

Zbigniew Dąbek

## EFEKTYWNOŚĆ NITROFITÓW W OCZYSZCZANIU ŚCIEKÓW SZARYCH W OCZYSZCZALNI Z OSADNIKIEM SZYBOWYM

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono zarys stanu gospodarki wodno-ściekowej na tle Ramowej Dyrektywy Wodnej Unii Europejskiej, oraz nakreślono perspektywy rozwoju technologii nowych rozwiązań dla posesji w zabudowie rozproszonej. Przedstawiono zasady fitoremediacji, oraz możliwości dalszych rozwiązań. Uzasadniając celowość podjętych badań przedstawiono wielotorową chemiczną analizę ilościową makroelementów, rozważając skuteczność rozdziału fazowego w osadniku szybowym wyposażonym w separator fazy stałej z efektem Coandy. Dokonano analizy dla wybranej rośliny (*Poligonum persicaria* L.) jej części wegetatywnych w mikrouprawie hydroponicznej na keramzycie. Przeprowadzono analizę chemiczną wody oczyszczanej w oczyszczalni przydomowej z osadnikiem szybowym z roślinami nitrofitowymi. Porównano wyniki analiz na poszczególnych etapach badań: skuteczność separacji w osadniku szybowym, absorpcja makroelementów i jakości wody na wylocie. Dane te pozwalają wnioskować, że omawiany sposób oczyszczania ścieków jest wysoce perspektywiczny dla zabudowy rozproszonej.

**Słowa kluczowe:** nitrofity, osadnik szybowy, efekt Coanda, ścieki szare, fitoremediacja.

### WSTĘP

W oczyszczaniu ścieków znaczna część procesów technologicznych, przyporządkowana jest redukcji zanieczyszczeń. Podstawowe normatywy zawartości makroelementów w oczyszczonych ściekach są regulowane prawem krajowym jak również standardami Europejskimi. Przyjęta przez Polskę Ramowa Dyrektywa Wodna, zacznie wyznaczać nowe kierunki ekologicznego widzenia w Unii Europejskiej już od 2015 r. Szczególnie, cele na poprawę stanu środowiska wodnego [RDW 2000]. W Polsce stan gospodarki wodno-ściekowej w obszarze zabudowy rozproszonej ulega ciągłym transformacjom, a wymuszenia prawne realizowane są oddolnie w wielu przypadkach sposobem gospodarczym. Z racji niskiej zdolności finansowej, często przez nieodpowiedzialne działania mieszkańców obszarów wiejskich, mocno degradując środowisko. Ludność wiejska odczuwa deficyt rozwiązań proekologicznych w technologiach niskonakładowych, spełniających jednak standardy RDW jak i programowo epatowanie wiedzy o sanitacji w środowisku.

Z wielu istniejących rozwiązań oczyszczalni przyjaznych środowisku, oczyszczalnie roślinne zostały wskazane jako przykład będący tworem technicznym najbliższym naturze, sprawdzonym w eksploatacji wieloletniej, pozwalającej autorytatywnie okre-

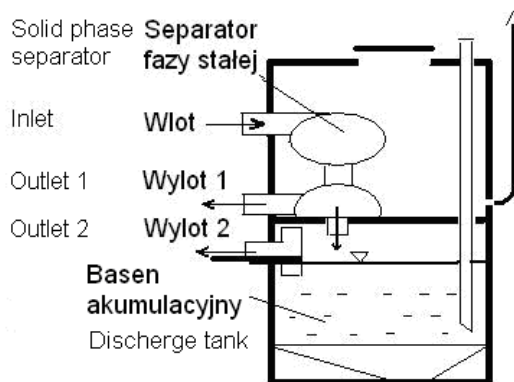
ślić jego przydatność w zabudowie rozproszonej [Obarska-Pempkowiak 2002, Pawęska i Kuczewski 2008].

Jednocześnie zauważa się wzrost zainteresowania alternatywnymi formami oczyszczania ścieków bytowych, zwłaszcza poprzez fitoremediacyjny charakter procesu. Jednak aby poszukiwana technologia była trwała, powinna być ekonomicznie opłacalna oraz przyjazna dla środowiska. Fitoremediacja korzysta z istniejących możliwości roślin, wspierając systemy oczyszczania gleby i wody. Jest to technologia z ekonomicznego punktu widzenia bardzo opłacalna, pozwalająca wybiórczo eliminować ze ścieków określone biogeny. Fitoremediacja wymaga też mniejszych nakładów finansowych, będąc jednocześnie przyjazna w kształtowaniu środowiska. W grupie roślin ruderalnych, szczególnie azotolubnych roślin tolerujących zalewanie, wytypowano odpowiednik stosowny celowi tej publikacji jako grupę z pośród ponad 150 znanych nitrofitów w Polsce [Dąbek 2010].

Celem badań nad skutecznością fitoremediacyjną nitrofitów, szczególnie rdestu plamiastego *Poligonum presicaria* L. było określenie stopnia akumulacji makroelementów w częściach rośliny, jak również wielkości ładunku zanieczyszczeń w podczyszczonych ściekach bytowych w osadniku szybowym.

## MATERIAŁY I METODA

Badania realizowano dwutorowo, w zakresie skuteczności separacji fazy stałej ze ścieków bytowych separatorem z efektem Coandy w osadniku szybowym, oraz wielkości akumulacji makroelementów (N, P, K), szczególnie w częściach roślin. Projekt badawczy realizowano w Stacji Doświadczalnej Fitoremediacji Inżynierskiej w Młodziejowicach w 2009 r. Badania prowadzono w skali technicznej na pełnowymiarowym modelu osadnika szybowego [Dąbek 2009], wyposażonego w separator fazy stałej z efektem Coandy (rys. 1). Osadnik charakteryzuje się małą objętością basenu



**Rys. 1.** Osadnik szybowy – zgłoszenie patentowe UP RP P-387896

**Fig. 1.** The well settling tank – patent notification: Polish Republic No. P 387896

akumulacyjnego wynoszącą  $1 \text{ m}^3$ , jego maksymalne wypełnienie związane jest czasowo z krotnością defakacji stanowiącej wraz z separatem 3,5% objętości cieczy splukującej. Czas napełnienia wyliczono ze wzoru na wielkość separatu. Separator Coandy realizuje zasadę wynikającą z efektu Coandy, polegającą na przepływie płynów po powierzchniach krzywoliniowych [Dąbek 2008, 2010a, b].

Ścieki bytowe czarne doprowadzono do separatora przewodem dolotowym o spadku  $i = 1,5\%$  na długości 5 m, natomiast w odległości 1 m od separatora ze spadkiem  $i = 5\%$ . Wielkość ładunku zanieczyszczeń  $\text{ChZT}_{\text{Cr}}$ , zawiesinę ogólną, fosfor ogólny, azot ogólny i amonowy badano wykonując chemiczną analizę ilościową spektrofotometrem Aquanal Spectro 3 firmy Sigma Aldrich.  $\text{BZT}_5$  mierzono w OxiTop IC6. Wyniki przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Średnie wielkości zanieczyszczeń w ściekach szarych na wylocie z osadnika szybowego w Młodziejowicach (*obliczenia własne autora*).

**Table 1.** The average output value of pollution in gray water at the well setting tank in Młodziejowice

$\text{BZT}_5$ $\text{BOD}_5$ [ $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ ]	$\text{ChZT}_{\text{Cr}}$ $\text{COD}_{\text{Cr}}$ [ $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ ]	Zawiesina ogólna Total suspension [ $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ]	Azot Kjeldahla Kjeldahl N [ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ ]	Fosfor ogólny Total P [ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ ]
274,0	420,5	469,7	40,4	10,4

Badania akumulacji makroelementów prowadzono w formie mikrouprawy rdestu płamistego (POPE3) na poletku doświadczalnym o powierzchni  $24 \text{ m}^2$ , w podłożu z keramzytu o granulacji 8 – 16 mm i miąższości 10 cm, obejmującej uprawę 480 roślin juwenalnych. Realizowano nawożenie ściekami szarymi separowanymi w osadniku szybowym, pozbawionymi fazy stałej separatorem z efektem Coandy. Ścieki doprowadzono ze zbiornika retencyjnego gromadzącego ścieki bytowe szare, oraz wodę nadosadową z osadnika szybowego [Dąbek 2010c]. Materiał roślinny pobrano pod koniec okresu wegetacji z 20 reprezentatywnych roślin, przy temperaturze powietrza  $+18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ilościową analizę chemiczną przeprowadzono stosując następującą metodykę dla:

- azot Kjeldahla, metodą mineralizacji w kolbach Kjeldahla z naważką 0,25 g, z zastosowaniem ławy grzejszej KI 11/26 Destylacji dokonano w destylatorze parowym Vapodest VAP30 Gerhardt,
- fosfor ogólny, metodą kolorymetryczną, z naważką 2,0 g. Oznaczenia dokonano aparatem Specol 10 Zeiss Jenna, dla długości fali 490 nm, w kuwecie o grubości 10 mm.

Wyniki analizy przedstawiono w tabeli.2. Badania skuteczności redukcji zanieczyszczeń wykonano na oczyszczalni przydomowej zasilanej ściekami bytowym z budynku mieszkalnego, zamieszkałego przez dwie osoby (sporadycznie latem przez pięć). Analizowano przede wszystkim makroelementy; azot ogólny, amonowy, fosfor ogólny,  $\text{BZT}_5$ ,  $\text{ChZT}$  oraz zawiesinę ogólną. Makroelementy oraz  $\text{ChZT}$  i zawiesinę ogólną określono przy pomocy spektrofotometru Aquanal Spectro 3.  $\text{BZT}_5$  określono według metody piezometrycznej w OxiTop. Wyniki analizy przedstawiono w tabeli 3.

Badania realizowano po zakończeniu okresu wegetacyjnego na oczyszczalni.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Wyniki chemicznej analizy ilościowej ścieków szarych i oczyszczonych analizowano pod względem wpływu systemu korzeniowego rośliny nitrofitowej na wynik końcowy wartości makroelementów. Uwzględniając rozkład mocznika do postaci amonowej, przeanalizowano wpływ rdestu plamiastego (*Polygonum persicaria* L.) na pobieranie biogenów [Kotowska, Włodarczyk 2002].

### Badania efektywności separacji

Badania separacji w osadniku szybowym, dowiodły o słuszności założeń wstępnych – separator z efektem Coandy skutecznie rozdziela fazę stałą (kał i papier toaletowy) od fazy płynnej (ścieki czarne) co również dowodził Dąbek w badaniach nad wpływem wybranych czynników na rozdział fazowy [Dąbek 2008]. Wyniki badań przedstawia tabela 1.

### Badania akumulacji makroelementów

Akumulację składników określono prowadząc chemiczną analizę wegetatywnych części roślin.

Rdest plamisty (POPE3) akumulował w liściach azot Kjeldahla w ilościach o maksimum z wartością 48,40 mg·g<sup>-1</sup> s.m., (również w korzeniach, wykazując wartość akumulacji 45,64 mg·g<sup>-1</sup> s.m.), natomiast fosfor w ilości 4,11 mg·g<sup>-1</sup> s.m. Akumulacja składników ze ścieków rośliny dokonywały tak w części podziemnej, a więc w strefie ryzofiltracji na głębokości 10 – 15 cm zalewanej ściekami, jak również w części liściowej, a więc ewoportacji i fotosyntezy na wysokości 70 – 95 cm (tab. 2).

**Tabela 2.** Zawartość makroelementów w organach wegetatywnych rdestu plamiastego (*Polygonum persicaria* L.) nawożonego separowanymi ściekami szarymi

**Table 2.** The content of macro-elements in the vegetative organs of Redshank plant's parts (*Polygonum persicaria* L.) fertilized with separated grey water

Lp No	Nazwa organu Organ name	Sucha masa [g] Dry mass	Azot Kjeldahla [mg·g <sup>-1</sup> ] s.m. Kjeldahl N	Fosfor ogólny [mg·g <sup>-1</sup> ] s.m. Total P
Rośliny laboratoryjne – Tested plant				
1.	Korzeń – root	13,95	45,64	3 ,93
2.	Łodyga – stem	10,22	21,87	3,87
3.	Liście – leaves	2,26	48,40	4,11

Ryzofiltracja – w procesie tym zanieczyszczenia bezpośrednio przenikają do korzenia, lub przez absorpcję biogenów zanieczyszczenia lokowane są w wakuolach korzenia. Wykorzystanie roślin do czyszczenia ścieków, znane jako fitoremediacja uważane jest za rodzaj bioremediacji i jest osobnym tematem publikacji [Dąbek 2010a].

## Badania skuteczności redukcji zanieczyszczeń

Badania prowadzono rozpatrując fitotransformacyjny charakter procesów w rozkładzie metabolicznym rośliny, oraz wchłaniania substancji organicznych ze ścieków. Uzyskane wyniki dowodzą o wpływie tak roślin jak i podłoża na wielkość biodegradacji mocznika ze ścieków szarych. Zawartość amoniaku z mocznika w ściekach, określono w pomiarach na wlocie w wielkości  $37,24 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , natomiast na wylocie w zbiorniku infiltrującym w wielkości  $2,55 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Oznacza to, że w podłożu z keramzytu (gęstość pozorna –  $740\pm 25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  współczynnik przewodnictwa ciepła w  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $0,141$  do  $0,07 \text{ W}\cdot\text{mK}^{-1}$ , nasiąkliwość –  $21,3\pm 2,1\%$ ) dodatkowo wystąpiły procesy rozkładu amoniaku do przyswajalnej formy amonowej, absorbowanej przez rośliny – azot amonowy na wejściu do zbiornika retencyjnego (wlot na oczyszczalnię) miał wartość  $30,74 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , natomiast na wyjściu z oczyszczalni wartość  $10,36 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Skład chemiczny podłoża mineralnego, oraz jego porowata powierzchnia, katalizowały proces rozkładu biochemicznego nityfikując oczyszczone ścieki. Keramzyt pozwalał również na stabilizowanie temperatury podłoża, mając również cechy termoizolacyjne. Wyniki z pomiarów przedstawiono w tabeli 3.

**Tabela 3.** Średnie wielkości zanieczyszczeń w wodzie oczyszczonej na POŚ w wyniku fitoremediacji rdestem plamistym (*Poligonom persicaria* L.)

**Table 3.** Household treatment plant's average scale of pollution in purified water, filtered with Redshank plant (*Poligonom persicaria* L.)

Kierunek przepływu Flow direction	BZT <sub>5</sub> BOD <sub>5</sub> [ $\text{mgO}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	ChZT <sub>Cr</sub> COD <sub>Cr</sub> [ $\text{mgO}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	Zawiesina ogólna Total suspension [ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	Azot Kjeldahla Kjeldahl N [ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	Azot amonowy Amonium N [ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	Fosfor ogólny Total P [ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]
Wlot – Intlet	280,0	385,0	438,0	45,90	30,74	3,36
Wylot – Outlet	20,0	48,0	17,0	30,90	10,36	1,59
Redukcja [%] Reduction [%]	92,8	87,5	96,1	32,7	66,3	52,7

Dostępność azotowych produktów przemian dla roślin, szczególnie azotu amonowego ( $\text{NH}_4^+$ ), odgrywa zasadniczą rolę w odżywianiu w strefie ryzosfery, komórek włóśnikowych korzenia. Duża zbiorowa powierzchnia chłonna korzenia rdestu plamistego jest doskonałym czynnikiem transportu wody i soli mineralnych do nadziemnej części rośliny. A jej wysoki potencjał wodny w komórkach włóśnikowych wynoszący średnio  $0,3 \text{ Mpa}$ , pozwala na transport soli mineralnych do powierzchni liścia. Wakuole w częściach roślinnych rdestu plamistego gromadzą znaczne zapasy energetyczne na skutek wysokiego potencjału elektrochemicznego pomiędzy komórką rośliny a środowiskiem zewnętrznym (potencjał błonowy) wynoszącym średnio  $60$  do  $240 \text{ mV}$ . Składniki mineralne akumulowane są z ukierunkowaniem aktywności białek transportowych, których transport uwarunkowany jest zdolnością wiązania jonów z przenośnikiem białkowym [Bandurska 2007].

## WNIOSKI

Fitoremediacyjny charakter metody redukcji zanieczyszczeń w ściekach szarych, ma charakter przyjazny dla środowiska, jest ekonomiczny (znacznie mniejsza powierzchnia czynna oczyszczalni) oraz estetyczny (niektóre badane nitrofity przez autora, spełniają również funkcje estetyczne kolorem, zapachem, pokrojem oraz cechami miododajności). Zaabsorbowane makroelementy w końcowym okresie wegetacyjnym, mogą stanowić surowiec kompostowy o wysokiej zawartości azotu. azotowymi. Zawartości azotu ogólnego zostały zmniejszone o prawie 30%, fosforu ogólnego o ponad 60%. BZT<sub>5</sub> zredukowano o 94%, ChZT o 87%. Badania dowodzą, że rdest plamisty (*Polygonum priscaria* L.) może uzupełniać wykaz roślin w fitoremediacyjnej technologii oczyszczania ścieków na oczyszczalni przydomowej z osadnikiem szybowym.

## PIŚMIENNICTWO

1. Bandurska H. 2007. Fizjologia roślin. Od teorii do nauk stosowanych. Praca zbiorowa pod redakcją Kozłowskiej M. PWRiL, Poznań.
2. Dąbek Z. 2008. Wpływ wybranych czynników na rozdział fazowy ścieków bytowych separatorem z efektem Coandy. Rozprawa doktorska. WIŚiG UR, Kraków.
3. Dąbek Z. 2009. Osadnik szybowy zwłaszcza dla przydomowej oczyszczalni ścieków. Opis patentowy P-387896. BUP nr 2(941)2010, Warszawa.
4. Dąbek Z. 2010a. Akumulacja azotu i fosforu w wybranych nitrofitach nawożonych ściekami szarymi w oczyszczalni przydomowej z osadnikiem szybowym. Mater. Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej, Opole.
5. Dąbek Z. 2010b. Wpływ usuniętej fazy stałej w osadniku szybowym na stężenie zanieczyszczeń w ściekach szarych. Mater. XIII Konferencji Nauk. Tech., Zielona Góra.
6. Dąbek Z. 2010c. Zasada skuteczności separacji fazy stałej separatorem z efektem Coandy. XL Seminarium Zastosowań Matematyki, Kobyla Góra – Wrocław.
7. Kotowska U., Włodarczyk T. 2002. Przemiany mineralne form azotu w glebie nawadnianej ściekami. Acta Agrophysica. Rozprawy i Monografie, 2(5): 50.
8. Obarska-Pempkowiak H. 2002. Oczyszczalnie hydrofitowe. Wyd. Polit. Gdańskiej, 213.
9. Pawęska K., Kuczewski K. 2008. Skuteczność oczyszczania ścieków bytowych w oczyszczalniach roślinno-glebowych o różnej eksploatacji. Wyd. UP Wrocław, 39: 118.
10. Ramowa Dyrektywa Wodna UE 2000. W sprawie Polityki Wodnej, nr 2000/60/EC, wg. Official Journal of the European Communities, nr dok. I. 327.

## THE NITROPHYTE EFFECTIVENESS IN SEWAGE WATER GREY THE SEWAEG TREATMENT WITH A USE OF SETTLING TANK

### Summary

This article outlines the actual conditions of the water and sewage industry in Poland within the E.U Water Directive Framework. It also focuses on perspectives new technology solutions using property units in scattered housing. The mechanisms of phytoremediation are principle along is chance future creating. The evidence in the research conducted is presented as an analysis of macro elements focusing

on the efficiency of phase separation in the well settling tank which is equipped with a solid phase separator using the Coanda effect. A whole analysis of the selected plant (*Poligonum persicaria* L.) and its vegetative parts on hypotonic micro-cultivation with keramzyte was performed. A chemical analysis was done on the sewage water a household sewage treatment plant a well settling tank a planted nitrophytes. A comparison analysis results at particular stages of the research: the efficiency of separation in the well settling tank, absorption of macro-elements and the qualitywaste water in the outlet. The specifications conclude that review method sewage treatment plant. The best future-oriented solution for scattered housing.

**Key words:** nitrophytes, well settling tank, Coanda effect, grey water, phytoremediation.