

Wpłynęło 28.12.2011 r.  
Zrecenzowano 24.01.2012 r.  
Zaakceptowano 17.02.2012 r.

A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

## Wpływ wybranych makrofitów na skuteczność oczyszczania ścieków w stokowych złożach filtracyjnych gruntowo-roślinnych

Andrzej JUCHERSKI<sup>ABCDF</sup>, Andrzej WALCZOWSKI<sup>BCE</sup>

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Górskie Centrum Badań  
i Wdrożeń w Tyliczu

### Streszczenie

Celem wieloletnich badań była ocena wpływu monokulturowych nasadzeń manny mielec (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.), mozgi trzcinowatej (*Phalaris arundinacea* L.) i trzciny pospolitej (*Phragmites australis*) na skuteczność oczyszczania ścieków bytowych w poletkowych segmentach złożów filtracyjnych oraz wybór rośliny najbardziej przydatnej do stosowania na stokowych złożach gruntowo-roślinnych, opracowanych w GCB w Tyliczu. Manna mielec wykazała najlepszą kondycję botaniczną, dobre wskaźniki ewapotranspiracji ( $7,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) oraz najlepszą średnią wieloletnią skuteczność oczyszczania ścieków, zarówno w składnikach biogenych zanieczyszczeń (92,9% –  $N_{\text{całk.}}$  i 87,4% –  $P\text{-}PO_4$ ), jak i we wskaźnikach BZT<sub>5</sub> (90,6%) i ChZT (87,9%). Trzcina, ze względu na nadmierną ekspansję korzeniową, stwarza niebezpieczeństwo zagęszczania i wypierania mineralnych składników złożów, natomiast mozga trzcinowata jest mało stabilna pod względem kondycji biologicznej, a jej wpływ na skuteczność oczyszczania ścieków w złożu najmniejszy.

**Słowa kluczowe:** oczyszczalnia hydrofitowa, stokowe złożo gruntowo-roślinne, skuteczność oczyszczania ścieków, rola makrofitów

### Wstęp

Większe rośliny wodolubne, tzw. makrofity, są nieodłączną cechą systemów szuwarowo-bagiennych, których właściwości środowiskowe z powodzeniem wykorzystuje się w różnych technicznych układach oczyszczalni ścieków gruntowo-



-roślinnych, tzw. hydrofitowych. Rola tych roślin polega nie tyle na ich bezpośrednim udziale w biochemicznych mechanizmach oczyszczania, ale głównie na ich fizycznej obecności w układzie oczyszczalni i tworzeniu w nim sprzyjających warunków do utrzymania i intensyfikacji działania tych mechanizmów. Części nadziemne makrofitów chronią powierzchnię złóż przed przyrostem glonów, w lecie tworzą mikroklimat, a w zimie są ich cieplnym izolatorem. Zdolne do asymilacji pierwiastków biogenych są jednocześnie siedliskiem dla organizmów żywych, zwiększając też walory estetyczne samej oczyszczalni.

Podziemne części roślin (kłącza i korzenie) stabilizują przypowierzchniowe warstwy złoża przed erozją, uwalniają do ryzosfery tlen, co wspomaga procesy biodegradacji materii organicznej i nityfikacji, pobierają substancje biogenne, a także wydzielają antybiotyki, zwalczające bakterie chorobotwórcze [BRIX 1996].

Rodzaj makrofitu, charakter dynamiki jego metabolizmu oraz pokrój i zasięg systemu korzeniowego w złożu, a tym samym wielkość powierzchni wykorzystywanej do rozwoju osiadłej biomasy bakteryjnej, niezbędnej w procesach oczyszczania, decydują o znaczeniu jego obecności w układzie.

Wśród wielu znanych układów oczyszczalni hydrofitowych [OBARSKA-PEMPKO-WIAK i in. 2010], specyficznym rozwiązaniem technologicznym, stosowanym w systemach górskich quasinaturalnych oczyszczalni ścieków, badanych i rozwijanych przez ITP–GCB w Tyliczu, są stokowe złoża gruntowo-roślinne – rozwiązania techniczne, do budowy których wykorzystano właściwości śródłakowych młak górskich [JUCHERSKI, WALCZOWSKI 2010].

Stokowe złoża gruntowo-roślinne ma postać pasa roślinnego, wykonanego w formie niecki odizolowanej od podłoża, z kaskadowo wyprofilowanym dnem, zlokalizowanego w terenie na powierzchni pochylonej. Wypełnia je mieszanka piasku gruboziarnistego (0–4 mm) i gleby rodzimej, przerośniętej korzeniami roślin wodolubnych, głównie: manny mielec (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.), mozgi trzcinowatej (*Phalaris arundinacea* L.) i sitowia leśnego (*Scirpus sylvaticus* L.). Całość tworzy miniekosystem bagienny, technicznie przystosowany do grawitacyjnej filtracji oczyszczanych ścieków. Całoroczna skuteczność oczyszczania w tego typu obiektach jest bardzo duża i pod względem zmniejszania wielkości wskaźników BZT<sub>5</sub> i ChZT wynosi odpowiednio 95% i 85%; nityfikacji i sorpcji N-NH<sub>4</sub> – 97%; usuwania (denityfikacji) azotu całkowitego – 82% (w lecie) i 68% (w zimie) oraz 88% – w biotycznych i abiotycznych procesach unieszkodliwiania fosforanów [JUCHERSKI, WALCZOWSKI 2009]. Udział w procesie oczyszczania części nadziemnych mieszanek roślin wodolubnych na tych złożach jest ograniczony. Zbierając rośliny można usunąć od 5% do 13% azotu i od 3,5% do 7% fosforu z ogólnej ilości tych składników, dostarczonych do oczyszczalni wraz ze ściekami w ciągu roku [JUCHERSKI 2000].

Celem pracy jest przedstawienie wyników wieloletnich badań ogólnej efektywności oczyszczania ścieków bytowych, przeprowadzonych na połowym stanowisku składającym się z 4 segmentów, odpowiadających wycinkom powierzchni stoko-

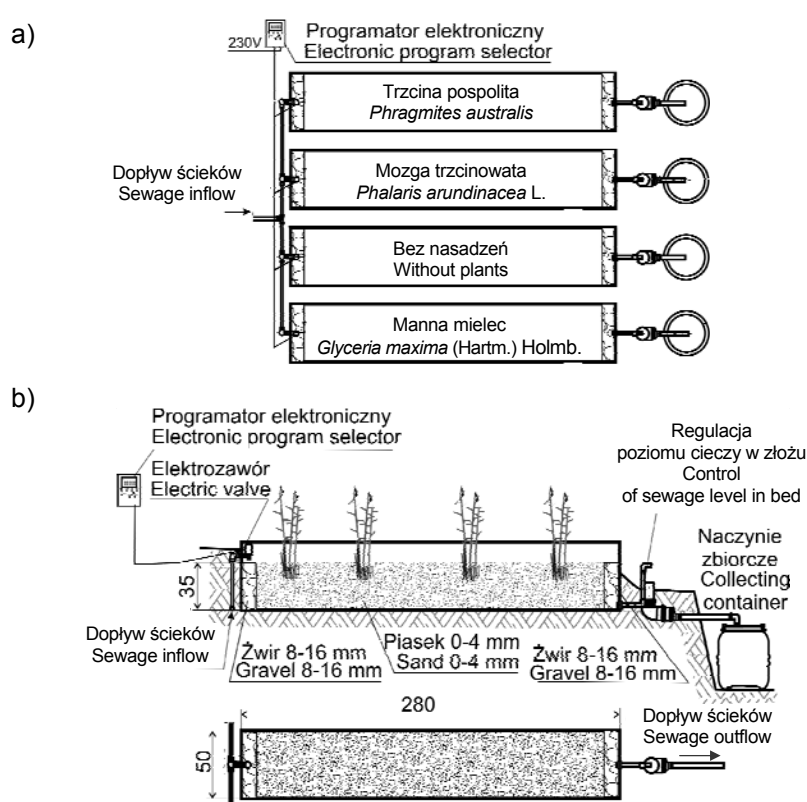
wych ziół gruntowo-roślinnych, które obsadzono jednorodnie: manną mielec, mozgą trzcinową oraz trzciną pospolitą (jedno poletko pozostawiono bez nasadzeń).

## Metody badań

Badania prowadzono w latach 2008–2011 wyłącznie w sezonach wegetacyjnych (w okresie zimowej eksploatacji stanowisko było okrywane), badając rezultat oczyszczania metodą porównania oznaczanych wielkości wskaźników i stężeń składników zanieczyszczeń w ściekach dopływających i odpływających z poszczególnych ziół.

W badaniach posługiwano się zestawem aparaturowym OXI TOP firmy WTW do oznaczania  $BZT_5$  metodą respirometryczną oraz fotometrem SQ 118 i termoreaktorem TR-200 firmy Merck do oznaczania wielkości wskaźnika ChZT oraz stężeń związków azotu i fosforanów metodami celkowymi i odczynnikowymi.

Schemat i szczegóły budowy stanowiska badawczego przedstawia rysunek 1.



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego (a) i szczegóły budowy segmentu złoża (b)  
 Fig. 1. Scheme of the test stand (a), segment of the test stand, structure details (b)

Każdy z elementów stanowiska wypełniono piaskiem o granulacji 0–4 mm, średnicy ziaren  $d_{60} = 0,7$  i współczynnika nierównomierności uziarnienia  $U = 3,5$ , określonym według formuły Hazena. Materiał ten, zaliczany do piasków grubych, uznano za odpowiedni do badań. W początkowej i końcowej części złoża każdego segmentu poletka usypano pionowe warstwy żwirowe, w celu równomiernego doprowadzania i odprowadzania ścieków.

Każdy segment stanowiska zasilano jednakowymi porcjami ścieków o objętości  $0,437 \text{ dm}^3$ , podawanymi na złożę co 30 minut za pomocą układu rur i elektrozaaworów otwierających dopływ ścieków, uruchamianych za pomocą impulsowego programatora sterującego. Wynikające z tego średnie hydrauliczne obciążenie powierzchni każdego ze złożeń wynosiło  $15 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ .

Badania fizykochemiczne ścieków przeprowadzano co miesiąc, przy czym próbki ścieków surowych pobierano ze studzienki po osadniku, a oczyszczonych – z naczyń zbiorczych (rys. 1b), w których ścieki zbierano przez dobę.

Złoża zasilano ściekami bytowymi, w których stężenia składników i wielkości wskaźników zanieczyszczeń były znacznie mniejsze niż wartości charakterystyczne dla typowych osadników w instalacjach zagrodowych.

Parametry fizyczne ścieków, dopływających i odpływających do i z poszczególnych segmentów złożeń, charakteryzowały się średnią pH w zakresie 7,4–7,7 i ujemnym potencjałem redox ( $-191,2$ ) w ściekach surowych i dodatnim ( $58,7$ – $86,9$ ) w złożach roślinnych. Średnia zawartość tlenu rozpuszczonego w ściekach surowych nie przekraczała  $0,6 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , a w ściekach oczyszczonych wynosiła od  $6,2$  do  $7,3 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Średnia temperatura ścieków surowych ( $13,3^\circ\text{C}$ ) była wyższa niż temperatura w ściekach odpływających ze złożeń ( $11,7^\circ\text{C}$ – $13,0^\circ\text{C}$ ). Rzeczywiste średnie obciążenie hydrauliczne poszczególnych złożeń było mniejsze ( $13,9$ – $14,9 \text{ mm}$ ) od ustalonego ( $15 \text{ mm}$ ). Na powierzchniach 3 złożeń posadzono ukorzenione sadzonki roślin z gęstością  $14 \text{ szt. na } 1 \text{ m}^2$  ( $20 \text{ sadzonek w segmencie}$ ).

Program wieloletnich badań przewidywał także ciągłą obserwację i organoleptyczną ocenę kondycji biologicznej roślin, pomiary wskaźników parowania terenowego z poletek oraz ocenę systemów korzeniowych poszczególnych nasadzeń. Wyniki tych badań przedstawiono w dyskusji podczas oceny efektów oczyszczania ścieków w poszczególnych segmentach złożeń gruntowo-roślinnych.

## Wyniki badań i dyskusja

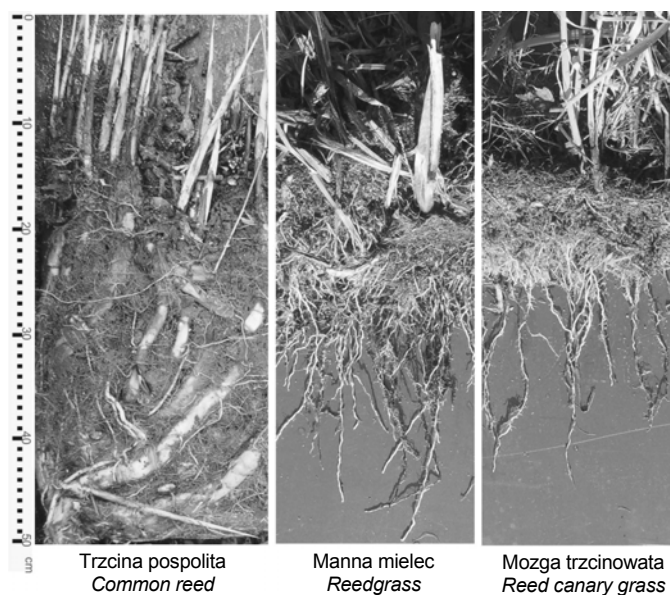
W całym okresie badawczym poletka poszczególnych roślin charakteryzowały się coroczną zmiennością ogólnej kondycji biologicznej oraz wysokości i gęstości porostu części nadziemnych. Po pierwszym roku od posadzenia (2007), stwierdzono bardzo dobre i wyrównane pokrycie powierzchni wszystkimi badanymi roślinami. W kolejnych latach zaobserwowano jednak zmiany, przy czym największą stabilność wykazywała przez cały czas manna mielec, nieco mniejszą trzcina

pospolita. Kondycja mozgi trzcinowatej pogarszała się z sezonu na sezon, nawet z tendencją do wypadania tych roślin z uprawy.

W równych warunkach „startu” w czasie wiosennej wegetacji (wszystkie rośliny były jesienią koszone) należało wykluczyć negatywny wpływ zacieniania mozgi trzcinowatej przez rośliny rosnące w sąsiedztwie i przyjąć założenie, że być może system korzeniowy mozgi trzcinowatej jest mniej odporny na stałe podtapianie ściekami.

Konsekwencją tego był jej mały, w stosunku do pozostałych poletek roślinnych, wskaźnik ewapotranspiracji, którego średnia wielkość wynosiła  $4,7 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  i była znacznie mniejsza niż uzyskana na poletkach z trzciną pospolitą ( $10,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) i manną mielec ( $7,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ), w odniesieniu do wskaźnika parowania poletka bez roślin ( $2,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ).

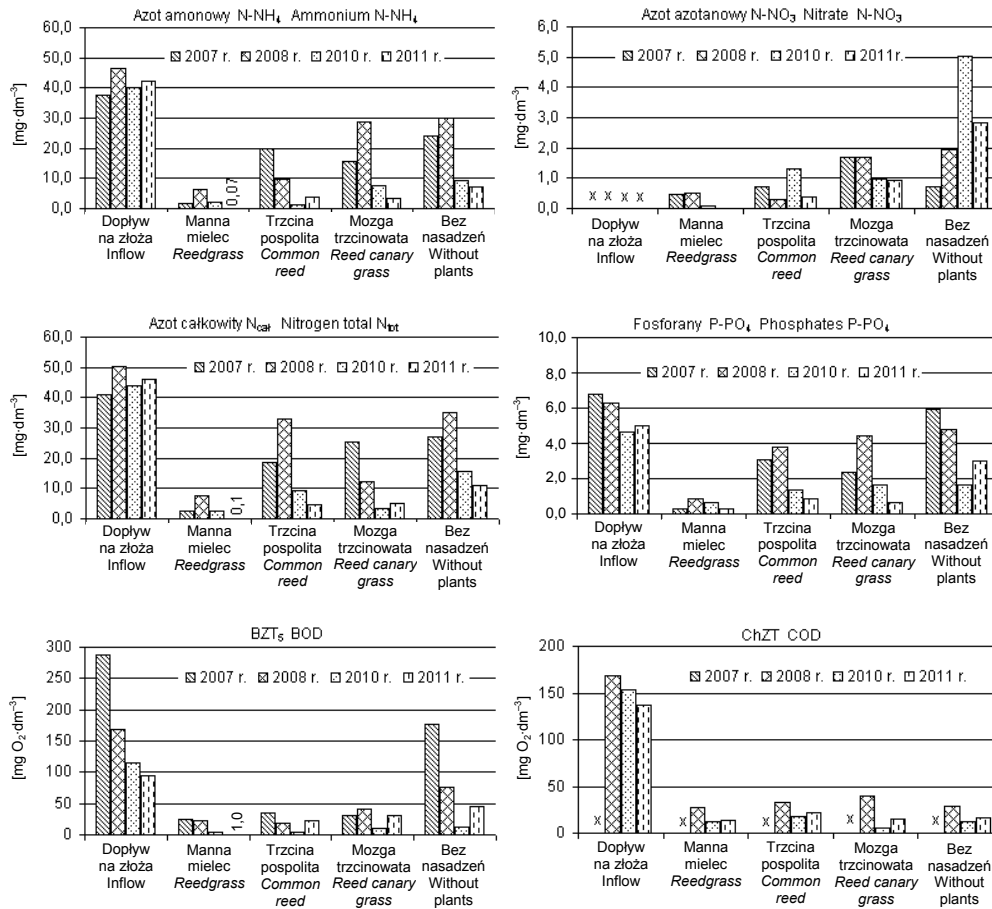
Porównanie systemów korzeniowych badanych roślin (rys. 2) wykazało również dużą przewagę trzciny pospolitej i manny mielec w pokroju i zasięgu systemów korzeniowych. Stwierdzono przy tym, że manna wodna jest najbardziej odpowiednim nasadzeniem roślinnym na płytkich stokowych złożach gruntowo-roślinnych, gdyż ma bardziej korzystne cechy fenologiczne, a także znacznie mniej ekspansywny przyrost kłaczy i korzeni przybyszowych w porównaniu z trzciną pospolitą, której korzenie mają tendencję do przerastania, wypychania i zastępowania sobą materiałów mineralnych złoża.



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 2. Porównanie budowy i zasięgu masy korzeniowej badanych roślin w złożach  
Fig. 2. Comparison of the structure and root mass spread of tested plants in the beds

Średnie wartości wskaźników i stężeń składników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczanych w poszczególnych złożach (rys. 3) odzwierciedlają omówiony stan i kondycję biologiczną badanych nasadzeń, charakteryzujących się dużą zmiennością w poszczególnych latach eksploatacji badawczej.



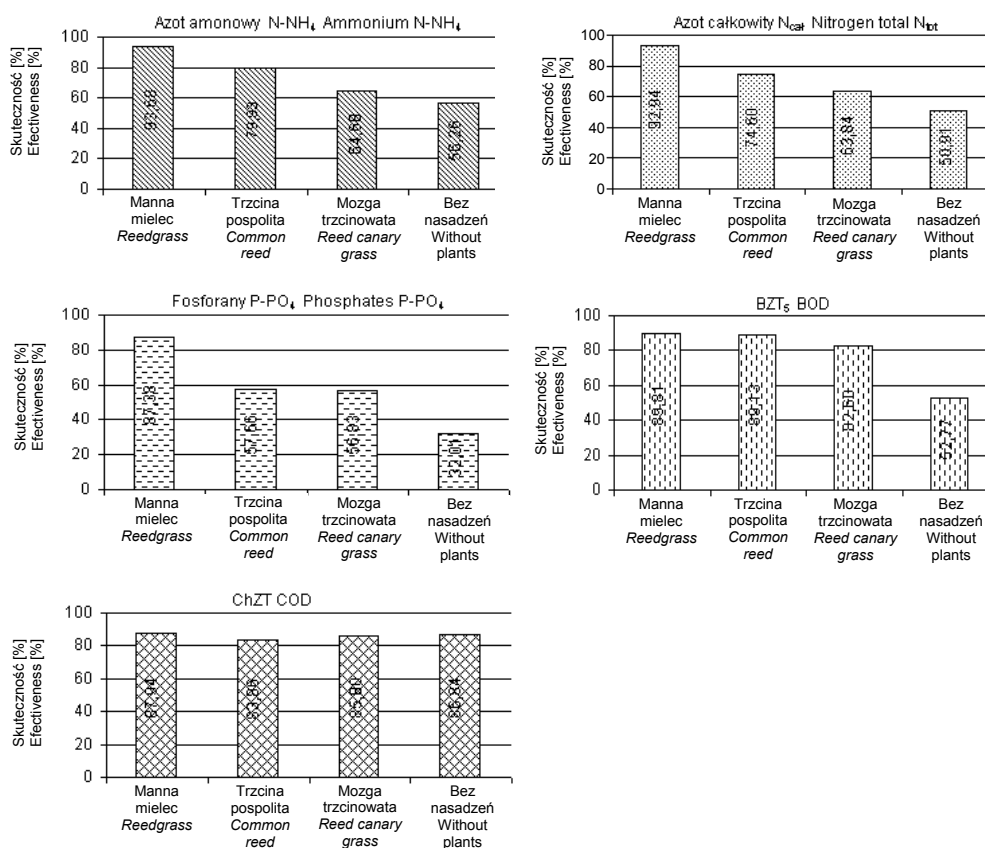
Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 3. Średnie wartości wskaźników i stężeń składników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczanych w poszczególnych złożach w sezonach wegetacyjnych: 2007, 2008, 2010 i 2011 r.

Fig. 3. Mean values of pollutant rates and concentrations in sewage treated in beds, in particular vegetation seasons: 2007, 2008, 2010 and 2011

Stwierdzono, że w ostatnich dwóch latach eksploatacji nastąpił wyraźny wzrost skuteczności oczyszczania ścieków we wszystkich segmentach stanowiska badawczego, co może świadczyć o tym, że po trzech latach od jej rozpoczęcia osiągnięto dobry poziom tzw. wpracowania się poszczególnych złożów filtracyjnych.

Z analizy badań średniej skuteczności zmniejszania zanieczyszczeń w oczyszczonych ściekach w całym okresie badawczym wynika, że największą efektywność wykazały złoża filtracyjne obsadzone manną mielec i trzcina pospolita (rys. 4). Należy zauważyć, że skuteczność złoża z manną mielec w usuwaniu składników biogennych – azotu i fosforu (92,9% i 87,4%) – była znacząco większa od złoża z trzcina pospolita (74,6% i 57,7%), chociaż trzcina jest uważana przez wielu badaczy za główne nasadzenie w hydrofitowych złożach gruntowo-roślinnych. Efektywność złoża z mozgą trzcinowatą jest dużo mniejsza (63,9% i 56,8%), szczególnie w porównaniu ze złożem z manną mielec.



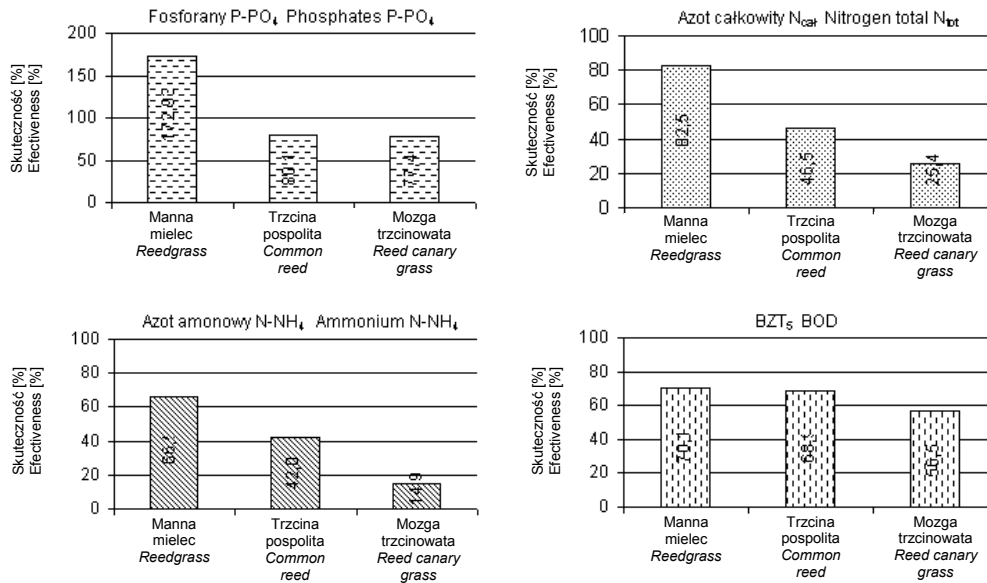
Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 4. Średnia wieloletnia (2007–2011) skuteczność zmniejszania się wskaźników i stężenia składników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczanych w poszczególnych złożach filtracyjnych

Fig. 4. Long-term (2007–2011) mean effectiveness in reduction of rates and pollutant concentrations in the sewage treated in particular filter beds

Wyniki badań potwierdziły przewagę technologiczną złóż obsadzonych roślinnością nad złożem bez nasadzeń, przy czym ta przewaga jest wyraźna, jeśli chodzi o usuwanie ze ścieków składników biogennych ( $N-NH_4$ ,  $N_{\text{całk.}}$ ,  $P-PO_4$ ), a mniejsza lub niejednoznaczna w odniesieniu do tlenowych wskaźników zanieczyszczeń ( $BZT_5$  i  $ChZT$ ).

Największą skuteczność, w odniesieniu do złoża bez roślinności, wykazało złożo z mianą mielec: 82,5% w usuwaniu  $N_{\text{całk.}}$ ; 172,9% –  $P-PO_4$  i 60,8% –  $BZT_5$ . Złożo z trzcina było bardziej skuteczne od złoża bez roślinności: 46,5% w usuwaniu  $N_{\text{całk.}}$ , 80,1% –  $P-PO_4$  i 59,7% –  $BZT_5$ . Złożo z mozga trzcinowatą było najmniej skuteczne: 25,4% w usuwaniu  $N_{\text{całk.}}$ ; 7,5% –  $P-PO_4$  i 49,0% –  $BZT_5$  (rys. 5). Nie stwierdzono praktycznie żadnego wpływu nasadzeń roślinnych na skuteczność zmniejszania  $ChZT$ , co oznacza, że decydującą rolę w tych procesach odgrywa biomasa bakteryjna osiadła na mineralnych składnikach wypełnienia złóż.



Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 5. Wpływ nasadzeń roślinnych na skuteczność zmniejszania się wskaźników i stężenia składników zanieczyszczeń w ściekach w odniesieniu do złoża bez nasadzeń

Fig. 5. Influence of vegetation on effectiveness in reduction of oxygen rates and concentration of pollutants in sewage with reference to the bed without plants



## Podsumowanie

Stokowe złoża gruntowo-roślinne są jedną ze skutecznych propozycji technologicznych ITP-GCB w Tyliczu, przeznaczonych do indywidualnego stosowania w zagrodowych oczyszczalniach ścieków na terenach o zabudowie luźnej i rozproszonej, szczególnie na terenach górzystych.

Wieloletnie badania poletkowe, przeprowadzone na specjalnym stanowisku, wyposażonym w odpowiednio skonstruowane segmenty tych złóż, z nasadzeniami 3 rodzajów roślin i ze złożem bez roślinności wykazały, że najbardziej przydatną rośliną do monokulturowych nasadzeń na złożach stokowych, opracowanych w Górskim Centrum Badań i Wdrożeń w Tyliczu, jest manna mielec (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.).

Bylina ta wykazała najlepszą kondycję biologiczną, dobry wskaźnik ewapotranspiracji oraz najlepszą średnią wieloletnią skuteczność oczyszczania ścieków, zarówno w odniesieniu do składników biogenych zanieczyszczeń ( $N_{\text{całk.}}$  i  $P-PO_4$ ), jak i wskaźnika BZT<sub>5</sub>.

Trzcina pospolita, powszechnie stosowana w hydrofitowych oczyszczalniach ścieków, nie nadaje się do nasadzeń w płytkich stokowych złożach gruntowo-roślinnych, ponieważ – mimo podobnych do manny mielec wskaźników skuteczności oczyszczania ścieków – stwarza swoją nadmierną ekspansją korzeniową niebezpieczeństwo zagęszczenia i wypierania ze złóż ich mineralnych składników.

Najmniej przydatnym nasadzeniem okazała się mozga trzcinowata, której kondycja biologiczna jest niestabilna, a jej wpływ na skuteczność oczyszczania ścieków w złożu najmniejszy.

## Bibliografia

BRIX H. 1996. Role of macrophytes in constructed treatment wetlands. W: Proceedings of 5<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Vienna. Universität für Bodenkultur s.1–6.

JUCHERSKI A. 2000. Wpływ wybranych czynników technicznych na skuteczność oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych w oczyszczalniach roślinno-gruntowo-glebowych w rejonach górzystych. Warszawa. Prace Naukowe IBMER. ISSN 0209-1380 s. 38–83.

JUCHERSKI A., WALCZOWSKI A. 2009. Badania i rozwój bio-agro-środowiskowych metod i technologii ochrony wód, oczyszczania ścieków i recyklingu wody ze ścieków bytowo-gospodarczych i wód zanieczyszczonych na terenach wiejskich Polski Południowej. Sprawozdanie z badań. Tylicz. IBMER-GCB. Maszynopis s. 18–21.

JUCHERSKI A., WALCZOWSKI A. 2010. Badania i rozwój bio-agro-środowiskowych metod i urządzeń do ochrony, oczyszczania i wykorzystania wód pochodzących ze ścieków bytowo-gospodarczych na terenach Polski Południowej. Sprawozdanie z Badań. Tylicz. ITP-GCB. Maszynopis s. 3–79.

OBARSKA-PEMPKOWIAK H., GAJEWSKA M., WOJCIECHOWSKA E. 2010. Hydrofitowe oczyszczanie wód i ścieków. Warszawa. Wydaw. Nauk. PWN. ISBN 978-83-01-16420-1 s. 1–156.

**Andrzej Jucherski, Andrzej Walczowski**

**INFLUENCE OF SELECTED MACROPHYTES  
ON SEWAGE TREATMENT EFFECTIVENESS  
IN THE SLOPE SOIL-VEGETATION FILTRATION BEDS**

**Summary**

The aim of presented long-term research was to evaluate the influence of particular monocultures: reedgrass (*Glyceria maxima* Hartm.), reed Canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) and common reed (*Phragmites australis*), on the effectiveness of household sewage treatment in the plot segments of filtration beds, and to select the most useful plant to be cultivated on slope type soil-vegetation filter beds (constructed wetland) of the Tylicz system. The plot overgrown with reed grass showed the best botanical condition, good evapotranspiration rate ( $7.9 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$  per day) and the highest long-term average effectiveness of sewage treatment, both in nutrient components (92.9%  $\text{N}_{\text{tot}}$  and 87.4%  $\text{P-PO}_4$ ), as well as BOD (90.6%) and COD (87.9%) rates. The common reed, because of its exaggerated root proliferation, creates a danger of thickening and replacing mineral components of the bed. On the other hand, the reed canary grass is biologically unstable and its influence on the effectiveness of sewage treatment in constructed wetland proved to be the least.

**Key words:** constructed wetland, slope soil-vegetation bed, sewage treatment efficiency, role of macrophytes

Adres do korespondencji:

dr inż. Andrzej Jucherski  
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy  
Górskie Centrum Badań i Wdrożeń w Tyliczu  
ul. Pułaskiego 25a, 33-383 Tylicz  
tel./fax 18 471-13-13; e-mail: a.jucherski@itep.edu.pl