

## WPLYW UWILGOTNIENIA ODPADÓW MIEJSKICH NA ZAWARTOŚĆ RÓŻNYCH FORM MAKROELEMENTÓW\*

*J. Drozd, M. Licznar*

Instytut Gleboznawstwa i Ochrony Środowiska Rolniczego, Akademia Rolnicza  
ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław  
e-mail: drozd@ozi.ar.wroc.pl

**Streszczenie.** Celem pracy było określenie wpływu uwilgotnienia kompostowanych odpadów miejskich opuszczających linię technologiczną kompostowni systemu „Dano”, na zawartość całkowitą i formy wodnorozpuszczalne N, P, K, i Mg. Materiał kompostowano przez 5 miesięcy, napowietrzano w odstępach 10 - 15 dniowych, określano w nim wilgotność oraz uzupełniano ubytki wody.

W eksperymencie zastosowano następujące warianty: A – kompostowanie na pryzmie przy 50% wilgotności wagowej (w/w) w dniu napowietrzania (z wahaniami 44,0 – 52,0%); B – kompostowanie w pojemniku ażurowym (1000 l) przy 50% w/w w dniu napowietrzania (z wahaniami 46,2 – 53,4%); C – kompostowanie w pojemniku ażurowym (1000 l) przy wilgotności 60% w/w (z wahaniami 46,9 – 60%). W czasie kompostowania skutek procesów mineralizacji wzrastała zawartość całkowita azotu i fosforu we wszystkich wariantach eksperymentu, czego wyrazem było obniżenie  $C_i$ . Równocześnie stwierdzono, iż wyższy poziom uwilgotnienia decydował o wolniejszym przebiegu mineralizacji, zwłaszcza w początkowym okresie kompostowania. Wyrażało się to niższą zawartością azotu całkowitego i jego form rozpuszczalnych w wodzie. Zróżnicowane uwilgotnienie wykazywało najmniejszy wpływ na zawartość całkowitą fosforu i jego form rozpuszczalnych w wodzie. Wzrost całkowitych zawartości potasu i magnezu obserwowano jedynie przy poziomie uwilgotnienia około 50% w/w. Przy uwilgotnieniu około 60% w/w następowało wymywanie potasu, natomiast magnez tworzył połączenia mniej rozpuszczalne.

Wyniki badań wskazują również, że wysoka wilgotność kompostowanej masy (wariant C) nie gwarantowała bezpieczeństwa sanitarnego kompostu, gdyż jego temperatura nie przekraczała 55°C.

**Słowa kluczowe:** odpady komunalne, kompostowanie, wilgotność kompostów, makroelementy.

---

\*Praca finansowana ze środków KBN nr projektu 6-P04G-100-20.

## WSTĘP

Proces transformacji heterogenicznych substancji organicznych zawartych w odpadach komunalnych w kompost, zależy od właściwości materiałów wyjściowych i warunków ich kompostowania [3,4,6,9].

Najczęściej materiały surowe, opuszczające linię technologiczną kompostowni miejskich, dojrzewają na pryzmach, w warunkach dużych wahań uwilgotnienia. Uwilgotnienie w powiązaniu z temperaturą, może decydować o intensywności procesów transformacji składników organicznych. Decydują one o stopniu humifikacji materii organicznej, jej mineralizacji oraz ilości i dostępności składników pokarmowych. Od zawartości tych składników zależy wartość nawozowa uzyskanego kompostu oraz jego wpływ na kształtowanie warunków wzrostu i rozwoju roślin.

W dotychczasowych badaniach dotyczących przemian zachodzących w czasie kompostowania, nie zwracano większej uwagi na zależność między wilgotnością kompostowanego materiału, a zawartością różnych form mineralnych składników pokarmowych. Wilgotność odgrywa ważną rolę w przebiegu poszczególnych faz kompostowania, co wyraża się zróżnicowaną aktywnością biologiczną [1,7]. Decyduje ona o intensywności procesów mineralizacji materii organicznej, powstawaniu różnych form składników mineralnych oraz ich włączaniu w kompleksowe połączenia organiczno-mineralne.

Celem pracy była ocena wpływu uwilgotnienia materiału opuszczającego linię technologiczną kompostowni, na zawartość niektórych form makroelementów, w różnych fazach dojrzewania kompostów.

## MATERIAŁY I METODY

Obiektem badań był kompost surowy (grzejny) opuszczający linię technologiczną kompostowni „Dano” w Katowicach. Kompostowanie tego materiału prowadzono przez okres około 5-ciu miesięcy w następujących warunkach:

wariant A - pryzma na folii, przy 50% wilgotności wagowej (w/w) w dniu napowietrzania, z wahaniami 44,0 – 52,4%;

wariant B - pojemnik ażurowy z tworzywa, pojemność około 1000 l, przy 50% wilgotności wagowej w dniu napowietrzania, z wahaniami 46,2 – 53,4%;

wariant C - pojemnik ażurowy z tworzywa, pojemność około 1000 l, wilgotność kompostowanej masy 60% wilgotności wagowej, z wahaniami 46,9 - 60%.

W czasie eksperymentu w odstępach 10-15 dniowych, kompostowany materiał napowietrzano, określano w nim wilgotność, uzupełniano ubytki wody

oraz pobierano próbki do badań laboratoryjnych. Z każdego obiektu pobrano 7 próbek, które reprezentowały materiał surowy oraz po 22, 54, 82, 112, 143 i 159 dniach kompostowania. Próbki do badań pobierano punktowo z 20 miejsc, tworząc z nich próbki średnie. W zebranym materiale oznaczono zawartości całkowitych (t) i rozpuszczalnych w wodzie (w) form N, P, K, Mg oraz węgiel organiczny (utleniały) C<sub>t</sub> i pH w wodzie.

Oznaczenie wykonano następującymi metodami:

- C<sub>t</sub> - metodą oksydometryczną z K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>;
- N<sub>t</sub> - metodą Kjeldahla;
- P<sub>t</sub>, K<sub>t</sub>, Mg<sub>t</sub> - po mineralizacji prób na mokro w stężonym HClO<sub>4</sub>;
- P<sub>t</sub> - kolorymetrycznie;
- K<sub>t</sub> - na fotometrze płomieniowym;
- Mg<sub>t</sub> - metodą AAS;
- N<sub>w</sub>, P<sub>w</sub>, K<sub>w</sub>, Mg<sub>w</sub>, pH w wyciągach wodnych w stosunku kompost: woda (1:10), stosując wymienione wyżej metody oznaczania N, P, K, Mg;
- wilgotność aktualną kompostów metodą wagowo-suszarkową.

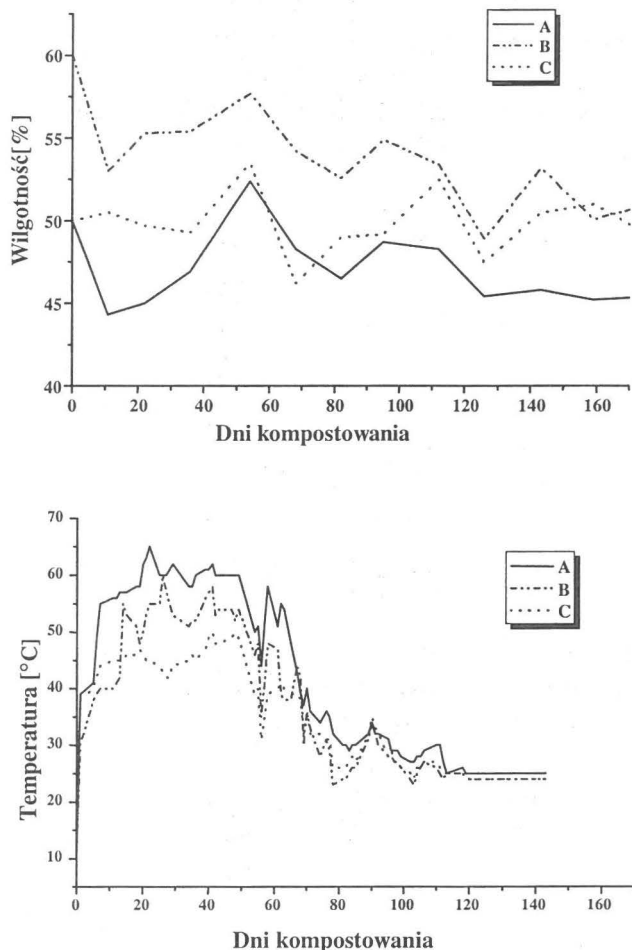
#### WYNIKI I DYSKUSJA

Kompostowanie zachodzące pod wpływem zmieniających się sukcesji mikroorganizmów głównie tlenowych, jest procesem oksydacji substancji organicznej, powodującym głębokie jej przekształcenia. Intensywność tych przemian zależy od poziomu uwilgotnienia i przejawia się zmianami temperatury (Rys. 1). Na przyźmie (wariant A) temperatura rosła najszybciej i osiągnęła 55°C w 7 dniu kompostowania. Faza termofilna, o temperaturze przekraczającej 55°C, utrzymywała się w tych warunkach najdłużej (41 dni) i zgodnie z obowiązującymi normami [5,6,7,8] zapewniała warunki bezpieczeństwa sanitarnego kompostów.

Wolniejszy wzrost temperatury oraz niższe jej maksymalne wartości, stwierdzono podczas kompostowania odpadów w pojemnikach (warianty B i C). W wariacie B, przy podobnej początkowej wilgotności jak na przyźmie, wilgotność podlegała niewielkim wahaniom, a maksymalną temperaturę 60°C kompostowana masa osiągnęła dopiero po 14 dniach eksperymentu. Faza termofilna z temperaturą powyżej 55°C trwała w tych warunkach krócej (9 dni), ale zapewniała bezpieczeństwo sanitarne kompostów [6,7].

Odmienne przebieg kompostowania obserwowano w wariacie C, w którym zawartość wody uzupełniano do poziomu 60% wilgotności wagowej. Przy wyższej zawartości wody w kompostowanej masie istniały mniej korzystne

warunki rozwoju populacji drobnoustrojów tlenowych. W wariacie C jedynie w początkowych 5-ciu dniach zachodził stosunkowo szybki rozwój bakterii tlenowych i wzrost temperatury przebiegał wyraźnie wolniej, osiągając maksymalną temperaturę 50°C dopiero w 42 dniu kompostowania. Wskazuje to, iż dynamika temperatury w wariacie C nie gwarantowała bezpieczeństwa sanitarnego kompostu, ze względu na brak wyraźnej fazy termofilnej ( $>55^{\circ}\text{C}$ ).



Rys. 1. Zmiany wilgotności i temperatury w czasie kompostowania.

Fig. 1. Moistness and temperature changes during composting.

Przebieg temperatury w kompostowanym materiale jest fizycznym odzwierciedleniem intensywności zachodzących procesów biochemicznych. Na podstawie dynamiki temperatury, można wnioskować o kierunku i tempie przemian substancji organicznej. Efektem tych procesów mogą być także różne formy makroelementów, powstające w wyniku jej mineralizacji. Intensywność zachodzących przemian potwierdzają wyniki badań nad zawartością węgla w analizowanych wariantach (Tab. 1). Całkowita ilość węgla utlenialnego ( $C_t$ ) obniżała się we wszystkich wariantach doświadczenia z upływem czasu kompostowania. Proces mineralizacji był szczególnie intensywny na przymie (wariant A), a najwolniej przebiegał w pojemniku przy wilgotności wagowej 60% (wariant C). Obniżenie całkowitej zawartości węgla organicznego ( $C_t$ ) uwidaczniało się wyraźnie w okresie 140 dni kompostowania na obiektach z uwilgotnieniem 50% (warianty A i B). W wariantach A i B intensywność mineralizacji była wyraźnie osłabiona i dopiero po 159 dniach kompostowania obserwowano wyrównanie zawartości  $C_t$  we wszystkich wariantach doświadczenia.

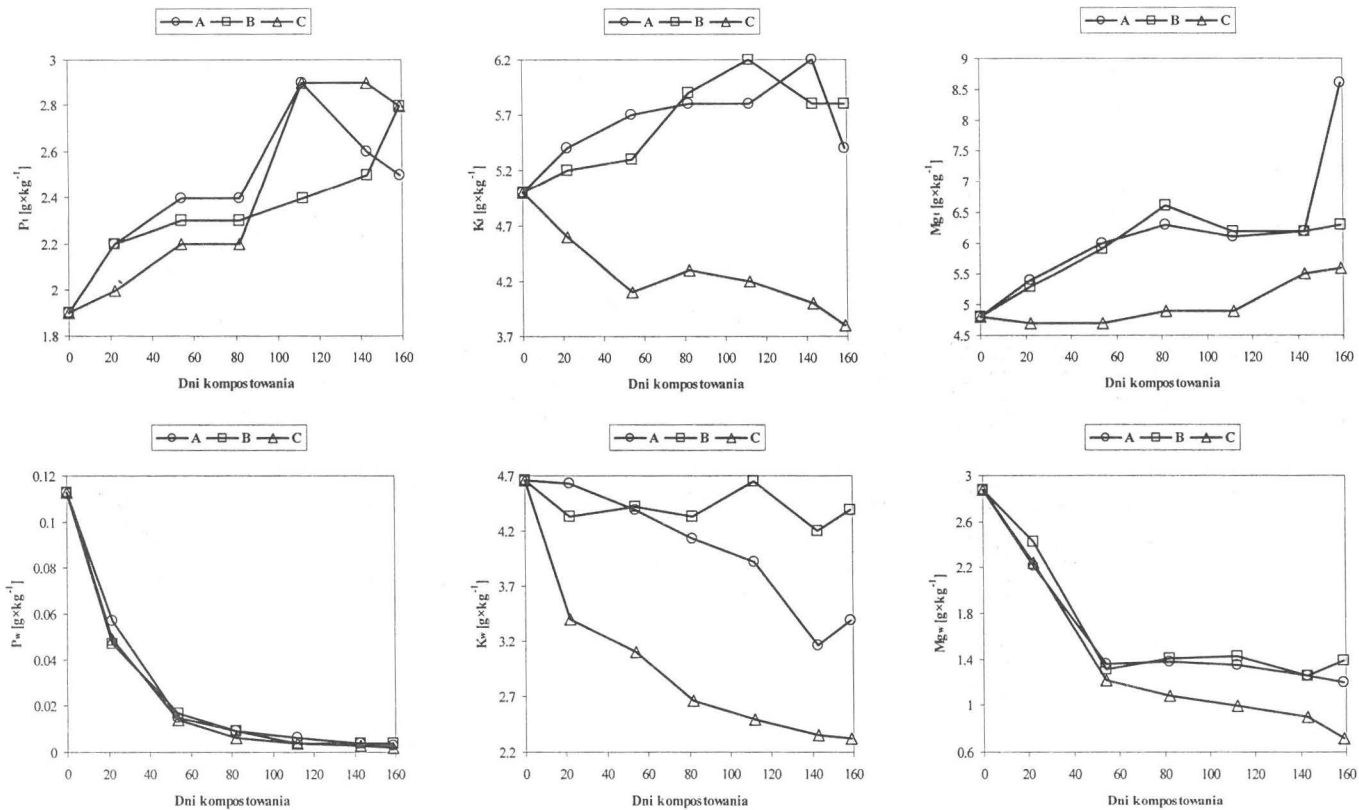
Zmiany ilościowe materii organicznej wpłynęły na zawartość azotu. W czasie kompostowania całkowita zawartość azotu ( $N_t$ ) wzrastała we wszystkich obiektach. Przyjmowała ona jednocześnie wyższe wartości w obiektach A i B, o niższym poziomie uwilgotnienia. Wyraźnie niższa zawartość  $N_t$  w kompostach dojrzałych, produkowanych przy uwilgotnieniu około 60% wagowych wody, może być wiązana ze stratami azotu powodowanymi denitryfikacją, zachodzącą w warunkach wyższego uwilgotnienia [2]. Świadczy o tym również niska zawartość azotu rozpuszczalnego w wodzie ( $N_w$ ) w wariantach A i B.

Różne uwilgotnienie kompostowanej masy wpływało odmiennie na zawartości pozostałych makroelementów (Rys. 2). Zawartość całkowitego fosforu ( $P_t$ ) wzrastała w procesie dojrzewania kompostów, niezależnie od poziomu uwilgotnienia. Podobnie całkowita zawartość magnezu rosła z upływem czasu kompostowania, ale wzrost ilościowy tego składnika był mniejszy przy wyższym poziomie uwilgotnienia.

Inaczej kształtowała się zawartość całkowita potasu. Jego ilość wzrastała nieznacznie w wariantach kompostowania A i B przy 50% wilgotności wagowej i ulegała wyraźnemu obniżeniu przy 60% wilgotności wagowej (wariant C). Zmniejszenie zawartości całkowitej potasu przy wyższym poziomie uwilgotnienia, jest przypuszczalnie związane z dużą jego rozpuszczalnością w wodzie. Mogą o tym świadczyć wysokie i bardziej zbliżone do zawartości całkowitych ilości form rozpuszczalnych tego składnika w wodzie, co potwierdza wyniki dotychczasowych opracowań [2].

**Tabela 1.** Wpływ uwilgotnienia kompostowanej masy na pH i zawartość niektórych składników  
**Table 1.** Composting mass moistness influence on pH and some elements content

Dzień kompostowania	pH w H <sub>2</sub> O	C <sub>t</sub>	N <sub>t</sub>	N <sub>w</sub>
		g·kg <sup>-1</sup>		
Wariant A przyzma (50% w/w)				
0	6,88	285,85	9,76	1,76
22	6,87	194,09	10,78	1,33
54	7,94	168,70	12,11	0,88
82	8,27	163,28	12,71	0,73
112	8,10	156,80	12,91	0,94
143	7,98	150,30	13,19	1,04
159	7,66	146,70	12,99	1,12
Wariant B (50% w/w)				
0	6,88	285,85	9,76	1,76
22	6,90	191,50	10,22	1,15
54	7,82	171,78	11,70	1,04
82	8,35	163,50	11,83	0,36
112	7,93	156,81	10,90	0,44
143	7,84	153,86	12,07	0,47
159	7,85	147,98	12,20	0,65
Wariant B (60% w/w)				
0	6,88	285,85	9,76	1,76
22	6,88	198,80	10,22	1,00
54	7,65	189,73	12,26	1,05
82	8,38	181,23	12,17	0,16
112	7,93	168,27	11,49	0,19
143	7,69	156,33	10,68	0,12
159	7,81	148,73	10,00	0,08



Rys. 2. Wpływ uwilgotnienia na zawartość całkowitą (t) i wodnorozpuszczalną (w) fosforu, potasu i magnezu w różnie dojrzałych kompostach.  
 Fig. 2. Moistness influence on total (t) and water-soluble (w) phosphorus, potassium, magnesium contents for composts of different maturity.

Wśród badanych makroelementów zasługuje na uwagę bardzo niska rozpuszczalność fosforu ( $P_w$ ) w wodzie, która w małym stopniu zależała od poziomu uwilgotnienia kompostowanej masy. W prowadzonym eksperymencie ilość tego składnika obniżyła się gwałtownie między 22 a 54 dniem kompostowania, a w dalszym okresie następowało stopniowe jego zmniejszanie we wszystkich wariantach uwilgotnienia. Podczas kompostowania podobnie obniżała się zawartość rozpuszczalnych w wodzie form magnezu. Zmiany te zaznaczyły się bardziej intensywnie w wariantcie C, przy wilgotności 60%.

Przeprowadzone badania wskazują, że najwyższą zawartością łatwo dostępnych form makroelementów rozpuszczalnych w wodzie charakteryzowały się komposty surowe (grzejne) oraz w początkowym okresie kompostowania. W procesie dojrzewania kompostów ilość wodnorozpuszczalnych form tych składników ulegała stopniowo obniżeniu. Szczególnie intensywnie zaznaczyło się to w wariantcie C, co niewątpliwie może być powodowane łatwym ich wymywaniem z kompostowanej masy, przy wysokim stopniu jej uwilgotnienia. W procesie unieruchomienia niektórych makroelementów istotną rolę odgrywają również zmiany pH, co szczególnie obserwujemy w przemianach fosforu [3]. Decydują one o zjawiskach fizykochemicznych, zachodzących w środowisku glebowym, które prowadzi do uwstecznienia tego składnika. Analizując zawartość całkowitych i wodnorozpuszczalnych form badanych makroelementów, można stwierdzić, że fosfor jest spośród nich składnikiem najłatwiej unieruchamianym w procesie kompostowania. Następstwem tego jest zmniejszenie ilości wodnorozpuszczalnych jego form, przy jednoczesnym wzroście zawartości całkowitego P w końcowym produkcie, niezależnie od warunków wilgotnościowych procesu kompostowania. Podobny kierunek przemian dotyczył również Mg, którego formy rozpuszczalne w wodzie wykazywały najniższe zawartości w wariantcie C o najwyższym stopniu uwilgotnienia.

#### WNIOSKI

1. W warunkach wyższego uwilgotnienia (około 60% w/w) następuje obniżenie zawartości całkowitych i wodnorozpuszczalnych form azotu i potasu.
2. Poziom uwilgotnienia kompostowanej masy nie wpływał na zawartość całkowitych i wodnorozpuszczalnych form fosforu.
3. Wyższy poziom uwilgotnienia wpływał nieznacznie na wzrost zawartości całkowitej magnezu, ale powodował wyraźne zmniejszenie jego form rozpuszczalnych w wodzie.
4. Poziom uwilgotnienia do 50% w.w. w czasie kompostowania, zapewniał wyższą zasobność kompostów w makroelementy oraz ich bezpieczeństwo sanitarne.



## PIŚMIENNICTWO

1. **Beffa T., Blanc M., Marilley L., Frischer J. L., Lyon P. F., Aragno M.:** Taxonomic and Metabolic Microbial Diversity During Composting. In: *The Science of Composting* (Ed. M. Bertoldi et al.). Blackie Academic & Professional, London, Glasgow, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 149-161, 1996.
2. **Drozd J., Licznar M., Patorczyk-Pytlik B., Rabikowska B.:** Zmiany w składzie chemicznym kompostów z odpadów miejskich w czasie kompostowania. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 437, 123-130, 1996.
3. **Iglesias-Jimenez E., Perez-Garcia V.:** City refuse compost as a phosphorus to overcome the P-fixation capacity of sequioxide rich soils. *Plant and Soil*, 148, 115-127, 1993.
4. **Jeris J. S., Regan R. W.:** Controlling environmental parameters for optimal composting II: Moisture, Free Air Space and Recycle. *Compost Science*, March-April, 1973.
5. **Siuta J.:** Kompostowanie i wartości użytkowe kompostu. W: *Kompostowanie i użytkowanie kompostu* (Red. Siuta J., Wasiak G.). Wydawnictwo Ekoinżynieria, Lublin, 7-20, 1999.
6. **Stentiford E. I.:** Composting Control: Principles and Practice. In: *The Science of Composting* (Ed. M. Bertoldi et al.). Blackie Academic & Professional, London, Glasgow, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 49-59, 1996.
7. **Strauch D.:** Occurrence of Microorganisms Pathogenic for Man and Animals in Source Separated Biowaste and Compost – Importance, Control, Limits, Epidemiology. In: *The Science of Composting* (Ed. M. Bertoldi et al.). Blackie Academic & Professional, London, Glasgow, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 225-232, 1996.
8. **Suller D. J., Finstein M. S.:** Effects of temperature, aeration and moisture on CO<sub>2</sub> formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid wastes. *Appl. Environ. Microbiol.*, 33, 345-350, 1977.
9. **Tiquia S. M., Tam N. F. Y., Hodgkiss I. J.:** Effect of Moisture Content on the Composition of Pig-Manure Sawdust Litter Disposed From the Pig-on Litter (POL) System. In: *The Science of Composting* (Ed. M. Bertoldi et al.). Blackie Academic & Professional, London, Glasgow, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 1361-1364, 1996.

## MUNICIPAL WASTES MOISTNESS INFLUENCE ON DIFFERENT MACROELEMENTS FORMS CONTENT

*J. Drozd, M. Licznar*

Institute of Soil Science and Agricultural Environmental Protection, Agricultural University  
ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław  
e-mail: drozd@ozi.ar.wroc.pl

**Summary.** The aim of study was determination of influence of moistness of composting municipal wastes leaving a compost processing line of a „Dano” system on a total content and water-soluble forms of N, P, K, and Mg. The material was composted for five months; it was aerated every 10-15 days, its humidity was determined and any water loss was supplemented. The following experiment variants were applied: A – composting on a prism with a 50% weight humidity (w/w) at the aeration day (with fluctuations of 44,0-52,0%); B- composting in an open-work container (1000 l) with a 50% w/w at the aeration day (with fluctuations of 46,2-53,4%); C composting in an open-work container (1000 l) with a humidity of 60% w/w (with fluctuations of 46,9-60%). During composting the total contents of nitrogen and phosphorus increase in all variants of the experiment due to mineralization process, that was reflected by a  $C_t$  decrease. It was also found that higher level of moistness determined slower mineralization, particularly on the early stages of composting. It was reflected by lower content of total nitrogen and its water-soluble forms. The differentiation of moistness had the lowest influence on a total content of phosphorus and its water-soluble forms. An increase of total contents of potassium and magnesium was observed only at the humidity level of about 50% w/w. At the humidity of about 60% w/w potassium was eluted out whilst magnesium gave less soluble species.

The results indicate also that high humidity of the composting mass (variant C) is not a guarantee of a sanitary safety since its temperature did not exceed 55°C.

**Key words:** municipal wastes, composting of wastes, humidity of composts, macroelements.