

IMPACT OF DIFFERENT WOOD WASTES ON CHEMICAL PROPERTIES OF MANUFACTURED COMPOSTS

Summary

An experiment lasting several years was carried out with the aim to determine the possibilities of composting of various wood wastes. The composting process was conducted in natural conditions utilising fibreboard wastes and interior and exterior plywood wastes mixed at different combinations with pine chips, highmoor peat and urea. It was found that the experimental composts were characterized by favourable C:N values as well as macro- and microelement contents. Significant differences were demonstrated between different composts with regard to macro- and microelement solubility.

WPLYW RÓŻNYCH ODPADÓW DRZEWNYCH NA WŁAŚCIWOŚCI CHEMICZNE WYTWORZONYCH KOMPOSTÓW

Streszczenie

Przeprowadzono kilkuletnie doświadczenie mające na celu określenie możliwości kompostowania różnych odpadów drzewnych. Kompostowanie przeprowadzono w warunkach naturalnych, wykorzystując odpady płyty pilśniowej (fibreboard waste), sklejki suchotrwałej (interior plywood waste) oraz sklejki wodoodpornej (exterior plywood waste), w różnych kombinacjach z dodatkiem wiórów sosnowych, torfu wysokiego i mocznika. Stwierdzono, że komposty charakteryzowały się korzystnymi wartościami C:N oraz zawartością makro- i mikrośladników. Wykazano duże różnice między kompostami w rozpuszczalności makro- i mikrośladników.

1. Wstęp

Problem właściwego zagospodarowania odpadów w Polsce budzi duże kontrowersje natury ekologicznej. Wynika to między innymi z oddziaływania wielu odpadów na środowisko, a tym samym na zdrowie człowieka, zwierząt i roślin. Dotyczy to również, chociaż w mniejszej skali odpadów drzewnych, które charakteryzują się dużym zróżnicowaniem pod względem źródła powstawania, jak i właściwościami. Z jednej strony mamy do czynienia z drzewnymi odpadami poprodukcyjnymi, z drugiej użytkowymi. Z ekologicznego punktu widzenia ważniejsze są właściwości odpadów, tzn. czy stanowią je odpady z drewna naturalnego, czystego, czy zanieczyszczone syntetycznymi związkami chemicznymi, stosowanymi między innymi w uszlachetnianiu czy impregnacji drewna. Z tego punktu widzenia drewno użytkowe wymagałoby więc selektywnej zbiórki, a jak dotychczas przeznaczane jest ono na składowiska lub jako materiał opałowy. Problem powyższy nie dotyczy odpadów „czystych”, jak trociny, korowina, zrębki itp. Z danych GUS [8] wynika, że w 2007 roku masa wytworzonych odpadów drzewnych w Polsce wynosiła 2,19 mil ton, z czego blisko 94% podlegało odzyskowi. Z kolei Janowicz [10] podaje, że w przemyśle drzewnym powstaje 6790 tys. m³ biomasy drzewnej rocznie.

Pomijając kwestię ilości odpadów drzewnych problemem staje się ich utylizacja. Spośród wielu sposobów, spalanie staje się coraz istotniejszą metodą, co z punktu widzenia przyrodniczego i obiegu składników nie wydaje się być metodą racjonalną. Dlatego kompostowanie

odpadów drzewnych można uznać za jedną z właściwszych metod biologicznej utylizacji powyższych odpadów [14].

W kompostowaniu różnych odpadów, w tym komunalnych czy osadów ściekowych od dawna wykorzystuje się trociny, korę lub zrębki [3]. Zrębki lub kora stanowią dobry dodatek strukturotwórczy, trociny z kolei są dobrym źródłem węgla, niezbędnym np. w kompostowaniu osadów ściekowych.

Niewiele jest natomiast prac dotyczących kompostowania produkcyjnych odpadów drewna i tworzyw drzewnych, jak odpady sklejki suchotrwałej i wodoodpornej oraz płyt pilśniowych [15, 16].

W pracy przedstawiono wyniki dotyczące składu chemicznego kompostów wytworzonych z odpadów drzewnych po ich wieloletnim kompostowaniu.

2. Materiał i metody badań

Badania przeprowadzono na trzech kompostach wytworzonych z różnych odpadów drzewnych. Stanowiły je odpady sklejki suchotrwałej, sklejki wodoodpornej, oraz płyt pilśniowych, które przed kompostowaniem były rozdrobnione do cząstek o rozmiarach <10 mm. Kompostowanie przeprowadzono w warunkach polowych w otwartych przydach, o objętości około 4-6 m³. Każdą przymę w kształcie trapezu przygotowano na tkanych matach polietylenowych ułożonych na gruncie, tworząc następujące mieszanki:

- przyma 1 – utworzona z odpadów płyt pilśniowych (kompost PP), stanowiących 65% masy przymy oraz z wiórów sosnowych (28%), torfu wysokiego (7%) i mocznika (20 kg),

- pryzma 2 – utworzona została z odpadów produkcyjnych sklejkki suchotrwałej (kompost SS), stanowiących 85% masy pryzmy oraz torfu wysokiego, stanowiącego 15% masy,
- pryzma 3 – utworzona z odpadów produkcyjnych sklejkki wodoodpornej (kompost SW), stanowiących 85% masy oraz z torfu wysokiego stanowiącego 15% masy oraz z około 20 kg mocznika.

Przedstawiony wyżej udział odpadów dotyczył mas wagowych.

Do każdej z pryzm dodano również szczepionkę biologiczną (Activit Las) oraz odpowiednią ilość wody. Całość wymieszano i przykryto czarną włókniną ogrodniczą, celem ograniczenia strat wody.

W trakcie procesu kontrolowano temperaturę, wilgotność oraz pH. W zależności od potrzeb uzupełniano pryzmy wodą, celem utrzymywania wilgotności kompostów w granicy około 60% oraz napowietrzano przez ich przerzucanie (mechanicznie). Wartości pH kompostów wahały się w całym okresie kompostowania wykazując tendencję obniżania się w zakresach dla pryzmy PP: pH od 8,4 do 3,6; dla pryzmy SS- pH od 7,5 do 4,1; oraz dla pryzmy SW- pH od 9,5 do 4,5. Dokładną charakterystykę przygotowania kompostów przedstawiono w pracach [14, 15].

Próbki kompostów do analiz pobrano w kwietniu 2009 roku, czyli po 110 miesiącach od założenia pryzm w przypadku kompostu PP oraz po 101 miesiącach dla pozostałych pryzm.

W kompostach wykonano następujące oznaczenia stosownymi metodami:

- sucha masa, metodą suszarkową w 105°C,
- pH- potencjometrycznie,
- materię organiczną- metodą strat na żarzeniu w 550°C,
- węgiel organiczny – metodą oksydometryczną z dichromianem (VI) potasu w środowisku kwaśnym,
- azot ogólny- metodą Kjeldahla,
- azot amonowy oznaczono metodą destylacyjną z MgO, azotanowy (V) z dodatkiem stopu Devarda [2],
- węgiel i azot całkowity odpadów drzewnych – metodą analizy elementarnej stosując aparat CHNS-O typ 1108 Carlo Erba Instruments,
- makroskładniki ogólne (Na, K, Ca) oznaczono metodą emisyjnej spektrometrii atomowej po uprzedniej mineralizacji próbek kompostów w temp. 550°C i rozpuszczeniu popiołu na gorąco w roztworze 3 mol·dm⁻³ HCl. Natomiast Mg i mikroprzewodniki oznaczono metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej,
- fosfor ogólny oznaczono metodą kolorymetryczną, z molibdenianem amonu,
- formy rozpuszczalne makro- i mikroskładników przygotowano z wyciągu wodnego kompostów, uzyskanego z mieszaniny 20 g świeżej masy kompostów i 200 cm³ wody podwójnie destylowanej (1:10). Całość wytrząsano przez okres 1h, odwirowano i przesączono. Makro- i mikroprzewodniki rozpuszczalne oznaczono metodami podanymi wcześniej dla form ogólnych.

3. Wyniki i dyskusja

W warunkach kilkuletniego kompostowania odpadów drzewnych nastąpił ich prawie całkowity rozkład, o czym świadczy struktura kompostów oraz ciemno-brązowa barwa (rys. 1) i wyraźnie ziemisty zapach. Komposty te nadają się

do zastosowania nawozowego, co potwierdzono we wcześniejszych pracach [14].

Z analiz wynika, że komposty różniły się pod względem składu chemicznego. Był to prawdopodobnie wynik odmiennych właściwości samych odpadów (tab. 1), jak również komponentów dodanych przed założeniem pryzm [17].

a)



b)



Rys. 1. Kompost z dodatkiem sklejkki suchotrwałej (a) i sklejkki wodoodpornej (b)

Fig. 1. Compost with addition of interior plywood waste (a) and exterior plywood waste (b)

Przy podobnej zawartości węgla w odpadach drzewnych, ich skład różnicował głównie azot. W przypadku odpadów klejek różnice wynikały głównie z rodzaju zastosowanych mas klejowych. W produkcji sklejkki suchotrwałej stosuje się bowiem żywice mocznikowo-formaldehadowe, a sklejkki wodoodpornej – żywice fenolowo-formaldehadowe lub mocznikowo-melaminowo-formaldehadowe. Tym samym istnieje prawdopodobieństwo zróżnicowanego tempa rozkładu poszczególnych odpadów, jak i powstających produktów tego procesu. Rozpatrując powyższy problem na uwadze trzeba mieć również skład odpadów drzewnych, oraz udział poszczególnych ich części składowych, w tym ligniny i celulozy. Ponieważ elementów tych nie badano, trudno więc określić ich rzeczywistą ilość i przemiany. Z badań wynika [13], że na przykład lignina podlega degradacji podczas kompostowania różnych materiałów w granicach

od 7 do 43%. Mniej natomiast wiadomo o przemianach żywic zawartych w odpadach drzewnych.

Uwagę zwracają niskie wartości pH kompostów. Dotyczy to szczególnie kompostu wytworzonego z odpadów płyt pilśniowych (PP). Wyniki te świadczą o warunkach zachodzących podczas kompostowania i dojrzewania kompostów, sprzyjających powstawaniu między innymi kwasów organicznych [9]. Tym bardziej, że wartości pH kompostowanych odpadów podlegały zmianom w czasie, o czym świadczą dane przedstawione przez Wróblewską i in. [16, 17]. W kompostach dojrzałych, a więc względnie ustabilizowanych pH jest już wypadkową działania i innych czynników, w tym przebiegu procesu nityfikacji. Na możliwość taką wskazuje zawartość azotu azotanowego (V) w kompostach [17]. W warunkach doświadczenia nie było możliwości określenia udziału azotu saletrzanego pochodzącego z przemian rozkładu odpadów drzewnych a pochodzącego z innych źródeł, np. z mocznika, stąd można tylko dprzypuszczać o występowaniu takiego zjawiska dla całego kompostowanego materiału.

Wytworzone komposty z racji zastosowanych odpadów charakteryzowały się bardzo dużą zawartością materii

organicznej, wynoszącą od 842,0 do 933,0 g·kg⁻¹ s.m., w której węgiel organiczny stanowił od 43,2 do 49,6%. Udział MO świadczyć może o nie zakończonym jeszcze procesie rozkładu i stabilizacji kompostów. Pośrednio wskazują na taką możliwość zmieniające się w czasie wartości stosunku C : N w kompostach. Z niepublikowanych danych wynika, że między majem 2005 roku a listopadem 2006 roku w kompoście SS wartość tego stosunku zmieniła się z 4,88:1 do 5,93:1, natomiast w kompoście PP odpowiednio z 25,58:1 do 26,54:1. Z danych przedstawionych w tab. 2 wynika z kolei, że wartości C : N w badanych kompostach wynosiły: PP – 27,69:1; SS – 11,17:1 i dla SW- 15,96:1. Analiza porównawcza wyników wskazuje, że jedną z przyczyn wystąpienia dość istotnych różnic w wartościach C:N kompostów wydaje się być przede wszystkim zawartość azotu. Niemniej porównując wartości tego stosunku do tych, jakie wykazano w odpadach przed założeniem przyzmy widać bardzo istotne, korzystne z nawozowego punktu widzenia zmiany zachodzące pod wpływem procesu kompostowania. Dotyczy to szczególnie kompostu z udziałem płyt pilśniowych. Przed założeniem przyzmy wartość C : N odpadu z płyt pilśniowych wynosiła średnio 252,3:1 (tab. 1),

Tab. 1. Zawartość węgla i azotu w odpadach drzewnych i torfie

Table 1. Content of total carbon and total nitrogen in wood waste and peat

Odpad; Waste	N ogólny; Total Nitrogen	C ogólny; Total Carbon	C : N
	procent w suchej masie; percent in dry matter		
Płyta pilśniowa (PP) Fibreboard waste (FW)	0,19	47,94	252,3:1
Sklejka suchotrwała (SS) Interior plywood waste (IPW)	8,41	49,72	5,4:1
Sklejka wodoodporna (SW) Exterior plywood waste (EPW)	0,62	47,94	80,2:1
Torf; Peat	0,94	52,87	56,2:1

Tab. 2. pH, zawartość suchej masy, popiołu, materii i węgla organicznego oraz azotu ogólnego w kompostach

Table 2. Reaction, contents of dry matter, ash, organic matter and carbon and crude nitrogen in individual composts

Parametr; Parameter	Jednostka; Unit	Kompost; Compost		
		PP	SS	SW
pH	-	4,55	5,15	5,37
Sucha masa; Dry matter	g·kg ⁻¹	35,21±0,44	29,48±0,21	36,28±0,31
Popiół; Ash		158,0±9,90	67,0±5,60	83,0±11,30
Materia organiczna (MO) Organic matter (OM)	g·kg ⁻¹ s.m.	842,0±9,90	933,0±5,60	917,0±11,30
C _{org.} (WO) Organic karbon (OC)	g·kg ⁻¹ DM	417,3±2,84	403,6±2,63	401,0±14,97
N _{total} ; Total nitrogen		15,07±1,52	36,12±0,66	25,13±1,78
C : N	-	27,69	11,17	15,96
Udział C _{org.} w MO Share OC in OM	%	49,6	43,2	43,7

Tab. 3. Zawartość makro- i mikrośkładników w kompostach

Table 3. Content of macro- and microelements in composts

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Zawartość; Content					
		ogólna; total			rozpuszczalna; soluble		
		Kompost; Compost					
		PP	SS	SW	PP	SS	SW
P		0,15±0,07	0,27±0,03	0,18±0,02	0,115±0,004	0,149±0,04	0,055±0,003
K	g·kg ⁻¹ s.m	0,31±0,01	0,31±0,03	0,52±0,001	0,20±0,05	0,29±0,00	0,21±0,00
Na	g·kg ⁻¹ DM	0,31±0,08	0,29±0,01	0,65±0,14	0,15±0,04	0,19±0,01	0,63±0,10
Ca		6,95±0,005	10,03±0,16	13,87±0,11	3,23±0,18	1,50±0,10	1,93±0,01

Mg		0,76±0,06	0,57±0,02	1,09±0,10	0,20±0,01	0,23±0,01	0,25±0,01
Cu		26,50±0,00	38,90±3,42	2,90±0,00	0,50±0,00	0,60±0,00	0,49±0,00
Mn	mg·kg ⁻¹ s.m.	386,2±15,1	524,7±0,00	531,4±4,60	34,03±2,03	16,28±0,00	0,03±0,00
Zn	mg·kg ⁻¹ DM	674,0±24,04	256,0±48,01	465,4±63,78	6,95±0,63	13,01±1,75	2,18±0,37
Fe		5334,2±337,4	10384,6±24,96	3629,0±201,2	24,50±0,00	29,26±0,00	23,77±0,00

w kompoście dojrzałym 27,69:1 (tab. 2), co i tak jest wartością za szeroką, biorąc pod uwagę kryteria dojrzałości dla kompostów [1]. Wyniki zawarte w tabeli 1 wskazują jednak na możliwość niepełnego przebiegu mineralizacji kompostowanych odpadów, co w przypadku odpadów drzewnych może być możliwe. Częściowo przemawiają za tym stosunkowo małe ilości popiołu. Zastanawia to tym bardziej, że w warunkach dodatku azotu mineralnego obserwuje się na ogół zwiększoną mineralizację materii organicznej [5]. Mając na uwadze duży udział w składzie drewna celulozy, hemicelulozy i ligniny należy liczyć się z wolnym, długotrwałym rozkładem odpadów drzewnych, jak i powstającymi produktami tego procesu [9]. Jednocześnie wskazuje się na znaczenie wartości stosunku C : N w przebiegu dekompozycji materii organicznej od wartości inicjalnej w kompostowanych mieszankach [6].

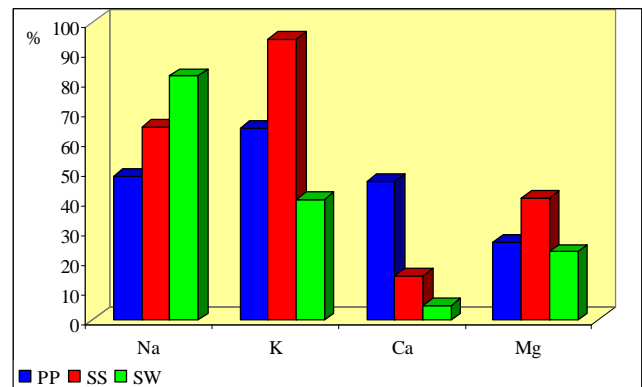
W wyniku przemiany materii organicznej zachodzącej w procesie kompostowania uwalniane są składniki pokarmowe. Proces ten dotyczy zarówno makro- jak i mikrośladników [4, 11], a dynamika, jak i kierunki zachodzących zmian mają wpływ na wartość końcową kompostu [4]. W tym aspekcie rozpatrywać trzeba w zasadzie dwie kwestie. Pierwsza wiąże się z zawartościami ogólnymi, druga z rozpuszczalnymi. Pierwsza wskazuje na wartość nawozową kompostów, druga na ilość form pierwiastków potencjalnie dostępnych dla roślin.

Ze względu na brak znowelizowanych prawnych kryteriów składu chemicznego kompostów, oceny takiej dokonuje się często w oparciu o kontrowersyjną normę branżową BN-89/9103-09 [12]. W takim ujęciu oceny trzeba podkreślić bardzo niską zawartość przede wszystkim fosforu (P) ogólnego w kompostach wynoszącą odpowiednio 0,15; 0,27 i 0,18 g·kg⁻¹ s.m. (tab. 3). Powyższa norma branżowa określa tę zawartość dla klasy I kompostu >0,6%. Tak mała zasobność kompostów z odpadów drzewnych w fosfor jest wynikiem niskiej zawartości pierwiastka w drewnie. Podobne zjawisko dotyczy potasu i sodu. Stanowi to jednocześnie wskazówkę praktyczną co do konieczności uzupełnienia kompostowanej masy z odpadów drzewnych w odpowiednią ilość omawianych składników.

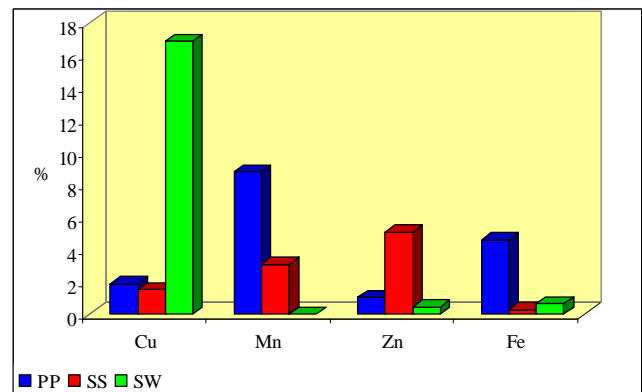
Powyższa norma branżowa zawiera również wytyczne dotyczące zawartości w kompostach metali ciężkich, w tym miedzi i cynku. W przypadku miedzi wynosi ona dla kompostów klasy I i II <300 mg·kg⁻¹ s.m., dla cynku odpowiednio <500 i 1500 mg·kg⁻¹ s.m. Z porównania danych tab. 3 wynika, że zawartości miedzi w kompostach były małe, szczególnie w kompoście z odpadów sklejkowej suchotrwałej. Zdecydowanie większą zasobność kompostów stwierdzono w cynk, którego zawartość wynosiła od 256,0 do 674,0 g·kg⁻¹ s.m. W przypadku kompostu PP, była to najwyższa ilość Zn, przekraczająca dopuszczalną zawartość dla klasy I, ale mieszczącą się w klasie II.

Z punktu widzenia dostępności składników dla rośliny ważnym kryterium oceny kompostów jest ich rozpuszczalność. Analizę taką wykonano w oparciu o wyciągi wodne kompostów. Ujawniły się duże różnice między kompostami w rozpuszczalności poszczególnych

pierwiastków (tab. 3), jak i pod względem stopnia ich rozpuszczalności (rys. 2 i 3). W przypadku makrośladników nie ma jednoznacznego kierunku zmian tej rozpuszczalności w odniesieniu do żadnego z kompostów. Każdy z nich wykazał różną rozpuszczalność badanego pierwiastka. Tylko w przypadku Ca i P stwierdzono zmniejszenie ich rozpuszczalności w szeregu kompostów: PP > SS > SW. Rozpuszczalność ta dla Ca wynosiła odpowiednio 46,6%; 15,0% i 5,1%, a dla fosforu 76,6%; 55,2% oraz 30,5%. Z kolei rozpuszczalność sodu dla wymienionego szeregu kompostów wzrastała przy wartościach: 48,45 < 64,6% < 81,8%. Zależności te przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Rozpuszczalność makrośladników kompostów (%)
Fig. 2. Solubility of compost macroelements (%)



Rys. 3. Rozpuszczalność mikrośladników kompostów (%)
Fig. 3. Solubility of compost microelements (%)

Zdecydowanie mniejszą rozpuszczalnością charakteryzowały się mikroelementy zawarte w kompostach (rys. 3). Dla miedzi wielkości te wynosiły w kompostach: PP 1,88%; SS 1,53% i SW 16,87%, dla cynku odpowiednio 1,03%; 5,085 i 0,47%, oraz dla manganu 8,81% (PP); 3,10% (SS). Z kolei w kompoście SW stwierdzono ilości śladowe Mn. Stosunkowo słabą rozpuszczalność wykazało żelazo, głównie w kompostach z odpadów sklejkowej suchotrwałej (0,28%) oraz wodoodpornej (0,65%).

Można więc powiedzieć, że zawartość ogólna każdego z mikroelementów nie miała wpływu na stopień rozpuszczalności jego połączeń w kompostach. Poza tym stwierdzono brak wpływu odczynu kompostów na omawianą rozpuszczalność, co ujawniło się szczególnie w przypadku kompostu PP, którego pH wynosiło 4,55. Może to wskazywać między innymi na silne skompleksowanie mikroelementów, w tym i ze związkami próchnicznymi. Tym bardziej, że jak wskazują badania [7], rodzaj odpadów drzewnych miał wpływ na tworzenie się ilości i jakości substancji humusowych powstających podczas degradacji materii organicznej w procesie kompostowania.

Z ekologicznego punktu widzenia problem ten wydaje się być korzystny. Jednakże zagadnienie wymaga dalszych badań pod kątem rzeczywistej dostępności mikroelementów dla roślin w warunkach wprowadzenia kompostów wytworzonych na bazie odpadów drzewnych do gleby. Bowiem tylko miedź zawarta w kompoście z odpadów płyty pilśniowej wykazała większą (16,87%) rozpuszczalność.

Przedstawione w pracy wyniki świadczą o możliwości i celowości wykorzystania odpadów drzewnych w kompostowaniu, jako jednej z metod utylizacji powyższych odpadów. Wykazano jednak, że proces ten jest długotrwały z racji natury budowy chemicznej drewna i wymaga odpowiedniego doboru dodatkowych komponentów, celem zapewnienia właściwych warunków do przebiegu kompostowania. Wyniki dowiodły, że należy uwzględnić także rodzaj odpadów drzewnych, bowiem w świetle wyników badań miało to znaczenie w przebiegu zachodzących procesów.

4. Wnioski

1. Odpady drzewne zastosowane w badaniach wykazały dobrą przydatność do kompostowania, jako jednej z alternatywnych metod ich biologicznej utylizacji.
2. Wykorzystując odpady drzewne w kompostowaniu należy uwzględnić ich skład chemiczny celem właściwego doboru dodatków organicznych lub/i mineralnych zapewniających prawidłowy przebiegach degradacji materii organicznej.
3. W warunkach kompostowania odpadów drzewnych niezbędny jest dodatek azotu, i innych makroskładników celem uzyskania kompostu o dużej wartości nawozowej.
4. Stosując odpady drzewne do kompostowania należy mieć na uwadze małą rozpuszczalność mikroelementów, a tym samym i dostępność dla roślin.

5. Literatura

- [1] Anonym. Compost Maturity Index. California Compost quality council, Nevada City, CA 95959, 2001.

- [2] Bremner J.M.: Inorganic forms of nitrogen. In: C.A. Black (ed.) Methods of soil analysis. Part 2, Agronomy, Amer. Sci. Soc. Agr. Inc., Madison, USA, 9, 1179-1237, 1965.
- [3] Czekala J.: Właściwości chemiczne kompostu wytworzonego z komunalnego osadu ściekowego i różnych bioodpadów. Journal. of Research and Applications in Agricultural Engineering, 53(3), 35-41, 2008.
- [4] Drozd J., Licznar M., Patorczyk-Pytlik B., Rabikowska B.: Zmiany w składzie chemicznym kompostów z odpadów miejskich w czasie ich kompostowania. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 437, 131-138, 1996.
- [5] Drozd J., Licznar M.: Transformacja materii organicznej podczas kompostowania odpadów komunalnych w odmiennych warunkach uwilgotnienia i przy różnym dodatku azotu. W: Komposty z odpadów komunalnych, produkcja, wykorzystanie i wpływ na środowisko. (Red. Drozd J.), PTSH, Wrocław, 130-140, 2004.
- [6] Eland F., Klamer M., Lind A-M., Leth M., Bååth E.: Influence of initial C/N ratio on chemical and microbial composition during long term composting of straw. Microb. Ecol., 41, 272-270, 2001.
- [7] Fukushima M., Yamamoto K., Ootsuka K., Komai T., Aramaki T., Ueda S., Horiya S.: Effects of the maturity of wood waste compost on the structural features of humic acids. Bioresource Technology, 100,2, 791-797, 2009.
- [8] Główny Urząd Statystyczny. Ochrona Środowiska, 206-208, 2008.
- [9] Holm U.: Untersuchungen zur gesteuerten Rotte von mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) kontaminiertem Altholz. Dissertation, TU Dresden, 1-179, 1969.
- [10] Janowicz L.: Biomasa w Polsce. Energetyka i Ekologia, sierpień 2006, 601-603.
- [11] Krzywy E., Izewska A., Wołoszyk Cz.: Ocena składu chemicznego i wartości nawozowej osadu ściekowego oraz kompostów wyprodukowanych z komunalnego osadu ściekowego. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 499, 165-171, 2004.
- [12] Norma branżowa. Klasa kompostów wytwarzanych z odpadów komunalnych BN-89/9103-09.
- [13] Tuomela M., Vikman M., Hatakka A., Itävaara M.: Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. Bioresource Technology, 72, 169-183, 2000.
- [14] Wróblewska H.: Studies on the effect of compost made of post-use wood waste on the growth of willow plants. Mol. Cryst. Liq. Cryst., 483, 352-366, 2008.
- [15] Wróblewska H., Cichy W.: Metody utylizacji odpadów drzewnych – aspekty ekologiczne. Przemysł drzewny, 7, 10-14, 2005.
- [16] Wróblewska H., Ciesiołka M., Tymek A., Czajka M.: Z badań nad ekotoksycznością kompostów sporządzonych z produkcyjnych odpadów tworzyw drzewnych. W: Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych (red. E. Malina), Poznań, 89 – 97, 2008.
- [17] Wróblewska H., Kozik E., Czajka M.: Wpływ kompostów z odpadów drzewnych na wzrost i stan odżywienia wierzby *Salix alba* L. Journal. of Research and Applications in Agricultural Engineering, 53(4), 143-147, 2008a.