

Zastosowanie systemów hydrofitowych do porządkowania gospodarki wodno-ściekowej w gminie.

Małgorzata Helman

„Ekol - Unicon” Sp. z o.o.

ul. Kołobrzeska 41, 80 - 391 Gdańsk

tel. (058) 53 11 91, tel./fax 57 22 59, tel.kom. (0601) 62 20 04, 62 22 65

1.0. Wprowadzenie

W Polsce średnio ok. 62% ludności miejskiej jest obsługiwane przez oczyszczalnie ścieków, przy czym około 40% oczyszczalni miejskich wyposażonych jest jedynie w urządzenia podczyszczania mechanicznego [12].

W miastach o wielkości powyżej 10.000 mieszkańców wskaźnik ludności obsługiwanej przez oczyszczalnie odpowiada średniej krajowej lub ją przekracza (np. w miastach wielkości 50-100 tys. mieszkańców - 72%), natomiast w mniejszych ośrodkach spada on do 20 ÷ 25% (miejscowości poniżej 5.000 mieszkańców) [12].

W naszym kraju mamy ponadto ok. 45.000 wsi, z których ok. 10.000 posiada wodociąg centralny. Natomiast na ok. 3 mln gospodarstw wiejskich, z kanalizacji korzysta tylko ok. 4% [6].

Większość takich inwestycji jak :

- ujęcia wody,
 - składowiska odpadów komunalnych i przemysłowych,
- lokalizowanych jest poza obszarami miejskimi.

Gminy wiejskie i małomiejskie to również w większości gospodarze jakże potrzebnych nam wszystkim terenów rekreacyjno-turystycznych oraz rolniczych.

Pomimo trudności ekonomicznych objawiających się m.in. spadkiem zużycia nawozów sztucznych - polskie rolnictwo dostarcza do naszych wód powierzchniowych olbrzymi ładunek biogenów powodujących ich wtórne zanieczyszczenie : ok. 39% azotu, 35% fosforu i 64% potasu.[7,8]

Przytoczone dane dają ogólne wyobrażenie o skali problemów i potrzeb gospodarki wodno-ściekowej w gminach wiejskich oraz małych gminach miejsko-wiejskich.

Wygodnym i atrakcyjnym - zarówno pod względem techniczno-ekonomicznym, jak i estetycznym - narzędziem do rozwiązywania w.w. problemów może być wykorzystanie systemów hydrofitowych.

Poniżej podano kilka przykładów korzystania z tego narzędzia oraz podjęto próbę wyjaśnienia kilku nieporozumień dość często pojawiających się wokół omawianych kwestii.

2.0. Geneza, systematyka, mechanizmy funkcjonowania

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 anglojęzyczne 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 roślin i zwierząt,

oraz

constructed wetlands - nie znajdujący jak dotąd jednego, precyzyjnego polskiego tłumaczenia.

Terminem „*constructed wetlands*” określa się obiekty lub obszary symulujące pracę ekosystemów bagiennych, celowo tworzone przez człowieka dla ochrony lub podczyszczania wód i ścieków. W piśmiennictwie przedmiotu są stosowane następujące terminy : oczyszczalnie korzeniowe, złoża trzcinowe, filtry gruntowo-roślinne, oczyszczalnie glebowo-roślinne i inne, które nie tłumaczą w pełni istoty terminu „*constructed wetlands*”, gdyż

„*Constructed wetlands*” - to nie jedno konkretne rozwiązanie techniczne typu uszczelnionego basenu ziemnego wypełnionego ziemią i obsadzonego trzciną. Nie jest to również rolnicze wykorzystanie ścieków ani oczyszczanie roślinne.

Jest to natomiast odwołanie się w konstrukcjach inżynierskich 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.

Z tego powodu, zamiast obcego terminu „*constructed wetlands*”, proponuje się stosowanie terminów : oczyszczalnie hydrofitowe oraz ochrona wód i oczyszczanie ścieków metodą hydrofitową [Kowalik, Obarska-Pempkowiak - Politechnika Gdańska].

W systemach ochrony wód i oczyszczania ścieków metodą hydrofitową znajdują się więc takie rozwiązania techniczne jak :

- a) baseny z roślinnością wodną pływającą;
- b) baseny z roślinnością wodną zanurzoną;
- c) baseny ziemno-wodne z roślinnością wynurzoną;

jak również zakładanie zorganizowanych stref buforowych na granicy ekosystemów wodnych i lądowych (stanowiących bariery biogeochemiczne).

3.0. Możliwości i warunki efektywnego stosowania rozwiązań hydrofitowych

3.1. Hydrofitowe oczyszczalnie ścieków dla niewielkich jednostek osadniczych

W tym rozwiązaniu technologicznym metoda hydrofitowa znajduje zastosowanie jako drugi stopień oczyszczania ścieków (po wstępnym podczyszczeniu mechanicznym).

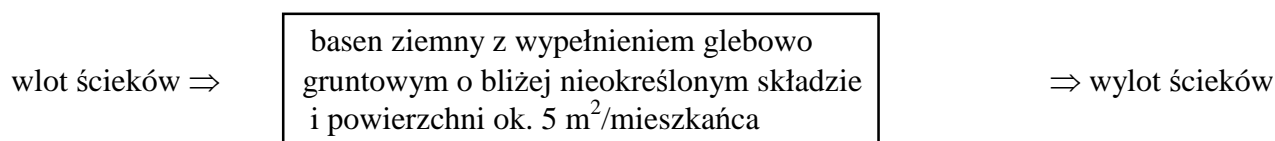
W naszym klimacie najlepiej sprawdzają się tu konstrukcje w postaci uszczelnionych basenów ziemno-wodnych wypełnionych odpowiednim kruszywem i obsadzonych roślinnością wodną : Pałką szerokolistną, Trzciną pospolitą, Tatarakiem zwyczajnym, Oczeretem jeziornym, Manną mielec.

Jednym z podstawowych warunków dobrego funkcjonowania oczyszczalni jest zaprojektowanie i wykonanie basenów tak, aby zapewnić dobre warunki hydrauliczne dla przepływu ścieków. Stosuje się tu :

- rozwiązania wg licencji prof. Kickutha;
- rozwiązania wg wytycznych europejskich (Geller - Niemcy, Cooper - Wlk. Brytania, Brix - Dania);
- inne wg pomysłów indywidualnych.

Wbrew dość popularnemu przekonaniu oczyszczalnie hydrofitowe wcale nie są takie proste w projektowaniu i w budowie.

Projektowanie tego typu obiektów jest dość złożone, a posługiwanie się spopularyzowanym przez czasopisma przepisem :



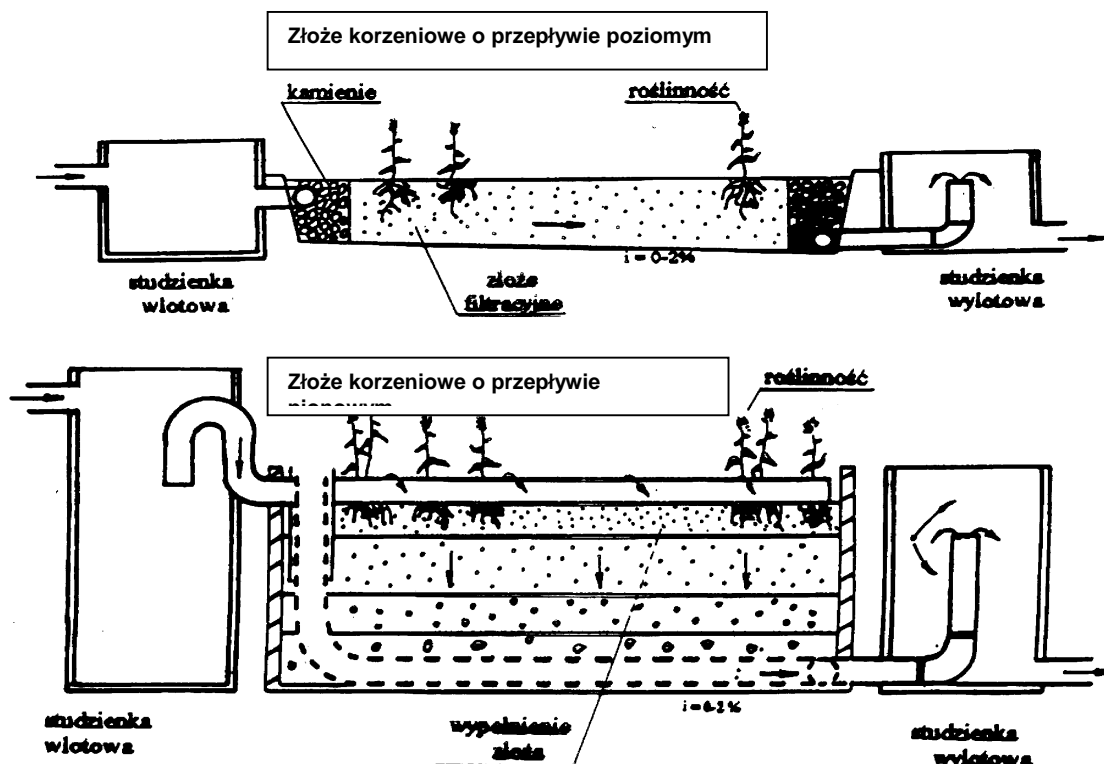
prowadzi najczęściej do marnotrawstwa zainwestowanych środków.

Oczyszczalnie hydrofitowe projektowane są zgodnie z logiką procesów technologicznych oczyszczania ścieków :

- mineralizacja zanieczyszczeń organicznych (BZT₅, ChZT);
 - nityfikacja i denityfikacja związków azotowych;
 - sorpcja i wiązanie chemiczne innych zanieczyszczeń (fosforu, metali ciężkich, itp.);
- oraz na podstawie rozpoznanych właściwości geotechnicznych kruszywa używanego do wypełnienia basenów (złóż), wykonanych obliczeń hydraulicznych, itp..

Poszczególne szkoły europejskie zalecają przyjmowanie odpowiednich współczynników dla obliczania kinetyki w.w. procesów biochemicznych zależnych m.in. od zakładanej temperatury ścieków, temperatury otoczenia, rodzaju stosowanego kruszywa, głębokości złóż, kierunku przepływu ścieków przez złożo, itp..

Wykonawstwo oczyszczalni istotnie nie wymaga angażowania wysoce specjalistycznego sprzętu, wymaga natomiast wnikliwego nadzoru, dokładnej realizacji uwag projektanta oraz szczególnej staranności przy wykonaniu uszczelnienia dennego i formowaniu wypełnienia złoża.



Efekty oczyszczania

W przypadku małych oczyszczalni (np. zagrodowych) najbardziej popularnym rozwiązaniem technicznym jest jedno złożo korzeniowe o przepływie poziomym. Stosunkowo łatwo uzyskuje się tu obniżenie podstawowych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach :

$$\begin{array}{ll} \text{Zawiesina ogólna} & < 50 \text{ mg/dm}^3; \\ \text{BZT}_5 & < 30 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3. \end{array}$$

W przypadku podtrzymania przez organ uzgadniający (dla oczyszczalni $< 5 \text{ m}^3/\text{d}$ najczęściej stosuje się złączone warunki odprowadzania ścieków) pełnych wymagań stawianych ściekom oczyszczonym modyfikuje się nieco konstrukcję złoża, co pozwala na uzyskanie parametrów :

$$\begin{array}{ll} \text{Azot ogólny} & < 30 \text{ g N/m}^3 *; \\ \text{Fosfor ogólny} & < 5 \text{ g P/m}^3 **. \end{array}$$

* odpowiednio powiększone złożo;

** zastosowanie wzbogaconego chemicznie wypełnienia złoża.

Dla oczyszczalni o przepustowości powyżej $5 \text{ m}^3/\text{d}$ z reguły stosowane są rozwiązania techniczne oparte na sekwencji rozmieszczonych tarasowo złożo o przepływie poziomym i pionowym. Kompozycja przestrzenna zależy od warunków terenowych i wyobraźni projektanta.

Złoża poziome są prostsze i tańsze w wykonaniu (w przeliczeniu na 1 m^2 złoża). Nie wymagają dużych spadków terenu, wymagają natomiast większych powierzchni ($5 \div 7 \text{ m}^2/\text{MR}$) [11]. Złoża pionowe wymagają bardzo starannego doboru kruszyw wypełniających, większego zróżnicowania wysokościowego terenu (lub zastosowania wewnętrznej przepompowni) a często także odpowiedniej obudowy (mur oporowy). Pozwalają natomiast na znaczne zmniejszenie całkowitej powierzchni oczyszczalni ($3 \div 4 \text{ m}^2/\text{MR}$) [11].

Dobrze zrealizowana oczyszczalnia pozwala na uzyskanie w ściekach oczyszczonych parametrów :

$$\begin{array}{ll} \text{Z}_{\text{og}} & < 20 \text{ mg/dm}^3; \\ \text{BZT}_5 & < 20 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3 \text{ (często nawet } \text{BZT}_5 = 1 \div 3 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3); \\ \text{N}_{\text{og}} & \leq 30 \text{ g N/dm}^3; \\ \text{N-NH}_4^+ & \leq 6 \text{ g N/dm}^3 \text{ (pewne trudności zimą);} \\ \text{P}_{\text{og}} & \leq 5 \text{ g P/dm}^3 \end{array}$$

przez cały rok.

W okresie zimowym nieco utrudniona może być nityfikacja. Jednak przy częstym poborze prób i cenie pracy oczyszczalni na podstawie $5 \div 8$ prób/rok ogólna ocena wypada pozytywnie.

Warto w tym miejscu wyjaśnić dość częste nieporozumienie wokół efektywności oczyszczalni hydrofitowych w zimie streszczające się w słowach :

„oczyszczalnie hydrofitowe nie działają zimą, bo zimą rośliny nie rosną”.

Oczyszczanie ścieków w oczyszczalniach hydrofitowych zawdzięczamy głównie mikroorganizmom - tym samym, które działają w procesie osadu czynnego czy złożo biologicznych. Rośliny spełniają funkcję podłoża (analogia do złożo), mikrooperatorów (analogia do osadu czynnego), grzałki (otulina ochronna od wiatru i mrozu) oraz regulatora składu ścieków (szczególnie pod wzgl. zawartości dostępnych związków węgla).

Dzięki tym właściwościom obszary mokradłowe stanowią jeden z najważniejszych i najbogatszych gatunkowo ekosystemów na Ziemi.

W natlenionych ściekach żyje ok. 300 gatunków mikroorganizmów. W poprzerastanym kłęczami i korzeniami mokradle jest ok. 2000 gatunków bakterii oraz kilka tysięcy grzybów, ogólnie ok. 100 razy więcej mikroorganizmów niż w osadzie czynnym [2].

Te właściwości zdecydowały o tym, iż obszary mokradel zostały przez ekologów ochrzczone mianem „*nerek ziemskiej przyrody*” [3].

Warunki stosowania

Dzięki swoim olbrzymim zdolnościom buforowym oczyszczalnie hydrofitowe znajdują zastosowanie do *oczyszczania ścieków o bardzo dużych wahaniach zarówno składu jak i przepływu (ścieki bardzo stężone, okresowy brak ścieków, itp.)*.

Ze względu na uwarunkowania przestrzenne ich stosowanie ogranicza się z reguły do obiektów obsługujących maksymalnie 2.000 MR (mieszkańców równoważnych), co odpowiada przepustowości do 400 m³/d. Ze względu na uwarunkowania gruntowe - do lokalizacji odległych nie więcej niż 20÷50 km od żwirowni.

Najlepsze lokalizacyjnie są tereny o naturalnym szczelnym podłożu ($k_f \leq 10^{-7}$ m/s - gliny, iły), niskim poziomie wód gruntowych (nie potrzeba wtedy sztucznego uszczelnienia) oraz o lekkim naturalnym spadku (nie potrzeba energii elektrycznej).

3.2. Indywidualne układy podczyszczania ścieków specyficznych i ochrony wód

W tej grupie rozwiązań systemy hydrofitowe znajdują zastosowanie jako :

- podczyszczalnie wód opadowych;
- podczyszczalnie małych cieków wodnych;
- obiekty ochronne ujęć wody;
- obiekty tzw. trzeciego stopnia oczyszczania ścieków dla większych oczyszczalni konwencjonalnych lub oczyszczalni starych - wymagających unowocześnienia;
- podczyszczalnie ścieków specyficznych (np. odcieków ze składowisk).

Stosowane są tu najczęściej konstrukcje mieszane wzorowane zarówno na otwartych basenach z roślinnością pływającą i zanurzoną, jak i na basenach ziemno-wodnych (złożach) :

- złoża korzeniowe o zmodyfikowanej konstrukcji (tzw. filtry wegetacyjne);
- zbiorniki retencyjne;
- stawy i rowy retencyjno-filtracyjne;
- stawy suche o rozszerzonej retencji.

Wiedza i wytyczne dotyczące projektowania typowych oczyszczalni są tu wykorzystywane elastycznie i wybiórczo w zależności od efektu na jakim nam najbardziej zależy.

W przypadku **podczyszczalni wód opadowych** będą wykorzystywane przede wszystkim mechanizmy retencji, sedymentacji i filtracji. Będzie również wykorzystywana zdolność roślin do wiązania metali ciężkich z tłuszczem gromadzonym w komórkach roślin (głównie w kłęczach i korzeniach)[9] oraz stymulowania przez rośliny procesów glebo twórczych. Powstające związki humusowe posiadają z kolei silne właściwości kompleksujące, dzięki którym zmieniają właściwości metali ciężkich [10] i powodują ich trwałe przejście z zanieczyszczonych wód do osadów.

W przypadku **podczyszczalni małych cieków wodnych i obiektów ochronnych ujęć wodnych** będą wykorzystywane najczęściej zdolności **higienizacyjne** ekosystemów mokradłowych. Higienizacja rozumiana jest tu jako usunięcie z zanieczyszczonych wód groźnych dla człowieka i zwierząt mikroorganizmów chorobotwórczych (np. jaj pasożytów, bakterii przewodu pokarmowego - tzw. enterobakterii - np. Salmonelli).

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].

Z kolei niektóre bakterie typowe dla ekosystemu bagiennego (np. Pseudomonas fluorescens) są naturalnymi antagonistami enterobakterii i powodują ich wymieranie.

W przypadku **obiektów trzeciego stopnia oczyszczania** najważniejsze będzie techniczne wykorzystanie mechanizmów poboru, przetwarzania i wiązania biogenów (azot, fosfor, potas). Azot, fosfor i potas są pobierane i gromadzone głównie w liściach (najwięcej azotu - Manna, fosforu i potasu - Tatarak) [9].

Usuwanie naziemne części roślin można usunąć ok. 20% ładunku azotu i ok. 10% ładunku fosforu ($3 \div 6,5 \text{ kg s.m./m}^2$) [9].

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 [9].

Azot amonowy jest silnie sorbowany przez materiał glebowy. W stosunku do fosforu najważniejsze z kolei będą procesy adsorpcji, tworzenia kompleksów (z glinem, żelazem i wapniem) oraz zjawisko *tworzenia torfów* [3].

W obiektach tego typu dużą rolę będą miały również rośliny pływające w toni wodnej (np. rzęsa) i podwodne rośliny korzeniące się, gdyż posiadają one zdolność pobierania biogenów wprost z wody [7,8].

W oczyszczalniach odcieków ze składowisk jakość oczyszczanego medium waha się w bardzo dużych zakresach :

BZT₅ = od 10.000 mg O₂/dm³ (odcieki ze świeżych odpadów)

do poniżej 1000 mg O₂/dm³ (stare składowiska) [5];

N-NH₄⁺ = od 100 mg N/dm³ (składowisko młode)

do ok. 1500 mg N/dm³ (składowisko stare) [5].

Na ogół w odciekach występuje bardzo dużo soli (zwłaszcza chlorków), ale mało fosforanów :

P-PO₄³⁺ ≈ 0,5 ÷ 0,6 mg P/dm³.

Stąd w oczyszczalniach odcieków decydującą rolę będą grały *zdolności buforowe* obiektów hydrofitowych - łagodzące nierównomierności składu odcieków. Uwalnianie pewnych ilości fosforu i węgla z rozkładającej się biomasy roślinnej będzie tu zjawiskiem korzystnym.

Obok roślin wodnych wykorzystywana będzie również wierzba (zwłaszcza wierzba wiciowa) wykazująca bardzo dużą odporność na w.w. zanieczyszczenia. Rozwiązania tego typu zyskują coraz większą popularność w Wielkiej Brytanii.

Efekty oczyszczania

W zależności od rozwiązań konstrukcyjnych, stosowanych czasów zatrzymania oraz stopnia zaangażowania konkretnych mechanizmów oczyszczających, w projektowanym obiekcie możliwe jest uzyskanie z mediów o parametrach oczyszczonych ścieków lub wód pozaklasowych - wód o II a nawet I klasie czystości.

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%.

W stosunku do wskaźników fizykochemicznych uzyskiwane są efektywności :

$\eta_{Zog} = 80 \div 90\%$ [12]

$\eta_{BZT5} = 40 \div 80\%$ [12]

$\eta_{Pog} = 60 \div 80\%$ [12]

$\eta_{Nog} = 50\%$ [11]

$\eta_{N-NH4+} = 90\%$ [11]

$\eta_{\text{metale ciężkie}} = 60 \div 80\%$ [12]

W przypadku oczyszczania odcieków z wysypisk wykorzystywana jest również zdolność odparowywania przez rośliny dużych ilości wody, co w konsekwencji doprowadza do całkowitej likwidacji odpływu.

Warunki stosowania

Ze względu na uwarunkowania przestrzenne (zapotrzebowanie powierzchni) wymienione rozwiązania znajdują zastosowanie w zakresie przepływów od ok. 15 dm³/s (ścieki specyficzne, odcieki) do ok. 300 dm³/s (wody powierzchniowe).

3.3. Zbiornice 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 złoża korzeniowe o przepływie pionowym oraz tradycyjne poletka odwadniające. Różnica polega na wysokości ścian bocznych, które w tym przypadku powinny być wyniesione ok. 1 m powyżej powierzchni złoża (poletka).

Roślinność bagienna (w tym przypadku głównie trzcina) porastająca złoża jest okresowo zalewana warstwą osadów. Korzenie i kłącza 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 § 3.2..

W złożach trzcinowych do odwadniania osadów wykorzystywana jest przede wszystkim zdolność roślin do wchłaniania ogromnych ilości wody przez korzenie i kłącza 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 m² złoża trzcinowego może w ciągu roku przerobić osady od 1,5 ÷ 4 MR [1,4].

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 nastrocza 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).

Efekty odwadniania

Dane z oczyszczalni duńskich potwierdzają wysoką efektywność złóż trzciniowych 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 trzciniowe	30 ÷ 40

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

Dodatkowy efekt ekologiczny złóż trzciniowych polega na polepszeniu parametrów odcieku uzyskiwanego w procesie odwadniania. Ocieki ze złóż trzciniowych w porównaniu z odciekami z wirówek czy pras zawierają :

- ok. 10 razy mniej azotu,
- ok. 75 razy mniej BZT₅,
- ok. 20 razy mniej ChZT.

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

Warunki stosowania

Złóża trzciniowe najlepiej pracują na osadzie wstępnie ustabilizowanym tlenowo (nawet do 60 kg s.m./m² złoża rocznie [4]). W przypadku zalewania złóż osadem stabilizowanym beztlenowo (przefermentowanym) dawki s.m./m² muszą być odpowiednio mniejsze.

Ze względu na zapotrzebowanie powierzchni opisywana metoda wydaje się być racjonalna dla przepustowości do ok. 100 m³ osadu/d. Stąd polecamy stosowanie odwadniania na złożach trzciniowych dla oczyszczalni obsługujących do 25 - 30 tys. MR (ok. 5000 m³ ścieków/d).

3.4. Strefy buforowe - bariery biogeochemiczne

Intensywne nawożenie mineralne i kwaśne deszcze powodują zwiększenie wymywania związków chemicznych z ekosystemów lądowych do wód gruntowych i powierzchniowych. Wg danych z 1994 r. 58% studni przydomowych w Polsce zawiera wodę nie nadającą się do picia, głównie z powodu przekroczenia dopuszczalnych stężeń azotanów [10]. (Azotany wywołują niebezpieczną przede wszystkim dla dzieci – methemoglobinę.)

Ponadto w Polsce mamy do czynienia z chronicznym brakiem wody dla rolnictwa. Stąd trwałe i zrównoważony rozwój rolnictwa można będzie osiągnąć tylko przy zachowaniu *ekologicznego zagospodarowania zlewni*. Zabieg ten będzie łączył w sobie szereg działań odwołujących się również do *metody hydrofitowej*. Będzie to przede wszystkim wprowadzanie zadrzewień śródpolnych, ochronnych pasów łąk, mokradeł oraz zbiorników śródpolnych.

Stosowany w języku naukowym termin : *bariera biogeochemiczna*, w praktyce projektowej najczęściej przybiera postać *strefy buforowej*.

Strefa buforowa (skomponowana gatunkowo odpowiednio do warunków glebowych) szerokości **20 + 30 m** może zatrzymać **80 + 95% azotanów** oraz **25 + 46% fosforu fosforanowego** trafiającego do naszych wód ze źródeł obszarowych [10].

Stąd strefy buforowe stanowią najprostszy pod względem technicznym sposób ochrony wód przed zanieczyszczeniami spływającymi z dróg, pól, pastwisk, ogródków działkowych, wybiegów dla zwierząt, itp..

Korzenie roślin ograniczają erozję gleby, zwiększają pojemność retencyjną gruntu (zatrzymują więcej wody), intensyfikują procesy tworzenia humusu - wiążące część biogenów i metali ciężkich. Ponadto rośliny same pobierają część biogenów i metali ciężkich wbudowując je w swoje tkanki oraz wzbogacają walory krajobrazowe.

4.0. Koszty budowy i eksploatacji obiektów hydrofitowych

4.1. Koszty inwestycyjne

W załącznikach przygotowano zestawienie kosztów obiektów zrealizowanych pod klucz lub zaprojektowanych przez P.U.H. „Ekoł” i „Ekoł-Unicon” w latach 1991-1997.

Analiza kosztów obiektów współfinansowanych przez „Fundację Zaopatrzenia Wsi w Wodę” [6] pozostaje w dobrej zgodności z naszymi własnymi doświadczeniami.

Wynika z niej, że przeciętne koszty budowy oczyszczalni hydrofitowych różnej konstrukcji w przeliczeniu na 1 m² złoża wynosiły w latach 93/94 ok. 56 zł/m². Przy uwzględnieniu tempa inflacji, na rok 1997 otrzymamy analogiczny wskaźnik wynoszący

ok. 110 zł/m².

Koszty te zależą naturalnie od wielkości, lokalizacji i szczegółów konstrukcyjnych obiektu. Im mniejsza oczyszczalnia, tym większe koszty jednostkowe. Podobnie, większych wskaźników należy się spodziewać przy budowie złóż o przepływie pionowym, a nieco mniejszych - dla złóż o przepływie poziomym.

W przeliczeniu na mieszkańca równoważnego realne koszty budowy oczyszczalni pod klucz będą się wahały

od ok. **800 zł/MR** - dla oczyszczalni powyżej 500 MR,

do ok. **1200 + 1500 zł/MR** - dla oczyszczalni poniżej 20 MR.

Jak widać z przytoczonych danych

obiekty hydrofitowe nie zawsze są tanie.

Każdy produkt o dobrej jakości musi odpowiednio kosztować. Stąd zbytnie oszczędności w budowie oczyszczalni prowadzą najczęściej do niefachowego ich wykonania a w konsekwencji do złego funkcjonowania.

Dobrze zlokalizowane oczyszczalnie hydrofitowe budowane przez komercyjne firmy budowlane kosztują rzeczywiście nieco mniej od rozwiązań konwencjonalnych. Różnica ta może wynosić **20 + 25%** na rzecz oczyszczalni hydrofitowych. Przewaga ta może zostać zniwelowana tam, gdzie mamy do czynienia z wysokimi cenami gruntów lub trudnościami w pozyskaniu podstawowego materiału budowlanego jakim jest żwir i piasek.

Pewne oszczędności można uzyskać budując obiekty hydrofitowe systemem gospodarczym. Należy jednak pamiętać o konieczności zapewnienia fachowego nadzoru.

Struktura kosztów realizacji obiektów hydrofitowych

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

Angażując własną robocizną (np. przy budowie oczyszczalni zagrodowych) można, w świetle w.w. danych zaoszczędzić dodatkowo 25 ÷ 30% całkowitych kosztów inwestycji.

Realne obniżenie kosztów budowy obiektu możliwe do uzyskania w korzystnych warunkach lokalizacyjnych i sprzyjającej atmosferze społecznej

nie oznacza niskich kosztów dokumentacji technicznej.

Zbytne oszczędności czynione na etapie projektowania z reguły nie przynoszą spodziewanych oszczędności inwestycyjnych. Jak widzimy z zaprezentowanej wyżej tabeli dotyczącej struktury kosztów - udział kosztów dokumentacji jest stosunkowo duży i musi być duży, jeżeli chcemy żeby projektowane obiekty były tańsze w budowie, projektanci wykonywali swoje zadanie rzetelnie, wnikliwie i ponosili za nie pełną odpowiedzialność zawodową.

4.2. Koszty eksploatacyjne

W tym aspekcie hydrofitowe obiekty podczyszczania wód i oczyszczania ścieków zdecydowanie wygrywają konkurencję z rozwiązaniami konwencjonalnymi. Zyski występują przede wszystkim po stronie zużycia energii elektrycznej. Obiekty hydrofitowe nie potrzebują bowiem urządzeń napowietrzających a przy korzystnej lokalizacji (korzystnym układzie terenu) nie wymagają nawet pompowania ścieków.

Stosunkowo tanio wypada również wykorzystanie metody hydrofitowej do higienizacji wód. Eksploatacja podczyszczalni potoku Swelina w Sopocie (utrzymującej parametry sanitarne kąpieliska zlokalizowanego u ujścia strumienia do Zatoki Gdańskiej) o przepustowości ~2600m³/d kosztuje ok. 10.000 zł rocznie. Oznacza to wydatkowanie ok. 1 grosza dziennie na zapewnienie 1 m³ wody min. II klasy czystości.

W przypadku oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych lub specyficznych (np. odcieków) wskaźnikowe koszty eksploatacji będą oczywiście większe niż w oczyszczaniu wód i w zależności od lokalizacji (konieczność pompowania, czas dojazdu, itp.) i charakteru obiektu (sezonowy / całoroczny) mogą kształtować się w granicach : od 0,20 do 0,60 zł/m³.

Stosunkowo prosta obsługa, korzystnie wpływająca na ogólne koszty eksploatacji
nie powinna być wykorzystywana do popularyzacji
obiektów hydrofitowych jako urządzeń bezobsługowych.

Taka reklama może wyrządzić sporo szkód. Większość obiektów hydrofitowych wymaga rutynowego obchodu z częstotliwością raz na tydzień ÷ 10 dni oraz okresowych zabiegów konserwacyjno-pielęgnacyjnych takich jak :

- wywóz osadów z osadników wstępnych (oczyszczalnie);
- bagrowanie (obiekty ochrony wód);
- koszenie trawy i dbałość o ogólną estetykę obiektu;
- okresowa konserwacja elementów drewnianych, stalowych, płukanie przewodów.

Stąd najbardziej ekonomicznym rozwiązaniem jest zatrudnienie jednego stałego pracownika do bieżącej kontroli 5 ÷ 7-iu obiektów na terenie gminy oraz okresowe zatrudnianie brygady konserwatorskiej do konkretnych zabiegów - w zależności od wyników kontroli bieżącej.

Każdy, nawet niedrogi i prosty w eksploatacji obiekt wymaga gospodarza, który będzie go kontrolował i doglądał, natomiast bez podstawowych zabiegów kontrolno-porządkowych obiekt będzie ulegał niszczeniu.

5.0. Podsumowanie

- Metoda hydrofitowa nie stanowi cudownego środka mogącego z dnia na dzień rozwiązać wszystkie problemy gospodarki wodno-ściekowej w Polsce;
- Zgodnie z podstawową ideą ekologii - celowość zastosowania w danej lokalizacji obiektu hydrofitowego (lub innego) należy rozpatrywać w powiązaniu ze wszystkimi elementami otaczającego środowiska;
- Rozwiązania hydrofitowe oceniane w tych kategoriach wykazują szereg walorów (nie tylko ekonomicznych) :
 - wzbogacają walory krajobrazowe,
 - wzbogacają lokalną biocenozę wytwarzając dogodne tereny siedliskowe dla wielu gatunków roślin i zwierząt,
 - jak wszystkie obszary zielone - produkują tlen,
 - posiadają olbrzymie zdolności buforowe i higienizujące,
 - kreują świadomość ekologiczną w lokalnej społeczności;
- Bogactwo procesów i zjawisk biologicznych i fizykochemicznych wykorzystywanych w systemach hydrofitowych czyni je atrakcyjnym i dość uniwersalnym narzędziem rozwiązywania problemów gospodarki wodno-ściekowej w gminach. W szczególności takich jak. :
 - walka z zanieczyszczeniami obszarowymi,
 - niedobory wody dla rolnictwa (mała retencja),
 - oczyszczanie odcieków ze składowisk,
 - przeróbka i „przyrodnicze uzdatnienie” osadów ściekowych,
 - podczyszczanie małych cieków wodnych i ochrona ujęć,
 - oczyszczanie ścieków - w tym ścieków dowożonych.

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] P. Kowalik, S. Lewis, P.F. Randerson, F.M. Slater „Złóża trzcinowe i wiklinowe jako oczyszczalnie odcieków z wysypisk”
Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna - Oczyszczalnie Hydrobotaniczne - Gdańsk, 1-3.09.1995.
- [6] M. Dzikiewicz „Oczyszczalnie trzcinowe w Polsce, przygotowanie inwestycji i koszty budowy”
Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna - Oczyszczalnie Hydrobotaniczne - Gdańsk, 1-3.09.1995.
- [7] E. Arczyńska - Chudy, H. Gołdyn, M. Kraska, A. Michalak „Zbiorniki śródpolne jako naturalne oczyszczalnie biologiczne”
Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna - Oczyszczalnie Hydrobotaniczne - Gdańsk, 1-3.09.1995.
- [8] E. Arczyńska - Chudy, H. Gołdyn, A. Michalak „Roślinność wodna i bagienna a neutralizacja zanieczyszczeń”
II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna - Oczyszczalnie Hydrobotaniczne - Poznań, 2-3.09.1996.
- [9] T. Ozimek, G. Renman „Rola helofitów w oczyszczalniach hydrobotanicznych”
II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna - Oczyszczalnie Hydrobotaniczne - Poznań, 2-3.09.1996.
- [10] L. Ryszkowski, I. Życzyńska - Bałoniak, B. Szpakowska „Wpływ barier biogeochemicznych na ograniczanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń obszarowych”
II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna - Oczyszczalnie Hydrobotaniczne - Poznań, 2-3.09.1996.
- [11] B. Osmólska-Mróż, K. Sadkowski - „Ochrona wód w otoczeniu dróg” - Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych W-wa 1993
- [12] Rocznik statystyczny 1994