

MARIA STRZELCZYK

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach
Dolnośląski Ośrodek Badawczy we Wrocławiu

WSTĘPNE WYNIKI BADAŃ REDUKCJI ŁADUNKU ZANIECZYSZCZEŃ W ŚCIEKACH WIEJSKICH WYKORZYSTANYCH DO NAWADNIANIA ROŚLIN ENERGETYCZNYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono wstępne wyniki badań redukcji stężeń i ładunku zanieczyszczeń w ściekach wiejskich wykorzystanych do nawadniania roślin energetycznych. Celem pracy było określenie efektywności biologicznego oczyszczania ścieków wiejskich i stopnia zanieczyszczenia wód przy rolniczej utylizacji ścieków wiejskich. Badania prowadzono w lizymetrach, stosując dwa gatunki roślin energetycznych: miskanta olbrzymiego (*Miscanthus giganteus*) oraz ślazuwca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita Rusby*) w dwóch wariantach nawożenia. Badania wykazały dużą skuteczność oczyszczania, wyrażoną redukcją tlenowych wskaźników zanieczyszczeń podczas biologicznego oczyszczania ścieków w środowisku glebowo-roślinnym, przy jednoczesnej produkcji biomasy na cele energetyczne. Redukcja ładunku zanieczyszczeń wyrażona w BZT₅ wahała się od 84,9 do 99,6%, a w wypadku ChZT od 64,1 do 98,0%.

Słowa kluczowe: ścieki, skuteczność oczyszczania, rośliny energetyczne

Wstęp

Znaczne rozproszenie zabudowy i niewystarczające uzbrojenie terenu w systemy kanalizacyjne stwarza wiele problemów związanych z koniecznością utylizacji ścieków w miejscu ich powstawania oraz z bezpiecznym odprowadzeniem ich do środowiska na terenach wiejskich. Oczyszczanie ścieków w środowisku glebowym przy jednoczesnej produkcji roślinnej jest tanim i bardzo efektywnym sposobem utylizacji ścieków, cieszy się ono również dużym zainteresowaniem gmin wiejskich oraz pojedynczych kompleksów rekreacyjno-wypoczynkowych i osiedli. Biologiczne oczyszczanie ścieków w oczyszczalni glebowo-roślinnej z zastosowaniem roślin energetycznych może być bardzo

przydatne zwłaszcza tam, gdzie nie ma odbiorników ścieków (rzek, potoków, rowów) z oczyszczalni sztucznych.

W związku z koniecznym wzrostem udziału energii odnawialnej w ogólnym bilansie energii należy położyć nacisk na wykorzystanie produktów ubocznych i odpadowych rolnictwa, przemysłu rolno-spożywczego, a także odpadów i biodegradowalnych ścieków komunalnych do produkcji energii (STANOWISKO RZĄDU RP 2008).

Material i metody

Badania były prowadzone w lizymetrach o średnicy 100 cm i głębokości 130 cm. W badaniach zastosowano dwa warianty całorocznego, systematycznego nawadniania ściekami. W wariantcie pierwszym roczne obciążenie ściekami wynosiło 1200 mm, a w wariantcie drugim 1600 mm/rok. W doświadczeniu zastosowano dwa gatunki wieloletnich roślin energetycznych: miskanta olbrzymiego oraz ślazuwca pensylwańskiego.

Materiałem do badań były wstępnie oczyszczone wiejskie ścieki komunalne oraz odcieki z 12 lizymetrów, w których oznaczono tlenowe wskaźniki zanieczyszczeń (BZT₅ metodą rozcieńczeń, ChZT metodą dwuchromianową). Ścieki wykorzystane w doświadczeniu pochodziły z gminnej oczyszczalni ścieków o RLM (Równoważnej Liczbie Mieszkańców) wynoszącej od 2000 do 9999 (zał. Nr 1 do ROZPORZĄDZENIA MINISTRA ŚRODOWISKA 2006).

Wyniki

Stężenie zanieczyszczeń organicznych, wyrażone biochemicznym zapotrzebowaniem na tlen, w ściekach stosowanych w doświadczeniu wykazywało znaczną zmienność i wahało się od 340 do 950 mg O₂ na 1 dm³ w okresie wegetacji roślin oraz 325 do 700 mg O₂ na 1 dm³ od listopada do marca (tab. 1). Wskaźnik ChZT, oznaczający ilość tlenu zużywaną w reakcji chemicznej do utlenienia związków organicznych i niektórych nieorganicznych, wahał się od 802 do 1866 mg O₂ na 1 dm³ od kwietnia do października (IV-X) i od 934 do 1742 mg O₂ na 1 dm³ od listopada do marca (XI-III). Oba wskaźniki były nieznacznie wyższe w okresie letnim (tab. 1).

Tabela 1. Średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach wyrażone wskaźnikami tlenowymi BZT₅ oraz ChZT (mg O₂ na 1 dm³)

Table 1. Average pollution concentration in sewage expressed by oxygen indicators BOD₅ and COD (mg O₂ na 1 dm³)

Wskaźnik	IV-X			XI-III		
	minimum	maksimum	średnia	minimum	maksimum	średnia
BZT ₅	340	950	575	325	700	501
ChZT	802	1 866	1 076	934	1 742	1 027

Ilość odcieków z lizymetrów wyraźnie się różniła w okresie wegetacji w zależności od zastosowanej rośliny. Średnia sumaryczna ilość odcieków z lizymetrów, w których zastosowano ślázowca, wyniosła w tym okresie 417 dm³ w wariancie pierwszym i 660 dm³ w drugim wariancie nawodnienia (tab. 2). Średnia sumaryczna wielkość odcieków z lizymetrów, w których uprawianą rośliną był miskant była odpowiednio o 30 i 27% wyższa niż w lizymetrach obsadzonych ślázowcem. Różnica ta wynika ze zróżnicowanego zapotrzebowania uprawianych roślin na wodę. Od listopada do marca ilość odcieków w obu wariantach i roślinach była bardzo zbliżona i wahała się od 517 do 544 dm³ (tab. 2).

Tabela 2. Średnia ilość odcieków lizymetrycznych w poszczególnych wariantach doświadczenia (dm³)

Table 2. Average quantity of lysimeter effluents in individual variants of experiments (dm³)

Wariant	IV-X			XI-III		
	minimum	maksimum	suma	minimum	maksimum	suma
Ślázowiec I	9	108	417	108	155	537
Ślázowiec II	10	126	660	125	149	527
Miskant I	45	125	594	103	163	544
Miskant II	58	128	909	113	151	517

W Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego w załączniku I określono największe dopuszczalne wartości wskaźników zanieczyszczeń lub minimalne procenty ich redukcji dla ścieków bytowych i komunalnych wprowadzanych do wód i do ziemi (ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA 2006). Wielkości tych wskaźników zależą od wielkości oczyszczalni wyrażonej w RLM. Zgodnie z tym rozporządzeniem badane ścieki powinny spełnić określone warunki. Wartość BZT₅ nie powinna przekraczać 25 mg O₂ na 1 dm³ lub procent redukcji tego wskaźnika powinien się mieścić w granicach 70-90%. W wypadku ChZT maksymalna dopuszczalna wartość wskaźnika nie powinna przekraczać 125 mg O₂ na 1 dm³ lub też redukcja zanieczyszczeń zawartych w ściekach określonych za pomocą ChZT powinna być większa bądź równa 75%.

Z danych przedstawionych w tabeli 3 wynika, że średnie stężenia zanieczyszczeń organicznych wyrażone w BZT₅ w obu wariantach były wyższe w odciekach pobranych z lizymetrów, w których uprawiano ślázowca zarówno w okresie wegetacji roślin (39,3 i 37,7 mg O₂ na 1 dm³), jak i w okresie zimowym (44,2 i 35,3 mg O₂ na 1 dm³). We wszystkich badanych wariantach osiągnięto drugi warunek, jaki należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód i do ziemi, dotyczący procentu redukcji zanieczyszczeń zawartych w ściekach. Średni procent redukcji BZT₅ w badanych wariantach był bardzo wyrównany i wahał się od 91 do 93% w lizymetrach ze ślázowcem i 94 do 96 w lizymetrach z miskantem.

Tabela 3. Średnie wartości stężeń zanieczyszczeń wyrażonych w BZT₅ (mg O₂ na 1 dm³) oraz procent ich redukcji w odciekach lizymetrycznychTable 3. Average values of pollution concentration expressed in BOD₅ (mg O₂ per 1 dm³) and their percentage reduction in lysimeter effluents

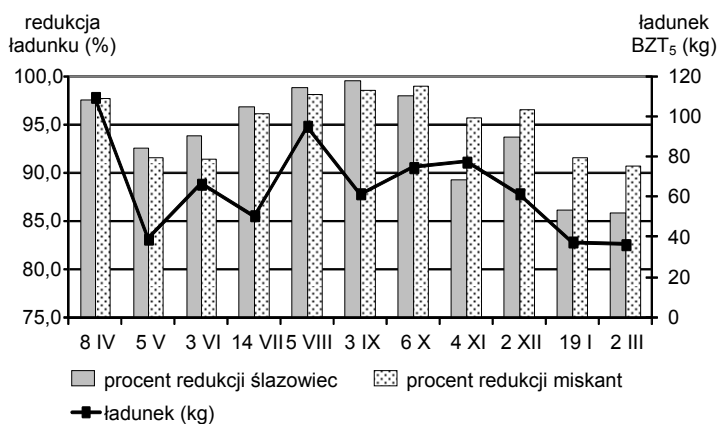
Wariant	Parametr	IV-X			XI-III		
		minimum	maksimum	średnia	minimum	maksimum	średnia
Ślázowiec I	BZT ₅	25,3	76,3	39,3	33,2	77,3	44,2
	procent redukcji	89	97	93	89	90	91
Ślázowiec II	BZT ₅	14,0	59,3	37,7	21,3	40,0	35,3
	procent redukcji	86	99	93	88	97	93
Miskant I	BZT ₅	15,7	46,1	27,1	21,0	26,7	22,4
	procent redukcji	88	98	95	94	96	95
Miskant II	BZT ₅	11,2	28,0	22,4	14,3	34,0	27,6
	procent redukcji	93	97	96	91	98	94

Drugi tlenowy wskaźnik zanieczyszczenia, ChZT był niższy w lizymetrach, w których uprawiany był miskant (tab. 4). W obu roślinach i wariantach nawodnienia średnie wartości ChZT były duże i wynosiły od 139 do 240 mg O₂ na 1 dm³, a średni procent redukcji tego wskaźnika wahał się od 76 do 90%. Sporadycznie w lizymetrach, w których uprawiany był ślázowiec, procent redukcji wskaźnika ChZT był mniejszy od wymaganego przepisami, wynoszącego 75%. U tej rośliny po zastosowaniu większych obciążeń ściekami, minimalny procent redukcji wskaźnika ChZT wyniósł 63%. Był to jednak pierwszy rok prowadzenia badań, a na zdolność sorpcyjną gleby miało wpływ naruszenie profilu i brak jego ustabilizowania.

Tabela 4. Średnie wartości stężeń zanieczyszczeń wyrażonych w ChZT (mg O₂ na 1 dm³) oraz procent ich redukcji w odciekach lizymetrycznychTable 4. Average values of pollution concentration expressed in ChOD (mg O₂ per 1 dm³) and their percentage reduction in lysimeter effluents

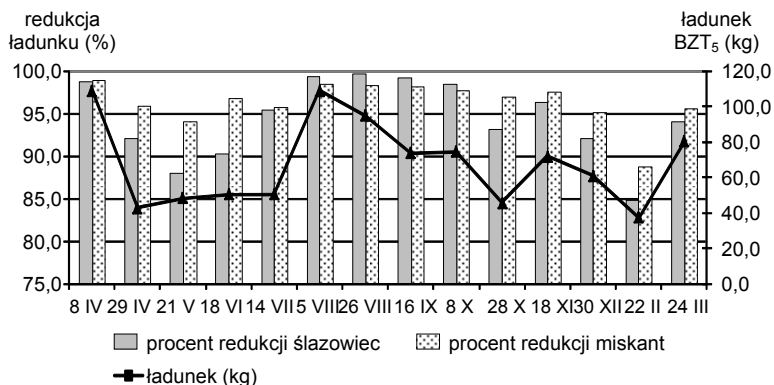
Wariant	Parametr	IV-X			XI-III		
		minimum	maksimum	średnia	minimum	maksimum	średnia
Ślázowiec I	ChZT	132	244	183	196	268	240
	procent redukcji	70	91	81	71	82	76
Ślázowiec II	ChZT	143	355	211	126	256	169
	procent redukcji	63	92	81	73	91	85
Miskant I	ChZT	111	180	143	148	193	170
	procent redukcji	79	90	85	82	86	84
Miskant II	ChZT	104	180	139	126	256	169
	procent redukcji	80	91	87	87	93	90

Wielkością istotną z uwagi na ochronę środowiska jest ładunek wprowadzanych do niego zanieczyszczeń. W doświadczeniu jednorazowy ładunek zanieczyszczeń wyrażony w BZT_5 wprowadzony wraz ze ściekami w wariantcie „I” wahał się od 39,1 do 109,3 $kg O_2$ w okresie wegetacji i od 36,4 do 77,6 $kg O_2$ w okresie zimowym (rys. 1). W wariantcie drugim ładunek ten wyniósł odpowiednio od 43,1 do 109,3 mg w okresie IV-X i od 37,4 do 80,5 kgO_2 w okresie XI-III (rys. 2). Procent redukcji ładunku zanieczyszczeń w wariantcie pierwszym był duży i wyniósł średnio od 95 do 96% w okresie wegetacji roślin i od 89 do 93% w okresie zimowym. W wariantcie drugim procent redukcji zanieczyszczeń był bardzo zbliżony do wariantu pierwszego, chociaż ładunek zanieczyszczeń wprowadzonych do środowiska był większy. Jak widać na wykresach,



Rys. 1. Ładunek zanieczyszczeń ścieków wyrażony w BZT_5 ($kg O_2$) oraz procent jego redukcji w wariantcie I nawodnienia

Fig. 1. Pollution load of sewage expressed in BOD_5 ($kg O_2$) and its percentage reduction in variant I of watering

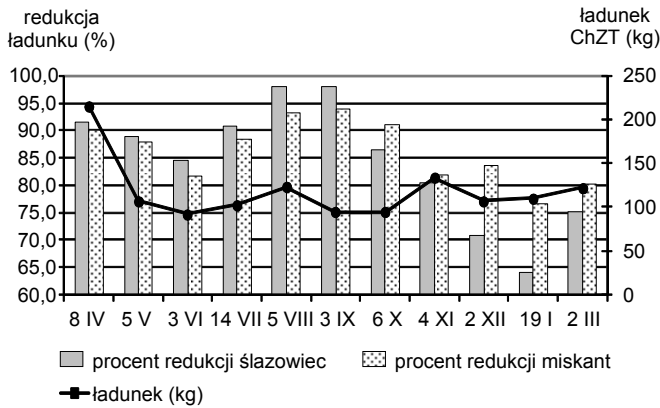


Rys. 2. Ładunek zanieczyszczeń ścieków wyrażony w BZT_5 ($kg O_2$) oraz procent jego redukcji w wariantcie II nawodnienia

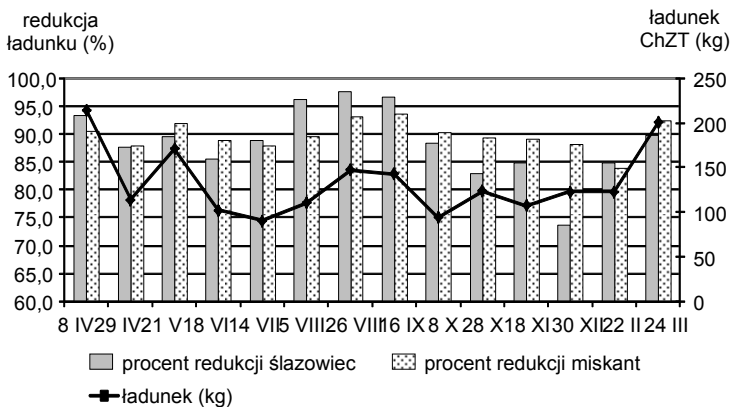
Fig. 2. Pollution load of sewage expressed in BOD_5 ($kg O_2$) and its reduction in variant II of watering

skuteczność oczyszczania ścieków w środowisku glebowo-roślinnym charakteryzuje się zmiennością sezonową (rys. 1 i 2). Wyraźnie mniejsza redukcja wskaźnika BZT₅ występuje zimą oraz początkowych miesiącach wegetacji roślin.

Redukcja ładunku zanieczyszczeń wyrażonych w ChZT była mniejsza niż w BZT₅. Średnia skuteczność oczyszczania w okresie IV-X dla ślázowca sięgała średnio 91% w obu wariantach, a w lizymetrach z miskantem od 89 do 90% w poszczególnych wariantach doświadczenia (rys. 3 i 4). W okresie pozawegetacyjnym stopień redukcji ładunku zanieczyszczeń był wyraźnie mniejszy i wahał się od 64 do 82% w wariacie pierwszym i od 73 do 92% w wariacie drugim.



Rys. 3. Ładunek zanieczyszczeń ścieków wyrażony w ChZT (kg O₂) oraz procent jego redukcji w wariacie I nawodnienia
Fig. 3. Pollution load of sewage expressed in COD (kg O₂) and its percentage reduction in variant I of watering



Rys. 4. Ładunek zanieczyszczeń ścieków wyrażony w ChZT (kg O₂) oraz procent jego redukcji w wariacie II nawodnienia.
Fig. 4. Pollution load of sewage expressed in COD (kg O₂) and its percentage reduction in variant II of watering

Dyskusja

W dostępnej literaturze istnieje dużo publikacji dotyczących utylizacji ścieków komunalnych i przemysłowych przy wykorzystaniu ich do nawodnień roślin. Metody oparte na procesach zbliżonych do procesów samooczyszczania, zachodzących w naturalnych ekosystemach glebowo-wodno-roślinnych, mogą być z powodzeniem stosowane na terenach wiejskich podczas oczyszczania małych ilości ścieków, gdy rozwiązania konwencjonalne są nieuzasadnione ze względów ekonomicznych (JUCHERSKI 2000).

Wyniki doświadczenia potwierdzają dotychczasowe doniesienia literaturowe dotyczące dużej skuteczności oczyszczania ścieków w środowisku glebowo-roślinnym. Stopień oczyszczania ścieków komunalnych wyrażony procentem redukcji wielkości wskaźników tlenowych oraz ich ładunków może sięgać nawet od 98 do 99% (PALUCH i IN. 2006). W badaniach CZYŻYKA (1994) prowadzonych na polach irygacyjnych Wrocławia, Legnicy, Kluczborka i Kościana wykazano, że stopień redukcji ilości zanieczyszczeń wyrażany przez BZT₅ dla ścieków komunalnych wynosi od 96 do ponad 99%, a ChZT od 86 do 97% i zależy nie tylko od składu mechanicznego gleby, ale od wykształcenia poziomu próchnicznego, obciążenia i wieku (wpracowania) pól irygacyjnych. Na polach rolniczych w wykorzystaniu ścieków z przemysłu rolno-spożywczego redukcja BZT₅ wynosiła: dla pól zalewanych i rzutowych od 86 do 98%, a przy aplikacji ścieków systemem deszczownianym aż 99%. Podobnie skuteczność oczyszczania tych ścieków określona za pomocą redukcji wskaźnika ChZT wynosiła od 85 do 94% BZT₅ oraz od 95 do 99% ChZT. Badania KRZANOWSKIEGO i MIERNIKA (2001) potwierdzają dużą skuteczność oczyszczania ścieków w złożach gruntowo-roślinnych z wykorzystaniem wierzby wiciowej (*Salix viminalis*), w których redukcja BZT₅ osiągnęła ponad 95%. Zdaniem PAWĘSKIEJ i KUCZEWSKIEGO (2008) w glebowo-roślinnym systemie oczyszczania ścieków można osiągnąć duży procent redukcji zanieczyszczeń: BZT₅ od 90 do 95% w zależności od pory roku, a ChZT powyżej 70% w półroczu letnim. Również KURHAŃSKI (1996) w badaniach lizymetrycznych o skuteczności oczyszczania ścieków w małych oczyszczalniach uzyskał od 98,74 do 99,99% redukcji BZT₅, w zależności od obciążenia ściekami. Badania SOROKO (1996) prowadzone na złożach gruntowo-korzeniowych potwierdzają dużą skuteczność całorocznego oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych w takim systemie. Redukcja BZT₅ w badanych złożach wyniosła od 90 do 99%, w zależności od wypełnienia złoża, zastosowanej rośliny i sposobu aplikacji ścieków (przepływ poziomy i pionowy). Oczyszczalnie glebowo-roślinne są skutecznym sposobem utylizacji ścieków wiejskich. Mimo swojej specyfiki nie wykazują wyraźnej zmienności sezonowej skuteczności działania. Dotyczy to zarówno usuwania podstawowych składników biogennych, dla których skuteczność waha się od 96 do 97%, jak i zanieczyszczeń organicznych, których redukcja osiąga 99% (KUCZEWSKI i IN. 2004).

Wnioski

1. Badania wykazały dużą skuteczność oczyszczania wiejskich ścieków bytowo-gospodarczych w środowisku glebowo-roślinnym.

2. Procent redukcji zanieczyszczeń organicznych wyrażony wskaźnikiem BZT₅ przekraczał 90% we wszystkich badanych wariantach.

3. Efektywność oczyszczania ścieków wyrażona redukcją wielkości wskaźnika ChZT była większa podczas zastosowania miskanta i osiągała od 79 do 91%. W wariantcie ze ślazowcem procent redukcji wskaźnika sporadycznie był mniejszy od wymagań przepisów w tym zakresie i wynosił od 63 do 92%.

4. Ładunek zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska jest uzależniony od zastosowanej rośliny i wykazuje zmienność sezonową.

Literatura

- CZYŻYK F., 1994. Wpływy wieloletnich nawodnień ściekami na glebę, wody gruntowe i rośliny. Rozpr. habilit, Wyd. IMUZ, Falenty.
- JUCHERSKI A., 2000. Skuteczność oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych w oczyszczalniach gruntowych i glebowo-roślinnych w rejonach górzystych. *Zesz. Nauk. AR Krak.* 365: 371-380.
- KRZANOWSKI S., MIERNIK W., 2001. Unieszkodliwianie małych ilości ścieków metodami niekonwencjonalnymi na obszarach wiejskich. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 475: 139-146.
- KUCZEWSKI K., KWIECIŃSKA K., KOZDRAŚ M., 2004. Zmiany w usuwaniu biogenów ze ścieków bytowo-gospodarczych po wieloletniej eksploatacji oczyszczalni roślinno-glebowej. *Woda Środ. Obsz. Wiej.* 4, 2a (11): 547-557.
- KURHAŃSKI M., 1996. Urządzenie małych oczyszczalni i oczyszczalni przydomowych do wykorzystania w produkcji roślinnej ścieków bytowych i odpadów organicznych – w obiegu zamkniętym. *Zesz. Nauk. AR Wrocł.* 293, Konferencje XIII, T. 1: 175-182.
- PALUCH J., PARUCH A., PULIKOWSKI K., 2006. Przyrodnicze wykorzystanie ścieków i osadów. Wyd. AR, Wrocław.
- PAWĘSKA K., KUCZEWSKI K., 2008. Efekty oczyszczania ścieków bytowych w środowisku naturalnym na przykładzie pracy wybranych oczyszczalni glebowo-roślinnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 526: 429-436.
- ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 24 lipca 2006 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód i do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska. 2006. *Dz. U. Nr 137, poz. 984.*
- SOROKO M., 1996. Oczyszczanie ścieków bytowo-gospodarczych w złożach gruntowo-korzeniowych z przepływem podpowierzchniowym i pionowym. *Zesz. Nauk. AR Wrocł.* 293, Konferencje XIII, T. 1: 243-251.
- STANOWISKO RZĄDU RP w sprawie przyszłości Polityki Spójności Unii Europejskiej po 2013 roku. Dokument przyjęty przez KERM w dniu 30 stycznia 2008 r.

PRELIMINARY RESULTS OF EXAMINING REDUCTION IN POLLUTION LOAD IN RURAL SEWAGE UTILIZED FOR WATERING ENERGY PLANTS

Summary. Presented in the paper are preliminary results of examining reduction in concentrations of pollution load in rural sewage utilized for watering energy plants. The purpose of the paper is to determine the efficiency of biological cleaning of rural sewage and degree of pollution of water for agricultural utilization of rural sewage. The studies were conducted in lysimeters

Strzelczyk M., 2011. Wstępne wyniki badań redukcji ładunku zanieczyszczeń w ściekach wiejskich wykorzystanych do nawadniania roślin energetycznych. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 4, #49.

using two species of energy plants: *Miscantus giganteus* and *Sida hermaphrodita* Rusb in two variants of fertilization. The studies showed high effectiveness of cleaning resulting from indices of oxygen reduction, indices of pollution with biological cleaning of sewage in soil-plant environment with simultaneous production of biomass for energy purposes. Reduction in pollution load expressed in BOD₅ ranged from 84.9-99.6% and in case of COD 64.1-98%.

Key words: wastewater, effectiveness of cleaning, energetic plants

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Maria Strzelczyk, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Dolnośląski Ośrodek Badawczy, ul. Berlinga 7, 51-209 Wrocław, Poland, e-mail: mst@dob-imuz.pl, m.strzelczyk@itep.edu.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

11.05.2011

Do cytowania – For citation:

*Strzelczyk M., 2011. Wstępne wyniki badań redukcji ładunku zanieczyszczeń w ściekach wiejskich wykorzystanych do nawadniania roślin energetycznych. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 4, #49.*