combined treatment and sludge demineralization by constructed wetlands and SBR technology”  
Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna - Oczyszczalnie Hydrobotaniczne - Gdańsk, 1-3.09.1995.
- [5] M. Dzikiewicz „Oczyszczalnie trzcinowe w Polsce, przygotowanie inwestycji i koszty budowy”  
Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna - Oczyszczalnie Hydrobotaniczne - Gdańsk, 1-3.09.1995.
- [6] T. Ozimek, G. Renman „Rola helofitów w oczyszczalniach hydrobotanicznych” - II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna - Oczyszczalnie Hydrobotaniczne, Poznań 2-3.09.1996.
- [7] Obarska-Pempkowiak, W Zwara, St. Cytawa „Unieszkodliwianie osadów ściekowych w złożach trzcinowych i na plantacjach wikliny” - Osady ściekowe - odpad czy surowiec - Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna, Częstochowa 26-28 czerwca 1997.
- [8] Obarska-Pempkowiak, W Zwara, „Przemiany biochemiczne osadów ściekowych w złożach trzcinowych”- Osady ściekowe w praktyce - VII Konferencja Naukowo-Techniczna, Częstochowa-Ustroń 16-18 czerwca 1998.
- [9] Reed beds & constructed wetlands for wastewater treatment” - WRc Publications, Severn Trent Water, June 1996.
- [10] Doświadczenia własne firmy „Ekol-Unicon”