

---

**PRACE**

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Ceramics  
and Building Materials

---

**Nr 18**  
(lipiec–wrzesień)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus  
ISSN 1899-3230

**Rok VII**

**Warszawa–Opole 2014**

---

MARTA BOŻYM\*  
NATALIA DRÓŹDŹ\*\*  
GRZEGORZ SIEMIĄTKOWSKI\*\*\*

## Zawartość makroelementów i ich form przyswajalnych w kompostach produkowanych z odpadów zielonych

**Słowa kluczowe:** odpady zielone, kompostowanie, makroelementy.

Kompostowanie odpadów należy do ważnych kierunków odzysku i recyklingu organicznego odpadów [13]. W ten sposób można otrzymać pełnowartościowy produkt, nadający się do wykorzystania jako nawóz lub środek poprawiający właściwości gleby. Procesy biochemiczne zachodzące podczas kompostowania powodują rozkład substancji organicznej i uwalnianie makro- i mikroelementów. Wartość nawozowa kompostu w dużej mierze zależy od zawartości makroelementów (N, P, K, Mg, Ca). W pracy przedstawiono wyniki badań kompostów produkowanych z odpadów zielonych w zależności od stopnia ich dojrzałości. Próbkę pobrano jednorazowo z pięciu pryzm, różniących się stopniem dojrzałości kompostu: od 3-miesięcznego do 2-letniego. Dodatkowo pobrano próbki kompostów zawierających dodatek frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych. W próbkach oznaczono zawartość makroelementów i ich form przyswajalnych w celu oceny wartości nawozowej kompostów. Stwierdzono, że badane komposty były zasobne w makroskładniki. Największy udział przyswajalnych form makroelementów oznaczono w kompostach „najstarszych” i z dodatkiem frakcji biodegradowalnej. Wyjątek stanowił fosfor, dla którego największy udział formy przyswajalnej oznaczono w kompoście 3-miesięcznym.

### 1. Wstęp

Kompost uznawany jest za jeden z najlepszych organicznych nawozów. Jest naturalnym czynnikiem podtrzymywania żyzności gleby [28]. O wartości nawozowej kompostu decyduje skład substratów i stopień jego dojrzałości [3, 12,

---

\* Dr inż., Politechnika Opolska, m.bozym@po.opole.pl

\*\* Mgr inż., M-SILNICE a.s., Oddział w Polsce, biuro.jastrzebie@msilnice.cz

\*\*\* Dr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, zis@icimb.pl

28]. Głównym celem nawozowego wykorzystania kompostu jest zachowanie i zwiększenie zawartości próchnicy w glebie. Próchnica warunkuje aktywność biologiczną i sprawność agrotechniczną gleby. Dostarczanie makroelementów jest w tym bardzo istotne [27]. Zawartość składników pokarmowych w kompostach waha się zwykle w granicach: 0,75–1,5% N, 0,25–0,5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i 0,5–1,0% K<sub>2</sub>O. Działanie nawozowe kompostów porównuje się często z działaniem obornika [5]. Udział makroelementów w oborniku zależy od jego pochodzenia i wynosi: dla azotu – 0,04–2,99% N (średnio 0,5%), fosforu – 0,03–1,88% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (średnio 0,3%) i potasu 0,06–3,42% K<sub>2</sub>O (średnio 0,7%) [14]. Oprócz azotu, fosforu i potasu w kompostach odnotowano wysoki udział substancji organicznej i różne ilości pozostałych makro- i mikrośladników, a także substancje stymulujące wzrost roślin [12, 25]. W polskim prawie zostały określone wymagania jakościowe dla nawozów organicznych, w tym kompostów wprowadzanych do obrotu, obowiązujące od 2008 r. Określono w nich minimalne zawartości makroelementów [10, 15]. Według [27] kompost może być stosowany raz na 3 lub 4 lata, ale należy pamiętać o tak zwanym kryterium azotowym, które dopuszcza zastosowanie nie więcej niż 170 kg N/ha/rok w formie nawozów organicznych. Atutem tych nawozów jest rozłożenie ich działania nawozowego w czasie, a także wielokierunkowość tego działania zarówno na roślinę, jak i na właściwości gleby [5]. Czynniki ograniczającymi wartość nawozową kompostów jest nadmierna zawartość metali ciężkich, organizmów chorobotwórczych i innych zanieczyszczeń, w tym jak podaje [27] obecność nasion chwastów. Komposty niezaklasyfikowane jako nawóz czy środek wspomagający uprawę roślin [30] posiadają status odpadu, a ich dalsze wykorzystanie regulują odpowiednie przepisy dotyczące stosowania odpadów i ochrony środowiska [31–33]. W większości krajów Unii Europejskiej obowiązują normy, które w zależności od składu dzielą kompost na klasy, określając w ten sposób jego przeznaczenie i możliwość zastosowania [15]. W Polsce do 2001 r. obowiązywała norma branżowa klasyfikująca komposty, która określała wymagania dotyczące udziału substancji odżywczych i dopuszczalnej zawartości zanieczyszczeń [16].

### 1.1. Zawartość azotu w kompostach

Według [26] zawartość azotu w kompostach zależy od składu substratów i dojrzałości kompostu. W pracy [26] przeprowadzono badania kompostów produkowanych z frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych z dodatkiem materiału strukturalnego. W kompostach dojrzałych (6-miesięcznych) oznaczono udział azotu na poziomie 0,95% s.m., natomiast w młodszych, 1- i 3-miesięcznych, odpowiednio mniej, 0,63% i 0,87% azotu w s.m. Dodatkowo przeprowadzono badania kompostu z odpadów zielonych. Udział azotu w tych kompostach wynosił zaledwie 0,46% s.m. Stwierdzono, że najlepsze właściwości nawozowe i wpływ na plony roślin posiadał kompost „najstarszy”, pochodzący z frakcji

biodegradowalnej odpadów komunalnych, co tłumaczy wysokim udziałem azotu. W pracach [34–35] stwierdzono obniżenie udziału azotu podczas kompostowania odpadów zielonych. Kompostowanie przebiegało w warunkach naturalnych, to znaczy w przyzmacz kompostowych lub w przydomowych kompostownikach. Natomiast w pracy [9] stwierdzono wzrost zawartości azotu w kompostach produkowanych w technologii DANO w porównaniu do składu materiału wsadowego. Wydaje się zatem, że zmiany udziału azotu podczas kompostowania mogą wynikać ze stosowanej technologii. W warunkach naturalnych może dochodzić do niekontrolowanych procesów uwalniania związków azotu. W literaturze opisano powstawanie lotnych związków azotu w trakcie kompostowania odpadów, na przykład  $\text{NH}_3$  czy  $\text{N}_2\text{O}$  [7, 17].

## 1.2. Zawartość fosforu w kompostach

W pracy [26] nie stwierdzono wpływu stopnia dojrzałości kompostu na udział tego makroelementu. Oznaczono zawartość  $\text{P}_2\text{O}_5$  w kompostach z frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych na poziomie 0,25–0,34% P s.m. (1,15–1,56%  $\text{P}_2\text{O}_5$  s.m.) oraz w kompostach z odpadów zielonych: 0,21% P s.m. (0,96%  $\text{P}_2\text{O}_5$  s.m.). W pracy [5] oznaczono szeroki przedział zawartości fosforu w kompostach w zależności od składu substratów: 0,45% P s.m. – odpad zielony do 4,4% P s.m. – kompost komercyjny (odpowiednio 2,06–20,2%  $\text{P}_2\text{O}_5$  s.m.). Natomiast w pracy [1] zauważono obniżenie udziału fosforu podczas procesu dojrzewania kompostów pochodzących z trzech kompostowni: Radiowo k. Warszawy i Katowice (technologia DANO) oraz Lublin (kompostowanie przyzmaczowe KOM-EKO). Jednak w badaniach [4] stwierdzono przyrost aż o 30% zawartości fosforu ogólnego po 180 dniach kompostowania. Potwierdzają to badania [6, 9]. W innych badaniach [19–20] nie stwierdzono natomiast znaczących zmian w zawartości fosforu między substratem i kompostem z odpadów zielonych.

## 1.3. Zawartość potasu w kompostach

W pracy [26] oznaczono udział potasu w kompostach z odpadów zielonych na niskim poziomie 0,28% K s.m., tj. 0,67%  $\text{K}_2\text{O}$  s.m. Stwierdzono także, że czas kompostowania w przyzmacz nie wpłynął na zmiany zawartości potasu w produkcie końcowym. Według [5] odnotowano większy udział potasu w kompostach z odpadów zielonych niż w kompoście komercyjnym „Veget”. W pracy [9] oznaczono potas na podobnym poziomie w substracie i kompoście z odpadów komunalnych systemu DANO. Natomiast w pracy [34] uzyskano zmniejszenie udziału potasu w kompostach z terenów zieleni miejskiej Warszawy w porównaniu z substratem.

## 1.4. Zawartość magnezu i wapnia w kompostach

Magnez, obok wapnia, należy do makroelementów, niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania roślin. Udział magnezu i wapnia w nawozach organicznych zwykle nie jest duży. W kompostach oznacza się magnez na poziomie 0,36–1,41% MgO s.m. [34]. Według [4] zawartość magnezu w kompoście z odpadów miejskich była wyższa w porównaniu z substratem, niezależnie od stopnia jego dojrzałości. Podobnie w późniejszych badaniach autorzy [2] wskazują na stałą tendencję do zwiększania się zawartości tego składnika w miarę postępowania procesu kompostowania. Wpływu czasu kompostowania na zawartość magnezu w kompostach z odpadów komunalnych w pracy [26] nie stwierdzono. Oznaczono magnez w kompostach z odpadów zielonych na poziomie 0,26% Mg s.m. (0,43% MgO s.m.).

Wapń jest podstawowym składnikiem pokarmowym dla roślin. Składnik ten spełnia funkcję transportową i budulcową roślin, wchodząc w skład ścian błon komórkowych. Zwykle komposty z odpadów zielonych zawierają od 0,43 do 7,70% CaO s.m. [34]. Według [1, 6] na ogólną zawartość wapnia w kompostach nie ma wpływu czas i sposób kompostowania. W pracy [26] ustalono, że udział wapnia wzrósł w czasie kompostowania w kompostach na bazie frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych z 0,87% Ca s.m. (1,21% CaO s.m.) w 1-miesięcznym do 1,20% Ca s.m. (1,70% CaO s.m.) w 6-miesięcznym. Udział wapnia w kompostach z odpadów zielonych oznaczono na poziomie 0,12% Ca s.m. (0,17% CaO s.m.).

## 2. Metodyka badań

Celem pracy była ocena wartości nawozowej kompostów wyprodukowanych z odpadów zielonych kompostowanych w pryzmach w zależności od stopnia dojrzałości kompostu. Do badań pobrano próbki z pięciu pryzm kompostowych, znajdujących się na terenie Zakładu Komunalnego w Opolu. Kompostownia składa się z dwóch placów: placu dojrzewania i magazynowania kompostu oraz placu magazynowania odpadów do kompostowania. Plac dojrzewania i magazynowania kompostu oraz magazynowania odpadów do kompostowania jest podzielony na sekcje: magazynowania odpadów do kompostowania, dojrzewającego kompostu i kompostu dojrzałego. Plac zlokalizowano na terenie zrehabilitowanej kwatery składowiska. Konstrukcja placu umożliwia odprowadzenie całości wód opadowych do złoża odpadów zrehabilitowanej kwatery. Kompostownia przyjmuje i przerabia odpady zielone i biodegradowalną frakcję odpadów komunalnych, pochodzące z selektywnej zbiórki u źródła. Sekcja odpadów do kompostowania podzielona jest na strefy magazynowania liści, trawy, rozdrobnionych gałęzi i wiórów drewnianych, krzewów, gałęzi i drewna czystego chemicznie – materiały te są w tej strefie rozdrabniane [8]. Zanieczyszczenia mechanicz-

ne, takie jak szkło, tworzywa sztuczne i inne, usuwane są ręcznie i mechanicznie (sito bębnowe). Odpady formowane są w przyzmy na placu kompostowania. Napowietrzanie przyzm kompostowych odbywa się w sposób pasywny, poprzez dopływ tlenu do przyzmy z ażurowych płyt betonowych. Wysokość formowanej przyzmy wynosi ok. 3–3,5 m. W celu stworzenia naturalnej osłony zapobiegającej wysuszeniu biomasy oraz emisji odorów, przyzma jest przykrywana 15 cm warstwą dojrzałego kompostu. Na pasywnym podłożu nie powstają odcieki. Od momentu uformowania przyzmy odpady nie są zraszane. Koniec kompostowania następuje po 14–16 tygodniach od uformowania przyzmy [8].

Próbki pobrano jednorazowo z przyzm różniących się stopniem dojrzałości kompostu. Dodatkowo pobrano próbki kompostów zawierających dodatek frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych. Pobrane próby oznaczono: KZ3m – kompost z odpadów zielonych, 3-miesięczny „najmłodszy”; KZ0,5 – kompost z odpadów zielonych, półroczny; KZ1 – kompost z odpadów zielonych, 1-roczny; KZ2 – kompost z odpadów zielonych, 2-letni, „najstarszy”; KR – kompost z odpadów zielonych z dodatkiem frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych (ok. 1-roczny). Z próbek pierwotnych, po zmieszaniu metodą kwartowania, sporządzono próbki laboratoryjne o masie ok. 1 kg. Po przewiezieniu do laboratorium, próbki kompostów wysuszono w temperaturze pokojowej, następnie zmielono i poddano analizom. Próbki zmineralizowano w wodzie królewskiej w celu oznaczenia zawartości ogólnej makroelementów. Zawartość ogólną fosforu w kompostach oznaczono w mineralizacji metodą spektrofotometryczną z molibdenianem amonu [24]. Zawartość ogólną potasu, wapnia i magnezu oznaczono metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej [22, 24]. Zawartość azotu ogólnego oznaczono metodą Kjeldahla.

Dodatkowo sporządzono wyciągi w celu oznaczenia zawartości przyswajalnych form makroelementów. Do oznaczenia przyswajalnych form fosforu, potasu, wapnia i magnezu wykonano wyciąg w 0,1M HCl metodą Kappena [11, 22]. Do oznaczenia związków azotu wykonano wyciąg w 1% siarczanie (VI) potasu [23, 29]. Oznaczanie fosforanów wykonano metodą spektrofotometryczną z molibdenianem amonu [21], a związków azotu wykonano metodami spektrofotometrycznymi zgodnie z obowiązującymi normami [18–19, 20, 23].

### 3. Analiza wyników

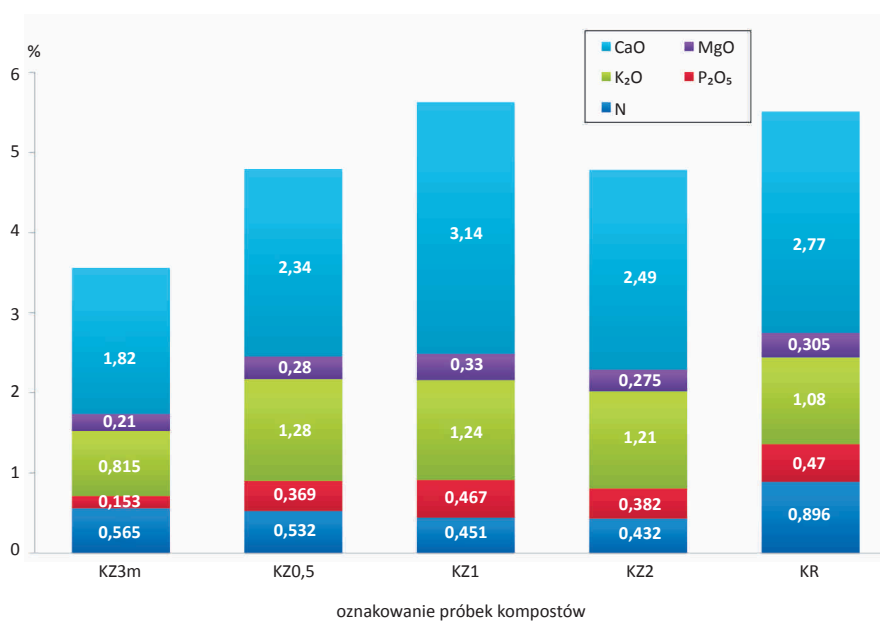
Zawartość całkowitą makroelementów w przeliczeniu na udział procentowy w suchej masie przedstawiono w tabeli 1. W celu lepszego zobrazowania otrzymanych wyników, sporządzono wykres sumy udziałów poszczególnych makroelementów w badanych próbkach (ryc. 1), a w tabeli 2 podano zawartość przyswajalnych form makroelementów. Związki azotu, z uwagi na ich niewielki udział, podano w  $\text{mg kg}^{-1}$  s.m., natomiast pozostałe formy makroelementów w %.

T a b e l a 1

*Zawartość całkowita makroelementów w badanych kompostach*

Numer próbki	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO
	% s.m.				
KZ3m	0,565 ±0,040	0,153 ±0,016	0,815 ±0,078	0,210 ±0,000	1,82 ±0,13
KZ0,5	0,532 ±0,037	0,369 ±0,034	1,28 ±0,010	0,280 ±0,014	2,34 ±0,04
KZ1	0,451 ±0,032	0,467 ±0,009	1,24 ±0,050	0,330 ±0,014	3,14 ±0,02
KZ2	0,432 ±0,030	0,382 ±0,018	1,21 ±0,08	0,275 ±0,021	2,49 ±0,14
KR	0,896 ±0,063	0,470 ±0,014	1,08 ±0,11	0,305 ±0,007	2,77 ±0,01

Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 1. Udział makroelementów w próbkach kompostów w przeliczeniu na suchą masę

T a b e l a 2

Zawartość form przyswajalnych makroelementów w badanych kompostach

Numer próbki	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + +NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO
	mg kg <sup>-1</sup> s.m.		% s.m.			
KZ3m	59,1 ±4,4	17,0 ±1,5	0,023 ±0,005	0,245 ±0,049	0,075 ±0,021	0,225 ±0,064
KZ0,5	64,8 ±15,2	22,4 ±2,2	0,023 ±0,002	0,570 ±0,028	0,100 ±0,014	0,300 ±0,028
KZ1	38,0 ±9,85	70,5 ±8,2	0,014 ±0,000	0,775 ±0,007	0,135 ±0,007	0,400 ±0,014
KZ2	85,9 ±19,5	97,0 ±3,0	0,016 ±0,000	0,970 ±0	0,110 ±0	0,335 ±0,007
KR	140,0 ±14,1	84,5 ±7,9	0,023 ±0,002	0,340 ±0,014	0,165 ±0,007	0,505 ±0,021

Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

### Azot

Zawartość azotu w badanych kompostach była zróżnicowana. Zakres udziału N wahał się w granicach 0,432–0,896% s.m. Najwięcej azotu oznaczono w kompostach KR (tab. 1). Zauważono nieznaczne obniżenie udziału azotu w kompostach dojrzałych (1–2-letnich). Badane komposty były średnio zasobne w azot w porównaniu do jakości kompostów uzyskiwanych z frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych, podawanych przez innych autorów. Zawartość azotu całkowitego we wszystkich badanych kompostach spełnia wymagania jakościowe dla stałych nawozów organicznych (> 0,3% N) [30].

Pojawienie się azotanów w kompostach jest miarą ich dojrzałości. Najbardziej zasobny w te formy azotu był kompost KZ2 oraz KR (tab. 2). Amoniak obok azotanów należy do form azotu przyswajalnych dla roślin. Jednak jego agresywny charakter powoduje, że nadmiar działa toksycznie na rośliny. W przypadku stałych nawozów organicznych zawartość amoniaku jest zwykle niewielka w stosunku do zawartości całkowitej. Natomiast w płynnych nawozach organicznych, zawartość tej formy azotu może być znaczna. W badanych kompostach udział azotu amonowego wynosił 38–140 mg kg<sup>-1</sup> s.m., tj. 0,004–0,014% s.m. Najbardziej zasobny w przyswajalne formy azotu był kompost KZ2 oraz KR.



### Fosfor

Podobnie jak w przypadku azotu, zawartość fosforu w badanych kompostach była zróżnicowana. Zakres udziału  $P_2O_5$  wahał się w granicach 0,153–0,470%  $P_2O_5$  s.m. Najbardziej zasobne w fosfor były komposty KR oraz KZ1, a najmniej zasobny w fosfor był kompost KZ3m. Uzyskane wyniki nie wskazują na wpływ stopnia dojrzałości kompostu na ogólną zawartość fosforu. W większości próbek udział całkowity fosforu przekraczał wymaganą zawartość określoną dla nawozów organicznych ( $> 0,2\%$   $P_2O_5$  s.m.) [30]. Udział form przyswajalnych fosforu był niewielki. W odniesieniu do zawartości całkowitej, udział przyswajalnego fosforu wynosił od 3% (KZ1) do 15% (KZ3m).

### Potas

Udział potasu był zbliżony we wszystkich próbkach kompostów (1,080–1,280%  $K_2O$  s.m.), z wyjątkiem KZ3m (0,815%  $K_2O$  s.m.) (tab. 1, ryc. 1). Nie stwierdzono wpływu stopnia dojrzałości kompostu na udział  $K_2O$ . Badane komposty były zasobne w potas, jego udział znacznie przekraczał wymaganą zawartość dla nawozów organicznych ( $> 0,2\%$   $K_2O$  s.m.) [30]. Udział przyswajalnej formy potasu był wysoki. W przeliczeniu na zawartość całkowitą udział ten wynosił od 30% dla kompostu KZ3m do 80% dla kompostu KZ2. W tym przypadku zauważalny jest wzrost zawartości przyswajalnego potasu w wyniku dojrzenia kompostu.

### Wapń i magnez

Badane komposty były średniozasobne w wapń. Zawartość tego makroskładnika wahała się w zakresie 1,82–3,14%  $CaO$  s.m. (tab. 1). W tym przypadku nie stwierdzono wpływu stopnia dojrzałości kompostu na zawartość całkowitą  $CaO$ . Udział form przyswajalnych wapnia wahał się w przedziale 0,225–0,505% s.m. (tab. 2). Natomiast po przeliczeniu na zawartość całkowitą udział tych form był zbliżony dla wszystkich kompostów: 12–18%.

W badanych kompostach zawartość magnezu była zbliżona: 0,210–0,305%  $MgO$  s.m. (tab. 1). Udział form przyswajalnych magnezu wahał się w granicach 0,075–0,165% s.m. (tab. 2), co stanowiło, po przeliczeniu na zawartość całkowitą, 40% dla kompostów z odpadów zielonych, niezależnie od stopnia dojrzałości oraz 54% dla kompostów KR.

## 4. Podsumowanie

Jakość kompostów zależy od składu substratów użytych do produkcji oraz przebiegu procesu kompostowania. O wartości nawozowej kompostu decyduje głównie udział substancji organicznej oraz makroelementów. Czas dojrzenia kompostu może wpłynąć na udział makroskładników. Dodatkowym kryterium wartości nawozowej kompostów jest udział form przyswajalnych makroelemen-

tów bezpośrednio pobieranych przez rośliny. W przepisach szwajcarskich i niemieckich zakłada się, że w pierwszym roku stosowania kompostu, dostępne dla roślin jest 10% azotu ogólnego. W dłuższym czasie rośliny mogą wykorzystać 20–30% azotu z kompostów. Dlatego zawartość azotu podlega kontroli i jest normowana. Udział form przyswajalnych dla pozostałych makroelementów w kompostach szacuje się odpowiednio dla fosforu na 20%, a potasu – 80%. Zakłada się, że cały udział fosforu i potasu może zostać wykorzystany przez rośliny [10]. Dlatego przy nawozowym wykorzystaniu kompostów niezbędne jest określenie zapotrzebowania roślin na te makroskładniki. Dodatkowo konieczne jest sprawdzenie udziału zanieczyszczeń w kompostach stosowanych dogłębnie, z uwagi na możliwość skażenia środowiska.

W badanych kompostach oznaczono wysoki udział potasu. Komposty były średniozasobne w azot, fosfor, wapń i magnez. Największym udziałem makroelementów charakteryzował się kompost KR. Udział form przyswajalnych makroelementów zależał od stopnia dojrzałości kompostu. Największy udział przyswajalnych form makroelementów oznaczono w kompostach KZ2 i KR. Wyjątek stanowił fosfor, dla którego największy udział formy przyswajalnej oznaczono w kompoście KZ3m. Dalszy sposób wykorzystania badanych kompostów będzie zależał od zawartości w nich zanieczyszczeń takich jak metale ciężkie.

## Literatura

- [1] Baran S., Wójcikowska-Kapusta A., Żukowska G., Strzałka A., *Wpływ kompostowania odpadów komunalnych na zawartość makroskładników*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych” 2009, z. 537, s. 33–39.
- [2] Drozd J., *Komposty z odpadów komunalnych: produkcja, wykorzystywanie i wpływ na środowisko*, Polskie Towarzystwo Substancji Humusowych, Wrocław 2004, s. 151–170.
- [3] Drozd J., Licznar M., Patorczyk-Pytlik B., Rabikowska B., Jamroz B., *Zmiany zawartości węgla i azotu w procesie dojrzewania kompostów z odpadów miejskich*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych” 1996, z. 437, s. 123–130.
- [4] Drozd M., Licznar J., Patorczyk-Pytlik B., Rabikowska B., *Zmiany w składzie chemicznym kompostów z odpadków miejskich w czasie ich kompostowania*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych” 1996, z. 437, s. 131–138.
- [5] Gonddek K., Filipiek-Mazur B., *Agrochemiczna ocena wartości nawozowej kompostów różnego pochodzenia*, „Acta Agrophysica” 2005, Vol. 5, nr 2, s. 271–282.
- [6] Gonddek K., Kopeć M., *Zawartość wybranych makro- i mikroelementów w przekompostowanych komunalnych odpadach biodegradowalnych*, „Acta Agrophysica” 2012, Vol. 19, nr 3, s. 527–538.
- [7] Hellebrand H.J., *Emission of Nitrous Oxide and other Trace Gases during Composting of Grass and Green Waste*, „Journal of Agricultural Engineering Research” 1998, Vol. 69, s. 365–375.
- [8] Instrukcja eksploatacji dla kwatery nr 2 składowiska odpadów innych niż niebezpiecznych i obojętnych w Opolu przy ul. Podmiejskiej 69. Oprac.: Zakład Komunalny Sp. z o.o. w Opolu, Opole 2010.

- [9] Jaroszyńska J., Mamełka D., Skalmowski K., Wolska K., *Właściwości technologiczne odpadów komunalnych oraz jakość kompostu z kompostowni DANO w Warszawie*, [w:] *Materiały I Konferencji Naukowo-Technicznej „Kompostowanie i użytkowanie kompostu”, Puławy–Warszawa, 16–18.06.1999*, red. J. Siuta, G. Wasiak, Wydawnictwo Ekoinżynieria, Warszawa 1999, s. 75–80.
- [10] Jędrzak A., *Biologiczne przetwarzanie odpadów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.
- [11] Karczewska A., Kabała C., *Metodyka analiz laboratoryjnych gleb i roślin. Skrypt dla studentów*, wyd. 4, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2008.
- [12] Krysztoforowski M., *Sporządzanie kompostów i biopreparatów, naturalne metody podtrzymywania żyzności gleby i ochrony roślin*, Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Oddział w Radomiu, Radom 2011.
- [13] Kucharczak K., Stępień W., Gworek B., *Kompostowanie odpadów komunalnych jako metoda odzysku substancji organicznej*, „Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych” 2010, nr 42, s. 240–254.
- [14] Maćkowiak C., *Nawozy organiczne*, [w:] *Nawozy i nawożenie*, red. R. Czuba, PWRiL, Warszawa 1986, s. 92–121.
- [15] Manczarski P., *Kompostowanie odpadów komunalnych*, Referat na Forum Technologii Ochrony Środowiska POLEKO 2007, Poznań, 21.11.2007, <http://www.woiib.org.pl/contents/aktualnosci/POLEKO%202007/Kompostowanie%20odpadow%20komunalnych.pdf> (30.08.2014).
- [16] Norma BN/89-9103-09 – Unieszkodliwianie odpadów miejskich. Kompost z odpadów miejskich.
- [17] Piotrowska-Cyplik A., Dach J., Cyplik P., Marecik R., Gwiazdowska D., *Biodegradacja nikotyny w procesie kompostowania odpadu tytoniowego z osadem ściekowym przy podwyższonej emisji amoniaku*, „Nauka, Przyroda, Technologie” 2008, nr 2, s. 1–12.
- [18] PN-82/C-04576/08 – Woda i ścieki. Badania zawartości związków azotu. Oznaczanie azotu azotanowego metodą kolorymetryczną z salicylanem sodu.
- [19] PN-C-04576-4:1994 – Woda i ścieki. Badania zawartości związków azotu. Oznaczanie azotu amonowego w wodzie metodą bezpośredniej nessleryzacji.
- [20] PN-EN 26777:1999 – Jakość wody. Oznaczanie azotynów. Metoda absorpcyjnej spektrometrii cząsteczkowej.
- [21] PN-R-04023:1996 – Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych.
- [22] PN-R-04024:1997 – Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu, potasu, magnezu i manganu w glebach organicznych.
- [23] PN-R-04028:1997 – Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Metoda pobierania próbek i oznaczania zawartości jonów azotanowych i amonowych w glebach mineralnych.
- [24] PN-Z-15011-3:2001 – Kompost z odpadów komunalnych – Oznaczanie: pH, zawartości substancji organicznej, węgla organicznego, azotu, fosforu i potasu.
- [25] Rutkowska B., Szulc W., Łabętowicz J., Ożarowski G., *Ocena składu chemicznego kompostu „Dano” z punktu widzenia kryteriów rolniczych*, „Zeszyty Problenowe Postępów Nauk Rolniczych” 2003, z. 494, s. 383–390.

- [26] Sądziej W., Namiołtko A., *Oddziaływanie kompostów z odpadów komunalnych i zieleni miejskiej na zawartość i plon białka w roślinach*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych” 2009, z. 537, s. 305–316.
- [27] Siuta J., *Kompostowanie i wartości użytkowe kompostu*, [w:] *Materiały I Konferencji Naukowo-Technicznej „Kompostowanie i użytkowanie kompostu”*, Puławy–Warszawa, 16–18.06.1999, red. J. Siuta, G. Wasiak, Wydawnictwo Ekoinżynieria, Warszawa 1999, s. 7–20.
- [28] Siuta J., Wasiak G., *Kompostowanie odpadów i użytkowanie kompostów: monografia*, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 2000.
- [29] Tyszkiewicz Z., Czubaszek R., Roj-Rojewski S., *Ćwiczenia laboratoryjne – gleboznawstwo. Skrypt dla studentów*, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2014.
- [30] Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu, Dz.U. z 2007 r. nr 147, poz. 1033.
- [31] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, Dz.U. z 2001 r. nr 62, poz. 627 ze zm.
- [32] Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych, Dz.U. z 1995 r. nr 16, poz. 78, ze zm.
- [33] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach, Dz.U. z 2013 r. nr 0, poz. 21 ze zm.
- [34] Wasiak G., Mamełka D., Jaroszńska J., *Kompostowanie odpadów roślinnych z terenów zieleni miejskiej Warszawy*, [w:] *Materiały I Konferencji Naukowo-Technicznej „Kompostowanie i użytkowanie kompostu”*, Puławy–Warszawa, 16–18.06.1999, red. J. Siuta, G. Wasiak, Wydawnictwo Ekoinżynieria, Warszawa 1999, s. 61–69.
- [35] Wasiak G., Mamełka D., *Kompostowanie frakcji organicznej wyselekcjonowanej z odpadów komunalnych w Warszawie*, [w:] *Materiały I Konferencji Naukowo-Technicznej „Kompostowanie i użytkowanie kompostu”*, Puławy–Warszawa, 16–18.06.1999, red. J. Siuta, G. Wasiak, Wydawnictwo Ekoinżynieria, Warszawa 1999, s. 55–60.

MARTA BOŻYM  
NATALIA DRÓŹDŹ  
GRZEGORZ SIEMIĄTKOWSKI

#### THE CONTENT OF MACRONUTRIENTS AND AVAILABLE FORMS IN COMPOSTS PRODUCED FROM GREEN WASTE

**Keywords:** green waste, composting process, macronutrients.

Composting of waste is one of the important directions of recovery and recycling of organic waste. In this way, a high-value product can be obtained, it can be used as a fertilizer or improve its physicochemical properties. Biochemical processes during composting cause decomposition of organic matter and the availability of macro- and micronutrients. Compost value as a fertilizer depends mainly on the content of macronutrients (N, P, K, Mg, Ca). The paper presents the results of compost analysis, produced from green waste, depending on their degree of maturity. Samples were collected once from five piles, differing in the degree of maturity of compost,

from 3 months to 2 years. In addition, samples of compost with biodegradable fraction of municipal waste were containing. In the samples, the contents of macronutrients and their available forms to evaluate the fertilizer value of compost. It was found that the tested composts were rich in macronutrients. Highest content of available forms of macronutrients was determined in the "oldest" composts and with biodegradable fractions of municipal waste. The exception was phosphorus, the highest content of available form was determined in 3-month compost.