

**MONIKA GAŁWA-WIDERA, MARCIN MILCZAREK,  
MARIUSZ KOWALCZYK\***

## **MOŻLIWOŚCI PRZYRODNICZEGO WYKORZYSTANIA OSADÓW Z PRZEMYSŁU MLECZARSKIEGO**

### *Streszczenie*

*Artykuł zawiera wyniki badań prowadzonych w Instytucie Inżynierii Środowiska Politechniki Częstochowskiej dotyczących możliwości kompostowania osadów ściekowych komunalnych i z przemysłu mleczarskiego z innymi substratami z utrzymaniem jakości pozwalającej na rolnicze wykorzystanie otrzymanego produktu. Przeprowadzono dwa eksperymenty, gdzie udział osadów przemysłowych wynosił 10% a udział osadów komunalnych 20 i 35%, pozostały udział stanowiły dodatki materiału strukturotwórczego w postaci trocin oraz odpady zielone. Proces prowadzono przez 30 dni w skali laboratoryjnej. Spadek C/N wskazuje, że proces kompostowania prowadzony był poprawnie jednak nie osiągnął wystarczająco niskich wartości i wymagana jest dalsza stabilizacja produktów. Stwierdzono, że osiągnięty poziom temperatury był wystarczający do pełnej higienizacji uzyskanych kompostów. Wstępne badania wskazują na słuszność stosowania procesu kompostowania jako metody na zagospodarowanie osadów ściekowych i zawrótzenie cennych substancji organicznych w nich zawartych do środowiska.*

Słowa kluczowe: osady ściekowe, kompost, kompostowanie

### **WPROWADZENIE**

Osady ściekowe powstają w oczyszczalniach ścieków jako specyficzny odpad procesów oczyszczania ścieków. Dotąd najczęściej trafiały na składowiska, lub do środowiska w postaci ustabilizowanej (np. po stabilizacji tlenowej, bez-tlenowej lub stabilizacji wapnem). Zawsze jednak stanowią dość istotny problem techniczny ze względu na duże uwodnienie i masę oraz niebezpieczeństwo sanitarne. Najnowsze przepisy wymuszają na wytwórcach (oczyszczalniach)

---

\* Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska

zmianę tych niekorzystnych właściwości. Osady ściekowe są coraz częściej używane do użytkowania terenów rolniczych i leśnych oraz do rekultywacji terenów zdewastowanych. Obok zawartości materii organicznej, osady ściekowe zawierają wiele związków i pierwiastków koniecznych do wzrostu i rozwoju roślin oraz mikroorganizmów. Czynnikiem ograniczającym stosowanie osadów do użytkowania i rekultywacji gleb, jest wysoka zawartość metali ciężkich jak również obecność szeregu organizmów niebezpiecznych dla człowieka i środowiska. Skład chemiczny osadów ściekowych jest bardzo zmienny i zależy od wielu czynników między innymi od rodzaju oczyszczanych ścieków oraz stosowanych procesów ich oczyszczania. Udział ścieków przemysłowych w ściekach komunalnych oraz charakter tych ścieków może mieć decydujący wpływ na jakość powstających osadów ściekowych. Azot w osadach występuje w dużej ilości w postaci związków łatwo przyswajanych, które stanowią od 30 do 50% zawartości całkowitej tego składnika. Są to główne połączenia amonowe. Pozostała część azotu zawarta jest w połączeniach organicznych. Ilość substancji organicznej w osadach ściekowych waha się do 22,5 do 60,8% w suchej masie, przy średniej zawartości 45%. Zawartość makro- i mikroelementów w osadach jest bardzo zmienna [Bień 2007]. Wysoka zawartość azotu, fosforu, magnezu w osadach ściekowych stwierdzona przez wielu autorów [Manczarski 2007] może wpływać na bilans składników pokarmowych roślin w układzie: gleba-roślina, przyczyniając się do pełnego, względnie częściowego zaspokojenia potrzeb nawozowych roślin na składniki pokarmowe, głównie azot i fosfor [Sidelko 2005]. Wykorzystanie wartości nawozowej osadów ściekowych ma ogromne znaczenie w przypadku ochrony środowiska. Intensywny rozwój gospodarczy spowodował wzrost ilości ścieków przemysłowych i komunalnych [Jędrzak 2007, Schegiel 2004]. W rolnictwie nie mogą być stosowane osady zawierające substancje toksyczne, szkodliwe dla człowieka, które akumulują się w glebie i w roślinach, które zawierają bakterie chorobotwórcze, metale ciężkie, wirusy, jaja pasożytów. Najbardziej przydatne są osady ściekowe przemysłu spożywczego i rolnego, bytowo-gospodarcze. Istotnym elementem oceny przydatności osadów ściekowych jako nawozu organicznego jest porównanie działania nawozowego tej substancji z innymi nawozami organicznymi. Doświadczenia porównawcze osadów ściekowych z obornikiem wykazują, że właściwości nawozowe osadów są porównywalne z działaniem obornika, a czasem nawet większe.

Jednym z możliwych rozwiązań problemu z zagospodarowaniem osadów ściekowych są instalacje do przeróbki osadów ściekowych na nawóz organiczno-wapniowy [Bień 2007, RMRiRW 2001]. Osady ściekowe o uwodnieniu 70-85% nie zawierające metali ciężkich w ilościach przekraczających dopuszczalne poziomy, podaje się do mieszalnika łopatkowego. Równocześnie do tego mieszalnika dozuje się wapno palone w ilościach niezbędnych do higienizacji osadów. Dokładnie wymieszane wszystkie komponenty opuszczają mieszalnik

w postaci zgrudkowanej (granulatu) o uziarnieniu 4,10 mm. Świeży produkt po mieszalniku powinien przez kilka godzin leżakować w pryzmie. W czasie leżakowania, w utworzonej mieszaninie przebiega proces higienizacji (niszczenia patogenów) głównie pod wpływem podwyższonej temperatury i pH. Po okresie leżakowania produkt ma postać sypkiego, zgrudkowanego materiału – wygodnego w stosowaniu nawozu. Surowce stosowane w procesie to: osady ściekowe, różne gatunki wapna odpadowego, rozdrobnione bioodpady, pyliste wapno palone oraz czynnik higienizujący. Produkt końcowy jest nawozem organiczno-wapniowym służącym do odkwaszenia gleb, poprawiającym strukturę gleb, a także dostarczającym roślinom niezbędnych składników odżywczych w ilościach porównywalnych z innymi nawozami organicznymi typu: obornik, gnojowica, kompost itp. Jest całkowicie bezpieczny sanitarnie. W okresach martwych rolniczo może być przechowywany (pod wiatą) bez pogorszenia jego właściwości użytkowych. Technologia pozwala przetwarzać uciążliwe osady ściekowe na przydatny w rolnictwie nawóz.

#### **TECHNOLOGIA PRYZMOWEGO KOMPOSTOWANIA OSADÓW ŚCIEKOWYCH**

Jedną z metod stosowanych do unieszkodliwiania osadów ściekowych jest, technologia pryzmowego kompostowania osadów ściekowych. Głównym elementem technologii kompostowania osadów ściekowych jest bakteryjno-enzymatyczny preparat. Jest to biopreparat przeznaczony do rozkładu różnego rodzaju biomasy odpadów. Powoduje szybkie uruchomienie procesów biodegradacji związków organicznych i w zależności od warunków technicznych prowadzenia procesu dalszy sprawny, kontrolowany ich przebieg. Preparat stosowany jest: na składowiskach odpadów w celu przyspieszenia rozkładu części organicznej, zwiększenia produkcji biogazu, wydłużenia czasu eksploatacji składowiska; do kompostowania odpadów komunalnych metodą kontenerową, pryzmową; do kompostowania odpadów domowych, do kompostowania osadów ściekowych. Technologia kompostowania pryzmowego prowadzi do: higienizacji, skrócenia czasu prowadzenia procesu, eliminacji zapachów, uzyskania kompostu wysokiej jakości.

#### **BADANIA MODELOWE. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ**

Badania prowadzono przy użyciu osadów komunalnych z oczyszczalni ścieków WARTA w Częstochowie i osadów pochodzących z przemysłu mleczarskiego. Do badań wykorzystano osady ściekowe ustabilizowane i odwodnione mechanicznie na prasach. Odpady zielone (trawa z terenów zieleni miejskiej)

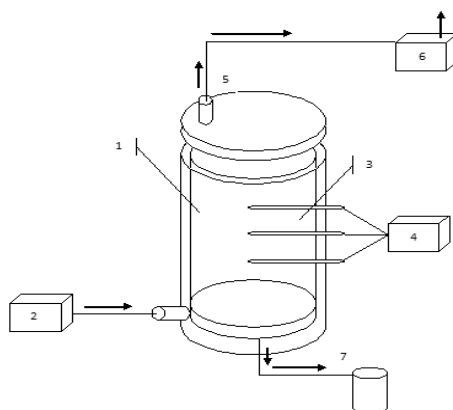
stanowiły uzupełnienie zawartości węgla organicznego, azotu i fosforu. Jako materiał strukturotwórczy wykorzystano trociny.

Poszczególne oznaczenia składu fizyczno-chemicznego przeprowadzono według polskich norm:

- straty przy prażeniu – według normy PN – EN 12879,
- sucha pozostałość i zawartości wody – według normy PN – EN 12880,
- azotu ogólnego – według normy PN – EN 13342 (metodą Kjeldahla),
- fosfor ogólny – według normy PN – EN 14672,
- oznaczanie pH – według normy PN – EN 12176,
- węgiel organiczny – na automatycznym urządzeniu TOC Analytik Jena Multi N/C 2100,
- metale ciężkie i alkaliczne metodą chromatografii gazowej na atomowym spektrometrze emisyjnym z plazmą wzbudzoną indukcyjnie ICP-AES.

### Opis stanowiska badawczego

Badania prowadzono w laboratoryjnym bioreaktorze do kompostowania o objętości 45 dm<sup>3</sup>, wyposażonym w system czujników, umożliwiający monitoring procesu oraz pompę ssąco-tłoczącą pracującą z wydajnością 60 dm<sup>3</sup>/h (rys. 1).



1- izolowana komora stabilizacji, 2 - regulator natężenia przepływu, 3 – system pomiaru temperatury,  
4 - zbiornik, 5 - kolumna osuszająca, 6 - miernik przepływu, 7 - system pomiarowy gazów.

1 –composting reactor, 2-aeration pump and regulating valve of the aeration intensity, 3 - temperature sensors, 4 – temperature control system, 5 – gas removal system, 6 – gas analyzer, 7 – lechate removal system

Rys. 1. Schemat bioreaktora do kompostowania z systemem pomiarowym

Fig. 1. Chart bioreactor composting system of measurement

### Analiza bakteriologiczna

Dla oceny sanitarnej przeprowadzono następujące badania mikrobiologiczne substratów i produktów procesu:

- liczbę bakterii psychrofilowych i termofilowych metodą płytkową Kocha,
- liczbą żywych jaj helmitów wg PN-Z-19000-4:2001,
- obecność *Salmonella s.p.* wg PN-ISO 6579:1998,
- miano *E.Coli* wg PN-75/C-04615.05.

### WYNIKI BADAŃ I ICH INTERPRETACJA

Procesowi kompostowania poddano substrat składający się z mieszaniny przemysłowych osadów ściekowych z przemysłu mleczarskiego z komunalnymi osadami ściekowymi. Odpady przemysłowe stanowiły 10% mieszaniny, zmieniono natomiast udział osadów komunalnych i odpadów zielonych. Skład mieszaniny poddanej procesowi stabilizacji przedstawiono w tabeli 1. Proces kompostowania prowadzono przez okres jednego miesiąca.

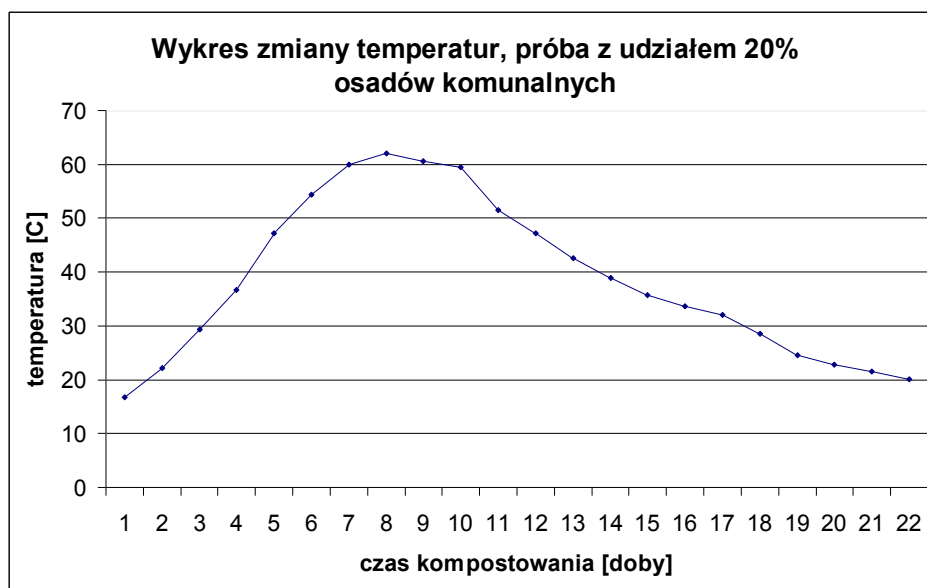
*Tab. 1. Skład wsadu do kompostowania*

*Tab. 1. The composition of the charge for composting*

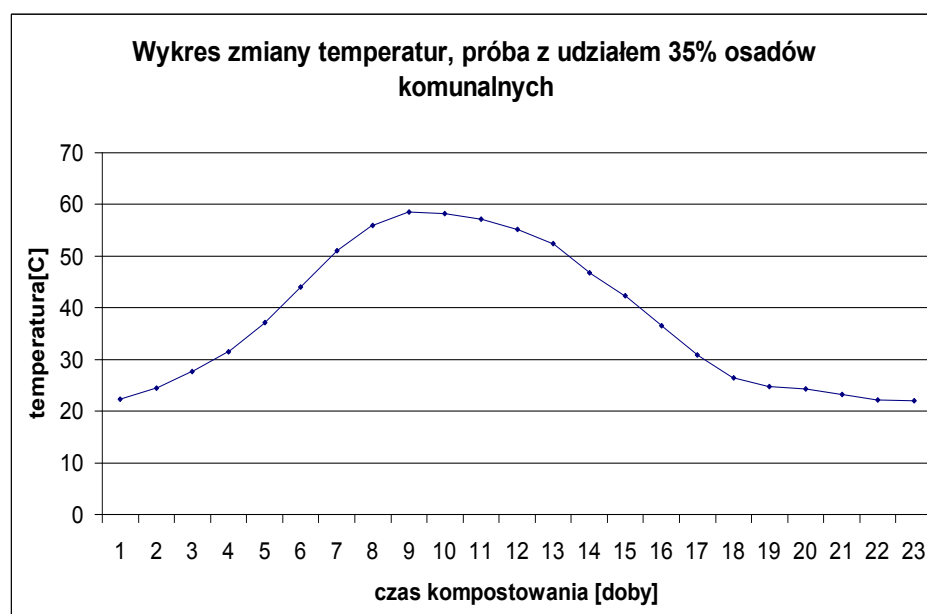
Nr próby	Udział osadów komunalnych %	Udział osadów przemysłowych %	Udział odpadów zielonych %	Udział materiału strukturotwórczego %
I	20	10	65	10
II	35	10	44	10

Zmiany temperatur kompostu I i II w czasie eksperymentu przedstawiono na rys. 2 i 3.

W obu przypadkach zaobserwowano szybki wzrost temperatury w pierwszych dobach trwania procesu. Maksymalną temperaturę kompostowania uzyskano w dziewiątej dobie procesu. W przypadku kompostu I najwyższa temperatura wynosiła 61°C, natomiast dla kompostu II – 59°C. W kolejnych dobach następował systematyczny spadek temperatury, aż do ustabilizowania się jej na poziomie ok. 20°C w dwudziestej dobie procesu.



Rys. 2. Rozkład temperatur w czasie procesu kompostowania próby nr I  
Fig. 2. The distribution of temperatures during the composting process, the sample II



Rys. 3. Rozkład temperatur w czasie procesu kompostowania próby nr II  
Fig. 3. The distribution of temperatures during the composting process, the sample II

### Zawartość metali ciężkich

W osadach jak i w mieszaninie poddawanej stabilizacji określono zawartość metali ciężkich. W osadach stężenie metali jest dość wysokie, dodatkowo zielone części roślin mogą również akumulować metale. Dlatego też istotny jest wybór miejsca pobrania odpadów zielonych. Wyniki badań zawartości metali ciężkich w osadach ściekowych, oraz w uzyskanych kompostach przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Zawartość metali ciężkich

Tab. 2. The content of heavy metals

metal	Jednostka	Osady przemysłowe	Osady komunalne	Kompost I	Kompost II
Pb	mg/kg s.m.	0,17	0,62	0,07	0,25
Cd	mg/kg s.m.	0,01	0,031	0,003	0,013
Ni	mg/kg s.m.	0,47	1,7	0,28	0,57
Cr	mg/kg s.m.	53,2	50,4	45,5	53,2
Hg	mg/kg s.m.	0,3	0,2	0,2	0,1

Z przeprowadzonych badań wynika, że zarówno kompost I jak i II spełnia wymagania określone przez Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi [2008] dla nawozów organicznych.

### Parametry fizyczno-chemiczne

Substraty wykorzystane do badań i uzyskane produkty poddano analizie fizyczno-chemicznej. Badania prowadzone były głównie pod kątem zawartości związków organicznych, fosforu i azotu, oraz określenia ilorazu C/P i C/N, parametrów określających efektywność procesu oraz jakość kompostu. Oznaczono procentową zawartość suchej masy i suchej masy organicznej; parametry te świadczą o stopniu dojrzałości produktu. W tabeli 3 zestawiono wyniki badań fizyczno-chemicznych mieszaniny poddawanej procesowi kompostowania oraz uzyskanych kompostów. Wyniki wskazują, że podczas prowadzenia procesu kompostowania w obu przypadkach nastąpił spadek wilgotności kompostu w stosunku do wartości początkowej, spowodowany utratą wody poprzez parowanie. Zaobserwowano również spadek stężenia azotu, fosforu i węgla organicznego oraz zmniejszenie się wartości suchej masy organicznej.

Wartości ilorazu węgla do azotu w kompoście wskazują, że ze względu na niską zawartość azotu mineralizacja mogła być hamowana. Przedział w jakim powinien być iloraz C/N to 25/1 – 60/1. Stosunek C/P wskazuje na niską zawartość fosforu. Optimum tego parametru na początku procesu powinno wynosić C/P=100.

Tab. 3. Wyniki badań fizyczno-chemicznych  
 Tab. 3. Results of physic-chemical tests

Parametr	Jednostka	Mieszana I	Kompost I	Mieszana II	Kompost II
Sucha masa	%s.m	39	57	32	43
Sucha masa organiczna	% s.m.	7,9	64	48	34
pH	-	61	7,6	8,11	7,74
Wilgotność	%	53	48	68	57
C	%sm	54	33	59	45
N	% s.m	2,96	2,87	2,9	2,72
P	% s.m	0,67	0,57	0,75	0,48
C/N	-	18,2	11,8	21,0	20,9
C/P	-	80,6	58	78,7	93,8

### Badania mikrobiologiczne i parazytologiczne

Badania mikrobiologiczne prowadzono w warunkach laboratoryjnych metodą posiewów na odpowiednio spreparowanych podłożach. Badania parazytologiczne pod kątem obecności żywych jaj pasożytów prowadzone były z uwagi na udział osadów ściekowych. Uzyskane wyniki badań przedstawiono w tabeli 4. W żadnej próbce kompostu nie stwierdzono obecności żywych jaj pasożytów.

Miano *Coli* w próbce I wynosiło 0,01, a w próbce II 0,001. W obu przypadkach wykryto obecność bakterii psychrofilowych i termofilowych. Nie stwierdzono obecności bakterii *Salmonella*. Ilość żywych jaj *Ascaris* w próbie I wynosiła 63, w próbce II – 55. Liczba jaj *Trichuris* w przypadku próbki I wynosiła 67, w próbce II 52. Liczba jaj *Toxocara* w próbce I – 125, w próbce II – 120. Po procesie kompostowania uzyskano produkty, w których stwierdzono zmniejszenie się liczby bakterii psychrofilowych i termofilowych oraz nie stwierdzono obecności bakterii kałowych oraz jaj pasożytów. Higienizacja jest spowodowana wzrostem temperatury powyżej 60°C i utrzymującej się przez ok. 3 dni. Większość bakterii zostaje dezaktywowana w wysokotemperaturowym etapie procesu. Ponadto wraz z upływem czasu kompostowania maleje zawartość składników odżywczych.



Tab. 4. Wyniki analiz mikrobiologicznych i parazytologicznych  
 Tab. 4 Microbiological and parasitological tests results

Parametr	Mieszana I	Kompost I	Mieszana II	Kompost II
Bakterie termofilne – ilość żywych bakterii w 1 ml próbki	$5 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^3$
Bakterie psychrofilne – ilość żywych bakterii w 1 ml próbki	$7 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^3$
Miano <i>E. Coli</i>	$10^{-2}$	nie stwierdzono	$10^{-3}$	nie stwierdzono
<i>Salmonella s.p.</i>	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
Żywe jaja <i>Ascaris s.p.</i> [liczba jaj /kg s.m]	63	nie stwierdzono	55	nie stwierdzono
Żywe jaja <i>Toxocara s.p.</i> [liczba jaj /kg s.m]	125	nie stwierdzono	120	nie stwierdzono
Żywe jaja <i>Trichuris s.p.</i> [liczba jaj /kg s.m]	67	nie stwierdzono	52	nie stwierdzono

#### PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczące unieszkodliwiania komunalnych osadów ściekowych z dodatkiem osadów z przemysłu mleczarskiego w procesie kompostowania. Sporządzono dwie próby, które poddano procesowi kompostowania. W każdym eksperymencie udział osadów przemysłowych wynosił 10%, natomiast zmieniał się udział komunalnych osadów ściekowych w próbie I – 20%, a w próbie II – 35%. Uzyskane wyniki badań pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- Uzyskany kompost charakteryzował się zbyt wysoką wilgotnością rzędu 48-58%. Spowodowane to było niedostatecznie długim czasem leżakowania kompostu. Konieczne jest poddanie uzyskanego produktu dalszej stabilizacji.
- W badanych próbach zaobserwowano nieprawidłowy stosunek C/N i C/P świadczący o niskim stężeniu azotu i fosforu oraz konieczności uzupełnienia wsadu składnikami bogatymi w te pierwiastki. Większe zawartości tych składników zawierają osady ściekowe pochodzące ze spółdzielni mleczarskiej, co wskazuje na konieczność zmniejszenia udziału komunalnych osadów ściekowych, natomiast zwiększenia ilości osadów przemysłowych.
- Uzyskana i utrzymująca się przez kilka dni wysoka temperatura masy kompostowej spowodowała zmniejszenie się liczby bakterii termofilowych i psychrofilowych, a także na pełną higienizację w zakresie *Salmonelli*, bak-

terii kałowych i jaj pasożytów *Ascaris*, *Trichuris* i *Toxocara* otrzymanych kompostów.

- Otrzymane komposty z komunalnych osadów ściekowych i przemysłowych osadów ściekowych mogą być w pełni wykorzystane na cele rolnicze po okresie dojrzewania, spełniając wymagania określone w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu, Dz.U. 2008 nr 119, poz. 765, 2008.

#### LITERATURA

1. BIEŃ J.B.: *Osady ściekowe. Teoria i praktyka*. Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007
2. MANCZARSKI P.: *Forum Technologii Ochrony środowiska nt. Kompostowanie odpadów komunalnych*, Poleko. Poznań 2007
3. SIDEŁKO R.: *Kompostowanie – optymalizacja procesu i prognoza jakości produktu*. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2005
4. JĘDRCZAK A.: *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. PWN. Warszawa, 2007
5. SCHEGIEL H.G.: *Mikrobiologia ogólna*. Wyd. nauk. PWN Warszawa. 2004
6. USTAWA o nawozach i nawożeniu. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 1 czerwca 2001 w sprawie wykonania niektórych przepisów Ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz. U. Nr 60, poz 615)
7. STROCZYŃSKA M, KŁAPEĆ T.: *Wytyczne metodyczne (mikrobiologiczne i parazytologiczne) do oceny sanitarnej gleby*. Instytut Medycyny Wsi. Lublin 1995
8. HERNANDEZ T., MASCIANDARO G., MORENO J.I., GARCIA C., *Changes in organic matter composition during composting of two digested sewage sludges*, Waste Management 26, 1370-1376, Elsevier 2006
9. MAĆKOWIAK C.: *Nawozowa użyteczność osadów ściekowych w świetle badań IUNG*. Mat. nt. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. IUNG, Puławy
10. ROZPORZĄDZENIE Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu, Dz.U. 2008 nr 119, poz. 765, 2008

## THE POTENTIAL FOR AGRICULTURAL UTILIZATION OF SLUDGE FROM THE DAIRY INDUSTRY

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

*This article contains the results of research conducted at the Institute of Environmental Engineering Technical University of Czestochowa for the possibility of composting municipal sewage sludge, and the dairy industry sludge with other substrates to maintain quality allowing for agricultural use of the resulting product. Two mixtures with variables addition of sewage sludge, industrial sewage sludge, grass and bulking agent were composted in lab-scale bioreactors during 30 days. Decrease in the C/N ratios indicates that the composting process ran correctly however it didn't reach low enough values. It was found that the temperature level achieved was sufficient to fully hygienization in obtained composts. Preliminary studies indicate the validity of the composting process as a method for disposal sludge and recycling of valuable organic substances contained in them into the environment.*

Keywords: sewage sludge, compost, composting