

Jacek CZEKAŁA¹, Waldemar FERDYKOWSKI², Zbyszek ZBYTEK³

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Gleboznawstwa

e-mail: jczekala@au.poznan.pl

² Miejski Zakład Gospodarki Komunalnej, Czarnków, Sp. z o.o.

³ Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych, Poznań

e-mail: zbytek@pimr.poznan.pl

ECOLOGICAL MANAGEMENT OF HEMP WASTES UNDER SEWAGE SLUDGE COMPOSTING

Summary

The purpose of the investigations was to assess the possibility of using hemp wastes as a biodegradable waste under sewage sludge composting. Studies were undertaken on the compost heap belonging to MZK in Czarnków. The composting process lasted 110 days, and the maturation, next 250 days. The compost heap, before transferring to the period of maturation stage was divided into two parts: one was covered with a special thermopermeable foil, whereas the second one was kept uncovered throughout the whole maturation process. The aim of this practice was to evaluate the influence of weather conditions on the chemical composition of the composts. It was found that the tested composts exhibited a high fertilizer value, irrespective of composting conditions, without significant differences in the composition. Composts were characterized by high nitrogen content, but they fulfilled requirements for their agricultural application due to the low heavy metals content, markedly below the permissible guidelines. Investigations have revealed, that hemp wastes are a valuable component for sewage sludge composting. But due to their nitrogen content, their share in the biomass for composting should not exceed 50% in order to increase the pool of biosolids with large C:N ratio, and components enhancing the aeration of the heap.

EKOLOGICZNE ZAGOSPODAROWANIE ODPADU Z KONOPI W KOMPOSTOWANIU OSADU ŚCIEKOWEGO

Streszczenie

Celem badań było określenie możliwości wykorzystania odpadu z konopi, jako odpadu biodegradowalnego, w kompostowaniu osadu ściekowego. Badania przeprowadzono na terenie kompostowni przyrmowej, otwartej należącej do MZK w Czarnkowie. Proces kompostowania trwał do 110 dnia, dojrzewania dalsze 250 dni. Przed przeniesieniem kompostu na okres fazy dojrzewania, przymę podzielono na dwie części; jedna została przykryta specjalną folią termoprzepuszczalną, druga była odkryta w całym okresie dojrzewania kompostu. Celem takiego zabiegu było określenie ewentualnego wpływu warunków pogodowych na skład chemiczny kompostów. Wykazano dużą wartość nawozową kompostów, bez istotnych różnic w składzie w zależności od warunków kompostowania. Komposty charakteryzowały się dużą zasobnością w azot i całkowicie spełniały warunki ich rolniczego wykorzystania pod względem zawartości metali ciężkich, których poziom kształtował się znacząco poniżej obowiązujących norm. Badania wykazały, że odpad z konopi jest pełnowartościowym komponentem do kompostowania osadów ściekowych, ale ze względu na zawarty w nim azot jego udział w kompostowanej masie winien wynosić do 50%. Jednocześnie zaleca się zwiększenie udziału bioodpadów o szerokim stosunku C : N i właściwościach poprawiających strukturalność przymy.

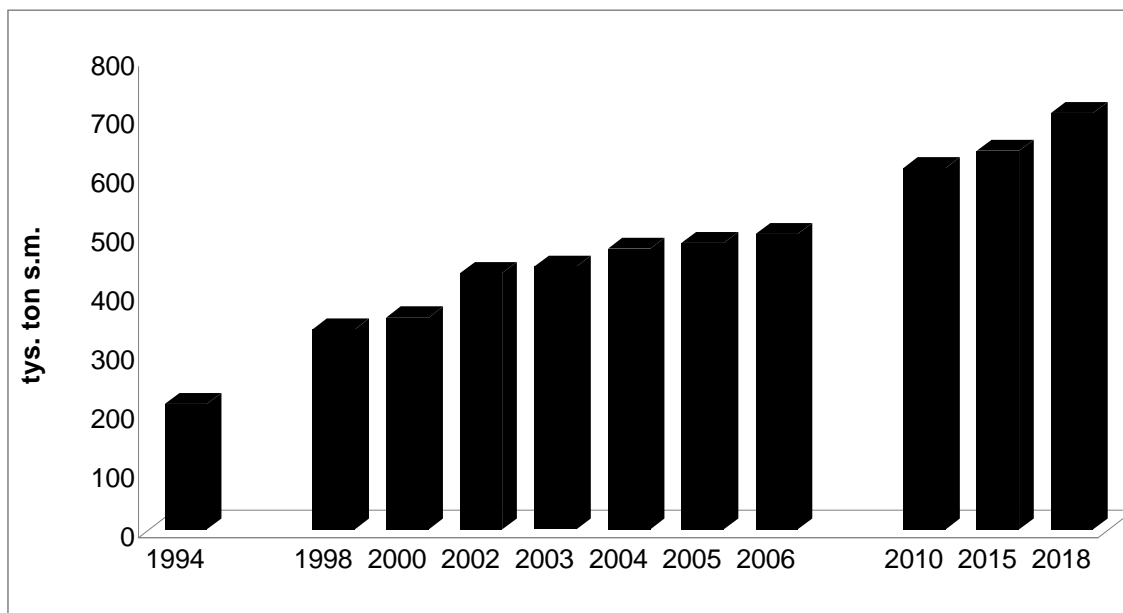
1. Wstęp

Racjonalne zagospodarowanie odpadów w Polsce staje się obecnie jednym z najważniejszych problemów społecznych, ekologicznych i ekonomicznych. Wśród odpadów dużo miejsca poświęca się komunalnym osadom ściekowym, których masa wzrasta z każdym rokiem (rys. 1). Problem utylizacji osadów jest szczególnie istotny ze względu na ich właściwości. Z jednej strony osady zawierają cenne pod względem rolniczym składniki, co kwalifikuje je jako materiał nawozowy [2, 5, 15, 16, 19], z drugiej są nośnikiem zanieczyszczeń mineralnych i organicznych [3,4, 6, 10, 14, 20].

Zanieczyszczenia te są często powodem ograniczonych możliwości wykorzystania osadów w rolnictwie. Biorąc jednocześnie pod uwagę aspekt higienizacyjny osadów, w wielu krajach osady podlegają bardzo rygorystycznym normom prawnym. W Polsce kwestie te reguluje Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 31 sierpnia 1999 ro-

ku [22] z późniejszymi zmianami [23]. Mając natomiast na uwadze między innymi ilości zanieczyszczeń organicznych w osadach, z których wiele charakteryzuje się właściwościami teratogennymi, mutagennymi i rakotwórczymi, w niektórych krajach rozważa się możliwość ograniczenia stosowania osadów w rolnictwie lub ich całkowity zakaz. W Szwajcarii przeprowadzone ograniczenia dotyczą stosowania osadów pod uprawy roślin paszowych i warzyw (od 2003 r.), a od 2006 roku pod inne rośliny, przy czym wszystkie kantony będą musiały dostosować swoje prawo najpóźniej do jesieni 2008 roku [24]. Zaostrzone normy dotyczące osadów mają również miejsce w Austrii i Niemczech.

Z drugiej strony należy mieć na uwadze działania Unii Europejskiej, zakazujące składowania odpadów o zawartości materii organicznej powyżej 5%, z różnym okresem realizacji dla niektórych państw. Bez względu na przesunięcia czasowe, dla Polski oznacza to w najbliższej przyszłości dodatkowy poważny problem z zagospodarowaniem osadów.



Rys. 1. Masa komunalnych osadów ściekowych wytwarzanych w Polsce
 Fig. 1. Mass of the municipal sewage sludge produced in Poland

Tab. 1 Wybrane właściwości osadu ściekowego, odpadu konopi i słomy
 Table 1. Selected properties of sewage sludge, hemp waste and straw

Wyszczególnienie <i>Specification</i>	Jednostka <i>Unit</i>	Osad ściekowy <i>Sewage sludge</i>	Odpad konopi <i>Hemp waste</i>	Słoma <i>Straw</i>
Sucha masa <i>Dry matter (DM)</i>	$g \cdot kg^{-1}$	120,2	776,2	904,4
Materia organiczna <i>Organic matter (OM)</i>	$g \cdot kg^{-1}$ s.m.	689,4±15,44	954,0±9,65	961,0±4,96
Węgiel organiczny (C_{org}) <i>Organic carbon</i>		488,0±3,24	416±2,44	417,5±0,67
Azot ogólny (N_{og}) <i>Total N (N_{tot})</i>		57,09±0,86	10,05±0,35	5,46±0,15
C : N		$g \cdot kg^{-1}$ DM	8,55	41,39
Fosfor ogólny (P_{og}) <i>Total P</i>	$g \cdot kg^{-1}$ DM	22,14±0,38	1,05±0,11	1,26±0,06
Wapń ogólny (Ca_{og}) <i>Total Ca</i>		22,43±0,57	8,29±0,12	3,39±0,06
Cd		$mg \cdot kg^{-1}$ s.m.	1,74±0,06	0,23±0,04
Cr	33,2±1,27		2,97±0,24	1,11±0,09
Cu	158,8±1,36		16,5±0,24	6,30±0,34
Ni	21,2±0,54		2,74±0,08	0,93±0,02
Pb	24,59±0,87		2,05±0,11	1,22±0,06
Zn	627,1±12,66		72,5±1,76	25,9±0,79

Do zagospodarowania pozostają również inne odpady, wśród nich między innymi odpady papiernicze, z drewna czy przetwórstwa wielu roślin. Wśród tych ostatnich są odpady z konopi, pozostałość przy produkcji płyt.

W Czarnkowie odpady z konopi zagospodarowane są w różny sposób. Jednym z nich jest wykorzystanie ich, jako dodatku do osadów ściekowych w procesie kompostowania. Ponieważ brak danych o działaniu powyższego odpadu, jako komponentu kompostów, podjęto badania mające na celu określenie właściwości kompostu powstałego z udziałem osadów i odpadu konopi.

2. Materiał i metody

Badania przeprowadzono w 2007 roku na terenie kompostowni otwartej należącej do MZK w Czarnkowie. Pry-

zma utworzona została z osadu ściekowego, stanowiącego 32,8% (1262 kg suchej masy), z odpadu konopi (2391 kg s.m.), którego udział w kompostowanej masie wynosił 60,4% i słomy (253 kg s.m.) o 6,8% udziale w przeliczeniu na suchą masę. Słoma dodana została głównie jako materiał strukturalny przymy.

Zastosowane komponenty charakteryzowały się zróżnicowanym składem chemicznym, co ilustruje tab. 1.

Przygotowane komponenty ułożono warstwami: słoma-osad-konopie, po czym całość przerzucono przy użyciu aeratora ciągnikowego. Aerator ciągnikowy spełniał jednocześnie trzy cele: przerzucał, napowietrzył i rozdrabniał kompostowaną masę. Ze względu na masę objętościową, odpad konopi dodano w dwóch partiach w odstępach tygodnia. Przerzucanie przymy odbywało się raz w tygodniu

przez pierwszy miesiąc kompostowania, w dalszym etapie w zależności od temperatury kompostowej masy. Całość kompostowano przez 110 dni, po czym pryzmę przeniesiono na miejsce jej dojrzewania, trwającego 250 dni.

Jednocześnie pryzmę podzielono na dwie części, z których jedna była odkryta w czasie dojrzewania folią termoprzepuszczalną, druga pozostała odkryta, celem zbadania ewentualnego wpływu czynników atmosferycznych na jakość kompostu.

Próbki kompostu dojrzałego poddano badaniom obejmującym następujące parametry:

- sucha masa – metodą suszarkową w tem. 105°C,
- odczyn- $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ – konduktometrycznie,
- materia organiczna – przez spoielenie w temp. 550°C,
- węgiel organiczny – metodą utleniająco-miareczkową (oksydometryczną) z dichromianem(VI) potasu w środowisku kwaśnym,
- azot ogólny – metodą Kjeldahla.

Wysuszony materiał kompostów spoielono w piecu muflowym w temperaturze 550°C, a popiół rozpuszczono w roztworze 3 mol·dm⁻³ HCl na gorąco przez 3 godziny pod przykryciem. Całość przesączono do probówek o objętości 15 cm³ i uzupełniono wodą destylowaną. W tak przygotowanych przesączach oznaczono:

- fosfor – kolorymetrycznie, z metawanadnianem,
- wapń – metodą emisyjnej spektrometrii atomowej,
- pierwiastki śladowe absorpcyjną spektrometrią atomową (ASA).

Poza tym wykonano badania wyciągów wodnych kompostów, przy stosunku kompost : roztwór 1:10. Odważono 20 g świeżej masy kompostów (trzy powtórzenia), które po ich przeniesieniu do kolbek stożkowych zadano 200 cm³ wody podwójnie destylowanej i wytrząsano przez 2 godziny. Całość sączono i oznaczono zawartość:

- węgla organicznego ($\text{C}_{\text{org w}}$) metodą oksydometryczną,
- azot ogólny wyciągu ($\text{N}_{\text{og.w}}$) metodą Kjeldahla,
- azot amonowy – metodą destylacyjną z MgO,
- azot azotanowy(V)- metodą destylacyjną ze stopem Devarda,

- przewodność elektrolityczną oznaczono konduktometrem typu Orion, model 140

3. Wyniki i dyskusja

Kompostowanie osadów ściekowych z różnymi dodatkami organicznymi stwarza możliwość zmian właściwości, struktury, jak i wartości nawozowej produktów wyjściowych [18]. Autorzy kompostując osad ściekowy z różnymi organicznymi komponentami przez okres 7 miesięcy wskazali na korzystne kierunki zmian zachodzące w składzie chemicznym kompostów, przez co produkty końcowe charakteryzowały się właściwościami umożliwiającymi ich rolnicze zagospodarowanie.

Wyniki przedstawione w tab. 2 dowiodły, że w warunkach przeprowadzonego doświadczenia czynnik pogodowy nie miał istotnego wpływu na wartość nawozową kompostu. Biorąc pod uwagę zarówno zawartości makro-, jak i mikrośladników w obu kompostach można domniemywać, że kompost stosunkowo szybko zmieniał swoją strukturę w stosunku do komponentów wyjściowych. Pozwalało to na ograniczanie lub całkowite zapobieganie ich wymyciu. Tym bardziej, że dojrzewanie kompostów odbywało się w okresie jesienno-zimowym. Pewna rola w tych procesach przypadła niewątpliwie powstającym kompleksom próchniczno-mineralnym, których ilość na ogół wzrasta z czasem kompostowania [7]. Nie można wykluczyć jednak pewnych strat składników, jakie miały miejsce we wcześniejszym okresie kompostowania, a związane z ich zawartością w odciekach kompostów. Odcieki te pojawiały się po osiągnięciu przez kompost temperatury około 40°C, co być może związane jest z uwalnianiem się wody silniej związanej w osadach.

Zawartość węgla organicznego w kompostach, wynosiła odpowiednio 261,0 i 257,4 g·kg⁻¹ s.m., przy zawartości materii organicznej rzędu 620,5 oraz 620,1 g·kg⁻¹. (tab. 2). Odpowiada to udziałowi C_{org} w materii organicznej wynoszącej 42,0% i 41,5%.

Tab. 2. Skład chemiczny kompostów
Table 2. Chemical composition of composts

Parametr - Parameter	Jednostka Unit	Kompost - Compost	
		przykryty - covered	odkryty - uncovered
pH	-	6,38	6,43
Sucha masa – Dry matter	g·kg ⁻¹	406,4	399,6
MgO	g·kg ⁻¹ s.m.	620,5	620,1
C_{org}	g·kg ⁻¹ DM	261,0±10,02	257,4±1,70
N_{tot}		27,69±0,02	30,72±0,65
C : N	-	9,42	8,37
P	g·kg ⁻¹ s.m.	21,63±0,25	21,89±1,35
K		17,05±0,03	17,22±0,08
Ca	g·kg ⁻¹ DM	30,76±0,23	30,88±0,35
Mg		7,50±0,14	7,25±0,35
Na		3,24±0,04	3,28±0,20
Cd	mg·kg ⁻¹ s.m.	1,12±0,01	1,12±0,15
Cr		(3)	23,77±0,43
Cu		133,8±4,45	110,6±28,50
Ni		18,2±0,84	18,10±0,85
Pb	mg·kg ⁻¹ DM	28,40±2,94	24,70±0,85
Zn		(100)	455,0±3,34
Fe		24318,3±315,0	24110,8±1002,0

*Dopuszczalne zawartości według norm polskich; Permissible contents according to Polish guidelines

Uzyskane zawartości węgla organicznego w kompostach, to wynik intensywnego rozkładu kompostowanej masy, wynikający z obecności słomy, ale głównie konopi. Odpad ten, w odróżnieniu od pozostałych komponentów, charakteryzował się większą rozpuszczalnością związków azotu, wynoszącą około 18,8% zawartości całkowitej, wobec 0,28% dla osadu i 8,7% dla słomy oraz związków węgla (dane niepublikowane). Właściwości te wespół z napowietrzaniem przyzmy podczas jej przerzucania sprzyjały prawdopodobnie intensywniejszemu rozkładowi materii organicznej. Pod uwagę wziąć należy również względnie duży udział popiołu, a więc części mineralnej, pochodzącej głównie z osadu, którego średnia zawartość wynosiła $310,6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. (tab. 1). To mogło być jedną z przyczyn względnie wąskiego stosunku C : N (11,43) formowanej przyzmy wyjściowej. Wartość powyższa obliczona w oparciu o dane analiz chemicznych nie odpowiadała wcześniej wykonanym wyliczeniom teoretycznym. Różnice te są często spotykane i występują najczęściej właśnie w badaniach kompostów w warunkach naturalnych. Inaczej przedstawia się to z kolei w doświadczeniach laboratoryjnych, w których kompostowanie odbywa się w pojemnikach o małej objętości i z wykorzystaniem niewielkich ilościowo mas komponentów. Poza tym w takich warunkach nie ma oddziaływania czynnika pogodowego.

W opracowaniach na temat kompostowania od wielu lat panuje pogląd, że właściwy stosunek C : N w wyjściowym materiale winien wynosić 30-25 : 1 [1]. Jednakże wieloletnie badania prowadzone nad tym zagadnieniem w Katedrze Gleboznawstwa UP w Poznaniu dowiodły, że uzyskanie takiej wartości w obecności komponentu, jakim jest osad ściekowy jest bardzo trudne, często wręcz niemożliwe, chcąc zapewnić 60%-70% jego udział w kompostowanej masie [17]. Spowodowane jest to na ogół dużą zasobnością osadów w azot.

Zasygnalizowany problem występuje często w praktyce kompostowania i związany jest m.in. z dostępnością odpadów organicznych, jak i z ich ceną zakupu. To wszystko rzutuje bowiem na stronę ekonomiczną produktu końcowego. Najczęściej dotyczy to właśnie słomy i trocin.

Wąski stosunek C : N w komponentach przyzmy wyjściowej miał niewątpliwie wpływ na dynamikę transformacji związków organicznych w procesie kompostowania, z którą wiążą się m.in. straty azotu. I to mogło być przyczyną względnie niskiej zawartości tego składnika w kompostach dojrzałych (tab. 2). Chociaż z drugiej strony kształtowanie się relacji między węglem i azotem wynika również z właściwości i składu chemicznego osadu o czym świadczą wyniki badań Krzywego i in. [18]. Nie zmienia to faktu, że optymalna wartość stosunku węgla do azotu wpływa również na kierunki przemian materii organicznej, determinowane m.in. składem mikroorganizmów. Ma to związek się z ilością i szybkością degradacji hemicelulozy, celulozy, itp. [9].

Uważa się często, że wartość stosunku C : N w kompoście dojrzałym winna być zbliżona do 10 : 1, a więc takiej, jaka występuje w próchnicy. Jednak kryterium powyższe wydaje się mieć wyłącznie charakter orientacyjny, biorąc pod uwagę dużą różnorodność samych komponentów wyjściowych pod tym względem.

Wytworzone komposty były zasobne w makroskładniki (tab. 2), szczególnie w fosfor i wapń. Zawartość fosforu, bez względu na formę przechowywania kompostu, była podobna i wynosiła 30,76 i 30,88 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. Zasobność fosforu w kompostach wynika głównie z jego obecności

w osadach, które zwierają średnio 22,14 $\text{g} \text{ P} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. Biorąc pod uwagę przetworzoną formę osadu, otrzymane komposty z jego udziałem mogą być dobrym źródłem fosforu dla roślin i należałoby uwzględnić jego ilości wprowadzone do gleby w bilansie nawozowym. Z drugiej strony pozwoli to racjonalniej gospodarować fosforem oraz zmniejszyć jego udział w stosowanych nawozach mineralnych. To z kolei ma bezpośrednie przełożenie ekologiczne związane z wytwarzaniem tej grupy nawozów. Poza tym coraz częściej wspomina się o konieczności zwrócenia większej uwagi na alternatywne źródła fosforu dla rolnictwa, ze względu na ograniczone zasoby surowca, jakim są fosforyty.

Trudna jest ocena wartości nawozowej samego kompostu w ujęciu zawartości makroskładników wobec braku kryteriów takiej oceny w polskim prawodawstwie. Co prawda niektórzy autorzy odwołują się do normy branżowej BN-89/9103-09, ale jest ona zdezaktualizowana i nie odnosi się do kompostów wytworzonych na bazie osadów. Niezależnie od tego wyniki przedstawione w tab. 2 świadczą o dobrej wartości nawozowej wytworzonych kompostów, tym bardziej, że i pod względem sanitarnym komposty były całkowicie czyste.

Również zawartości metali ciężkich w kompostach mieściły się poniżej granicznych, dopuszczalnych norm (tab. 2). Ilości te stanowiły od 23,2% (chromu) do 60,6% (nikiel). Pozostawienie przyzmy bez przykrycia na okres dojrzewania, nie miało wpływu na zawartości metali ciężkich, z wyjątkiem miedzi, której było mniej o około 11%, w porównaniu z kompostem przykrytym. Jedną, ale istotną przyczyną wykazanych różnic ilościowych miedzi między kompostami mogło być wymywanie jej związków wraz z odciekami, jakie pojawiały się w większych ilościach właśnie w przyzmy odkrytej. Niezależnie jednak od tego w warunkach doświadczenia uzyskany kompost z udziałem osadu i odpadu konopi spełniał wymogi jakościowe dotyczące zanieczyszczeń mineralnych związanych z obecnością metali ciężkich.

W ocenie kompostów często uwzględnia się również zdolność rozpuszczania się w wodzie składników. Pod uwagę bierze się między innymi zawartość mineralnych form azotu (N-NH_4 i N-NO_3), których wzajemne relacje zmieniają się z czasem kompostowania. W początkowych okresach rozkładu przeważa azot amonowy, w okresie dojrzewania natomiast azot azotanowy(V). Relacje między tymi formami N stanowią często wskazówkę dojrzałości kompostu. Jednakże na uwagę należy mieć również aspekt ekologiczny kompostów wynikający z zawartości w nich azotanów(V), które mogą być źródłem zagrożeń dla środowiska po wprowadzeniu kompostów do gleby.

Przy względnie stabilnych ilościach rozpuszczalnych związków węgla i azotu ogólnego w obu kompostach, silnie zróżnicowane były natomiast zawartości mineralnych form azotu. W kompoście przykrytym mała zawartość azotu amonowego ($0,13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) i duża azotu azotanowego ($3,23 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) świadczą o prawidłowym przebiegu procesu dojrzewania kompostu. Natomiast nie można tego powiedzieć o kompoście odkrytym. Duża zawartość azotu amonowego ($2,81 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) i nieco mniejsza azotanowego ($1,52 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) wskazują na jeszcze nie zakończony proces dojrzewania kompostu i nadal zachodzące w nim przemiany. Może to wynikać między innymi z większego dostępu powietrza do przyzmy. Wynik ten jest cenną wskazówką w kwestii postępowania z kompostem pozostającym w okresie jesienno-zimowym na wolnym powietrzu.

Tab. 3. Zawartości wodnorozpuszczalnych form makroelementów w kompostach dojrzałych
 Table 3. Content of watersoluble forms of macroelements in mature compost

Parametr - Parameter	Jednostka - Unit	Kompost - Compost	
		przykryty - cover	odkryty - uncover
Przewodność - Conductivity	$\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	2205±91,92	2115±7,07
C_{org}	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.	5,13±0,05	6,00±0,42
N_{tot}	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ DM	0,86±0,00	0,92±0,08
C : N	-	5,96	6,52
N-NH ₄	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.	0,13±0,01	2,81±0,21
N-NO ₃	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ DM	3,23±0,15	1,52±0,11
N-NH ₄ w N _{og} ; N-NH ₄ in N _{tot}	(%)	0,46	9,15
N-NO ₃ w N _{og} ; N-NO ₃ in N _{tot}		8,38	4,95
P	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.	0,55±0,02	0,38±0,05
K		1,09±0,00	0,97±0,01
Ca		1,09±0,01	0,69±0,07
Mg	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ DM	1,02±0,04	0,50±0,13
Na		0,30±0,01	0,31±0,01

Z analizy danych dotyczących zawartości makroskładników ogólnych i wodnorozpuszczalnych (tab. 2 i 3) wynika, że udział rozpuszczalnych składników nie był jednakowy w obu kompostach. Na ogół rozpuszczalność pierwiastków (z wyjątkiem sodu) była większa w kompoście przykrytym na czas fazy dojrzewania.

Przykładowo, dla fosforu rozpuszczalność wynosiła odpowiednio 2,54% i 1,75%, a dla magnezu 13,53% i 6,95%. Niektórzy autorzy [8] różnice te wiążą z uwilgotnieniem kompostów. Z ich badań wynika, że w warunkach większego uwilgotnienia kompostów zmniejszała się ilość makroskładników w substancji rozpuszczonej. Wyniki naszych badań dowiodły odmiennej zależności. Jednakże przedstawione dane dotyczą kompostów względnie ustabilizowanych, tym samym nie oddają dynamiki ich zmian w całym procesie kompostowania. A przecież wiąże się to z rozkładem materii organicznej i uwalnianiem każdego ze składników. Wskazuje to również na ich potencjalną ruchliwość, a więc i dostępność. Podczas kompostowania odpadów komunalnych [7] autorzy stwierdzili duży spadek rozpuszczalności związków fosforu i wapnia z upływem czasu kompostowania, jako jedynych z makroskładników. Inne pierwiastki, wykazując podobną tendencję, charakteryzowały się jednak mniejszą dynamiką zmian. Należy jednak pamiętać o całkowicie innym składzie komponentów w odpadach komunalnych w odróżnieniu od osadów ściekowych. Tak ujmując problem można stwierdzić, że rozpuszczalność makroskładników nie była mała, o czym świadczy względnie duża przewodność wyciągów wodnych obu kompostów, wynosząca ponad 2000 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$. Potwierdzeniem takiej możliwości są badania osadu ściekowego przeprowadzone przez innych autorów [21]. Przedstawione przez nich dane dowodzą, że w zasadzie przez cały okres kompostowania (90 dni) miało miejsce uwalnianie kationów. Stwierdzono jednak, że tempo tego uwalniania było różne dla każdego z nich, w całym okresie badawczym zjawisku temu odpowiadała zwiększona przewodność wyciągów wodnych. Z kolei Hury i Kiepas-Kokot [11] zaobserwowali wzrost wartości przewodnictwa właściwego wraz ze spadkiem udziału słomy w kompostowanym osadzie ściekowym.

4. Wnioski

Przeprowadzone badania upoważniają do wyprowadzenia następujących wniosków:

1. Odpad z konopi, ze względu na swój skład chemiczny, okazał się dobrym dodatkiem do kompostowania osadu ściekowego, zapewniając szybki i właściwy przebieg procesu.
2. Mając na uwadze zawartość azotu, jak i stosunek C : N w odpadzie z konopi jego udział w kompostowanej mieszance nie powinien przekraczać 50% na rzecz zwiększonego udziału słomy lub innego materiału zapewniającego lepszą strukturalność pryzmy.
3. Mając na uwadze relacje ilościowe mineralnych form azotu w kompostach w fazie dojrzewania, przypadającego na okres jesienno-zimowy korzystniejszą jest przykryć pryzmę folią termoprzepuszczalną, co uniezależnia ją od wpływu warunków pogodowych.
4. Kompost wytworzony z udziałem odpadu z konopi charakteryzuje właściwy pod względem nawozowym skład chemiczny oraz niewielka zawartość metali ciężkich.

5. Literatura

- [1] Baran S., Drozd J. Odpady komunalne oraz kierunki ich unieszkodliwiania i utylizacji. Komposty z odpadów komunalnych. Produkcja, wykorzystanie i wpływ na środowisko" (red. Drozd J.), PTSH, Wrocław: 7 - 27, 2004.
- [2] Baran S., Turski R. Wybrane zagadnienia z utylizacji i unieszkodliwiania odpadów. Wyd. AR w Lublinie, 1995.
- [3] Bernacka J., Pawłowska L. Substancje potencjalnie toksyczne w osadach komunalnych oczyszczalni ścieków. Monografia. IOŚ, Warszawa, 2000.
- [4] Bień J. Osady ściekowe. Teoria i praktyka. Wyd. Politechniki Częstochowskiej, 2007.
- [5] Czekala J. Wybrane właściwości osadów ściekowych z oczyszczalni regionu wielkopolski. Cz. I. Odczyn, sucha masa, materia organiczna i węgiel organiczny oraz makroskładniki. Acta Agrophysica, 70: 75-82, 2002.

- [6] Czekala J., Jakubus M. Metale ciężkie oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne integralnymi składnikami osadów ściekowych. *Folia Univ. Agric. Stein*. 200 Agricultura (77): 39-44, 1999.
- [7] Drozd J., Licznar M. Wpływ uwilgotnienia odpadów miejskich na zawartość różnych form makroelementów. *Acta Agrophysica*, 70: 107-116, 2002.
- [8] Drozd J., Licznar M. Zmiany makro- i mikroskładników w czasie kompostowania odpadów komunalnych w różnych warunkach uwilgotnienia i przy różnym dodatku mocznika. „Komposty z odpadów komunalnych. Produkcja, wykorzystanie i wpływ na środowisko” (red. Drozd J.), PTSH, Wrocław:151-170, 2004.
- [9] Eiland F., Klamer M., Lind A.-M., Leth M., Baath E. Influence of initial C/N ratio on chemical and microbial composition during long term composting of straw. *Microbial Ecology*, 41, 272-280, 2001.
- [10] Harrisom E.Z., Oakes S.R., Hysell M., Hay A. Organic chemicals in sewage sludges. *The Science of the Total Environment*, 367: 481-497, 2006.
- [11] Hury G., Kieras-Kokot A. Wykorzystanie przewodnictwa właściwego do oceny przemian jakościowych w osadach ściekowych podczas kompostowania i wermikompostowania. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 484: 20-209, 2002.
- [12] Janosz-Rajczyk M., Dąbrowska L., Rosińska A., Płoszaj J., Zakrzewska E. Zmiany ilościowo-jakościowe PCB, WWA i metali ciężkich w kondycjonowanych osadach ściekowych stabilizowanych biochemicznie. Wyd. Politechniki Częstochowskiej, 2006.
- [13] Kalembasa S. Rolnicze wykorzystanie osadów ściekowych. W: *Substancje humusowe w glebach i nawozach*. PTSH, Wrocław, 6: 75-94, 2003.
- [14] Klärschlammverbot: Sinnvoll, aber mehr Zeit einräumen. *PUSCH, Thema Umwelt*, 3: 24-25, 2002.
- [15] Krzywy E., Wołoszyk Cz. Charakterystyka chemiczna i możliwość wykorzystania koprodukcji kompostów osadów ściekowych z miejskich oczyszczalni. *Zesz. Nauk. AR Szczecin*, 177 (62): 265-271, 1996.
- [16] Krzywy E., Wołoszyk Cz., Iżewska A. Ocena przydatności do nawożenia kompostów z osadów ściekowych z oczyszczalni komunalnych. Cz. I. Plonowanie rekultywacyjnej mieszanki traw w uprawie polowej. *Fol. Univ. Agric. Steti*. 211 Agricultura (84): 499: 199-204, 2000.
- [17] Krzywy E., Wołoszyk Cz., Iżewska A. Ocena składu chemicznego i wartości nawozowej osadu ściekowego oraz kompostów wyprodukowanych z komunalnego osadu ściekowego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 165-171, 2004.
- [18] Krzywy E., Wołoszyk Cz., Iżewska A., Krzywy J. Badania nad możliwością wykorzystania komunalnego osadu ściekowego z dodatkiem różnych komponentów do produkcji kompostów. *Acta Agrophysica*, 70, I: 217-223, 2002.
- [19] Maćkowiak Cz. Skład chemiczny osadów ściekowych i odpadów przemysłu spożywczego o znaczeniu nawozowym. *Nawozy i Nawożenie*, 4 (5): 131-143, 2000.
- [20] McLachlan M.S., Horstmann M., Hinkel M. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in sewage sludge: sources and fate following sludge application to land. *The Science of the Total Environment*, 185: 109-123, 1996.
- [21] Piotrowska-Cyplik A., Cyplik P., Czarnecki Z., Gumienna M. Zastosowanie pomiaru przewodności do oznaczania indeksu dojrzałości kompostu komunalnego osadu ściekowego. *Journal of Research and Applications in Agricultura Engineering*, 52 (4): 18-21, 2007.
- [22] Rozporządzenie Min. Ochrony Środowiska, Zasob. Nat. i Leśn. z dnia 11 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków jakie muszą być spełnione przy wykorzystaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe. *Dz. U.*, Nr 72, poz. 813 z dnia 31 sierpnia 1999 r.
- [23] Rozporządzenie Min. Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. *Dz. U.* 02.134, poz. 1140 z dnia 27 sierpnia 2002 r.
- [24] Sachplan Abfall Kanton Bern, 2006, 25-28: www.bve.be.ch/site/bve_gsa_abf_sachplan_abfall_Kap_E_Klaerschlamme_d.pdf