

Hydrobotaniczne oczyszczalnie ścieków

*Mariusz Gołąb, Witold Nocoń, Rajmund Michalski**

Wprowadzenie

Ścieki definiuje się jako zużyte ciecze, roztwory, koloidy lub zawiesiny, a także odpadowe ciała stałe odprowadzane do odbiorników naturalnych, jakimi mogą być zbiorniki lub ciekły wodne, doły gnilne itp. W postaci ścieków odprowadza się odpadowe substancje przemysłowe oraz odpady żywnościowe i fekalia z miejskich i osiedlowych gospodarstw domowych. Ze względu na dużą szkodliwość biologiczną ścieków, zarówno komunalnych, jak i przemysłowych, przed ich odprowadzeniem powinno się poddawać je oczyszczeniu. W Polsce, mimo dużego postępu w tej dziedzinie, nie wszystkie ścieki poddawane są procesowi oczyszczania, co prowadzi do zanieczyszczenia większości naturalnych cieków wodnych, czyniąc z nich na niektórych odcinkach martwe, pozakładowe kanały ściekowe.

Problem ścieków przemysłowych występuje szczególnie w koksowniach, zakładach petrochemicznych, garbarniach, celulozowniach, młeczarniach i cukrowniach. Nieoczyszczone ścieki z tych zakładów przemysłowych stanowią duże zagrożenie dla odbiorników naturalnych. Do najczęściej występujących organicznych składników ścieków zalicza się:

białka, węglowodany, tłuszcze, oleje, żywice, barwniki, fenole, produkty naftowe, detergenty, pestycydy itp. Składnikami nieorganicznymi są zasady, kwasy nieorganiczne, metale ciężkie, a także arsen, chlor, siarkowodór, nieorganiczne aniony i kationy. Różnorodne związki organiczne i nieorganiczne nadają ściekom określone cechy fizyczne takie jak mętność, barwa, zapach, zawiesiny. Ścieki przemysłowe na ogół nie stanowią zagrożenia sanitarno-epidemiologicznego, gdyż nie zawierają bakterii chorobotwórczych. Wyjątkiem są ścieki z zakładów przemysłu spożywczego, garbarni i zakładów utylizacji odpadów. Mogą one zawierać chorobotwórcze drobnoustroje w różnych postaciach (wegetatywnej i zarodnikowej) i jako takie powinny być poddawane procesom dezynfekcji.

W procesach oczyszczania ścieków stosuje się metody mechaniczne, chemiczne, biologiczne, mieszane oraz dezynfekcję. Oczyszczanie mechaniczne to tzw. I stopień oczyszczania. Procesy te mają na celu usunięcie ze ścieków ciał stałych pływających i grubych zawiesin mineralnych oraz organicznych. Polegają na rozdrabnianiu, ciedzeniu, sedymentacji, flotacji, wpienianiu i odwirowaniu.

Urządzenia wykorzystywane w mechanicznym oczyszczaniu ścieków to: kraty (ręczne i mechaniczne), sita, piaskowniki, osadniki, flotatory. Podstawowym celem biologicznego oczyszczania ścieków jest usunięcie ze ścieków biologicznie rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych. Do prowadzenia procesów biologicznego rozkładu zanieczyszczeń wykorzystuje się populacje mikroorganizmów zawieszonych w toni ścieków (metody osadu czynnego) lub mikroorganizmy tworzące utwierdzoną biomasę (złoża biologiczne). Oczyszczanie chemiczne to wspomaganie mechanicznego oczyszczania ścieków poprzez działanie koagulantów. Ścieki mieszane są z roztworem koagulantu, w wyniku czego wytwarzają się kłaczkowate wodortlenku glinu lub żelaza, adsorbujące zanieczyszczenia zawarte w ściekach i przyspieszające proces sedymentacji zawieszonych w osadniku. Metody chemiczne stosuje się do usuwania ze ścieków (głównie przemysłowych) substancji nieulegających biologicznemu rozkładowi. Polegają one na koagulacji, sorpcji i dezynfekcji, która ma na celu unieszkodliwienie bakterii chorobotwórczych i usunięcie przykrych zapachów ze ścieków.

W ostatnich latach jako alternatywa dla małych oczyszczalni mechaniczno-biologicznych, pojawiły się oczyszczalnie ścieków z wykorzystaniem roślin. Jest to stosunkowo nowa technologia. Oczyszczanie ścieków w Polsce, w szczególności na terenach wiejskich, jest obecnie istotnym tematem w dyskusjach nad poprawą stanu środowiska w naszym kraju. Standardowe systemy oczyszczania ścieków oparte na działalności mikroorganizmów są często zbyt kosztowne w budowie dla gmin mniej zamożnych. Ponadto eksploatacja takich systemów wymaga większej uwagi i pracy. Stąd od lat 80-tych XX wieku próbuje się innych metod oczyszczania ścieków, redukujących koszty budowy i eksploatacji, a także mających na uwadze specyfikę ścieków dopływających z terenów wiejskich. Są to między innymi oczyszczalnie bazujące na roślinności wodnej i bagiennej, wykorzystującej w swym rozwoju dopływające zanieczyszczenia. Systemy te mają także często za zadanie wyeliminowanie problemu usuwania osadów ściekowych. Wiele z nich może bowiem działać kilkadziesiąt lat bez konieczności czyszczenia obiektów technologicznych. Ponadto biomasa

roślinna może być wykorzystywana przez lokalne gospodarstwa rolne i hodowlane, redukując koszty i sprzyjając ekologizacji rolnictwa.

Hydrobotaniczne oczyszczalnie ścieków

Hydrobotaniczne oczyszczalnie ścieków to obiekty, w których do usuwania zanieczyszczeń ze ścieków stosuje się na różnych etapach roślinność wodną lub bagienną. Jak napisano we wprowadzeniu tradycyjnie wyróżnia się 3 podstawowe metody oczyszczania ścieków: oczyszczanie fizyczne (często zamiennie stosowane określenie „oczyszczanie mechaniczne” nie oddaje w pełni charakteru wykorzystywanych procesów

jednostkowych), oczyszczanie chemiczne i oczyszczanie biologiczne. Na ich podstawie buduje się wieloprosowe układy oczyszczania ścieków.

Procesy te umownie dzieli się na 4 stopnie:

– I stopień oczyszczania – tzw. oczyszczanie wstępne, fizyczne, służące usunięciu zanieczyszczeń w postaci większych ciał pływających (skratki), piasku, zawiesiny łatwo opadającej, a także olejów i tłuszczów.

– II stopień oczyszczania – oczyszczanie biologiczne, rzadziej oczyszczanie chemiczne równorzędne pod względem usuwania zanieczyszczeń; dąży się do redukcji ładunku zanieczyszczeń, wyrażonego jako pięciodniowe bioche-

miczne zapotrzebowanie na tlen (BZT_5), najczęściej przy wykorzystaniu specjalnie przystosowanych do tego celu biocenz.

– III stopień oczyszczania – tzw. doczyszczanie ścieków z wykorzystaniem metod chemicznych i biologicznych, których celem jest dalsza redukcja BZT_5 , a także usuwanie związków biogenych (związków azotu i fosforu). Stosuje się także procesy fizyczne takie jak klarowanie czy filtracja.

– IV stopień oczyszczania – odnowa wody – usuwanie zanieczyszczeń resztkowych oraz zanieczyszczeń wprowadzonych do ścieków wraz z implementacją metod chemicznych. Stosuje się procesy

fizyczno-chemiczne, takie jak adsorpcja, wymiana jonowa, filtracja membranowa, elektrodializa, procesy wymrażania itd.

Przedstawione powyżej stopnie oczyszczania ścieków są łatwe do zlokalizowania w większości oczyszczalni stojących w drugim stopniu oczyszczania złożę biologiczne lub komorę z osadem czynnym, bazujące na mikroflorze bakteryjnej. W przypadku oczyszczalni hydrobotanicznych, etap w ciągu technologicznym wykorzystujący roślinność wodną lub bagienną przypisuje się do metody biologicznej i umiejscawia się w II lub III stopniu oczyszczania ścieków. Standardowy podział na IV stopnie oczyszczania

METTLER TOLEDO

W naszej ofercie:

- mikrowagi
- wagi analityczne, precyzyjne i przemysłowe
- komparatory
- wagosuszarki
- pH-/jonometry i elektrody
- pipety automatyczne
- aparaty do miareczkowania
- systemy analizy termicznej
- gęstościomierze, refraktometry, wiskozymetry
- automatyczne reaktory laboratoryjne
- systemy pomiarowe pH-/Redox, O_2 , przewodności, zmętnienia



Mettler-Toledo Sp. z o.o., 02-822 Warszawa, ul. Poleczki 21
tel. (22) 545 06 80; fax (22) 545 06 88
e-mail: Polska@mt.com, www.mt.com



ścieków nie opisuje jednak w pełni procesów zachodzących w tego typu oczyszczalniach. W oczyszczalniach hydrobotanicznych część procesów może być łączona, część zachodzić może w innej kolejności, a inne zastąpione mogą być procesami równorzędnymi pod względem efektywności.

Jest to uzależnione głównie od rodzaju wykorzystywanej roślinności, co wymusza odpowiedni dobór pozostałych urządzeń w ciągu technologicznym. Stąd oczyszczalnie hydrobotaniczne wyróżnia się jako osobną grupę systemów oczyszczania ścieków, najczęściej z możliwością usuwania związków biogenych, w których roślinność wodna lub bagienna odgrywa kluczową rolę w procesie usuwania zanieczyszczeń ze ścieków.

Hydrobotaniczną oczyszczalnią ścieków może stać się każdy zbiornik wodny, do którego wprowadzamy ścieki i w którym istnieją dogodne warunki do rozwoju hydrofitów wspomagających procesy oczyszczania wody. Zjawisko samooczyszczania wód wykorzystywano od wieków na całym świecie. Pierwsze obiekty budowane specjalnie w tym celu pojawiły się już w starożytnych Chinach i Egipcie [1]. Współczesne prace nad wykorzystaniem zdolności fitoremediacyjnych hydrofitów do oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych prowadzone są od XIX wieku, przy czym od lat 50-tych XX wieku trwa ich ciągły rozwój. Pierwsza hydrobotaniczna oczyszczalnia ścieków powstała w latach 50-tych XX wieku

w Izraelu. W Europie pierwsze prace badawcze zostały podjęte około 10 lat później [2], a w latach 70-tych oddano do użytku pierwsze oczyszczalnie ścieków komunalnych.

W Polsce początek zastosowania hydrofitów do oczyszczania ścieków przypada na lata 80-te XX wieku. Najczęściej stosowanymi w naszym kraju roślinami są [3]: trzcina pospolita (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), pałka szerokolistna (*Typha latifolia* L.), manna mielec (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.), kosaniec żółty (*Iris pseudacorus* L.), wierzba wiciowa (*Salix viminalis* L.) i rzęsa drobna (*Lemna minor* L.).

Klasyfikację hydrobotanicznych systemów oczyszczania ścieków można przeprowadzić na dwa sposoby:

- ze względu na rodzaj wykorzystywanej roślinności,
- ze względu na kierunek przepływu ścieków.

Różnorodność roślin wykorzystywanych w systemach oczyszczania ścieków implikuje ich podział na:

1. Systemy z roślinnością bagienną (tzw. RZM – *ang. Root Zone Method*) – wykorzystuje się roślinność bagienną typową dla danego regionu. Są to tzw. systemy gruntowo-wodne. Przepływ ścieków przez warstwę glebowokorzeniową powoduje odfiltrowanie zawiesiny i większych cząstek stałych. Chemiczne właściwości ryzosfery roślin z jednej strony powodują precypitację niektórych związków (np. ortofosforanów), z drugiej – częściowo ułatwiają absorpcję związków biogenych przez rośliny. Najpopularniejszym

systemem tego typu w Polsce jest system Kickutha [4] wykorzystujący trzcinę pospolitą.

2. Systemy z roślinnością wodną zakorzenioną – oczyszczalnie tego typu wykonuje się najczęściej w formie rowów ziemnych z ciągłym przepływem ścieków. Zasadniczą rolę odgrywają systemy korzeniowe roślin, na których rozwija się swoisty ekosystem złożony z glonów, grzybów i mikroflory bakteryjnej. Stanowi on główny ośrodek redukcji zanieczyszczeń, w tym związków biogenych.

3. Systemy z roślinnością wodną pływającą – projektowane najczęściej jako system 2 (lub więcej) stawów, poprzedzonych mechanicznym etapem oczyszczania ścieków. Pierwszy ze stawów służy do wstępnej obróbki ścieków (aeracja, wstępna redukcja ładunku zawiesiny i BZT₅) oraz przygotowania ich do następnego etapu oczyszczania. Staw zasadniczy, porośnięty roślinnością pływającą charakteryzuje się niską prędkością przepływu ścieków (czas zatrzymania rzędu 2 – 3 tygodni), oraz wykształconymi strefami hydrochemicznymi w profilu pionowym. W stawie tym zachodzą procesy strącania, biosorpcji i degradacji zanieczyszczeń. Roślinność porastająca staw jest tu ostatecznym akceptorem związków biogenych. Pomiędzy wymienionymi zbiornikami może znajdować się zbiornik pośredni, np. komora nityfikacji.

Biorąc pod uwagę powyższe kryterium, oczyszczalnie roślinne podzielić można na:

1. Systemy z powierzchniowym przepływem ścieków

(systemy SF, *ang. surface flow*) – są to stawy i rowy z wodną roślinnością makrofitową. Systemy te charakteryzują się niskimi nakładami inwestycyjnymi i nieskomplikowaną eksploatacją. Problem stanowi znaczne obniżenie sprawności poza okresem wegetacyjnym. W Polsce funkcjonuje około 50 systemów tego typu. Do tej grupy zalicza się oczyszczalnie ścieków komunalnych typu „Lemna”, które stanowią ponad połowę systemów SF w naszym kraju. Zdecydowaną mniejszość wśród systemów SF stanowią oczyszczalnie ścieków przemysłowych.

2. Systemy z podpowierzchniowym, poziomym przepływem ścieków (systemy HSF, *ang. horizontal subsurface flow*);

3. Systemy z podpowierzchniowym, pionowym przepływem ścieków (systemy VSF, *ang. vertical subsurface flow*) – złoża gruntowo-roślinne.

Zarówno systemy HSF jak i VSF znajdują zastosowanie w oczyszczaniu ścieków bytowych, ścieków z zakładów przetwórstwa rolno-spożywczego oraz odcieków ze składowisk odpadów. Najwięcej tego typu oczyszczalni funkcjonuje w Niemczech – około 50000 obiektów. W Polsce eksploatuje się około 70 złóż gruntowo-roślinnych, głównie z trzcina pospolitą. Najpopularniejszy jest system Kickutha, bazujący na złożu gruntowo-roślinnym z trzcina pospolitą i wypełnieniem gruntem rodzimym z domieszkami kompostu, kory drzewnej, słomy itp. Największe zagęszczenie oczyszczalni hydrofitowych w Polsce wy-

stępuje w centralnej części kraju oraz woj. śląskim i pomorskim.

Oczyszczalnie hydrobotaniczne typu „Lemna”

System oczyszczania ścieków „Lemna” został pierwotnie zaprojektowany i opatentowany przez Agencję Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych w 1985 roku [5]. Do jego popularyzacji przyczyniła się głównie firma Lemna Corporation. W systemie tym wykorzystuje się lokalnie występujące gatunki należące, zgodnie z kluczem do oznaczenia roślin Polski niżowej [6], do rzędu obrazkowców (*Arales*), rodziny rzęsowatych (*Lemnaceae*), rodzaju rzęsa (*Lemna L.*). Porastają one powierzchnie naturalnych zbiorników wodnych i charakteryzują się szybkim przyrostem biomasy. W warunkach polskich jest to gatunek rzęsa drobna (*Lemna minor L.*). Oczyszczalnie tego typu są systemami z powierzchniowym przepływem ścieków. Oczyszczalnia ścieków typu „Lemna” jest projektowana zazwyczaj jako trójstopniowa. Składa się z części mechanicznej, stawu napowietrzanego oraz stawu roślinnego (zasadniczego, doczyszczającego). Między nimi znajdują się między innymi nityfikatory sprzężony z dozownikiem koagulanta (np. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$). Oczyszczanie wstępne (fizyczne) ścieków w oczyszczalni „Lemna” zachodzi na takich samych urządzeniach jak w tradycyjnych oczyszczalniach trójstopniowych. Są to kolejno: kraty do usuwania zanieczyszczeń stałych

(zazwyczaj o średnicy oczek $\leq 20mm$), piaskowniki oraz fakultatywnie odtłuszczacze oraz osadniki wstępne do usuwania zawiesiny łatwo opadającej. Z kolei staw napowietrzany konstruowany jest jako zbiornik wodny o powierzchni około $\frac{3}{4}$ powierzchni stawu zasadniczego. Zbiornik dzielony jest zwykle na 3 części za pomocą grodzi hydraulicznych lub nasypów ziemnych z otworami regulującymi prędkość przepływu (czas zatrzymania ścieków). W stawie tym procesem nadrzędnym jest doprowadzenie i utrzymanie odpowiedniego stężenia tlenu w ściekach.

W warunkach nisko obciążonego osadu czynnego następuje tu rozkład zawartych w ściekach substancji organicznych, zapoczątkowanie procesu nityfikacji, a także mineralizacja osadu czynnego nadmiernego. Efektem jest wstępna redukcja stężeń zawiesiny i BZT_5 oraz azotu amonowego. Proces napowietrzania ścieków realizowany jest najczęściej za pomocą dyfuzorów zamontowanych w dnie zbiornika, do których doprowadzane jest powietrze atmosferyczne za pomocą dmuchaw. Fakultatywnie stosowane są aeratory powierzchniowe. Podniesienie koncentracji tlenu w ściekach przygotowuje je do procesów utleniania związków azotu. Nityfikacja zachodzić może w stawie zasadniczym, w strefie tlenowej lub w poprzedzającym go nityfikatorze.

Zarówno nityfikator jak i komora koagulacji są elementami fakultatywnymi systemu „Lemna”. Budowa nityfikatora

jest uzasadniona w przypadkach spodziewanego dużego ładunku związków biogenych w ściekach surowych. Znajduje się w nim system kaskad, służący dodatkowemu napowietrzeniu ścieków. Zachodzą tu procesy utleniania jonów amonowych do azotanów (III) przy współudziale bakterii z rodzaju *Nitrosomonas* i *Nitrospira*. Następnie azotany (III) utleniane są do azotanów (V) przy współudziale bakterii *Nitrobacter*. W oczyszczalniach nie posiadających nityfikatora procesy te zachodzą bezpośrednio w stawie zasadniczym.

Komora koagulacji jest także urządzeniem fakultatywnym, stosowanym w krajach klimatu umiarkowanego. Ze względu na występowanie w nich okresów o zahamowanej

wegetacji roślin, konieczne jest w czasie ich trwania chemiczne usuwanie związków biogenych ze ścieków. Dodanie określonej ilości koagulanta powoduje precypitację związków biogenych, głównie fosforanów. Wytrącone związki przechodzą do osadu w zbiorniku zasadniczym. Jest to skuteczna metoda biorąc pod uwagę jakość ścieków oczyszczonych w okresach zimowych, jednakże stwarza ryzyko wtórnego uruchomienia zgromadzonego ładunku zanieczyszczeń.

Staw porośnięty roślinnością z podrodziny rzęsowych (*Lemnoideae*) jest zasadniczym elementem systemu oczyszczania ścieków „Lemna”. W Polsce gatunkiem używanym w tym celu najczęściej jest rzęsa drobna (*Lemna minor L.*). Rzę-



www.prolabgliwice.com.pl

szkolenia i oprogramowanie

- niepewność pomiarów
- walidacja metod
- sterowanie jakością
- spójność pomiarowa
- audyty wewnętrzne
- międzylaboratoryjne badania biegłości
- nadzorowanie wyposażenia pomiarowego

ISO 9001 - ISO 17025 - ISO 5725 - ISO 13528 - ISO 19011

PROLAB
BIURO NAUKOWO TECHNICZNE
JÓZEF IZYDORCZYK

Tel./Fax: (32)2380331
44-100 Gliwice, ul. Sowińskiego 5
biuro@prolabgliwice.com.pl (marketing)
prolab@poczta.onet.pl (sprawy techniczne)

sa drobna jest byliną, zbudowaną z kilkumilimetrowych członów o okrągłym kształcie i płaskich w przekroju poprzecznym z których wyrastają stosunkowo długie korzonki. Rośliny te są znane w klimacie umiarkowanym z wysokiej zawartości białka szybkiego przyrostu biomasy, wynikającego z wegetatywnego sposobu rozmnażania [7]. Szybka kolonizacja zbiornika w odpowiednich warunkach wzrostu powoduje powstanie jednolitego, zwartego kożucha na powierzchni zbiornika wodnego [8].

Rośliny zimują w postaci pączków opadłych na dno zbiornika lub wmarznięte w lód. Staw roślinny w oczyszczalniach typu „Lemna” konstruowany jest jako ziemny zbiornik wodny. Powierzchnia stawu dzielona jest za pomocą pływających krat z materiału hydrofobowego, co zapobiega to przemieszczaniu się roślin w wyniku działalności wiatru, fal i przepływu ścieków. Umożliwia to jednocześnie równomierne pokrycie stawu przez roślinność, redukując uciążliwość zapachową obiektu.

Zwarta, jednolita pokrywa z rzęsy drobnej jest istotna ze względu na pełnione przez nią funkcje. Przede wszystkim kożuch rzęsy ogranicza dyfuzję tlenu atmosferycznego do ścieków oraz stabilizuje termikę zbiornika. Wpływa to na wykształcenie się trzech stref hydrochemicznych w profilu zbiornika [9]. Przy powierzchni zbiornika występuje strefa natleniona. W strefie tej zachodzą procesy nityfikacji. Tlen jest produktem fotosyntezy roślin. Niżej znajduje się strefa prze-

ściowa, w której spadek zawartości tlenu wynika częściowo z jego wykorzystania przez bakterie nityfikacyjne, a częściowo z rozkładu materii organicznej. Najniżej leży strefa beztlenowa, obejmująca około 70% objętości stawu.

Azot, głównie w formie azotanów (V) oraz związki fosforu stanowią nawóz dla rzęsy, która jest ich ostatecznym akceptorem. Przy długich czasach zatrzymania ścieków (zazwyczaj powyżej 30 dni) oraz w okresach dopływu dużych ilości ścieków o niskich stężeniach związków biogenych (np. po ulewnych deszczach w systemach z kanalizacją ogólnospławną), azot i fosfor zmagazynowane przez rzęsę mogą zostać wykorzystane przez rośliny dla podtrzymania ich wzrostu [10].

Część fosforanów ulega precypitacji w strefie anoksycznej. W formach nierozpuszczalnych w środowisku redukcyjnym stabilizowane są w osadzie o znikomym tempie przyrostu (rzędu kilku milimetrów na rok). Podczas okresów o dużych przepływach ścieków rozcieńczonych istnieje ryzyko wtórnego uruchomienia ładunku fosforanów, które mogą nie zostać w pełni wychwycone przez rośliny. Ponadto istotnym czynnikiem warunkującym dotrzymanie określonej jakości ścieków oczyszczonych jest regularny zbiór rzęsy wodnej. Dla klimatu umiarkowanego, zalecana częstotliwość zbiorów wynosi co najmniej 4 razy w roku, w okresie wegetacyjnym. Zbyt rzadkie zbiory pokrywy roślinnej powodują wzrost grubości kożucha rzęsy, jej

obumieranie w wyniku ograniczonej dostępności światła oraz zaburzenie stratyfikacji stawu. Wpływa to w sposób oczywisty na efektywność oczyszczania ścieków. Sytuacje takie mogą doprowadzić do tak silnego zaburzenia pracy stawu, iż obserwowano wtórne uruchomienie zanieczyszczeń zgromadzonych w osadach dennych. Ponadto, pozytywny wpływ częstych zbiorów na usuwanie zanieczyszczeń fosforanowych został potwierdzony stosownymi badaniami [11].

Literatura

- [1] Sadecka Z., 2003: *Ocena efektywności pracy wybranych oczyszczalni hydrobotanicznych*. „Ochrona Środowiska”, nr 1 (25), s. 13-16.
- [2] Fidrysiak J., 2003: *Oczyszczalnie trzcinowe według technologii duńskiej*. Pobrano 15.05.2011 r. z lokalizacji: http://ekofil.gdynia.pl/Oczyszczalnie_trzcinowe_wg_tehnologii_dunskiej.html
- [3] Kwarciak A., 2003: *Roślinne oczyszczalnie ścieków*. Pobrano 17.05. 2011 r. z lokalizacji: <http://www.chem.uw.edu.pl/people/AMyslinski/cw13/korzzenie.html>
- [4] Karczmarczyk A., Mosiej J., 2007: *Skuteczność oczyszczania ścieków w systemach hydrofitowych na przykładzie złóż trzcinowych z przepływem poziomym*. „Scientarum Polonorum Acta – Architectura”, nr 4 (6), s. 79-88.
- [5] Andraszczak A., Macejak M., 2002: *Zastosowanie rzęsy wodnej (Lemna minor) w procesie oczyszczania ścieków*. W: *I Międzynarodowa Młodzieżowa Konferencja Naukowa*

„*Rolnictwo ekologiczne i ekogrotyrystyka w krajach Europy Środkowo-Wschodniej i Unii Europejskiej*”. Akademia Rolnicza we Wrocławiu, pobrano: 20.03.2011 r. z lokalizacji: <http://nprk.udp.edu.pl/rzesa.htm>

[6] Rutkowski L., 2010: *Klucz do oznaczania roślin naczyniowych Polski nizinowej*. Warszawa: Wyd. Nauk. PWN, s. 816.

[7] Altay A., Bayhan H., Akca L., 1996: *Nutrient removal efficiency of the natural treatment system utilizing duckweed*. W: *Proceedings of 1st Uludag Engineering Symposium*. Bursa.

[8] Ozengin N., Elmaci A., 2007: *Performance of Duckweed (Lemna minor L.) on different types of wastewater treatment*. „Journal of Environmental Biology”, vol. 28, nr 2, s. 307-314.

[9] Czyżyk F., 2003: *Badania efektywności pracy oczyszczalni gruntowo-roślinnych i wodno-roślinnych typu „Lemna”*. „Ochrona Środowiska”, R. 25, nr 2, s. 57-60.

[10] Cheng J. J., Stomp A. M., 2009: *Growing Duckweed to Recover Nutrients from Wastewater and for Production of Fuel Ethanol and Animal Feed*. „Clean” vol.37 (1), s. 17-26.

[11] Öbek E., Hasar H., 2002: *Role of Duckweed (Lemna minor L.) Harvesting in Biological Phosphate Removal from Secondary Treatment Effluents*. „Fresenius Environmental Bulletin”, vol. 11, nr 1, s. 27-29.

* *Mariusz Gołąb – Śląska Wyższa Szkoła Zarządzania im. gen. J. Ziętka w Katowicach, Witold Nocoń – Politechnika Śląska, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Rajmund Michalski – Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrze*