

**ANITA JAKUBASZEK, EWELINA PŁUCIENNIK-KOROPCZUK\***

**WPLYW OKRESU EKSPLOATACJI NA EFEKTYWNOŚĆ PRACY OCZYSZCZALNI HYDROFITOWEJ W MAŁYSZYNIE**

*Streszczenie*

*W artykule przedstawiono efektywność usuwania zanieczyszczeń organicznych oraz związków biogennych ze ścieków w oczyszczalni hydrofitowej w Małyszynie. Wyniki wieloletniego monitoringu pracy oczyszczalni wykazują, że średnia efektywność usuwania zanieczyszczeń organicznych ze ścieków wynosiła 72%. Natomiast azot ogólny i fosfor ogólny usuwane były ze ścieków w 22,5 i 13,3%. Wykazano również okresowe odładowanie złoża z wcześniej zdeponowanego fosforu.*

Słowa kluczowe: oczyszczanie ścieków, oczyszczalnie hydrofitowe, oczyszczalnia z poziomym podpowierzchniowym przepływem ścieków

**WPROWADZENIE**

Oczyszczalnie hydrofitowe są odwzorowaniem procesów zachodzących w naturalnych ekosystemach bagiennych. Usuwanie zanieczyszczeń ze ścieków w tych systemach odbywa się w wyniku intensyfikacji procesów mechanicznych, chemicznych i biologicznych, zachodzących w naturalnym środowisku gruntowo-roślinno-wodnym z udziałem mikroorganizmów heterotroficznych [Obarska-Pempkowiak 2002].

Prawidłowe zaprojektowanie, wykonanie oraz właściwa eksploatacja systemów hydrofitowych decydują o uzyskaniu wysokiej skuteczności usuwania ze ścieków zanieczyszczeń organicznych oraz związków biogennych. Szybkość rozkładu zanieczyszczeń organicznych zależy również od składu ścieków i czynników środowiskowych takich jak: temperatura, odczyn, stężenie tlenu [Obarska-Pempkowiak i in. 2010, Myszograj 2008].

---

\* Uniwersytet Zielonogórski; Instytut Inżynierii Środowiska; Zakład Technologii Wody, Ścieków i Odpadów

### USUWANIE ZANIECZYSZCZEŃ ORGANICZNYCH W SYSTEMACH HYDROFITOWYCH

Okolo 60% zanieczyszczeń zawartych w ściekach dopływających do oczyszczalni stanowią związki organiczne, a pozostałe 40% związki nieorganiczne, występujące w formie rozpuszczonej i nierozpuszczonej [Klimiuk i in. 2008].

Gromadząca się na skutek stałego dopływu ścieków i zachodzących przemian biochemicznych oraz obecności obumarłych organizmów substancja organiczna stanowi źródło składników odżywczych. Są one następnie wykorzystywane w przemianach substancji organicznej zachodzących w systemie hydrofitowym. Spadek stężenia substancji organicznej w ekosystemach hydrofitowych jest rezultatem sedymentacji, biochemicznego rozkładu rozpuszczonej substancji organicznej oraz mikrobiologicznego oddychania (respiracji).

Skuteczność usuwania ze ścieków w obiektach z poziomym podpowierzchniowym przepływem ścieków (HF-CW) substancji organicznej wyrażonej w BZT<sub>5</sub> i ChZT<sub>Cr</sub> została dobrze udokumentowana w literaturze m. in. przez Vymazala i in. [2002, 2006, 2008], Brixa i Johansena [1999], Obarską-Pempkowiak [1996, 2002, 2010]. Analizowane obiekty hydrofitowe charakteryzowały się znaczną efektywnością usuwania substancji organicznych wynoszącą dla BZT<sub>5</sub> od 72 do 94%, a dla ChZT<sub>Cr</sub> od 60 do 89%.

### USUWANIE ZWIĄZKÓW BIOGENNYCH W SYSTEMACH HYDROFITOWYCH

Oczyszczanie ścieków metodą hydrofitową pozwala na usuwanie ze ścieków nie tylko zanieczyszczeń organicznych, lecz również związków azotu i fosforu.

Obieg azotu w ekosystemach bagiennych jest procesem złożonym i obejmuje procesy mikrobiologiczne prowadzące do przekształcenia azotu organicznego w formy nieorganiczne, a następnie kolejne przemiany poszczególnych form nieorganicznych. Najistotniejszą rolę pełni tu proces amonifikacji oraz procesy nitryfikacji i denitryfikacji. Tymczasowe zatrzymanie azotu w ekosystemie może nastąpić w wyniku biokumulacji (fitokumulacji) w biomasie oraz procesów sorpcji w podłożu [Sadecka 2010]. Opisywane w literaturze systemy hydrofitowe charakteryzują się różną, w zakresie od 20 do 70% efektywnością usuwania związków azotu ze ścieków [Barnard 1997, Birkedal i in. 1993, Willadsen i in. 1990, Wolstenholme 1990].

Fosfor w ekosystemach hydrofitowych krąży między glebą, wodą a rośliną, podlega również przemianom biotycznym i abiotycznym. Procesy biotyczne zachodzą przy udziale fauny i flory i są to: pobór fosforu przez rośliny i mikroorganizmy oraz procesy mineralizacji biomasy jak i fosforu organicznego, który znajduje się w złożu. Do procesów abiotycznych czyli mechanicznych, fizycz-

nych i chemicznych należą: sedymentacja i deponowanie, sorpcja w glebie, strącanie czy też procesy wymiany jonów pomiędzy fazą stałą a ciekłą [Reddy i D'Angelo 1997, Obarska-Pempkowiak i in. 2010, Sadecka 2010].

Dopływający do oczyszczalni fosfor w postaci nieorganicznej może być zatrzymywany w procesach sorpcji i strącania. Wydajność tych procesów zależy od odczynu ścieków, potencjału utleniająco-redukującego oraz obecności jonów  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  i  $\text{Ca}^{2+}$ . Jeśli potencjał utleniająco-redukujący jest poniżej +100 mV zachodzi redukcja jonów  $\text{Fe}^{3+}$  do  $\text{Fe}^{2+}$  i uwalnianie uprzednio zmagazynowanego fosforu [Reddy i D'Angelo 1997, Obarska-Pempkowiak 2002].

Według Richardsona fosfor jest zaabsorbowany w wypełnieniu oczyszczalni i osadach, jeżeli jest wystarczająca ilość jonów  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{Mg}^{2+}$ . Które z tych jonów są najbardziej aktywne w zatrzymywaniu fosforu zależy od pH systemu i ilości tych jonów [Richardson 1999]. Jeśli w glebie ekosystemu panują warunki lekko kwaśne lub obojętne, dominującą rolę w procesie sorpcji pełnią związki żelaza i glinu. Na powierzchni złoża tworzą się tlenki tych metali, które sorbują fosfor w postaci nierozpuszczalnych związków kompleksowych, powodując długotrwałe zatrzymanie go w systemie [Reddy i D'Angelo 1997, Obarska-Pempkowiak 2002]. Dobrze pracujące ekosystemy bagienne charakteryzują się odczynem alkalicznym. W takich warunkach główną rolę pełnią związki wapnia, tworzące z fosforem trwałe połączenia mineralne [Reddy i D'Angelo 1997].

Opisywane w literaturze systemy hydrofitowe charakteryzują się znaczną rozbieżnością efektywności usuwania fosforu ogólnego ze ścieków. Analizowane przez Barnarda, Birkedala, Willadsena oraz Wolstenholme'a systemy charakteryzowały się efektywnością usuwania fosforu w granicach od 11 do 94% [Barnard 1997, Birkedal i in. 1993, Willadsen i in. 1990, Wolstenholme 1990].

Rośliny zasiedlające złoża hydrofitowe pobierają azot i fosfor poprzez korzenie i akumulują go w nadziemnych częściach. Kiedy roślina zaczyna obumierać znaczna część zdeponowanego w części nadziemnej azotu i fosforu jest przenoszona do korzeni i kłaczy, gdzie jest magazynowana. Obumarłe tkanki roślin (detrytus), zalegające na powierzchni złoża ulegają rozkładowi, zarówno tlenowemu jak i beztlenowemu, w zależności od panujących warunków. Prowadzi to do powrotu części zatrzymanego wcześniej azotu i fosforu do ścieków [Reddy i D'Angelo, 1997; Obarska-Pempkowiak i in. 2010].

Pamiętać należy, że znaczna część wyników badań dotyczących usuwania zanieczyszczeń organicznych i związków biogenych pochodzi z krótkotrwałych badań laboratoryjnych lub pilotowych, w których wypełnienie złoża wykazywało dużą zdolność absorpcyjną. W literaturze przedmiotu mało jest danych dotyczących oceny pracy rzeczywistych obiektów w dłuższym okresie eksploatacji z uwzględnieniem np. wpływu temperatury czy pór roku. Nieliczne dane dotyczą długoletnich badań prowadzonych w pełnej skali, gdzie ze względu na wysycenie gleby spodziewana jest niższa efektywność usuwania fosforu.

### OBIEKT BADAŃ

Badania prowadzono w oczyszczalni hydrofitowej zlokalizowanej na terenie województwa lubuskiego w miejscowości Małyszyn. Obiekt został zaprojektowany na 1300 MR i oddany do eksploatacji w kwietniu 1993 roku. Oczyszczalnia pracuje w systemie z poziomym, podpowierzchniowym przepływem ścieków. Powierzchnia stawu korzeniowego wynosi 3 800 m<sup>2</sup> i jest obsadzona trzciną pospolitą (*Phragmites Australis* Trin.).

Ścieki po mechanicznym oczyszczeniu w 3-komorowym osadniku poziomym przepływają do studni rozprowadzającej, zlokalizowanej tuż przed złożem. Następnie, już w filtrze gruntowym, rozprowadzane są za pomocą perforowanego przewodu równomiernie na całej szerokości złoża. Staw korzeniowy uformowany jest w kształcie prostokąta o szerokości 40 m i długości 95 m. Średnia głębokość poletka hydrofitowego wynosi 1,60 m, a minimalna 1,20 m. Po przepłynięciu przez poletko hydrofitowe ścieki trafiają do rurociągu zbierającego, następnie do studzienki zbiorczej, i rowem melioracyjnym odprowadzane są do stawów stabilizacyjnych i odbiornika.

### POBÓR PRÓBEK I METODYKA BADAŃ

Badania prowadzono od marca 2003 r. do lutego 2004 r. oraz w okresie od czerwca 2005 r. do lipca 2006 r.

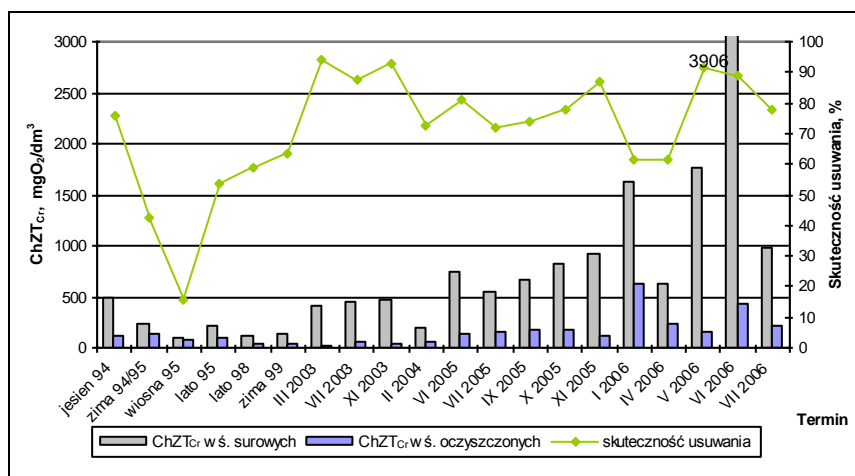
Próbki ścieków w analizowanym obiekcie pobierano w studziencie zlokalizowanej przy dopływie do złoża hydrofitowego oraz studziencie zbiorczej na odpływie z oczyszczalni zgodnie z PN-ISO 5667-10:1997.

W uśrednionych próbkach ścieków surowych i oczyszczonych oznaczono:

- ChZT – metodą z dwuchromianem potasu według PN-74/C-04578.03,
- BZT<sub>5</sub> – metodą manometryczną za pomocą systemu pomiarowego OxiTop Control OC110 firmy WTW,
- Azot ogólny Kjeldahla – metodą miareczkową z mianowanym roztworem zasady sodowej (po mineralizacji próbek ścieków metodą z kwasem siarkowym i selenem oraz po oddzieleniu amoniaku z próbki na drodze destylacji z parą wodną w środowisku silnie alkalicznym w aparacie Vapodest 30 firmy C. Gerhardt; PN-EN 25663:2001),
- Fosfor ogólny – metodą spektrometryczną z molibdenianem amonu przy użyciu spektrofotometru Marcel Media (po mineralizacji próbek ścieków; EN ISO 6878:2004).

## WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Na podstawie zebranych wyników monitoringu prowadzonego w latach 1994-99 w oczyszczalni w Małyszynie [Sadecka 2001, 2003] oraz wyników badań własnych (2003-2006 r.), wyznaczono efektywności usuwania zanieczyszczeń organicznych wyrażonych przez  $ChZT_{Cr}$  i  $BZT_5$  ze ścieków w oczyszczalni hydrofitowej w Małyszynie w latach 1994-2006 (rys. 1 i 2).

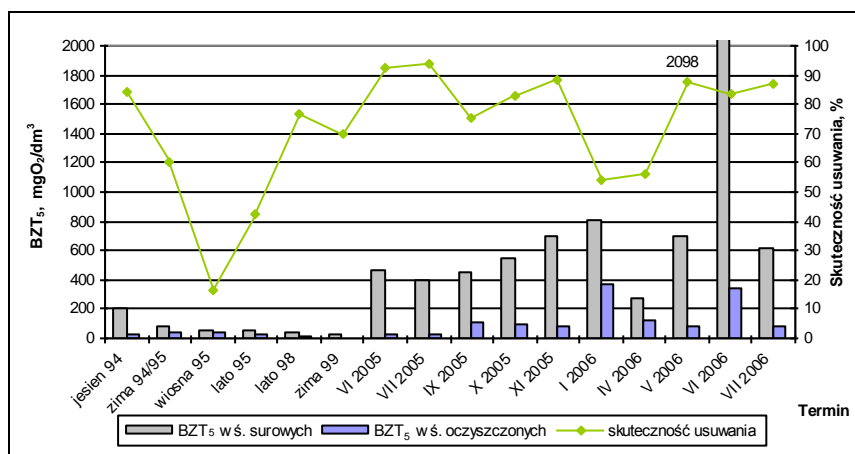


Rys. 1. Wartości stężeń oraz efektywność usuwania  $ChZT_{Cr}$  ze ścieków w oczyszczalni hydrofitowej w Małyszynie [oprac. aut.]

Fig. 1. Concentrations and COD removal efficiency from sewage in Małyszyn [aut. develop.]

W pierwszym roku pracy oczyszczalni efektywności usuwania zanieczyszczeń organicznych przedstawiały się następująco: dla  $ChZT_{Cr}$  43÷76%, dla  $BZT_5$  61÷83%. Wiosną 1995 r. zaobserwowano najniższą skuteczność usuwania  $ChZT_{Cr}$  i  $BZT_5$  ze ścieków wynoszącą kolejno 16 i 17%. W latach 1995/99 nastąpiła poprawa efektywności oczyszczania ścieków, usuwanie związków organicznych wyrażonych w  $ChZT_{Cr}$  było w zakresie od 54 do 63%, a  $BZT_5$  od 42 do 77%.

Od 2003 r. zaobserwowano znaczny wzrost stężeń zanieczyszczeń ( $ChZT_{Cr}$  i  $BZT_5$ ) w ściekach surowych doprowadzanych do oczyszczalni podczas gdy efektywność ich usuwania pozostawała w zakresie 55-90%.



Rys. 2. Wartości stężeń oraz efektywność usuwania BZT<sub>5</sub> ze ścieków w oczyszczalni hydrofitowej w Malyszynie [oprac. aut.]

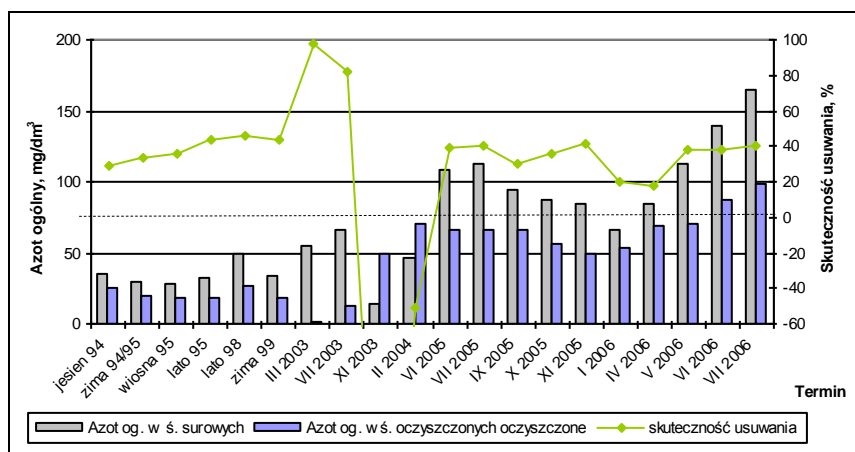
Fig. 2. Concentrations and BOD removal efficiency from sewage in Malyszyn [aut. develop.]

Podczas dwunastoletniej eksploatacji obiektu średnia efektywność usuwania zanieczyszczeń organicznych wyrażonych przez ChZT<sub>Cr</sub> i BZT<sub>5</sub> wynosiła 72%. W czasie wieloletniej pracy obiektu obserwowano, szczególnie w okresie zimy i wiosny, okresowe obniżenia skuteczności oczyszczania ścieków. Wyniki badań prowadzonych w styczniu i kwietniu 2006r. wykazały spadek efektywności oczyszczania ścieków do poziomu 61% dla ChZT<sub>Cr</sub> i 55% dla BZT<sub>5</sub> (rys. 1 i 2).

Efektywności usuwania azotu i fosforu ogólnego ze ścieków w oczyszczalni hydrofitowej w Malyszynie w kolejnych latach eksploatacji obiektu przedstawiono na rys. 3 i 4.

Skuteczność usuwania azotu ogólnego ze ścieków w latach 1994-1999 wynosiła od 29 do 46%. Najlepszą efektywność usuwania azotu ogólnego ze ścieków wynoszącą 97 i 82% uzyskano w marcu i lipcu 2003 r. Natomiast jesienią i zimą 2003/2004 stężenia azotu w ściekach oczyszczonych były znacznie wyższe niż w ściekach dopływających do złoża. W listopadzie 2003r. stężenie azotu ogólnego wzrosło z 14 mg/dm<sup>3</sup> w ściekach surowych do 49 mg/dm<sup>3</sup> w ściekach odpływających z oczyszczalni, natomiast w lutym 2004r. z 46 do 70 mg/dm<sup>3</sup>. W kolejnych latach eksploatacji skuteczność usuwania azotu ogólnego ze ścieków nie przekraczała 42%.

W całym rozpatrywanym okresie usuwanie azotu ogólnego ze ścieków było na poziomie średnio 22,5%. W okresach jesienno-zimowych obserwuje się obniżenie efektywności usuwania azotu ze ścieków. Próbkę ścieków pobrane w styczniu i kwietniu 2006 r., wykazały obniżenie efektywności usuwania azotu do 20 i 18%.



Rys. 3. Wartości stężeń oraz efektywność usuwania azotu ogólnego ze ścieków w oczyszczalni hydrofitowej w Małyszynie [oprac. aut.]

Fig. 3. Concentrations and total nitrogen removal efficiency from sewage in Małyszyn [aut. develop.]

Fosfor ogólny w rozpatrywanym okresie usuwany był ze ścieków ze skutecznością w granicach od 5 do 79%. Najlepszą efektywność usuwania fosforu ogólnego ze ścieków uzyskano w marcu i lipcu 2003 r. kolejno: 97 i 82%.

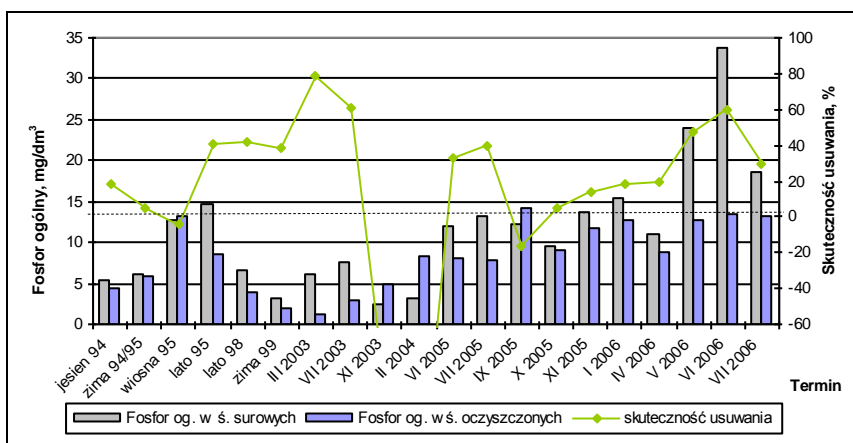
Średnia efektywność usuwania fosforu ogólnego ze ścieków wynosiła 13,3%. Na skuteczność usuwania fosforu ze ścieków wpływ miała również temperatura. Dobre efekty zatrzymywania fosforu w systemie hydrofitowym uzyskano w miesiącach letnich 2006 r. (47%, 60% i 30%) oraz w czerwcu i lipcu 2005 r. (33 i 40%). W okresie od października do kwietnia efektywność usuwania fosforu ze ścieków znacznie się obniżyła i wynosiła od 4 do 20%.

Wiosną 1995 r., jesienią i zimą 2003/2004 oraz we wrześniu 2005 r. zaobserwowano wzrost stężenia fosforu w ściekach oczyszczonych w porównaniu do ścieków surowych. Zjawisko to obserwowano w okresie jesienno-zimowym, w którym w niesprzyjających warunkach tlenowych i temperaturowych panujących w złożu makrofitowym następowało uwalnianie fosforu wcześniej zdeponowanego w złożu. Po odładowaniu złoża np. od września 2005 r. (rys. 4) obserwowano wzrost skuteczności usuwania fosforu ze ścieków.

Z danych literaturowych wynika, że efektywność oczyszczania ścieków w oczyszczalniach hydrofitowych jest różna i zależna od pory roku. Wyniki monitoringu z lat 94/2000 oraz przedstawione wyniki badań w oczyszczalni hydrofitowej w Małyszynie potwierdzają obniżenie skuteczności oczyszczania w okresach jesienno-zimowych.

Wyniki badań potwierdzają również opisane w literaturze okresowe odładowanie złoża z wcześniej zdeponowanego fosforu [Sadecka 2001].





Rys. 4. Wartości stężeń oraz efektywność usuwania fosforu ogólnego ze ścieków w oczyszczalni hydrofitowej w Malyszynie [oprac. aut.]

Fig. 4. Concentrations and total phosphorus removal efficiency from sewage in Malyszyn [aut. develop.]

## WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski końcowe:

- Badania prowadzone w oczyszczalni hydrofitowej w Malyszynie wykazały, że pomimo wysokiego stężenia zanieczyszczeń w ściekach surowych i wieloletniej pracy obiektu, skuteczność oczyszczania ścieków była dobra.
- Analizując pracę oczyszczalni w całym okresie eksploatacji wyznaczona średnia efektywność usuwania zanieczyszczeń organicznych dla tego obiektu wynosiła 72%,
- Azot ogólny i fosfor ogólny usuwane były ze ścieków średnio w 22,5 i 13,3%.
- Badania wykazały obniżenie skuteczności pracy oczyszczalni w sezonie jesienno-zimowym, czyli w okresach niższych temperatur,
- Wykazano okresowy wzrost stężenia związków fosforu w ściekach oczyszczonych, które przewyższało stężenie na dopływie do tego obiektu, które może być spowodowane zjawiskiem okresowego odładowania złoża z wcześniej zdeponowanego fosforu.

**Badania prowadzono przy wsparciu finansowym Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach realizacji projektu badawczego promotorskiego nr N N523 558538.**



## LITERATURA

1. BARNARD J.L.: *Przegląd i systematyka współczesnych metod usuwania związków biogenych ze ścieków*, Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Kraków, 1997
2. BIRKEDAL K., BRIX H., JOHANSEN N.H.: *Wastewater treatment in constructed wetlands. Designers manual. Danish-Polish Post-Graduate Course on "Low technology wastewater treatment"*. Politechnika Gdańska, Wydział Hydrotechniki, Gdańsk, 1993
3. BRIX H., JOHANSEN N. H.: *Treatment of domestic sewage in a two-stage constructed wetland – design principles*. [W:] Nutrient cycling and retention in natural and constructed wetlands, red. J. Vymazal. Backhuys Publishers, Leiden, 155-163, 1999
4. KLIMIUK E., ŁEBKOWSKA M.: *Biotechnologia w ochronie środowiska*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2008
5. MYSZOGRAJ S.: *Zmiany ilościowe i jakościowe ścieków dopływających do małych oczyszczalni*. W: *Oczyszczanie ścieków i przeróbka osadów ściekowych*, T. 2, ZielonaGóra, 2008
6. OBARSKA-PEMPKOWIAK H.: *Analiza efektywności usuwania zanieczyszczeń w oczyszczalniach wodno-roślinnych i gruntowo-roślinnych w woj. Gdańskim*. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt. *Oczyszczalnie hydrobotaniczne*, Poznań, 1996
7. OBARSKA-PEMPKOWIAK H., GAJEWSKA M., WOJCIECHOWSKA E.: *Hydrofitowe oczyszczanie wód i ścieków*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2010
8. OBARSKA-PEMPKOWIAK H.: *Oczyszczalnie Hydrofitowe*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2002
9. REDDY K.R., D'ANGELO E.M.: *Biogeochemical indicator to evaluate pollutant removal efficiency in constructed wetlands*. *Water Science and Technology* 35(5), Published by Elsevier Science, 1-10, 1997.
10. RICHARDSON C. J.: *The role of wetlands in storage, release, and cycling of phosphorus on the landscape: a 25-year retrospective*. [W:] *Phosphorus Biogeochemistry in Subtropical Ecosystems*, red. Reddy K.R., O'Connor G.A., Schelske C.L. CRC Press, Boca Raton, Florida, 47-68, 1999
11. SADECKA Z.: *Podstawy biologicznego oczyszczania ścieków*, Wydawnictwo Seidel Przywecki Sp. z o.o., Warszawa, 2010
12. SADECKA Z.: *Sezonowa redukcja i ucieczka fosforu w oczyszczalniach hydrofitowych*. [W:] (Materiały) *Bewachsene Bodenfilter: Grenzübergreifender Informationstransfer*. Internationales Begegnungszentrum St. Merienthal-Ostritz, Deutschland: Umwelt Stiftung, 2001
13. SADECKA Z.: *Ocena efektywności wybranych oczyszczalni hydrobotanicznych*. *Ochrona Środowiska*, Wrocław, Nr 1/2003, 13-16, 2003

14. VYMAZAL J., KRÖPFELOVÁ L.: *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*. Springer, Environmental Pollution 14, 2008
15. VYMAZAL J.: *The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience*. Ecological Engineering 18, 633-646, 2002
16. VYMAZAL J.: *The use of constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic*. Focus on Ecology Research, Nova Science Publishers, New York, 175-196, 2006
17. WILLADSEN C. T., RIGER-KUSK O., QVIST B.: *Removal of nutritive salts from two Danish root zone systems*. [W:] *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, red. Cooper P.F., Findlater B.C. Pergamon Press, Oxford, United Kingdom, 115-126, 1990
18. WOLSTENHOLME R., BAYES C.D., *An evaluation of nutrient removal by the reed bed treatment system at Valleyfield, Fife, Scotland*. [W:] *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, red. Cooper P.F., Findlater B.C. Pergamon Press, Oxford, United Kingdom, 139-148, 1990

## **PERIOD OF OPERATION IMPACT ON THE EFFECTIVENESS OF WORK CONSTRUCTED WETLAND IN MAŁYSZYN**

### *S u m m a r y*

*This paper presents the pollutant removal efficiency of organic and biogenic compounds from wastewater in constructed wetland in Małyszyn. The results of long-term monitoring of wastewater treatment operation show that the efficiency of removal of organic pollutants from wastewater was 72%. However, total nitrogen and total phosphorus removed from wastewater were on average 22.5 and 13.3%. It was also demonstrated periodically landward of previously deposited phosphorous.*

Key words: wastewater treatment, treatment wetland, SS-HF subsurface horizontal flow