

Wpłynęło 25.04.2012 r.
Zrecenzowano 27.06.2012 r.
Zaakceptowano 03.07.2012 r.

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

Quasi-techniczne oczyszczalnie ścieków w ochronie zasobów wody na wiejskich terenach górzystych

Andrzej JUCHERSKI^{ABDEF} **Andrzej WALCZOWSKI**^{BCE}

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

Streszczenie

Ochrona obszarów źródłiskowych na przyrodniczo cennych wiejskich terenach górzystych wymaga stosowania skutecznych i komplementarnych systemów oczyszczania ścieków bytowych, w tym rozwiązań indywidualnych. Przedstawiono wyniki wieloletnich (2005–2011) badań quasi-technicznej instalacji oczyszczającej – technologicznej propozycji Górskiego Centrum Badań i Wdrożeń w Tyliczu, przykładu rozwiązania problemu ścieków bezpośrednio w zagrodzie wiejskiej. Instalacja składa się z osadnika przepływowego, urządzenia ze zraszanym złożem ze spiekanych granulatów gliniasto-ilastych (keramzyt) oraz stokowego złoża filtracyjnego gruntowo-roślinnego. Średnie wieloletnie wyniki skuteczności zmniejszania wskaźników i stężenia zanieczyszczeń w oczyszczanych ściekach, określone odpowiednio w okresach: wiosenno-letnich i jesienno-zimowych: 99,5 i 95,0% (N-NH₄); 87,0 i 73,8% (N_{og.}); 88,7 i 83,6% (P-PO₄); 98,9 i 98,8 (BZT₅) 91,3 i 92,9% (ChZT) oraz 76,1 i 79,6% (zawiesina og.) są na poziomie rekomendacji i wymagań Komisji Helsińskiej HELCOM i Szwecji. Odniesienie uzyskanych wyników do poziomu wymagań ustanowionych w celu ochrony wód Bałtyku uznano za najbardziej właściwe.

Słowa kluczowe: górskie oczyszczalnia gruntowo-roślinna, obszary górzyste, ochrona środowiska, tereny wiejskie, zasoby wody

Wstęp

Zapotrzebowanie na wodę wsi na terenach górzystych zwiększa się, a jednocześnie pogłębia się tu, często w sposób dramatyczny, lokalny jej deficyt, powodowany częstymi anomaliami pogodowymi (tzw. niżówką), skutkującymi stopniowym wyczerpywaniem łatwo dostępnych zasobów. Tereny górzyste w Polsce (8,5% powierzchni) pełnią dominującą rolę w tworzeniu bilansu wodnego kraju, dostarczając do rzek aż 30–40% wody, jednak ze względu na, między innymi,



brak możliwości jej zatrzymania, tworzone tu nadwyżki nie mają (w krótkim okresie) znaczącego wpływu na zwiększenie użytkowej zasobności wodnej tych obszarów. Stąd potrzeba, wręcz nakaz, bardziej skutecznej ochrony przed zanieczyszczeniem zlewni potoków i rzek górskich, jako podstawowych, łatwiej dostępnych źródeł wodnego zaopatrzenia lokalnego w wodę, a także aglomeracji miejskich w kraju.

Na obszarach górskich, pozbawionych możliwości budowy zbiorczych systemów sanitarnych, najbardziej właściwym rozwiązaniem powinny być lokalne oczyszczalnie ścieków, grupowe i indywidualne (zagrodowe). Wśród tych rozwiązań są również hybrydowe instalacje quasi-techniczne, w których wykorzystywane są zarówno najnowsze osiągnięcia techniki oczyszczania ścieków w gruntowo-roślinnych ośrodkach filtracyjnych, jak i (odpowiednio do potrzeb) urządzenia konwencjonalnej techniki sanitarnej. Prekursorem rozwoju i wdrożeń tego typu instalacji na terenach górzystych jest Górskie Centrum Badań i Wdrożeń w Tyliczu Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego w Falentach.

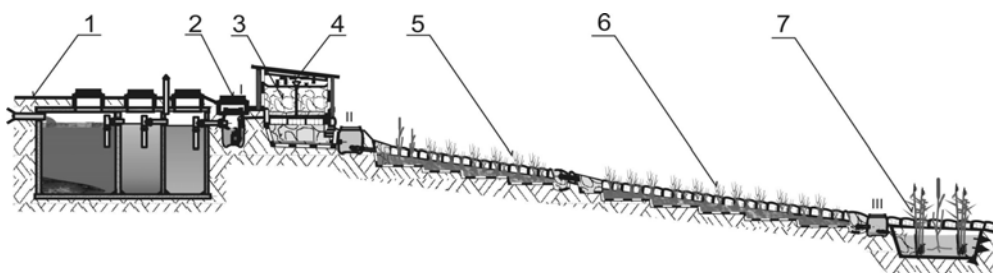
Celem niniejszej pracy jest przedstawienie charakterystyki technologicznej wybranego obiektu tego typu, wybudowanego i eksploatowanego w pełnej skali technicznej w górskim gospodarstwie w Krynicy-Słotwinach, oraz ocena jego wieloletniej skuteczności w oczyszczaniu ścieków bytowych w okresie od 2005 do 2011 r. [JUCHERSKI, WALCZOWSKI 2011].

Przedmiot i metoda badań

W skład zagrodowej quasi-technicznej instalacji do oczyszczania ścieków (rys. 1) wchodzi trzykomorowy monolityczny (betonowy) osadnik przepływowy (1), skąd ścieki są podawane pompą (2) na urządzenie ze złożem o przepływie pionowym z wypełnieniem, składającym się ze spiekanych granulatów gliniasto-ilastych (3). Równomierną dystrybucję na powierzchnię złoża pionowego uzyskano przez zastosowanie specjalnego tryskacza oraz siatek rozpraszających (4). Kolejnymi członami instalacji są dwa, połączone szeregowo, izolowane od podłoża, stokowe złoża gruntowo-roślinne (5, 6), a kończy całość zanikające oczko wodne (7). Mineralnym wypełnieniem stokowych złożów filtracyjnych jest gleba rodzima. Pierwsze z nich jest obsadzone w początkowej części (na długości ok. 2 m) pałąką szerokolistną (*Typha latifolia* L.) oraz kosańcem żółtym (*Iris pseudacorus* L.), natomiast końcową jego część porasta manna mielec (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.) oraz mozga trzcinowata (*Phalaris arundinacea* L.). Drugie złożo jest porośnięte mieszanką traw wodolubnych, które zaadaptowały się tu naturalnie w ciągu 6 lat eksploatacji obiektu.

Zakres pracy badawczej obiektu obejmował laboratoryjne próby techniczne, coroczną ocenę funkcjonalną i wynikające z niej prace modernizacyjne, związane z utrzymaniem technologicznej gotowości obiektu do badań oraz laboratoryjne badania parametrów fizykochemicznych oczyszczanych ścieków, wykonywane okresowo w charakterystycznych miesiącach eksploatacji, będące podstawą oceny jakości pracy instalacji w ciągu 6 lat eksploatacji.

Skuteczność procesów oczyszczania ścieków była oceniana na podstawie zmian stężenia wybranych składników i wartości wskaźników zanieczyszczeń ($N-NH_4$, $N-NO_3$, $N_{og.}$, $P-PO_4$, zawiesiny ogólnej, BZT_5 i $ChZT$), oznaczanych w ściekach odpływających z poszczególnych członów technologicznych instalacji, w punktach pomiarowych I, II i III (rys. 1).



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 1. Konfiguracja elementów technologicznych instalacji: 1 – trzykomorowy osadnik przepływowy o objętości $V_C = 6,0 m^3$, 2 – studzienka pompowo-dystrybucyjna, 3 – urządzenie ze złożem ze spiekanych granulatów gliniasto-ilastych o powierzchni poziomej $2,5 m^2$, 4 – tryskacz wraz z siatką rozpraszającą, 5, 6 – stoki złożeń glebowo-roślinne o powierzchniach $28,0 m^2$ i $33,0 m^2$, 7 – zanikające oczko wodne o powierzchni lustra cieczy $5,0 m^2$; I, II, III – punkty pobierania próbek ścieków

Fig. 1. Configuration of technological plant components: 1 – three-chamber through-flow septic tank of $6.0 m^3$ capacity, 2 – pump-distributive well, 3 – bed unit of sintered, light clay aggregate pellets of horizontal surface $2.5 m^2$, 4 – sprinkler with dispersing grid, 5, 6 – slope beds with soil-vegetation filling material, of surfaces 28.0 and $33.0 m^2$, 7 – water pond of $5.0 m^2$ water table; I, II, III – points of waste-water sampling

Badania przeprowadzono zgodnie z programem i metodyką, opisaną przez JUCHERSKIEGO [2000], oraz procedurami obowiązującymi w obsłudze aparatury laboratoryjnej.

W badaniach wykorzystywano: termometry elektroniczne rejestrujące, tlenomierz OXI 320/Set firmy WTW, pH-metr 320-1/Set firmy WTW, zestaw aparaturowy do oznaczania BZT_5 OXI TOP firmy WTW z szafą termostatyczną, fotometr SQ118 i termoreaktor TR-200 firmy Merck do badań metodami celkowymi i odczynnikowymi oraz wagę elektroniczną WPA 60/C-RADWAG.

Wyniki badań i dyskusja

Charakterystyczne wartości parametrów oczyszczanych ścieków, będące średnimi z wielolecia 2005–2011, zestawiono w tabeli 1.

Istotną cechą fizyczną badanych ścieków była ich niska średnia temperatura w ciągu sezonu. W warunkach określonej specyfiki dobowej podaży ścieków, składu chemicznego zawartych w nich zanieczyszczeń, wskaźnika tlenowego ich

Tabela 1. Średnie wartości wybranych parametrów fizycznych oczyszczanych ścieków w latach 2005–2011

Table 1. Mean values of selected physical parameters of the waste-water treated in years 2005–2011

Parametr Parameter	Okres Period	Ścieki odpływające z: Waste-water outflowing from:		
		osadnika septic tank	złoża pionowego vertical bed	złoża stokowego slope bed
pH	L	7,60	7,13	7,69
	Z	7,72	7,42	7,61
Temperatura ścieków [°C] Temperature of waste-water [°C]	L	15	16	12
	Z	7	6	3
Potencjał redox [mV] Redox potential [mV]	L	-192	-13	50
	Z	-104	27	83
Tlen rozpuszczony [mg·dm ⁻³] Dissolved oxygen [mg·dm ⁻³]	L	0,9	2,0	7,0
	Z	1,7	3,2	8,5
Średni dobowy dopływ ścieków [dm ³ ·d ⁻¹] Average waste-water inflow per day [dm ³ ·d ⁻¹]	L	659		
	Z	602		

Objaśnienia: L – okresy wiosenno-letnie, Z – okresy zimowo-wiosenne.

Explanations: L – spring-summer periods, Z – autumn-winter periods.

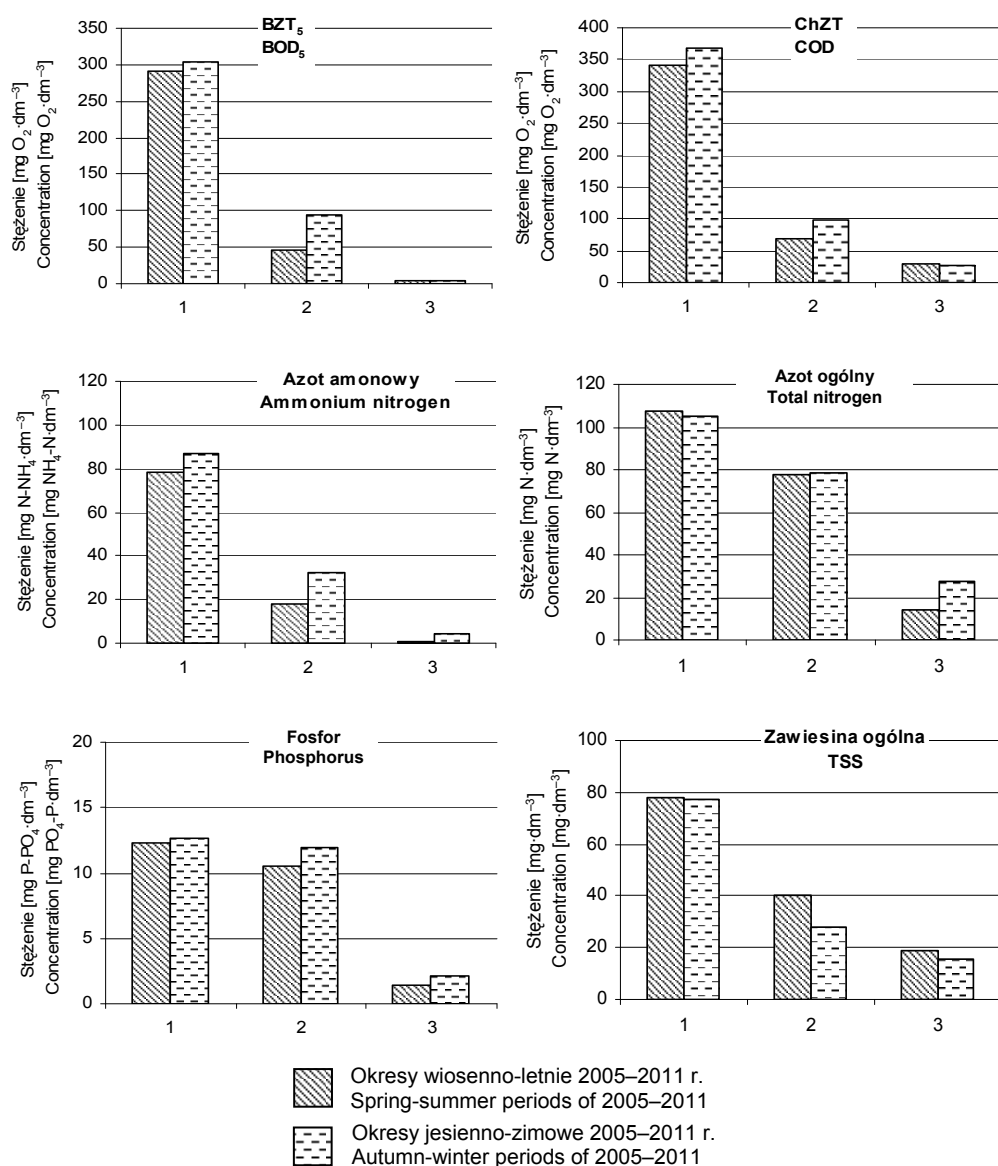
Źródło: wyniki własne. Source: own study.

zaopatrzenia oraz potencjału redox na poszczególnych etapach oczyszczania, temperatura w sposób naturalny wpływa na kinetykę procesów biochemicznych, zgodnie z klasyką teorii, opisanych równaniami Arrheniusa, Monoda i Michaelisa-Menten [ADAMSKI 1994].

Temperatura wpływa w znacznym stopniu na szybkość przemian związków azotu, szczególnie prowadzonych przez bardzo wrażliwe na wiele czynników bakterie nityfikacyjne. Optymalnym zakresem temperatury dla nityfikacji jest przedział 30–35°C, przy czym – według literaturowych doniesień – w temperaturze niższej od 5°C następuje zahamowanie tych procesów [SZEWCZYK 2005]. Optymalny zakres temperatury dla heterotroficznej denityfikacji jest natomiast na poziomie 20–30°C. Badania BERQUISTA i OLESZKIEWICZA [1988] wykazały jednak, że w specyficznych warunkach technologicznych możliwa jest nityfikacja i denityfikacja w ściekach o temperaturze 2°C.

Takie możliwości można również przypisać wielocząłkowej quasi-technicznej instalacji w Krynicy-Słotwinach, która – eksploatowana w niekorzystnych górskich warunkach klimatycznych – zapewnia wysoki poziom procesów oczyszczania: mechanicznego, mineralizacji substancji organicznych oraz usuwania azotu i fosforu ze ścieków również w okresach jesienno-zimowych.

Dynamikę procesów zmniejszania wartości wskaźników i stężenia wybranych składników zanieczyszczeń w ściekach na poszczególnych członach technologicznych instalacji przedstawiono graficznie (rys. 2), zaś średnią względną skuteczność procesów oczyszczania zestawiono w tabeli 2.



Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 2. Średnie wartości wskaźników i stężenia składników zanieczyszczeń w oczyszczanych ściekach w okresach wiosenno-letnich i jesienno-zimowych 2005–2011: 1 – ścieki odpływające z osadnika, 2 – ścieki odpływające ze złoża o pionowym przepływie, 3 – ścieki odpływające ze stokowego złoża gruntowo-roślinnego

Fig. 2. Mean values of pollutant rates and component's concentration in waste-water treated during the spring-summer and autumn-winter periods 2005–2011: 1 – waste-water flowing out from septic tank, 2 – waste-water flowing out from vertical-flow bed, 3 – waste-water flowing out from the slope soil-vegetation bed

Tabela 2. Średnia skuteczność oczyszczania ścieków w badanej instalacji w latach 2005–2011

Table 2. Average efficiency of waste-water treatment in installation tested during years 2005–2011

Parametr Parameter	Skuteczność oczyszczania [%], określona na odpływie ze złoża Efficiency of the treatment [%] determined at outflow from the bed			
	pionowego vertical		stokowego slope	
	okres wiosenno-letni spring-summer period	okres jesiennie-zimowy autumn-winter periods	okres wiosenno-letni spring-summer period	okres jesiennie-zimowy autumn-winter periods
Azot amonowy N-NH ₄ Ammonium N-NH ₄	77,2	63,2	99,5	95,0
Azot ogólny N _{og} Nitrogen total N _{tot}	27,5	25,3	87,0	73,8
BZT ₅ BOD	84,1	69,2	98,9	98,8
ChZT COD	79,6	73,6	91,3	92,9
Fosfor P-PO ₄ Phosphorus	14,2	5,5	88,7	83,6
Zawiesina ogólna Suspended solids	48,3	63,8	76,1	79,6

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Ocenę końcowych efektów oczyszczania, będących pochodną rezultatów, osiągniętych na poszczególnych elementach składowych, należy rozpocząć od oceny jakości oczyszczania we wstępnym trzykomorowym osadniku. Średnia jednostkowa objętość komór w osadniku była większa od 1000 dm³·RM⁻¹, co zapewniło jego wieloletnią bezawaryjną eksploatację (tylko raz usuwano nadmiar osadów z I komory) bez ujemnego wpływu na dalsze technologiczne etapy oczyszczania.

Zastosowanie urządzenia ze zraszanym złożem, wypełnionym porowatymi granulatami ze spieków gliniasto-ilastych o średnicy 10–20 mm, z powodzeniem zastępujących materiały z naturalnego kruszywa, miało na celu stworzenie warunków do intensywnej mineralizacji substancji organicznej i aktywnej nityfikacji jonów amonowych. Procesy te były realizowane w okresach wiosenno-letnich z efektywnością rzędu 84 i 79% w przypadku BZT₅ i ChZT, obniżającą się do poziomu 69 i 74% w okresach jesienno-zimowych. Intensywność zaś nityfikacji, przekraczająca 77% w okresach wiosenno-letnich, słabła w okresach zimowych do 63%. Złoże to, ze względu na przyjęte cechy konstrukcji, jedynie w niewielkim stopniu zatrzymywało fosforany i zawiesinę ogólną.

Kluczową rolę w wysokojakościowym doczyszczaniu ścieków spełniały stokowe złoża glebowo-roślinne. W ich glebowo-korzeniowym wypełnieniu filtracyjnym mogą zachodzić procesy, których rezultatem jest gruntowna biochemiczna mineralizacja pozostającej jeszcze w ściekach substancji organicznej, jak również fizyczna filtracja i cedzenie zawiesin, a także adsorpcja i procesy chemiczne, skutkujące immobilizacją fosforanów w kompleksie glebowym tych złóż.

Pozostający jeszcze w ściekach azot w formie amonowej (N-NH₄), podlegając procesom adsorpcji na aktywnych powierzchniach uziarnienia złóż stokowych, może być nityfikowany do azotanów i ostatecznie denityfikowany do azotu czą-

steczkowego [SZEWCZYK 2005] razem z jonami azotanowymi, dostarczonymi ze ściekami, po ich nityfikacji na złożu pionowym. Specyfika konstrukcji stokowych złóż gruntowo-roślinnych predestynuje je w sposób szczególny do przeprowadzania procesów symultanicznej nityfikacji–denityfikacji [JUCHERSKI 2000].

Porównując średnią wieloletnią efektywność oczyszczania ścieków w badanej instalacji z rekomendacjami dyrektywy Komisji Helsińskiej HELCOM 26E/6 [2007] oraz z wymaganiami szwedzkimi [HÜBINETTE 2009], można stwierdzić, że w zakresie określonych tam poziomów oczyszczania sprawność badanego obiektu w zmniejszaniu $BZT_5 = 98,8\%$, $P-PO_4 = 83,6\%$ i $N_{og} = 73,8\%$ (wszystko w warunkach zimowych) jest znacząco wyższa zarówno od wartości rekomendowanych: $BZT_5 = 80\%$, $P_{og} = 70\%$ i $N_{og} = 29\%$ (według HELCOM), jak również wymagań szwedzkich: $BZT_5 = 90\%$ i $P_{og} = 70\%$ w przypadku wymagań zwykłego poziomu ochrony środowiska. W sytuacji konieczności spełnienia wymagań dotyczących wysokiego poziomu ochrony środowiska, gdy oczyszczane ścieki mają być odprowadzane do odbiorników wodnych o wrażliwości I klasy, badana instalacja odstaje tylko minimalnie od rekomendacji HELCOM, a także wymagań szwedzkich pod względem skuteczności usuwania fosforu ($88,7\%$ – lato; $83,6\%$ – zima, wobec wymaganych 90%), przewyższając znacznie wymagania szwedzkie pod względem usuwania azotu ogólnego ($87,0\%$ – lato; $73,8\%$ – zima, wobec wymaganych 50%).

Trzeba podkreślić, że system oczyszczania ścieków, zaproponowany w badanej instalacji, nie przewiduje zrzutu oczyszczonych ścieków wprost do cieków, a ich odbiornikiem jest zanikające oczko wodne lub nawadniany podpowierzchniowo obszar z użytkiem trawiastym.

Podsumowanie

Zaproponowana technologia oczyszczania ścieków bytowych na bazie wielocząłkowej instalacji, składającej się z osadnika o zwiększonej jednostkowej objętości komór, zraszanego złoża ociekowego, wypełnionego granulatem ze spieków gliniastych o znacznej porowatości i powierzchni czynnej oraz ze specyficznych stokowych złóż filtracyjnych gruntowo-roślinnych, jest skuteczną propozycją dla indywidualnych (zagrodowych) zastosowań w górskiej zabudowie rozproszonej.

Wysoka sprawność zastosowanych procesów oczyszczania ścieków, spełniająca wymagania skutecznej ochrony wód Bałtyku (HELCOM, Szwecja), uzasadnia jej rekomendowanie do wdrażania na terenach górskich Polski, które – z natury przyrodniczo cenne i dominujące w tworzeniu zasobów wodnych naszego kraju – powinny podlegać szczególnej ochronie.

Niezbędne są dalsze prace, zmierzające do optymalizacji poszczególnych rozwiązań instalacji i nadania im formy komercyjnej.

Bibliografia

ADAMSKI W. 1994. Kinetyka procesu adsorpcja – biodegradacja na złożu węgla aktywnego. Ochrona Środowiska. Nr 3–4 s. 54–55.

- BERQUIST S., OLESZKIEWICZ J.A. 1988. Low temperature nitrogen removal in sequencing batch reactors. *Water Research*. No 22 s. 1163–1171.
- HELCOM Recommendation 28E/6. 2007. On-site wastewater treatment of single family homes, small businesses and settlements up to 300 Person equivalents (P.E.). Helsinki 2007.
- HÜBINETTE M. 2009. Tillsyn på minireningsverk inklusive mätning av funktion. Rapporten ingår i rapportserien för Västra Götalands län. Rapport: 2009:07. ISSN 1403-168X ss. 95.
- JUCHERSKI A. 2000. Wpływ wybranych czynników technicznych na skuteczność oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych w oczyszczalniach roślinno-gruntowo-glebowych w rejonach górzystych. *Prace Naukowe IBMER*. Warszawa ss. 38–84.
- JUCHERSKI A., WALCZOWSKI A. 2011. Rozwój bio-agro-środowiskowych metod i urządzeń do lokalnego oczyszczania i utylizacji ścieków bytowo-gospodarczych oraz płynnych zanieczyszczeń poprodukcyjnych na górskich obszarach wiejskich. Sprawozdanie z pracy badawczej. Maszynopis. Tylicz. ITP – GCB ss. 12.
- SZEWczyk K.W. 2005. Biologiczne metody usuwania związków azotu ze ścieków. Warszawa. Ofic. Wydaw. PW. ISBN 83-7207-513-1 ss. 99.

Andrzej Jucherski, Andrzej Walczowski

QUASI-TECHNICAL SEWAGE TREATMENT PLANTS IN PROTECTION OF THE WATER RESOURCES ON RURAL MOUNTAIN TERRAINS

Summary

Conservation of the water-head areas on naturally valuable, mountain rural terrains, requires the application of effective and complementary treatment systems of domestic waste-water, including the individual solutions. The results of long-term (2005–2011) study on quasi-technical water purifying installation – a technological proposal of the Mountain Centre for Research and Implementation at Tylicz – were described. The installation, designed to solve the problem of sewage treatment directly in a single mountain farmstead, consists of a through-flow settlement tank, followed by the plant of sprinkled bed filled with the sintered granules of clay materials, and finally, the slope soil-vegetation filtering beds and the water pond as a receiver. The results of long-term effectiveness in reducing the rates and concentration of pollutants in treated waste-water, determined respectively in spring-summer and autumn-winter periods, were as follows: 99.5 and 95.0% N-NH₄; 87.0 and 73.8% N_{tot}; 88.7 and 83.6% P-PO₄; 98.9 and 98.8% BOD₅; 91.3 and 92.9% COD; 76.1 and 79.6% of total suspended solids. Above mentioned values meet the recommendations and requirements of the HELCOM Helsinki Commission and Sweden. Reference of obtained results to the level of these requirements was considered to be most appropriate.

Key words: environment protection, mountain areas, rural terrains, mountain constructed wetland, water-head resources

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