

Andrzej Jucherski

Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa  
Górskie Centrum Badań i Wdrożeń w Tylliczu

## SKUTECZNOŚĆ OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW BYTOWYCH W QUASI TECHNICZNYCH INSTALACJACH ZE ZŁOŻAMI GRUNTOWO-ROŚLINNYMI NA PODSTAWIE OŚMIOLETNIH BADAŃ W GÓRSKIM GOSPODARSTWIE AGROTURYSTYCZNYM

### Streszczenie

Przedstawiono wyniki ośmioletnich (1998-2005) badań wielostopniowej instalacji składającej się z wielokomorowego osadnika gnilnego ( $V = 4,7 \text{ m}^3$ ) i sekwencji złóż: zraszanego żwirowego ( $10 \text{ m}^2$ ), gruntowo-roślinnego o poziomym przepływie ( $48 \text{ m}^2$ ) i stokowego złoża trawiasto-glebowego ( $30 \text{ m}^2$ ) oraz złóż o kombinowanym przepływie ( $10 \text{ m}^2$ ) i o przepływie pionowym ( $6,5 \text{ m}^2$ ). Wskaźniki skuteczności oczyszczania ścieków w całej instalacji - przy dobowym dopływie  $Q_{d\text{sr}} = 1550 - 450 \text{ l/d}$  - były wielosezonowo stabilne i znacząco wyższe od obowiązujących wymagań. Średnie ich wielkości wynosiły w 2005 r.: 99,6/99,2% - BZT<sub>5</sub>, 95,2/95,8% - ChZT, 96,0/91,8% - P-PO<sub>4</sub>, 74,4/74,1% - zawiesina, 98,9/99,5% - N-NH<sub>4</sub>, 87,6/94,6% - N<sub>całk</sub> (zima/lato). Udział części nadziemnych roślin na złożach w rocznym bilansie oczyszczania ścieków nie jest decydujący (7,5% N i 3,0% P). Wyniki wieloletnich badań potwierdziły wysoką i niezawodną skuteczność oraz przydatność oczyszczalni typu gruntowo-roślinnego do oczyszczania ścieków w warunkach klimatycznych górzystych rejonów kraju.

**Słowa kluczowe:** oczyszczanie ścieków, metody gruntowo-roślinne, klimat terenów górzystych, oczyszczanie zagrodowe

### Wstęp

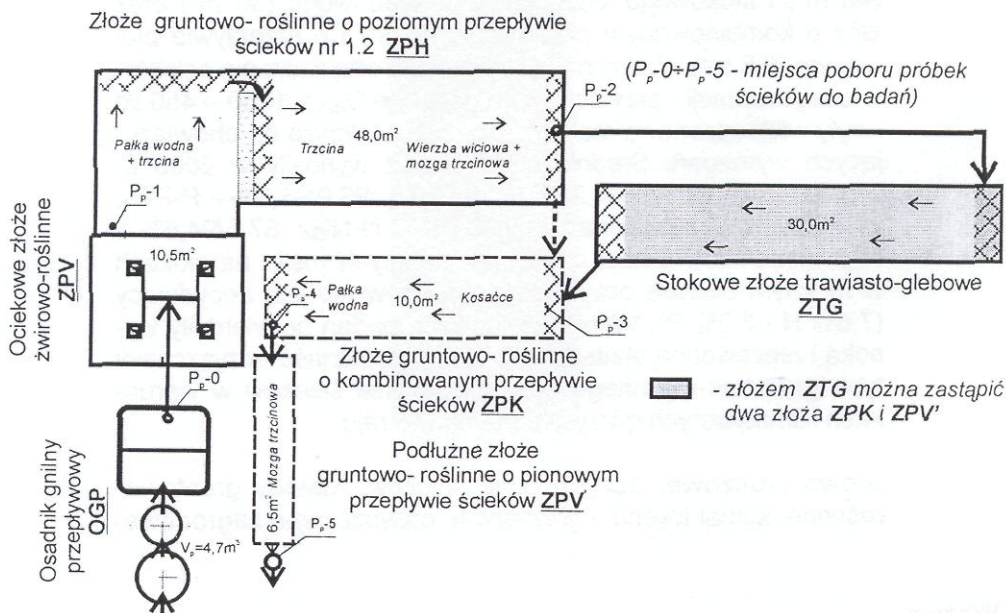
Znaczący postęp w doskonaleniu technologii dla lokalnych i indywidualnych systemów oczyszczania ścieków bytowych, w którym i IBMER – GCB w Tylliczu ma swój niekwestionowany udział badawczo-wdrożeniowy, umożliwia wybór koncepcji kanalizacyjnej uzasadnionej pod względem ekonomicznym i techniczno-funkcjonalnym dla konkretnych warunków lokalizacji. Na tle rozwiniętego już rynku oczyszczalni przydomowych, preferującego mikro-

oczyszczalnie prefabrykowane, działające przeważnie w technologii osadu czynnego, IBMER w Tyliczu jest propagatorem rozwiązań quasi-technicznych pracujących w hybrydowych układach złóż gruntowo-roślinnych. Są one dopasowane technologicznie do specyfiki wiejskiej gospodarki ściekowej, umożliwiają budowę tzw. systemem gospodarczym i stwarzają – szczególnie w gospodarstwach agroturystycznych – dodatkowe możliwości estetycznej kompozycji w architekturze krajobrazu siedliska.

W pracy przedstawiono wyniki 8-letnich badań skuteczności działania jednej z instalacji typu IBMER Tylicz, zlokalizowanej w górskim gospodarstwie rolniczym na terenie gminy uzdrowskiej Krynica-Zdrój.

## Przedmiot badań

Przedmiotem wieloletnich badań laboratoryjno-eksploatacyjnych była wielostopniowa instalacja oczyszczająca, złożona z autorskich obiektów typu gruntowo-roślinnego, wykonanych i użytkowanych w pełnej skali technicznej, usytuowanych w technologicznie logicznym ciągu procesowym, badanych w warunkach normalnej działalności górskiego gospodarstwa agroturystycznego.



Rys. 1. Schemat technologiczny wielostopniowej zagrodowej oczyszczalni ścieków w górskim gospodarstwie agroturystycznym

Fig. 1. Technological scheme of multistage domestic sewage treatment plant on a mountain agrotouristic farm

Opis budowy poszczególnych członów technologicznych instalacji opisano w pracach Jucherskiego i Walczowskiego [1997, 1998].

Celem badań była:

- ocena skuteczności technologicznej urządzeń składowych instalacji, wyrażana wskaźnikami względnego zmniejszenia stężeń dla wybranych składników zanieczyszczeń zawartych w ściekach surowych i oczyszczonych, określanych w dwóch charakterystycznych okresach roku: wiosenno-letnich (wegetacyjnych) i jesienno-zimowych (pozawegetacyjnych),
- weryfikacja badawcza i doskonalenie cech techniczno-funkcjonalnych obiektów pod kątem ich budowy i eksploatacyjnego utrzymania w tzw. systemie gospodarczym,
- ocena doboru roślinności zastosowanej do nasadzeń na powierzchniach złóż filtracyjnych gruntowo-roślinnych.

Analizy chemiczne ścieków wykonywano odczynnikowymi metodami spektrofotometrycznymi przy użyciu fotometru i termoreaktora firmy MERCK, natomiast BZT<sub>5</sub> określano za pomocą elektronicznych respirometrów z sensorami ciśnieniowymi.

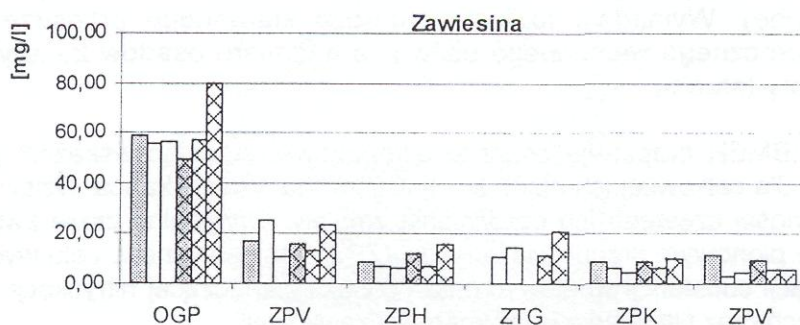
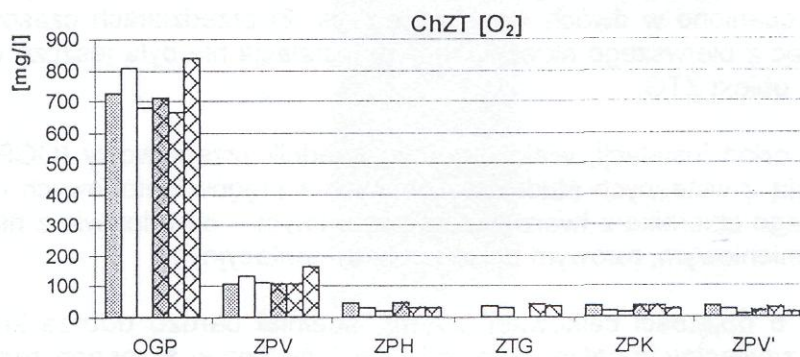
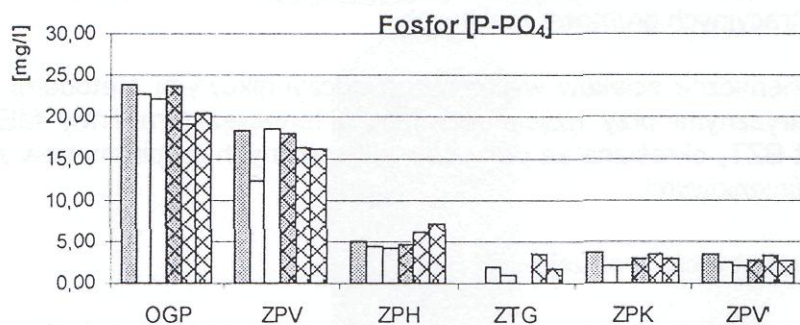
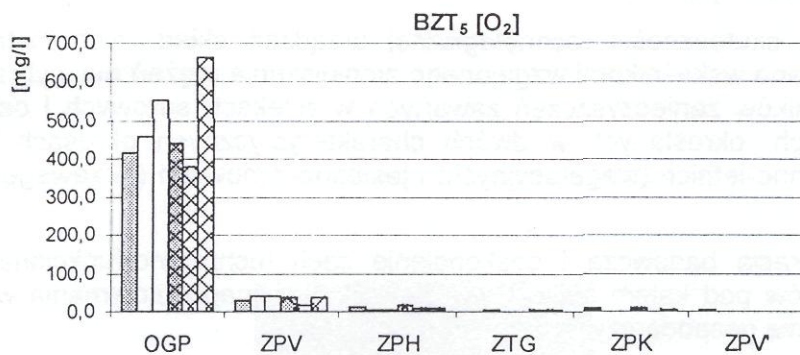
### **Wyniki badań i ich dyskusja**

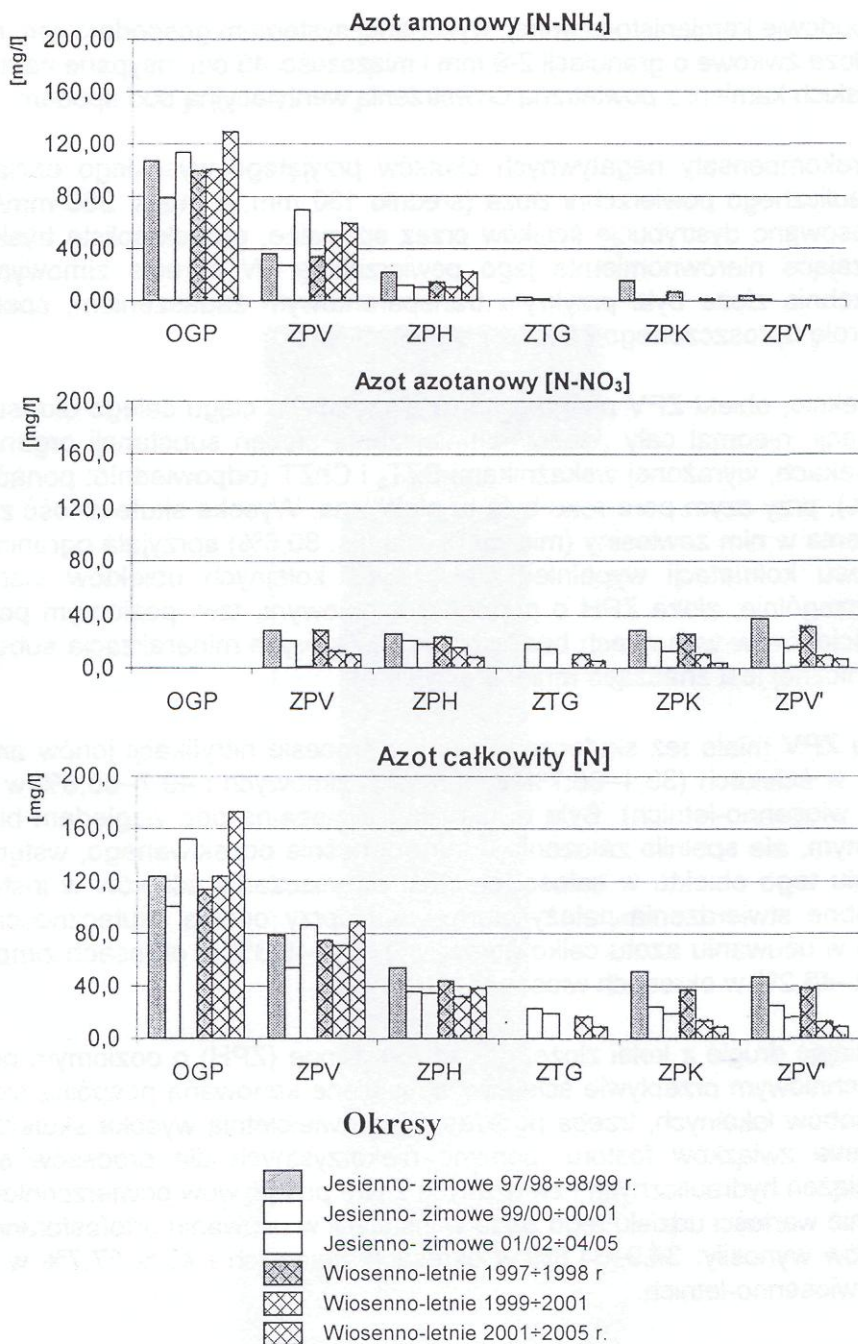
Wyniki 8.sezonowego (sezony wegetacyjne i pozawegetacyjne) okresu badań skuteczności procesowej poszczególnych składników technologicznych instalacji oceniono w dwóch 4.letnich (na rys. 2) przedziałach czasowych, wydzielając z pierwszego okres, w którym instalacja nie była jeszcze wyposażona w obiekt ZTG.

Pierwszy człon instalacji, wielokomorowy osadnik przepływowy (OGP) jest kombinacją 2 wstępnych studni, wykonanych z kręgów betonowych i dwukomorowego zbiornika z tworzyw z zastosowanym – na odpływie z niego – wielostrumieniowym, rurowym pakietem sedymentacyjnym.

Osadnik, o objętości całkowitej 4,7 m<sup>3</sup>, spełniał bardzo dobrze kryteria stężenia zawiesiny w całym okresie badań, również w okresach znacznej zmienności dopływających do niego ścieków: 450-1550 l/dobę (maks. 2600 l/dobę). Wymagało to jednak bardzo starannego przestrzegania reżimu corocznego wiosennego usuwania nadmiaru osadów ze zbyt małej I komory (studni).

Obecnie IBMER proponuje osadniki 3.komorowe, stosując wskaźnik przeliczeniowy dla całkowitej ich objętości, tj. 0,7 m<sup>3</sup> na 1 mieszkańca. Dzięki temu niedogodności częstego ich opróżniania zmalały. Oryginalne złożo żwirowo-roślinne o pionowym przepływie ścieków (ZPV) zastosowano w celu wydajnej mineralizacji substancji węglowych (BZT<sub>5</sub>, ChZT), znaczącej nitrifikacji jonów amonowych oraz filtrowania i sedymentacji zawiesiny.





Rys. 2. Średnie wartości wskaźników i stężeń składników zanieczyszczeń w ściekach odpływających z poszczególnych składników technologicznych instalacji w okresach jesienno-zimowych i wiosenno-letnich w latach 1997÷2005  
 Fig. 2. Average values of coefficients and pollution concentrations in wastewater flowing out from particular technological arrangements of the installation in autumn-winter and spring-summer periods

W obudowie kamienisto-ziemnej, wykonanej systemem gospodarczym, mieści się złożo żwirowe o granulacji 2-8 mm i miąższości 45 cm, usypane na ruszcie z płaskich kamieni z powietrzną przestrzenią wentylacyjną pod spodem.

Dla rekompensaty negatywnych skutków przyjętego wysokiego obciążenia hydraulicznego powierzchni złoża (średnio 130 mm, a maks. 250 mm/dobę) zastosowano dystrybucję ścieków przez specjalne, grubokropliste tryskacze, zraszające nierównomiernie jego powierzchnię. W okresie zimowym powierzchnia złoża była przykryta transparentowym zadaszaniem, spełniającym rolę uproszczonego kolektora słonecznego.

W efekcie, obiekt ZPV przejmował, niezmiennie w ciągu całego okresu eksploatacji, nieomal cały „ciężar” zmniejszania stężeń substancji organicznej w ściekach, wyrażonej wskaźnikami BZT<sub>5</sub> i ChZT (odpowiednio: ponad 91% i 80%), przy czym pora roku była tu nieistotna. Wysoka skuteczność zatrzymywania w nim zawiesiny (min. 54% – maks. 80,6%) sprzyjała ograniczeniu procesu kolmatacji wypełnień filtracyjnych kolejnych obiektów instalacji, a szczególnie, złoża ZPH o podpowierzchniowym, tzw. poziomym przepływie ścieków w warunkach beztlenowych, w których mineralizacja substancji organicznej jest znacząco mniej efektywna.

Złożo ZPV miało też skuteczny udział w procesie nityfikacji jonów amonowych w ściekach (39,1–66,7% w okresach zimowych i 49,7–65,8% w okresach wiosenno-letnich). Była to nityfikacja niepełna pod względem biochemicznym, ale spełniła założenia autora odnośnie oczekiwanego, wstępnego udziału tego obiektu w całości procesu oczyszczania ścieków w instalacji. Podobne stwierdzenia należy sformułować przy ocenie skuteczności tego złoża w usuwaniu azotu całkowitego N<sub>c</sub> (36,9–46,3% w okresach zimowych i 34,4–48,2% w okresach wiosenno-letnich).

Oceniając drugie z kolei złożo, gruntowo-roślinne (ZPH) o poziomym podpowierzchniowym przepływie ścieków, wypełnione sortowaną pospółką rzeczną z zasobów lokalnych, trzeba podkreślić jego wieloletnią wysoką skuteczność wiązania związków fosforu, pomimo niekorzystnych dla procesów sorpcji przeciążeń hydraulicznych i związanych z tym przepływów powierzchniowych. Średnie wartości udziału tego złoża w instalacji w usuwaniu ortofosforanów ze ścieków wynosiły: 34,9–64,8% w okresach zimowych i 43,6–57,7% w okresach wiosenno-letnich.

Wartości tych wskaźników potwierdzają wcześniejsze ustalenia autora [Jucherski 2000], że wpływ temperatury ścieków na sprawność zatrzymywania P-PO<sub>4</sub> w złożach filtracyjnych nie jest jednoznaczny wobec oddziaływania na te procesy również i innych czynników (obciążenia hydraulicznego, czasu kontaktu ścieków z powierzchnią materiału wypełnienia, jego charakterystyki morfologicznej i granulacyjnej).

Specyfika hydrauliczna tego złoża sprzyjała też tworzeniu warunków do przemiennej (symultanicznej) nityfikacji – denityfikacji, chociaż ten drugi proces był mało wydajny (19,8–33,8% w okresach zimowych i 26,6–29,5% w okresach wiosenno-letnich) ze względu na obecność tlenu rozpuszczonego w powierzchniowych przepływach ścieków i z niedostatku łatwo przyswajalnej substancji organicznej usuniętej skutecznie ze ścieków już na złożu ZPV.

W początkowym okresie badań, kolejnymi obiektami technologicznymi instalacji były dwa złoże o specyficznej budowie, a mianowicie: złoże gruntowo-roślinne o kombinowanym (ukośnym) przepływie ZPK, zasilane ściekami z użyciem tryskacza umieszczonego wewnątrz stosu grubokamienistego ułożonego na początku jego powierzchni oraz podłużne złoże gruntowo-roślinne o pionowym przepływie ZPV' z wielowarstwowym, wielofunkcyjnym wypełnieniem z kruszyw mineralnych, zasilane ściekami porcjowo przy pomocy naczynia wywrotnego z dystrybucją na powierzchnię filtracyjną przez perforowane przewody rozprowadzające.

Wpływ tych dwóch złożeń (a szczególnie ZPK) na ogólny wzrost efektywności zmniejszania stężeń poszczególnych składników zanieczyszczeń w ściekach był mały lub nieistotny, gdy chodzi o wskaźniki tlenowe BZT<sub>5</sub> i ChZT i zawiesinę, a nieco większy (6,6–7,7%), w przypadku wiązania i deponowania fosforanów.

Uzyskano zaś znaczący postęp w procesie nityfikacji na końcowym obiekcie ZPV' (96,9% - końcowy efekt nityfikacji w warunkach zimowych i 99,9% - w warunkach wiosenno-letnich). Nie stwierdzono natomiast widocznych efektów usuwania przez te złoże azotu całkowitego (tylko 4,5–5,6%).

Aby stworzyć warunki do denityfikacji jonów azotanowych do azotu cząstkowego należałoby na końcu instalacji zastosować dodatkowe, beztlenowe złoże o przepływie poziomym i zapewnić dawkowanie do ścieków dobranej stechiometrycznie substancji organicznej. Jest to jednak przedsięwzięcie nieracjonalne w warunkach domowej oczyszczalni ścieków.

Wprowadzono więc do ciągu technologicznego oryginalne stokowe złoże trawiasto(darniowo)–glebowe (ZTG), będące innowacyjnym projektem IBMER – GCB w Tyliczu. W uproszczonym opisie jest to stokowy pas roślinno (trawiasto)–glebowy z kaskadowo wyprofilowanym dnem, odizolowanym od podłoża z wykorzystaniem folii z PE, wypełniony ponownie glebą wraz z ukoźnioną darnią. Złoże ZTG przejęło całkowicie funkcję ZPK i ZPV' w procesach zmniejszania wskaźników tlenowych BZT<sub>5</sub> i ChZT, a także wiązania ortofosforanów w swym kompleksie glebowo-korzeniowym.

Końcowa sprawność zatrzymywania zawiesin nieco się pogorszyła z uwagi na zjawisko wymywania części spławialnych z glebowego wypełnienia tego

złoża. Zanotowano natomiast wyraźny postęp w procesach konwersji związków amonowych i usuwania azotu całkowitego. Usuwanie azotu odbywa się prawdopodobnie (należy tak sądzić po analizie parametrów fizyko-chemicznych oczyszczanych ścieków) na drodze symultanicznej nitryfikacji – denitryfikacji, która przebiega z intensywnością większą niż to stwierdzono na złożu o przepływie poziomym – ZPH. Wprowadzenie złoża trawiasto-glebowego umożliwiło więc uproszczenie całej instalacji, przez „usunięcie z niej” dwóch ostatnich członów.

Oceniając zaś całą instalację po długoletnim okresie badawczym należy podkreślić niezmiennie wysoki poziom jej skuteczności, a przede wszystkim eksploatacyjną stabilność wszystkich procesów oczyszczania, małą wrażliwość na zmiany warunków hydraulicznych (obciążeń hydraulicznych złożeń) i co szczególnie – znaczącą odporność na wpływ niekorzystnych czynników klimatycznych w okresie zimowym.

Jedynym składnikiem zanieczyszczeń (ze wszystkich poddanych procesowi badawczemu) o zwiększonej trudności usuwania ze ścieków w warunkach zimowych jest azot całkowity. W przypadku badanej instalacji „zimowy” spadek tej skuteczności nie przekraczał jednakże wartości 17,5% (średnio 8%), co powinno wzbudzać zainteresowanie potencjalnych projektantów i użytkowników różnego rodzaju przydomowych mikrooczyszczalni ścieków.

Na powierzchni złożeń filtracyjnych wprowadzono własne sadzonki wybranych roślin wodnolubnych, pozyskanych ze zbiorowisk lokalnych i dalszych, stosując pasowe nasadzenia mieszane: trzciny, pałki wodnej, mozgi trzcinowatej i wierzby wiciowej. Pielęgnację i usuwanie suchej mierzwy roślinnej dokonywano w okresie przedwiośnia (pozostawione na zimę rośliny tworzą wraz z osiadłym nań śniegiem dodatkową warstwę izolacyjną), nie ingerując też w naturalną sukcesję powierzchniową poszczególnych gatunków.

Zrezygnowano tylko z utrzymywania roślin (mozga, trzcina) na powierzchni zraszanego złoża ZPV, gdyż wypadały one po zraszaniu ściekami w okresie pozawegetacyjnym. Ograniczono również rozwój nasadzeń wierzbowych na złożu ZPH, stwierdzając, że nie ma uzasadnienia dla jej przydatności, tak ze względów procesowych, jak i dla poprawy właściwości filtracyjnych złoża.

Wykazano również, że ogólny udział części nadziemnych roślin w poborze składników biogennych N i P ze ścieków w okresie wegetacyjnym nie przekracza granic 7,5% N i 3% P w przeliczeniu całorocznym [Jucherski 2000], co nie ma decydującego znaczenia w bilansie procesu oczyszczania ścieków w badanej instalacji.



## **Stwierdzenia i wnioski**

Wyniki ponad 8-letniego, udokumentowanego szczegółowo w pracach IBMER –GCB, okresu badań są wystarczającym uzasadnieniem stwierdzenia, że odpowiednio zaprojektowane i skonfigurowane quasi techniczne obiekty typu gruntowo-roślinnego są bardzo skutecznym i stabilnym (w całorocznym i wieloletnim okresie użytkowania) środkiem technologicznym do rozwiązywania problemów oczyszczania ścieków na terenach wiejskich o zabudowie luźnej i rozproszonej w górzystych rejonach kraju.

Wartości uzyskanych wskaźników efektywności technologicznej w poszczególnych składnikach zanieczyszczeń i wynikająca stąd skuteczność końcowa całej instalacji są znacząco wyższe od wymagań zawartych w aktualnie obowiązujących przepisach, co pozwala, po odpowiedniej konfiguracji zaprezentowanych obiektów, wykorzystać je na terenach przyrodniczo cennych, podlegających szczególnej ochronie sanitarnej.

## **Bibliografia**

Jucherski A. 2000. Wpływ wybranych czynników technicznych na skuteczność oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych w oczyszczalniach roślinno-gruntowo-glebowych w rejonach górzystych. *Prace Naukowe IBMER*, 1: 38-84

Jucherski A., Walczowski A. 1997–2005. Sprawozdania z prac badawczych IBMER w Tyliczu, Symbole dok. IBMER: LXIII/56, LXIII/60, LXIII/64, LXIII/66, LXIII/69, LXIII/73

## **EFFECTIVENESS OF DOMESTIC SEWAGE TREATMENT IN QUASI-TECHNICAL INSTALLATION WITH SOIL-VEGETABLE FILTRATION BEDS - ON THE BASIS OF EIGHT-YEAR INVESTIGATIONS ON A MOUNTAIN AGROTOURISTIC FARM**

### **Summary**

The results of eight-year (1998-2005) investigations of the multistage purification plant consisted of multi-chamber septic tank ( $V = 4.7 \text{ m}^3$ ) and the sequence of gravel sprinkler bed ( $10 \text{ m}^2$ ), soil-vegetable horizontal flow bed ( $48 \text{ m}^2$ ), the slope grass-soil type bed ( $30 \text{ m}^2$ ) and the combination of two beds – the oblique flow and vertical flow ones. The coefficients of sewage treatment effectiveness in whole installation – daily sewage inflow ( $Q_d = 1550\text{--}400 \text{ l/day}$ ) were stable in all seasons and significantly higher than the official requirements. Their average values were in 2005: 99.6/99.2% BOD; 95.2/95.8% COD; 96.0/91.8% P- $\text{PO}_4$ ; 4.4/74.1% suspended solids; 98.9/99.5% N- $\text{NH}_4$  and 87.6/94.6%  $\text{N}_{\text{tot}}$  (winter/summer periods). The share of green parts of vegetables growing on the beds was not decisive (7.5% N and

3.0% P) in annual balance of sewage treatment. The results of many years' investigations confirmed high and unflinching effectiveness and the usefulness of soil-vegetable type sewage treatment plants under mountain region climatic conditions of the country.

**Key words:** sewage treatment, soil-vegetable purification methods, climatic conditions, mountain regions, domestic sewage, treatment plants

*Recenzent: Krzysztof Wierzbicki*