



Wpływ zawartości azotu na właściwości kompostu wykorzystywanego do produkcji energii

The possibilities of influencing the content of nitrogen in composts utilized for energy production

Petra SÝKOROVÁ¹⁾, Dagmar JUCHELKOVÁ²⁾, Martina KUČEROVÁ³⁾,
Konstantin RACLAVSKÝ⁴⁾

¹⁾ Ing.; Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava
17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic; e-mail: petra.sykorova@vsb.cz, tel.: (+420) 597 329 319

²⁾ Prof. Ing., PhD.: Energy Units for Utilization of non Traditional Energy Sources (ENET), VŠB – Technical University of Ostrava
17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic; e-mail: dagmar.juchelkova@vsb.cz, tel.: (+420) 597 325 175

³⁾ Ing.; Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava
17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic

⁴⁾ Prof. Ing., CSc.; Energy Units for Utilization of non Traditional Energy Sources (ENET), VŠB – Technical University of Ostrava
17.listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic; e-mail: konstantin.raclavski@vsb.cz, tel.: (+420) 597 324 340

Streszczenie

Celem badań było przeanalizowanie zachowania się azotu podczas procesu kompostowania i zaproponowanie warunków jakie mogłyby zapewnić niską zawartość azotu w produkcie końcowym.

Wymagana wartość stężenia azotu w kompoście wykorzystywanym do celów energetycznych może być uzyskana dla danej mieszaniny przez zmniejszenie stężenia azotu w materiale surowym od wartości 3,1% do 2,9% wagowych.

Summary

The aim of research was to study the behaviour of nitrogen during composting process and to propose the conditions which are ensuring low content of nitrogen in the final compost.

The requirement for nitrogen concentration in compost utilized for energy purposes can be met for given mixture of input raw materials by decreasing of nitrogen concentration in the input raw material from the value of 3.1 wt.% to the value of 2.9 wt.%.

Słowa kluczowe: Kompost, wykorzystanie energetyczne, zawartość azotu

Keywords: Compost, energetic utilisation, nitrogen content

Wprowadzenie

Kompost, które produkowany jest na skalę przemysłową z odpadów miejskich lub odpadów biomasowych wielokrotnie nie spełnia kryteriów kwalifikujących zgodnych z Zarządzeniem nr 341/2008 odnoszącego się do „Szczegółów przetwarzania biologicznie degradable odpadów”. Można znaleźć różne możliwości dla tego typu kompostów. Jedną z takich możliwości jest termiczne wykorzystanie kompostu jako źródła energii odnawialnej. Perspektywa wykorzystania energii z kompostów została opublikowana przez Finney’a K.N. i innych (2009), Krannerta M. i innych (2001) oraz Raclavską H. i innych (2011).

Azot reprezentuje ważny parametr, który może wpływać na wykorzystanie energii z kompostów. Zwiększone stężenia azotu powodują problemy głównie w kompostach, w których decydującym składnikiem materiału wyjściowego jest trawa. Niektóre gatunki traw (*Kostrzewa trzcinowa* – *Festucia arundinacea*) mogą zawierać nawet do 3,6% wagowych azotu w materii suchej, inne gatunki (*Agrostis tennis*) mogą mieć niższą zawartość, maksymalnie 1,5% wa-

Introduction

The composts which are produced in industrial scale from the separated municipal waste or from the waste biomass often do not meet qualitative criteria according the Decree No. 341/2008 Coll. “On details of processing of biologically degradable waste”. The different possibilities of utilization should be found for these composts. One of such possibilities is thermal utilization of compost as a source of renewable energy. The possibility of energy utilization of composts was published by Finney K.N. et al. (2009), Krannert M. et al. (2001) and Raclavska H. et al. (2011).

Nitrogen represents an important parameter which can influence the energy utilization of composts. The increased concentrations of nitrogen cause problems mostly in the composts where the decisive component of input material is formed by grass. Some grass species (Tall Fescue – *Festuca arundinacea*) can contain up to 3.6 wt.% of nitrogen in dry matter, other grass species (*Agrostis tennis*) can have lower content, maximum 1.5 wt.%. The wood

gowych. Biomasa drzewna (pnie drzewne i gałęzie) mają niską zawartość azotu, w większości przypadków niższą niż 0,3% wagowych. Biomasa drzewna zawiera znacznie mniej siarki i azoty niż węgiel. Kiedy biomasa jest współspalana z węglem, emisje tlenku siarki i tlenków azotu są niższe niż w przypadku spalania samego węgla (Reed T. i Gaur S. 2009). Ilości emitowanego azotu zależą od typu biomasy jaka jest poddawana spalaniu i rodzaju używanego do tego celu pieca (U.S. Department of Energy). Paliwo przygotowane do współspalania (węgiel + kompost) powinno mieć stężenia azotu w paliwie niż te w węglu. Warunki produkcji kompostu powinny zapewnić maksymalne stężenie azotu wynoszące 1,4% wagowych w produkcie końcowym. Z drugiej strony jednak, w produkcji kompostu na potrzeby rolnictwa, straty azotu są zminimalizowane przez dodatek różnego rodzaju składników zapobiegających pogarszaniu się właściwości użyźniających kompostu (Mahimairaja S. i inni 1994). Straty azotu podczas procesu kompostowania występują w postaci klarowania się kompostu i emisji (NH_3 , N_2). Dodatkowo Litskas V.D. i inni (2011) wykazali emisję N_2O . Tiquia S.M. i inni (2000) ustalił, że straty azotu w procesie kompostowania odchodów z ferm drobiu są powodowane głównie przez ulatnianie się amoniaku (NH_3). Spadek zawartości azotu podczas kompostowania może być osiągnięty przez odpowiednią selekcję materiałów surowcowych i zwiększoną aerację kompostu.

Celem badania naukowego było przeanalizowanie zachowania się azotu podczas procesu kompostowania i zaproponowanie warunków jakie mogłyby zapewnić niską zawartość azotu w końcowym produkcie.

Warunki zachowania się azotu i węgla podczas procesu kompostowania

Węgiel i azot są najważniejszymi pierwiastkami wpływającymi na rozkład mikrobiologiczny. Węgiel stanowi zarówno źródło energii jak i podstawowego budulca stanowiącego niemal 50% masy komórek mikrobiologicznych. Azot jest decydującym składnikiem białek, kwasów nukleinowych, aminokwasów, enzymów i koenzymów ważnych dla wzrostu komórek i ich funkcjonowania. W przypadku wykorzystania kompostów w rolnictwie generalnie wymaga się, aby stosunek C do N w materiale wyjściowym wynosił ok. 21 – 30:1.

Przykładowe stężenia azotu w paliwach zestawiono w Tabeli 1. Stężenie azotu w węglu związane jest ze stopniem uwęglenia (Bouska V. 1981). Widać z tabeli, że paliwa kopalne zawierają maksymalnie 1,3% wagowych azotu w materii suchej, podczas gdy stężenie w trawie jest zauważalnie wyższe. Wiadomo, że stosunek C/N wpływa na proces uwalniania azotu i węgla

biomass (tree trunks and branches) has low content of nitrogen, in most cases lower than 0.3 wt.%. Wood biomass contains much less sulfur and nitrogen than coal. When biomass is co-fired with coal, sulfur dioxide and nitrogen oxides emissions are lower than in case coal is burned alone (Reed T. and Gaur S. 2009). The amounts of emitted nitrogen depend on the type of biomass that is burned and the type of generator used (U.S. Department of Energy). Fuel prepared for cofiring (coal + compost) should have concentrations of nitrogen in fuel lower than those in coal. The conditions of compost production should ensure the maximum nitrogen concentration of 1.4 wt.% in the final product. On the contrary, in production of composts for agricultural purposes, the nitrogen losses are minimized by admixtures of various additives in order to prevent the deterioration of fertilizing properties of compost (Mahimairaja S. et al. (1994). The losses of nitrogen during composting process occur in the form of compost liquor and emissions (NH_3 , N_2). In addition, Litskas V.D. et al. (2011) reported also N_2O . Tiquia et al. S.M. (2000) established that losses of nitrogen in composting process of chicken litter are governed mainly by volatilization of ammonia (NH_3). The decrease of nitrogen during the composting process can be achieved by proper selection of raw materials and increased aeration of the compost.

The aim of this research was to study the behaviour of nitrogen during composting process and to propose the conditions which are ensuring low content of nitrogen in the final compost.

The condition which influence the behaviour of nitrogen and carbon during composting process

Carbon and nitrogen are the most important elements required for microbial decomposition. Carbon provides both an energy source and the basic building block making up about 50 percent of the mass of microbial cells. Nitrogen is a crucial component of the proteins, nucleic acids, amino acids, enzymes and co-enzymes necessary for cell growth and function. For agricultural utilization of compost it is generally considered, that in input material must be ratio C/N around 21 – 30:1.

Examples of nitrogen concentration in fuels are listed in the Table 1. Concentration of nitrogen in coal are related to the degree of coalification (Bouska V. 1981). From the table it is apparent that fossil fuels contain maximum 1.3 wt.% of nitrogen in dry matter, while concentration in grass are markedly higher. It is known that ratio C/N influences the

Tabela 1
Zawartość C i N w paliwach kopalnych i biomasach

Table 1
The content of C and N in fossil fuels and biomass

Paliwo Fuel	Popiół Ash	Substancje palne Combustible matter		Substancje suche Dry matter		
		C	N	C	N	Wartość opałowa Calorific value
		(wt. %)				
Węgiel brunatny ¹ Lignite ¹		71.44	0.99 - 1.50	64	0.89 – 1.30	17.0 - 24.4
Węgiel kamienny ² Black coal ²		69 - 92	1.84 - 1.40	62 - 82	0.69 - 1.21	24.4 - 32.6
Węgiel kamienny, Australia Black coal, Australia			1.50 – 2.00			
Kompost, Bruzovice Compost, Bruzovice		39 – 44	2.25 – 3.17	30 – 34	1.72 – 2.10	11 – 13
SMW ³	10 – 22	42 – 51	8 – 11	36 – 46	6 – 10	14 – 18
Biomasa drzewna – buk Wood biomass – beech ⁴	0.65			51.6	0.15	20.38
Biomasa drzewna – klon Wood biomass - maple ⁴	1.35			50.6	0.25	19.96
Biomasa drzewna – topola Wood biomass - poplar ⁴	0.65			51.6	0.10	20.75
Biomasa drzewna – kora Wood biomass - bark ⁴	1.20			56.20	0.28	22.10
Rolnicza biomasa z pszennej słomy Agricultural biomass wheat straw ⁴	8.90			43.20	0.61	17.50
Trawy– <i>Agrostis tennis</i> ⁵ Grass – <i>Agrostis tennis</i> ⁵	5.8 – 7.2	45 – 55	0.59 – 1.35	42 – 52	0.56 – 1.27	16.8 – 17.7
Trawy– <i>Festuca arundinacea</i> ⁵ Grass – <i>Festuca arundinacea</i> ⁵	4.2 – 6.3			42 – 44	2.8 – 3.60	16.2 – 17.2

Uwagi:

- ¹ Kopalnie północnej Bohemii – Severočeské doły, Chomutov, a.s.,
² SMW – Segregowane odpady komunalne z Polski
³ Hájková i in. (2010),
⁴ Reed T. i Gaur S. (2009),
⁵ wyniki badań własnych – trawy z OSEVA PRO Zubří

Notes:

- ¹ North Bohemian Mines – Severočeské doły, Chomutov, a.s.,
² Poland, SMW – Separated municipal waste,
³ Hájková et al. (2010),
⁴ Reed T. and Gaur S. (2009),
⁵ own results – grasses from OSEVA PRO Zubří

podczas kompostowania. Wskaźnik C:N kompostu determinuje uwalnianie się azotu ze stosu kompostowego w postaci amoniaku. Generalnie, wskaźnik C:N powyżej wartości 20:1 prowadzi do spadku emisji amoniaku. Wyższy stosunek C:N zmniejsza uwalnianie się amoniaku, niższy wskaźnik C:N przyspiesza emisję amoniaku. Wskaźnik C:N kompostu zwykle spada podczas kompostowania jeśli wyjściowy wskaźnik C:N wynosi > 25, ale może zwiększyć się jeśli początkowy stosunek C:N jest niski (< 15) i N jest tracony podczas kompostowania (Dickson N. i inni 1991). Dostępność węgla, czynnik spęczniający, rozmiar cząstek (Bueno P. i inni 2008), zawartość wilgoci i warunki aeracji (Guardia A. i inni 2008) są czynnikami wpływającymi na uwalnianie się azotu z kompostu i przeciwstawiają się

process of releasing of nitrogen and carbon during composting. The C:N ratio of compost determines volatilization of nitrogen from the compost pile as ammonia. In general, a C:N ratio above 20:1 will lead to a decrease in ammonia emissions. The higher ratio of C:N will lower the ammonia volatilization, the lower ratio of C:N will accelerate emission of ammonia. Compost C:N ratio typically decreases during composting if the starting C:N ratio is > 25, but may increase if the starting C:N ratio is low (< 15) and N is lost during the composting process (Dickson N. et al. 1991). Carbon availability, bulking agent, particle size (Bueno P. et al. 2008), moisture content and aeration regime (Guardia A. et al. 2008) are factors affecting compost N volati-

unieruchomieniu go w składnikach organicznych (Barrington S. i inni 2002).

Material i metoda

Kompost został pozyskany z *Kompostarnej Bruzovice*, obsługiwanej przez spółkę *Frydecka*, która usytuowana jest u podnóża Beskidów Śląsko-morawskich w Republice Czeskiej. W tym zakładzie kompost jest klasycznie produkowany w halach, w napowietrzonych i zdrenowanych hałdach, które okazały się bardzo efektywne. Kompost produkowany jest z biomasy (5% ścinek + 60% trawy + 20% nawozu końskiego + 10% pasty ziemniaczanej + 5% warzyw). Przeprowadzono dwie zmiany podczas okresu próbkowania (szósty i jedenasty tydzień). Próbkowanie kompostu było regularnie przeprowadzane każdego tygodnia (17 tygodni). próbki zostały zebrane z pięciu identycznych miejsc i z trzech różnych poziomów: wierzchniego, głębokości 0,4 m i głębokości 0,8 m. Minimalna masa próbki wynosiła 5 kg. Otwory próbkowania o głębokości 1 m zostały wykonane za pomocą świdra glebowego na szczycie hałdy. W laboratorium chemicznym próbka została poddana badaniom zgodnie z normą CEN/TS:

- CEN/TS 15443:2006 – Pozyskiwanie paliw stałych – metoda przygotowania próbek laboratoryjnych,
- CEN/TS 15414-3:2006 – Pozyskiwanie paliw stałych – Oznaczanie wilgotności metodą na sucho – Część 3: Wilgoć ogólna w próbce do analiz,
- CEN/TS 15403:2006 Pozyskiwanie paliw stałych – Metody oznaczania zawartości popiołu,
- CEN/TS 15407:2006 – Pozyskiwanie paliw stałych – Metoda oznaczania zawartości węgla (C), wodoru (H) i azotu (N).

Analiza odcieku wodnego z kompostu

W ekstrakcie wodnym (wskaźnik kompost/woda równy 1:10) wszystkie parametry takie jak przewodność elektryczna, pH, chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT), azotany, azot całkowity i amoniak zjonizowany (NH_4^+) zostały zmierzone zgodnie ze standardowymi metodami ASTM (Amerykańskiego Stowarzyszenia Zdrowia Publicznego). 100 g kompostu zostało zważone i wyekstrahowane w 1000 ml wody destylowanej przez wstrząsanie w czasie 24 godzin.

Wyniki

Straty suchej materii organicznej, azotu całkowitego i węgla podczas kompostowania trwającego 17 tygodni zilustrowano na Rys. 1. Wskaźnik C/N w materiale początkowym wynosił 13,84. Straty azotu podczas kompostowania były wywołane stężeniem azotu w materiale surowcowym i mieściły się w zakresie od 19,3 do 61,5% wagowych (Barrington S. i inni 2002). Mogą one być wywołane również wartościami

lization as opposed to N immobilisation into organic components (Barrington S. et al. 2002).

Materials and methods

Compost was drawn from *Kompostarna Bruzovice*, operated by *Frydecká skládka, a.s.*, which is situated in the foothills of *Moravskoslezské Beskydy Mts.*, Czech Republic. In this plant, the compost is classically produced in an agricultural hall, in aerated and drained heaps frequently turned over for good aerobic conditions. Compost is made from biomass (5% rasping + 60% grass + 20% horse manure + 10% potato paste + 5% vegetables). Two overturnings were performed during the sampling period (6th and 11th week). Sampling of compost was regularly carried every week (17 weeks). Samples were collected from five identical selected places and from three different levels: upper layer, the depth of 0.40 m and the depth of 0.80 m. Minimum sample weight was 5 kg. The sampling holes the depth of 1 m were made with soil auger on the top of the heap. In the chemical laboratory, the sample was processed according to applicable CEN/TS:

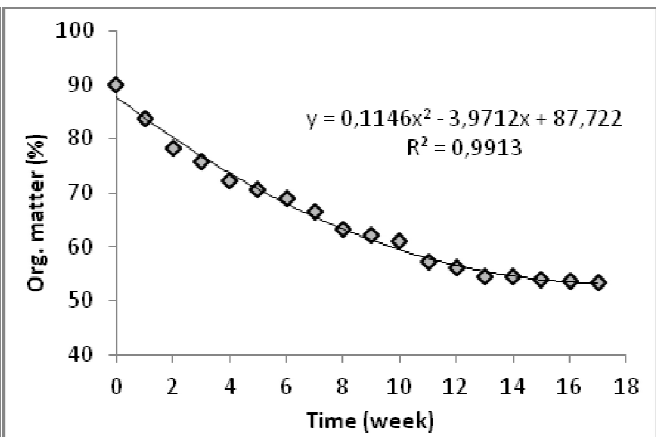
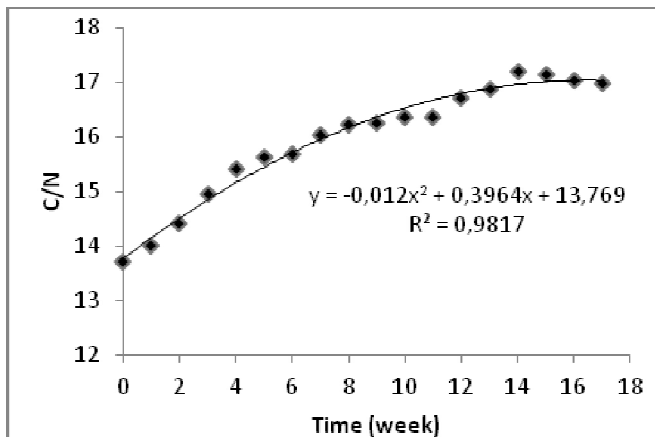
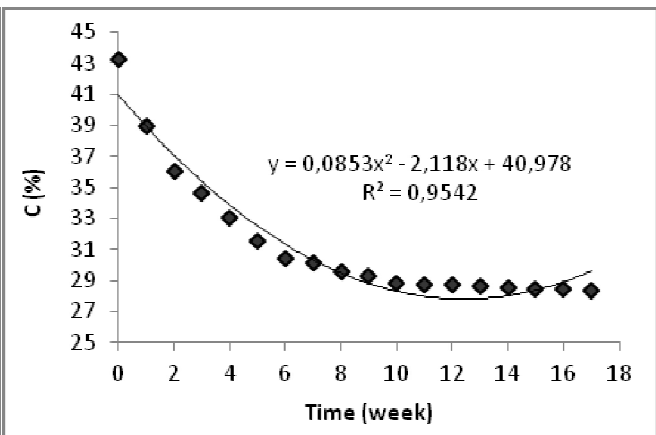
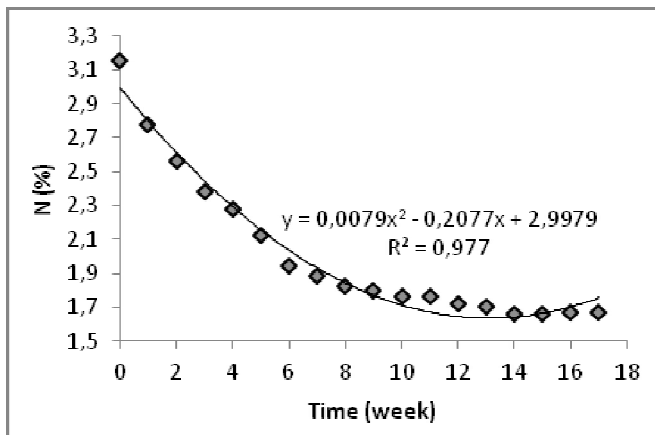
- CEN/TS 15443:2006 Solid recovered fuels – Method for laboratory sample preparation.
- CEN/TS 15414-3:2006 – Solid recovered fuels – Determination of moisture content using the oven dry method – Part 3: Moisture in general analysis sample.
- CEN/TS 15403:2006 – Solid recovered fuels – Methods for determination of ash content.
- CEN/TS 15407:2006 – Solid recovered fuels – Method for the determination of carbon (C), hydrogen (H) and nitrogen (N) content.

Analysis of water leachate from compost

In the water extracts (compost/water ratio of 1:10) all parameters such as electric conductivity, pH, chemical oxygen demand (COD), nitrate, total nitrogen and ionized ammonium (NH_4^+) were estimated using standard American Public Health Association methods. 100 g of compost was weighed and extracted with 1000 ml of deionized water by shaking for 24 hrs.

Results

The losses of organic dry matter, total nitrogen and total carbon during the composting process lasting 17 weeks are illustrated in Fig. 1. The C/N ration had in input mixture the value of 13.84. The losses of nitrogen during composting process are influenced by concentration of nitrogen in original raw material and they can range between 19.3 to 61.5 wt.% (Barrington S. et al. 2002). They can be influenced also by pH values of the mixtures



Rys 1
Straty azotu ogólnego, węgla całkowitego i organicznego suchej masy podczas procesu kompostowania

Fig 1
The losses of total nitrogen, total carbon and organic matter during composting process

mi pH mieszanin (Sanchez-Monedero M.A. i inni 2001). Martin A.M. i Dewes T. (1992) stwierdzili, że w emisji może być uwolnione jednocześnie od 46,8 do 77,4 azotu zawartego w materiale surowym. Uwolniony azot występuje w formie amoniaku w 92% wagowych całkowitej zawartości azotu. Średnie straty azotu i węgla podczas procesu kompostowania (materiał surowy posiadał wskaźnik C/N = 20), które opublikował Barrington S. i inni (2002) zestawiono w Tabeli 2, gdzie zamieszczono również rezultaty uzyskane dla kompostu z Bruzowic. Strata całkowita azotu w kompoście z Bruzowic wyniosła 47% wagowych. Utrata azotu jest w przybliżeniu 13 razy wyższa niż strata węgla całkowitego. Najważniejszy składnik kompostu z Bruzowic (60% wagowych) powstał z kompostowania świeżej trawy. Strata azotu w tym przypadku jest wyższa niż w przypadku kompostowania siana (Barrington S. i inni 2002). Straty obu rodzajów azotu i węgla podczas procesu w tym kompoście mogą być wyrażone równaniem wielowymiarowym z wysokim współczynnikiem korelacji dla poziomu istotności > 0,95. Strata całkowita azotu w kompoście z Bruzowic zbliżona jest do rezultatów uzyskanych przez Barringtona S. i innych (2002) i Mahimairaja S. i innych

(Sánchez-Monedero M.A. et al. 2001). Martin A.M. and Dewes T. (1992) reported that into emission can be released from 46.8 to 77.4 of nitrogen in input raw material. The released nitrogen is in the form of ammonium in 92 wt.% of the total nitrogen content. The average losses of nitrogen and carbon during composting process (input raw material had the ration C/N = 20) which were published by Barrington S. et al. (2002) are listed in the Table 2 where results for compost from Bruzovice were added. The loss of total nitrogen in compost from Bruzovice was 47 wt.%. The loss of nitrogen is approximately by 13 higher than loss of total carbon. The most important component of the compost from Bruzovice (60 wt.%) was formed by fresh grass. The loss of nitrogen in such case is higher than that for composting of hey (Barrington S. et al. 2002). The losses of both nitrogen and carbon during process in this compost can be expressed by the polynomial equation with high degree of confidence > 0.95. The loss of total nitrogen in compost from Bruzovice is corresponding to the results of Barrington S. et al. (2002) and Mahimairaja S. et al. (1994). It is markedly higher than loss of nitrogen (30.4 wt.% – 36.8 wt.%) which

Tabela 2
Straty azotu ogólnego i węgla ogółem w okresie
kompostowania biomas (Barrington S. et al. 2002)

Table 2
The losses of total nitrogen and total carbon during
composting of biomass (Barrington S. et al. 2002)

Biomasy Biomass	Straty średnie Average losses (wt.%)	
	N	C
Sosnowe wióry drzewne Pine wood shavings	68.6	13.6
Wióry drzewna i sojowe Wood shavings and soybean	53.6	25.4
Siano i mocznik Hay and urea	41.9	44.7
Siano Hay	57.6	36.7
słoma pszenna Wheat straw	57.4	40.7
słoma owsiana Oat straw	38.5	51.3
Kompost Bruzowice Compost Bruzovice	47.0	34.4

(1994). Jest znacznie wyższa niż strata azotu (30,4% wagowych – 36,8% wagowych) osiągnięta w badaniach prowadzonych przez Parkinsona R. i innych (2004) oraz Sanchez-Monedero M.A. i innych (2001), których to mieszanki z najwyższą zawartością lignocelulozy wykazały najniższe straty azotu (poniżej 25%), podczas gdy odpady zawierające stałe odpady miejskie straciły więcej niż 40% wartości początkowej azotu. Himanen i inni (2011) pokazali wyniki dotyczące zwiększonej zawartości azotu w kompoście końcowym z bioodpadów domowych.

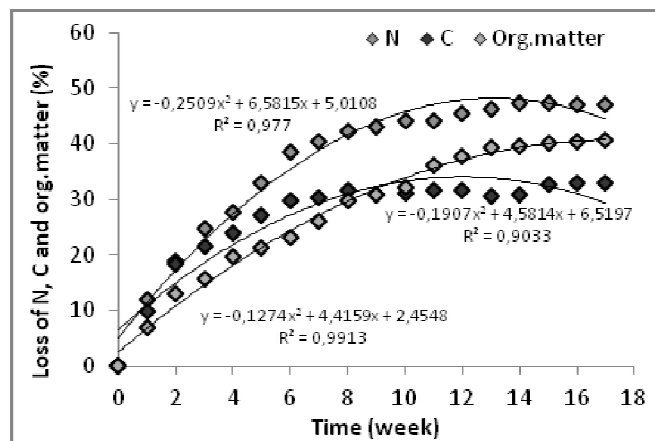
Rys. 2 ilustruje postęp strat azotu całkowitego, węgla i organicznej materii suchej w procenach wagowych związanych z wyjściowymi stężeniami tych składników w materiale surowym. Z tego wykresu wynika, że najbardziej znaczący spadek zawartości azotu (40% wagowych) i węgla (32% wagowe) został osiągnięty podczas pierwszych sześciu tygodni doświadczenia. Zawartość azotu zmalała od 6 do 17 tygodnia o 7% wagowych podczas gdy spadek zawartości węgla był jedynie nieznaczny. Z charakteru krzywej wielomianowej na Wykresie 1 można stwierdzić, że przedłużenie czasu kompostowania nie będzie miało istotnego wpływu na spadek zawartości azotu w dojrzałym kompoście.

Jedną z możliwości zmniejszenia zawartości azotu w dojrzałym kompoście jest oddzielenie frakcji ziarnowej o najwyższej koncentracji azotu od tej o najwyższej wydajności. Doublet S. i inni (2010) dowiedli, że azot gromadzi się głównie w ziarnach wielkości 0 – 0,05 mm w przypadku kompostów, które wykorzystują szlam z oczyszczalni ścieków. Najwyższe stężenie

was reported by Parkinson R. et al. (2004) and Sánchez-Monedero M.A. et al (2001) that mixtures with the highest lignocellulose content showed the lowest loss of nitrogen (below 25%), while those containing municipal solid waste lost more than 40% of the initial content. Even increased nitrogen content of the final compost from kitchen source-separated bio-waste (BW) was reported by Himanen et al. (2011).

Fig.2 illustrates development of losses of total nitrogen, carbon and organic dry matter in wt.% related to the original concentrations of these components in the input raw material. From this figure it is apparent that the most important decrease of nitrogen (40 wt.%) and carbon (32 wt.%) was achieved during first six weeks. The content of nitrogen decreased from 6th to 17th week further by 7 wt.% while the decrease of carbon was only negligible. From the character of polynomial curve in Fig.1 it is apparent that prolongation of the composting time will have not substantial influence on the decrease of nitrogen in the ripe compost.

One of the possibilities for decrease of nitrogen content in the ripe compost is the separation of grain size fraction with the highest nitrogen concentration and that with the highest yield. Doublet S. et al. (2010) reported that nitrogen accumulates mostly in grain size class 0 - 0.05 mm in the case of composts which utilize sludges from waste water treatment plants. The highest concentration (3.2 – 3.5 wt.%) in



Rys 2
Straty azotu ogólnego, węgla całkowitego i organicznej substancji odnoszące się do oryginalnych stężeń tych składników w materiale wejściowym (% wagowe)

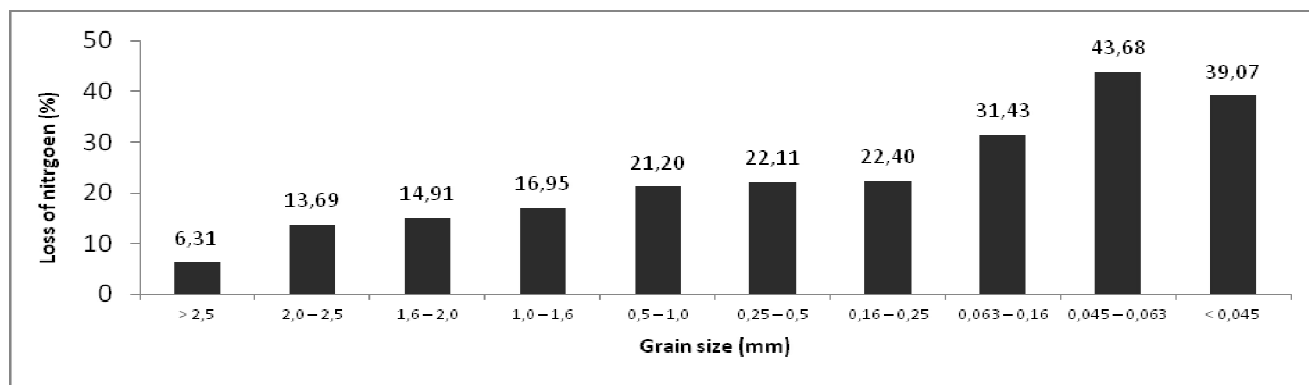
Fig 2
The losses of total nitrogen, total carbon and organic dry matter related to the original concentrations of these components in the input material (wt.%)

(3,2 – 3,5% wagowych) w materiale początkowym stwierdzono w ziarnach wielkości > 1,6 mm. Najwyższy uzysk azotu (17 – 20% wagowych) stwierdzono dla ziaren wielkości 0,25 – 1,0 mm. Uwalnianie azotu było bardzo podobne w przypadku kompostu dojrzałego. Z wykresu 3 można odczytać, że najwyższa strata azotu może być obserwowana najbardziej uziarnionej frakcji (< 0,063 mm). Ten spadek związany jest z przekształceniem materii organicznej do kwasów humusowych i fulwenowych (Jouraiphy A. i inni 2005), które odłożyły się w najbardziej uziarnionych frakcjach (Raclavska H. i inni 2011).

Z punktu widzenia wpływu technologicznego na stężenie azotu podczas procesu kompostowania, należy zwrócić uwagę na ważną informację dotyczącą uwalniania azotu w formie emisji i jego roztworu. Azot uwolniony jest podczas kompostowania przez emisję w formie gazowego amoniaku i dalej przez denitryfikację (N₂). Przekształcenie mikrobiologiczne (mineralizacja, amonifikacja, nityfikacja, deni-

the input material was found in the grain size class > 1.6 mm. The highest nitrogen yield (17 – 20 wt.%) was established for the grain size class 0.25 – 1.0 mm. The nitrogen distribution remained similar also in the ripe compost. From Fig.3 it is apparent that highest loss of nitrogen can be observed in the most fine-grained fractions (< 0.063 mm). This decrease is related to the transformation of organic matter to humic and fulvic acids (Jouraiphy A. et al. 2005) which are accumulated in the most-grained fractions (Raclavska H. et al. 2011).

From the point of view of possible technological influence on nitrogen concentration during composting process, there are important informations on releasing of nitrogen in the form of emissions and its leaching. Nitrogen is released during composting by emissions in the form of gaseous ammonia and further by denitrification (N₂). The microbial transformation (mineralisation, ammonification, nitrifica-

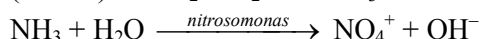
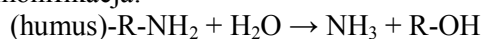


Rys 3
Straty azotu w poszczególnych klasach ziarnowych

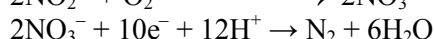
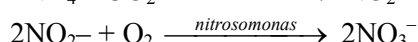
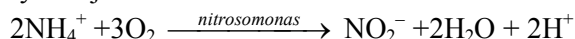
Fig 3
The losses of nitrogen in individual grain size classes

tryfikacja) kompostu zostało opisane przez F. Amlinger i innych (2003).

Amonifikacja:



Nitryfikacja:

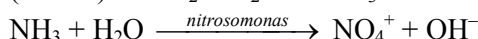
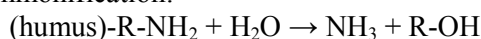


Strata azotu przez ulatnianie się amoniaku (NH_3) w warunkach aerobowych wyniosło około 17% całkowitego azotu. Strata azotu przez denitryfikację mogła być wyższa niż ta występująca przez ulatnianie NH_3 (Mahimaraaja S. i inni 1994).

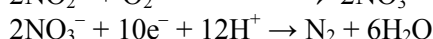
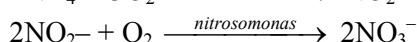
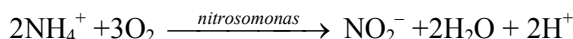
Stężenia azotanów, azotu amoniakalnego i całkowitego azotu w odcieku wodnym z kompostu były analizowane w celu monitorowania zmian azotu w materiale kompostowanym. Stężenie organicznego azotu zostało obliczone dzięki odjęciu stężeń azotu amoniakalnego i azotanów od stężenia całkowitego azotu. Stężenia jonów wymytych podczas dojrzewania kompostu obliczono dla próbki o masie 1 kg materii suchej (Rys. 4). Najwyższe zawartości azotu organicznego i amoniakalnego uwolnionych do odcieku zostały oszacowane w przedziale czasowym od tygodnia 0 do 5 tygodnia. Stężenia azotu otrzymane przez wymywanie nie różniły się znacznie pomiędzy 9 a 17 tygodniem.

tion, denitrification) of compost nitrogen was described by Amlinger F. et al. (2003).

Ammonification:

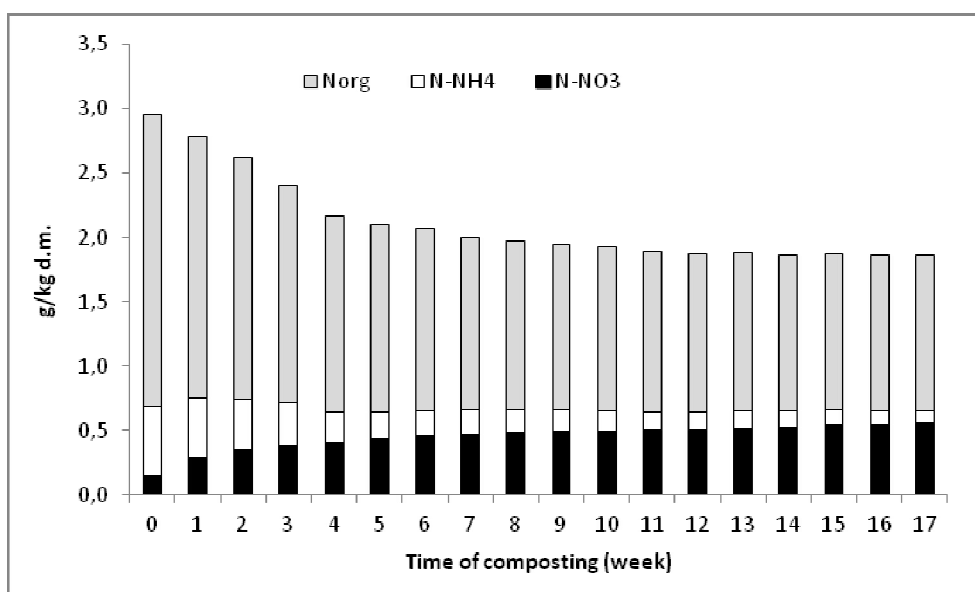


Nitrification:



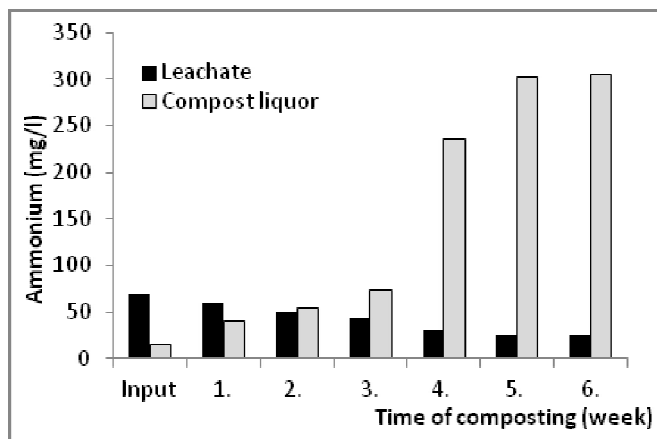
The loss of nitrogen through ammonia (NH_3) volatilization from aerobic condition was about 17% of total N. Nitrogen loss through denitrification could be considerably higher than that occurred through NH_3 volatilization (Mahimariaja S. et al. 1994).

The concentrations of nitrates, ammoniacal nitrogen and total nitrogen in the water leachate of compost were analyzed for the purpose of monitoring of nitrogen changes in composting material. Concentration of organic nitrogen was calculated by subtraction of ammoniacal nitrogen and nitrate nitrogen concentrations from total nitrogen concentration. The concentrations of ions leached during the ripening of compost were calculated on the basis of 1 kg of dry matter (Fig.4). The highest concentrations of organic nitrogen and ammoniacal nitrogen which are released into leachate, were determined in the interval from week 0 to week 5. The concentrations of nitrogen obtained by leaching were not varying substantially from 9th to 17th week.



Rys 4
Formy azotu w odcieku wody z kompostu

Fig 4
The forms of nitrogen in the water leachate from the compost



Rys 5
stężenia azotu i amoniaku w odciekach wody
z kompostu i alkoholu kompostu

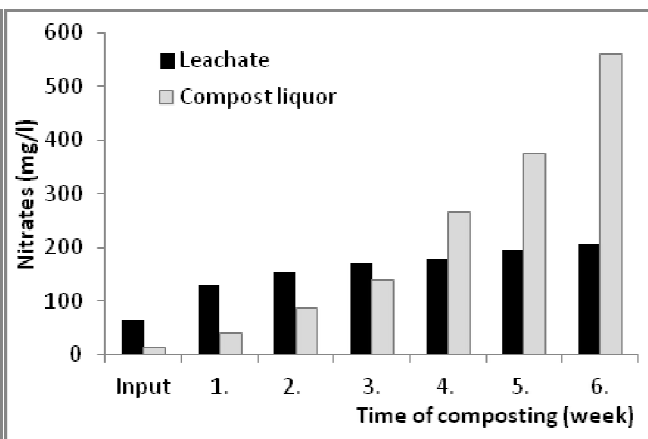


Fig 5
Concentrations of nitrogen and ammonia in water
leachate from compost and in compost liquor

Ilość azotu w kompoście ma również związek z formowaniem się czystego kompostu. Wilgoć osiągała poziom 55 – 60%. Na stężenia azotanów i amoniaku w klarownym roztworze kompostowym nie miały wpływu zwiększone stężenia anionów w objętości fluktuacyjnej klarownego roztworu.

Z wykresów 4 i 5 wynika, że stężenia azotanów wylugowanych z kompostu nie różnią się znacznie od czwartego tygodnia, ale stężenie azotanów w roztworze klarownym kompostu istotnie wzrosło. Amoniak w roztworze klarownym zachowuje się podobnie, ale jego stężenia są niższe niż stężenia azotanów. Parkinson R. i inni (2004) oraz Tiquia S.M. i inni (2000) ogłosili, że największe stężenia $\text{NH}_4\text{-N}$ i $\text{NO}_3\text{-N}$ powstały podczas pierwszych trzech tygodni kompostowania. Stężenia w roztworze klarownym kompostu były w przybliżeniu te same, w zakresie 0 – 20 mg azotu, które jest w średnio 10 razy niższe niż w naszym przypadku. Podobne zachowanie amoniaku w kompoście opisane zostało przez Sanchez-Monedero M.A. i innych (2001). Największa koncentracja amoniaku została zaobserwowana podczas pierwszego tygodnia kompostowania zbiegając się jednocześnie z najbardziej intensywnym okresem rozkładu OM, następnie amoniak stopniowo zmniejszył stężenie do końcowych wartości poniżej 0,04. Proces nityfikacji rozpoczął się jedynie w warunkach temperatury niższej od 40°C , a jego intensywność zależała od ilości amoniaku obecnego na początku procesu (Sanchez-Monedero M. i inni 2001). Wskaźnik $(\text{NH}_4)^+ / (\text{NO}_3)^-$ jest często używany w celu oszacowania procesu kompostowania (Grigatti M. i inni 2011). Wskaźnik ten zmniejsza się w przypadku odcieków kompostowych z wartości 1,08 do wartości 0,05. Już w czwartym tygodniu wartość tego wskaźnika zmalała do 0,17.

The amount of nitrogen in compost is influenced also by forming of compost liquor. The moisture was maintained at approximately 55 – 60%. Concentrations of nitrates and ammonia in the compost liquor can not be influenced by increased concentrations of anions in the framework of volume fluctuation of compost liquor.

From Figures 4 and 5 it is apparent that concentrations of nitrates leached from compost do not vary substantially from 4th week, but the concentration of nitrates in compost liquor increases markedly. Ammonia in compost liquor has similar trends, but its concentrations are lower than concentrations of nitrates. Parkinson R. et al. (2004) and Tiquia S.M. et al. (2000) reported that the highest concentrations of $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ produced during the first three weeks of composting. Concentrations in compost liquor were approximately the same, in the range 0 - 20 mg of nitrogen which is approximately 10 times lower than in our case. The similar behaviour of ammonia in compost was described by Sánchez-Monedero M.a. et al. (2001). The greatest concentration of ammonium was observed during the first weeks of composting, coinciding with the most intense period of OM degradation, and ammonium then decreased gradually to reach final values of below 0.04. The nitrification process began only when the temperature of the mixtures had dropped below 40°C and its intensity depended on the quantity of ammonium present when the process began (Sánchez-Monedero M. et al. 2001). The ration $(\text{NH}_4)^+ / (\text{NO}_3)^-$ it is often used for evaluation of composting process (Grigatti M. et al. 2011). This ratio decreases in the compost leachates from the value of 1.08 to the value of 0.05. Already in the 4th week the value of this ratio decreases to 0.17.

Wnioski

Dla początkowej wartości wskaźnika C/N równej 13,8 w mieszance początkowej do kompostowania, osiągnięto spadek stężenia azotu o 47% do wartości 1,58% wagowych. Ta wartość została osiągnięta już w 14 tygodniu kompostowania, co pozwoli skrócić znacząco czas procesu kompostowania. Procedura redukcji azotu może być wyrażona przez funkcję postaci wielomianu. Wymóg dla stężenia azotu w kompoście wykorzystywanym do celów energetycznych może być spełniony dla podanej mieszanki materiału surowego przez zmniejszenie stężenia azotu w materiale początkowym od wartości 3,1% do 2,9% wagowych. Dla wybranej kombinacji materiału początkowego, zwiększone odkładanie się azotu nie zostało potwierdzone doświadczalnie w żadnej klasie ziarnowej. W celu optymalizacji stężenia azotu w kompoście ważne jest zbadanie, na drodze badań technologicznych, wydajności powstawania kompostu. W tym przypadku odciek z kompostu nie może być użyty do zachowania optymalnego stopnia wilgotności podczas procesu kompostowania.

Podziękowania

Ten artykuł został opracowany w ramach projektów badawczych Ministerstwa Edukacji, Młodzieży i Sportu Republiki Czeskiej: Centrum ENET CZ.1.05/2.1.00/03.0069 i MZ QI101C246.

Conclusion

With the starting value of ratio C/N equal to 13.8 in the input mixture for composting, it was achieved the decrease of nitrogen concentration by 47% to the value of 1.58 wt.%. This value was reached already in the 14th week of composting which will enable to shorten markedly the duration of composting process. The procedure of nitrogen reduction can be expressed by polynomial function. The requirement for nitrogen concentration in compost utilized for energy purposes can be met for given mixture of input raw materials by decreasing of nitrogen concentration in the input raw material from the value of 3.1 wt.% to the value of 2.9 wt.%. For the selected combination of input raw materials, the increased accumulation of nitrogen was not proved in any grain size class. For the purposes of optimization of nitrogen concentration in compost, it is necessary to ensure technologically the efficient removal of compost liquor from the system. In this case the compost liquor can not be used for maintaining the optimal moisture during composting process.

Acknowledgement

This paper was supported by research projects of the Ministry of Education, Youth and Sport of the Czech Republic: the Centre ENET CZ.1.05/2.1.00/03.0069 and MZ QI101C246.

Literatura – References

1. Amlinger F., Götz B., Dreher P., Geszti J., Weissteiner Ch. (2003): *Nitrogen in biowaste and yard waste compost: dynamics of mobilisation and availability – a review. European Journal of Soil Biology. V.39, 107-116.*
2. American Public Health Association (APHA) (2005): *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed., APHA, Washington DC.*
3. Barrington S., Choniere D., Trigui M., Knight W. (2002): *Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses. Biosource Technology, V.83, 189-194.*
4. Bouška V. (1981): *Geochemistry of coal. Academia, Prague, 1-279.*
5. Bueno R., López F., Díaz M.J. (2008): *Optimizing composting parameters for nitrogen conservation in composting. Bioresource Technology, V.11, 5069-5077.*
6. Dickson N., Richard T, Kozłowski R. (1991): *Composting to Reduce the Waste Stream: A Guide to Small Scale Food and Yard Waste Composting. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cornell University.*
7. Doublet J., Francou C., Pétraud J.P., Dignac M.F., Poitrenaud M., Houot S. (2010): *Distribution of C and N mineralization of a sludge compost within particle-size fractions. Bioresource Technology, V.101, 1254-1262.*

- 8 Finney K.N., Changkook R., Sharaifi V.N., Swithenbank J. (2009): *The reuse of spent mushroom compost and coal tailings for energy recovery: comparison of thermal treatment technologies. Bioresour. Technology. V.100, 310–315.*
- 9 Grigatti M., Cavani L., Ciavatta C. (2011): *The evaluation of stability during the composting of different starting materials: Comparison of chemical and biological parameters. Chemosphere, V.83, 41-48.*
- 10 Guardia A., Petiot C., Rogeau D., Druilhe C. (2008): *Influence of aeration rate on nitrogen dynamics during composting. Waste Management, V.3, 575-587.*
- 11 Hajkova M., Raclavska H., Juchelkova D., Kucerova M (2010): *Possibilities of technological utilisation of BDMW from municipalities with rural building development. Transaction of the VŠB-Technical University of Ostrava, Mechanical Series, V.56, 89-98.*
- 12 Himanen M., Hänninen K. (2011): *Composting of bio-waste, aerobic and anaerobic sludges – Effect of feedstock on the process and quality of compost. Bioresource Technology, V.102, 2842-2852.*
- 13 Jouraiphy A., Amir S., El Gharous M., Revel J.C., Hafidi M. (2005): *Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of sewage sludge and green plant waste. International Biodeterioration & Biodegradation, V.56, 101-108.*
- 14 Kranert M., Gottschall R., Bruns Ch., Hafner G. (2010): *Energy or compost from green waste? A CO₂-based assessment. Waste Management. V.30, 697–701.*
- 15 Litskas V.D., Mamolos A.P., Kalburtji K.L., Tsatsarelis A.C., Eleni Kiose-Kampasakali E.K. (2011): *Energy flow and greenhouse gas emissions in organic and conventional sweet cherry orchards located in or close to Natura 2000 sites. Biomass and Bioenergy, V.35, 1302-1310.*
- 16 Mahimairaja S., Bolan N.S., Hedley M. J., Macgregor A. N. (1994): *Losses and transformation of nitrogen during composting of poultry manure with different amendments: An incubation experiment. Bioresource Technology, V.47, 265-273.*
- 17 Martin A.M., Dewes T. (1992): *Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes. Bioresource Technology, V. 44, 65-69.*
- 18 Parkinson R., Gibbs P., Burchett S., Misselbrook T. (2004): *Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. Bioresource Technology, V.91, 171-178.*
- 19 Raclavská H., Juchelková D., Škrobánková H., Wiltowski J. Campen A. (2011): *Conditions for energy generation as an alternative approach to compost utilization. Environmental Technology. V.32, 407-417.*
- 20 Reed T., Gaur S. (2009): *An atlas of thermal data for biomass and other fuels. The Biomass Energy Foundation. ISBN 1-890607-21-7 277.*
- 21 Sánchez-Monedero M.A., Roig A., Paredes C., Bernal M.P. (2001): *Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. Bioresource Technology, V.78, 301-308.*
- 22 Tiquia S.M., Tam N.F.Y. (2002): *Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles. Process Biochemistry. V.37, 869-880*
- 23 U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy Clearinghouse, Biomass Cofiring: *A Renewable Alternative for Utilities. June 2000. DOE/GO-102000-1055.*