

## HYDROBOTANICZNE OCZYSZCZALNIE ŚCIEKÓW

Stale wzrastające koszty zaopatrzenia w wodę oraz utylizacji ścieków dotyczą obecnie wszystkich. Wielu ludzi martwi się także rosnącym deficytem wody i pogarszającym się stanem wód powierzchniowych. Na skutek regulacji, czyli skracania koryt potoków i rzek i osuszania terenów podmokłych woda spływa coraz szybciej. Przyczyniło się to w ostatnich latach w znacznym stopniu do cyklicznie występujących powodzi w rejonach wielkich rzek. (W Europie Zachodniej przeznaczają się ogromne środki na usuwanie technicznych regulacji cieków wodnych, odtwarzanie starorzeczy, meandrów i terenów zalewowych)

Zamiast jak dotąd starać się o jak najszybsze odprowadzenie wody ze zlewni do odbiornika, obecnie dąży się do jak najdłuższego zatrzymywania wody w zlewniach i zasilania wód gruntowych.

Poszukuje się zatem sposobów i środków lokalnego odprowadzenia wody opadowej do gleby i przyczynienia się w ten sposób do odnawiania zasobów wody gruntowej. W przypadku wody opadowej, której odprowadzanie do kanalizacji ogólnospławnej jest nie tylko nieekologiczne, ale także sprzeczne z zasadami ekonomii (w NRW za odprowadzanie wód opadowych do kanalizacji obowiązują wysokie opłaty lub wręcz stosuje się zakazy, coraz częściej stosowane są systemy retencjonowania, oczyszczania, a następnie odprowadzania do wód gruntowych). W odniesieniu do ścieków coraz częściej odchodzi się od dotychczasowej strategii tworzenia centralnych systemów kanalizacji (szczególnie na terenach o zabudowie rozproszonej, gdzie koszty budowy kanalizacji są wysokie) na rzecz rozwiązań decentralnych, wśród których oczyszczanie z zastosowaniem filtrów glebowo-roślinnych zasługuje na szczególne zainteresowanie.

Przy pomocy techniki oczyszczania z zastosowaniem roślin oraz różnych technik infiltracji do gruntu woda oczyszczana jest w naturalny sposób i może być wykorzystana powtórnie lub przyczyniać się do odtwarzania lokalnych wód gruntowych.

W małych miejscowościach i na wsi potrzebne są oczyszczalnie nie wymagające stałego nadzoru i dopływu energii oraz odporne na ewentualne zakłócenia w dostawie i składzie ścieków. Przy opracowywaniu takiego rodzaju oczyszczalni pomocna okazała się ekotechnologia. Wykorzystuje ona fakt, że procesy biochemiczne w organizmach i ich oddziaływanie na zewnątrz są w naturalny sposób podporządkowane wzajemnym relacjom pomiędzyżywionymi i nieożywionymi składnikami systemu. Jest to sieć wzajemnie powiązanych procesów i funkcji o zróżnicowanej strukturze poziomej, wewnętrznych cyklach regulacji i własnej dynamice. Przy technologicznym wykorzystaniu tych procesów ponosi się mniejsze nakłady na konstrukcję przy małym zużyciu energii. Procesy zachodzące w bioreaktorze charakteryzuje duża stabilność, nawet przy zmieniających się warun-

kach (tzw. sprzężenie zwrotne) Konieczna jest jednak duża różnorodność składników fizycznych, chemicznych i biologicznych, aby mogły zachodzić procesy zarówno rozkładu, jak i syntezy. Ważny jest też czynnik czasu, gdyż szybkość reakcji jest zwykle niewielka; stąd zachodzi konieczność stosowania bioreaktora o dużej pojemności.

### **Każdy problem związany ze ściekami wymaga indywidualnego rozwiązania**

Każde ścieki mają inny skład i muszą być w różny sposób oczyszczane w zależności od dalszego przeznaczenia. Woda oczyszczona przez glebowo-korzeniową oczyszczalnię ścieków może być np. rozsączkowana do gleby lub wykorzystana do nawadniania czy zasilić zbiornik wodny.

Stopień oczyszczenia jest zatem różny w zależności od celu dalszego zastosowania, dlatego też należy dobrać odpowiednią koncepcję takiej oczyszczalni.

W trakcie wielu przeprowadzonych prób z wykorzystaniem różnych substratów i różnej roślinności udało się zoptymalizować znane dotąd powszechnie systemy oczyszczania i dostosować je do rozwiązywania poszczególnych problemów ściekowych.

Dokładny skład, wielkość oraz budowa dopasowana jest do wymogów planowanej efektywności oczyszczania, która z kolei uwarunkowana jest nie tylko obowiązującymi normami, ale także sposobem dalszego wykorzystania oczyszczonych ścieków. Przeniesienie zasady działania jednej oczyszczalni na inną możliwe jest tylko w ogólnym zarysie. Z uwagi na to, że każde ścieki różnią się co do składu oraz ilości, każdy problem związany ze ściekami powinien być rozpatrywany indywidualnie. Pozorna prostota technologiczna może prowadzić do tego, że niedoświadczony projektant czy wykonawca może być rozczarowany końcowym efektem. Zbudowano już wiele niesprawnych oczyszczalni, które psują obraz całej technologii. Z takim zastrzeżeniem możliwa jest własna inicjatywa przy pracach budowlanych, co szczególnie powinno zainteresować gospodarstwa rolne i gminy rolnicze.

### **Zasada działania glebowo-korzeniowej oczyszczalni ścieków**

Najbardziej złożonym ekosystemem jest gleba. Miarą owej złożoności jest ilość występujących w niej gatunków żyjących we wzajemnej zależności. W obciążonej ściekami, przerośniętej korzeniami glebie występuje ok. 2000 gatunków bakterii i wiele dziesiątków tysięcy gatunków grzybów. Proces oczyszczania ekologicznego odbywa się w praktyce w ten sposób, że ścieki przepływają przez szczelnie odizolowane od podłoża złożone porośnięte najczęściej trzciną - (*Phragmites communis*). Korzenie przerastające glebę do głębokości ok 1.2m. zapewniają drożność złoża i tym samym stały przepływ ścieków. Tkanka powietrzna roślin (arenchyma) zaopatruje system korzeniowy w tlen. Gaz ten przenika do przestrzeni między korzeniami, gdzie mikroorganizmy wykorzystują go

do tlenowego rozkładu zanieczyszczeń. Jednocześnie w pewnej odległości od włośników powstają obszary pozbawione tlenu, gdzie zachodzą reakcje beztlenowe. W całym złożu (3 -5 m<sup>2</sup> złoża /RM) przebiegają równoległe reakcje łączenia się substancji zawartych w ściekach (z różnymi związkami glebowymi oraz reakcje wytrącania się produktów tych reakcji.

Zastosowaniu w złożu odpowiednich minerałów czy tzw. jonitów wymiennych pozwala wykorzystać w procesie oczyszczania zjawisko adsorpcji szczególnie w odniesieniu do zw. azotu. Duża powierzchnia czynna niektórych minerałów (1 g = 10 - 800 m<sup>2</sup>) zapewnia optymalne warunki rozwoju błony bakteryjnej. W oczyszczalniach konwencjonalnych problemem jest usuwanie związków azotu powstających między innymi w wyniku rozkładu zawartych w ściekach białek. Konieczne jest dobudowywanie specjalnych komór denitryfikacyjnych.

Przy zastosowaniu filtra glebowo-korzeniowego problem ten rozwiązuje się sam, gdyż w złożu zachodzi równoległe zarówno tlenowy rozkład białek, jak i beztlenowa redukcja azotanów do azotu cząsteczkowego..

Podobnie rozwiązuje się problem fosforanów. W filtrze glebowo-korzeniowym, dzięki np. zawartym w złożu związkom glinu, wapnia i żelaza, dochodzi do wyniku reakcji tlenowych i beztlenowych do wytrącania się nierozpuszczalnych związków.

Wyjątkową cechą ekotechnologicznej metody oczyszczania jest eliminacja związków siarki ze ścieków.

.Tysiące oczyszczalni ścieków pracują w oparciu o rozwiązania ekotechnologiczne. Obsługują one od kilku osób (domy jednorodzinne, gospodarstwa rolne) po zakłady przemysłowe czy miasta (np. 20 000 RM w Chinach). Znajdują zastosowanie przy zagospodarowaniu osadów ściekowych, rekultywacji jezior i ochronie wód powierzchniowych. czy budowie stawów kąpielowych. Nawet trudne ścieki przemysłowe mogą być utylizowane sposobem hydrobotanicznym- np. na dachach firmy John Deere w Rüsselsheim czyszczone są zaolejone ścieki z lakierni. Ze względu na stosunkowo niski koszt, dużą stabilność pracy, odporność na przeciążenia oraz niespotykaną w innych rozwiązaniach wartość krajobrazowo - przyrodniczą rozwiązania ekotechnologiczne zasługują na szerszą popularyzację

W oczyszczalni glebowo-korzeniowej po wstępnym oczyszczeniu mechanicznym ścieki kierowane są na obsadzone roślinnością polećka filtracyjne, gdzie następuje ich rozkład z udziałem drobnoustrojów. Oczyszczone ścieki rozsączkowe są do gleby lub odprowadzane do odbiornika.

Poniższa tabela przedstawia niektóre systemy oczyszczania ścieków w oczyszczalniach o wielkości do 10.000 równoważnych mieszkańców (RLM)\* ( źródło: POPP in GELLER et al., 1984) :

	oczyszczalnia mechaniczno-biologiczna (dwustopniowa)	mechaniczno-biologiczno-chemiczna (trzystopniowa)	napowietrzane stawy czyszczące	obsadzone filtry glebowe
--	--	---	--------------------------------	--------------------------

Zapotrzebowanie na powierzchnię	0,7 – 1,3 m <sup>2</sup> /RLM	0,7 – 1,5 m <sup>2</sup> /RLM	0,3 – 1,7 m <sup>2</sup> /RLM	2 – 5 m <sup>2</sup> /RLM
Koszt inwestycji	300 – 600 DEM /RLM	400 – 800 DEM /RLM	450 – 650 DEM /RLM	140 – 600 DEM /RLM
Koszty utrzymania	30 – 60 DEM/a RLM	40 – 75 DEM/a RLM	10 – 15 DEM/a RLM	5 DEM/a RLM
Wydajność oczyszczania:				
§ BZT <sub>5</sub> * <sup>1</sup>	65 – 90 %	97 %	30 – 96 %	98 %
§ Azot ogólny	30 – 50 %	50 %	30 – 50 %	92 %
§ Fosfor ogólny	30 %	96 %	20 – 75 %	
§ Colli i salmonella				
Metale ciężkie	odkładają się w osadzie ściekowym, wykorzystanie rolnicze problematyczne	odkładają się w osadzie ściekowym, wykorzystanie rolnicze problematyczne	odkładają się w osadzie ściekowym, wykorzystanie rolnicze problematyczne	odkładają się w strefie korzeniowej, nie obciążają środowiska
Obróbka osadu	konieczna, najczęściej kosztowna	konieczna, najczęściej kosztowna	konieczna, najczęściej kosztowna, usuwanie osadu co cztery lata	następuje automatycznie bez dodatkowych kosztów <sup>*2</sup>
Ilość ścieków	niezmienna	niezmienna	niezmienna	redukcja o 10%
Trwałość	25 – 30 lat	ok. 30 lat	nieograniczona pod warunkiem usuwania osadu	ok. 50 lat
Wygląd zewnętrzny	duży obiekt technologiczny	duży obiekt technologiczny	sztuczne powierzchnie wody z urządzeniami napowietrzającymi	szuwały (biotop)

\* Równoważna liczba mieszkańców (RLM) = Wartość przeliczeniowa wyrażająca stopień zanieczyszczenia ścieków z zakładów przemysłowych lub usługowych poprzez porównanie ze ściekami z gospodarstw domowych o tym samym zanieczyszczeniu. Bazą jest obciążenie BZT<sub>5</sub> w wysokości 60 g na mieszkańca na dobę.

\*<sup>1</sup> BZT<sub>5</sub> (biochemiczne zapotrzebowanie na tlen) = ilość tlenu w mg/l zużywana przez mikroorganizmy w trakcie rozkładu substancji organicznych w zależności od temperatury w ciągu 5 dni.

\*<sup>2</sup> bez osadnika wstępnego

Wydajność czyszcząca hydrobotanicznej oczyszczalni ścieków zależy przede wszystkim od składu i uwarstwienia substratu glebowego. Za oczyszczanie odpowiedzialne są głównie bakterie i drobnoustroje pokrywające cząsteczki substratu glebowego, rośliny udrażniają hydraulicznie złożę oraz dostarczają tlenu i stwarzają środowisko reakcji. Rozpowszechnione mniemanie, że rośliny „pożerają” zawarte w ściekach związki jest błędne, ponieważ zatrzymują one jedynie 10 do 15% składników zawartych w ściekach. Różne substraty i materiały układane

są w zależności od typu oczyszczalni pionowo lub poziomo, przy czym regułą jest kombinacja materiałów. Techniczne wyliczenia przepływu decydują o właściwym doborze i ułożeniu materiałów o różnej ziarnistości, ponieważ efektywność oczyszczania zależy od powierzchni aktywnej bakteryjnej błonki biologicznej pokrywającej cząstki substratu. W substratach drobnoziarnistych o większej powierzchni efektywnej efektywność jest większa, ale pojawić się mogą problemy związane z hydrauliką przepływu. Tajemnicą sprawnej oczyszczalni jest odpowiednie dobranie warstw i frakcji jak i chemiczno – mineralnego składu filtra. Prawidłowo wykonana oczyszczalnia glebowo-korzeniowa może zapewnić przez cały rok znacznie lepsze parametry oczyszczania niż konwencjonalne małe oczyszczalnie przydomowe.

Aby przybliżyć nieco zasadę działania glebowo-korzeniowej oczyszczalni ścieków, wyjaśniono poniżej w skrócie działanie najbardziej efektywnego systemu- filtra pionowego

### **Filtr pionowy**

Historycznie najstarszym i najbardziej znanym rodzajem oczyszczalni glebowo-korzeniowej o przepływie pionowym jest oczyszczalnia trzciniowo-sitowa typu Seidel, która podzielona jest na zbiornik filtracyjny i eliminacyjny. Koncepcja ta powstała pod koniec lat 60-tych w Instytucie Maxa Plancka w Krefeld, dlatego znana jest także pod nazwą „system Krefeldzki”. Zbiorniki usytuowane są kaskadowo, a przepływ następuje kolejno. Zbiorniki filtracyjne posiadają przepływ pionowy, a zbiorniki eliminacyjne przepływ poziomy.

Obsadzone filtry glebowe charakteryzują się zastosowaniem glebowych substratów niespoistych, czyli piasku, drobnego żwiru lub gysu. Zbiorniki eliminacyjne obsadzone są trzcina i sitowiem, na szczególną uwagę zasługuje przy tym oczereć (*Schoenoplectus lacustris*), który posiada zdolność rozkładu fenoli.

Grubość filtra waha się w zależności od głębokości ukorzenia od 0,8 do 1,8 m. Z reguły corocznie kosi się roślinność oczyszczalni, a biomasa może być kompostowana. Oczyszczalnia trzciniowo-sitowa typu Seidel wymaga powierzchni ok. 5 m<sup>2</sup> na RLM.

Filtry pionowe aktualnie budowane są na różne sposoby także bez uzupełniających filtrów poziomych. Także w filtrach pionowych fundamentalne znaczenie ma skład substratu wypełniającego złożę, w trakcie rozkładu różnych substancji tworzą się strefy spiętrzeń. W następstwie powstają poziome kierunki przepływu i strefy beztlenowe, które umożliwiają równoczesną nityfikację i denityfikację.

Jak wynika z 8- letnich badań różnych systemów oczyszczalni glebowo korzeniowych prowadzonych przez Federalny Urząd środowiska (Umweltbundesamt b1994, 1999) najwyższą wydajność posiadają pulsacyjnie zaopatrywane, wypełnione luźnym substratem, filtry wertykalne, które przy zapotrzebowaniu ok 3-4 m<sup>2</sup> /RM osiągają redukcję BZT5 w zakresie 95- 99% oraz znaczne redukcje tzw. biogenów, -np.osiagnąć mogą przeszło 95% redukcji fosforanów.

Ten typ oczyszczalni jest wydajniejszy od filtrów poziomych, szczególnie od tych ze złożem wypełnionym glebami zwięzłymi.

Stosowanie złóż luźnych wymagane jest normami branżowymi (np. ATV H262 czy austriacką ONORM B2505 )

### Lokalizacja

Zaleca się stanowiska nasłonecznione, osłonięte przed wiatrem, gdzie panują nieco wyższe temperatury i rośliny mogą lepiej rosnać. Oczyszczalnia musi być odpowiednio wypoziomowana, tak aby w okresach wysokiego przepływu wody w odborniku oczyszczalni nie dochodziło w oczyszczalni do podpiętrzeniaczy nierównomiernego przepływu. Aby uniknąć przenikania ścieków do gruntu i wód gruntowych należy uszczelnić dno zbiornika. Wystarczającą ochronę stanowi gleba o współczynniku przepuszczalności (wartość  $K_f$ )  $\leq 1/10^{-8}$  m/s, charakterystycznym dla gliny. Jeżeli nie dysponujemy glebą nieprzepuszczalną, należy zapewnić szczelność stosując np. glinę czy folię z tworzywa sztucznego.

Wierzch złoża pokryty zostaje warstwą chroniącą przed zapachami oraz mrozem (keramzyt, koks itp) , zimą pozostawiona zostaje na złożu skoszona trzcina. A w miejscach szczególnie narażonych na silne mrozy można rozpiąć dodatkowo folię.

Strefa odpływu znajduje się pod ziemią, wykonana jest z rur drenażowych otoczonych podobnie jak dopływ materiałów gruboziarnistym. Najlepiej zastosować trzy warstwy ze zróżnicowanego pod względem ziarnistości kruszywa. Odpływ uchodzi do studzienki odpływowej, która może służyć do kontroli jakości i wielkości przepływu (kontrola wzrokowa, pobór próbek).

Ogromne znaczenie ma także dobór roślin. Rośliny służą przede wszystkim do spulchniania i napowietrzania substratu. Powstaje w ten sposób luźna warstwa, która zapewnia optymalną wymianę gazową i optymalne warunki do życia mikroorganizmów. Rozkładu substancji odżywczych dokonują mikroorganizmy, mineralizując składniki organiczne ścieków. Do obsadzeń filtrów glebowych nadają się szczególnie Trzcina (*Phragmites australis*) czasami w szczególnych wypadkach stosować można Oczeret (*Schoenoplectus* sp.) Turzyce (*Carex* sp.) Irys wodny (*Iris pseudacorus*)

Aby wspierać przerastanie korzeniami całego substratu w pierwszych latach działania oczyszczalni, należy zapewnić regulację odpływu w studziencie przy pomocy ruchomej rury kolankowej, co umożliwi regulowanie poziomu wody w złożu. W trakcie wzrostu roślin należy systematycznie obniżać poziom wody w złożu, aby korzenie roślin podążając za wodą przerosły dostatecznie głęboko

substrat. Na kilka tygodni można także spiętrzyć wodę do maksymalnego poziomu w zbiorniku oczyszczalni, aby uniemożliwić rozwój konkurujących roślin.

Oczyszczalnie takie mogą działać w połączeniu z każdym systemem rozsączkowania, ale najsensowniej było by wykorzystywać odzyskaną wodę do celów gospodarczych (np. zasilanie splotek, podlewanie) lub zasilić nimi układ wodny ogrodu..