
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 10

ISSN 1899-3230

Rok V

Warszawa–Opole 2012

JOANNA POLUSZYŃSKA*
GRZEGORZ SIEMIĄTKOWSKI**
MACIEJ PACIORKOWSKI***

Charakterystyka kompostów z odpadów w świetle obowiązujących przepisów

Słowa kluczowe: odpady komunalne, kompostowanie, pierwiastki śladowe, całkowity węgiel organiczny (TOC).

Z uwagi na zmiany prawodawstwa znacznie ograniczona została możliwość stosowania składowania jako metody unieszkodliwiania odpadów ulegających biodegradacji. Sytuacja ta spowodowała wzrost zainteresowania biologicznym przetwarzaniem odpadów, w tym kompostowaniem. Wytworzony kompost może np. zostać wykorzystany przyrodniczo do celów rekultywacyjnych, po spełnieniu określonych wymagań lub zostać unieszkodliwiony termicznie, albo też poddany procesowi odzysku, ostatecznie może również być składowany. W pracy przedstawiono wyniki badań fizykochemicznych kompostów pobranych z siedmiu polskich kompostowni. Wyniki porównano z normatywnymi zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki dotyczącym kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu, a także z normatywami uwzględnionymi w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu. Badane próbki kompostu spełniają wymagania dla odpadów po biologicznym przetwarzaniu i są zgodne z projektem rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych z 7 maja 2012 r. Wysokie wartości całkowitego węgla organicznego (TOC) oraz straty przy prażeniu (LOI) w badanych próbkach kompostów wykluczają możliwość ich składowania zgodnie z wymaganiami Rozporządzenia Ministra Gospodarki z 12 czerwca 2007 r.

* Mgr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu.

** Dr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu.

*** Mgr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu.

1. Wstęp

Termin „odpad komunalny” wprowadzono do prawodawstwa polskiego 1 stycznia 1997 r., z chwilą wejścia w życie ustawy z 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach i powtórzono go następnie w ustawie o odpadach z 1997 r. Zgodnie z ustawą o odpadach z 27 kwietnia 2001 r. odpady definiuje się jako każdą substancję lub przedmiot należący do jednej z kategorii, określonych w załączniku nr 1 do ustawy, których posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć lub do ich pozbycia jest obowiązany [1]. Ustawa ta definiuje odpady komunalne jako odpady powstające w gospodarstwach domowych, a także odpady niezawierające odpadów niebezpiecznych, pochodzące od innych wytwórców odpadów, które ze względu na swój charakter lub skład są podobne do odpadów powstających w gospodarstwach domowych [1].

Wzrost liczby ludności na ziemi oraz rozwój konsumpcji powoduje gwałtowne zwiększenie się ilości powstających odpadów komunalnych, które są istotnym zagrożeniem dla środowiska. Odpady komunalne stanowią ok. 1/13 części wszystkich powstających odpadów. Wysoka zawartość substancji organicznej w odpadach komunalnych (średnio ok. 40%) oraz potencjalnych składników pokarmowych dla roślin, stwarza możliwość zawrócenia tego rodzaju odpadów do obiegu przyrodniczego poprzez wykorzystanie ich po odpowiednim przetworzeniu w nawożeniu, rekultywacji, rewitalizacji [2]. By uzyskać produkt o odpowiedniej strukturze i właściwościach nawozowych, spełniający określone kryteria fizykochemiczne i sanitarno-higieniczne, należy poddać go np. procesowi kompostowania, fermentacji lub innemu procesowi mechaniczno-biologicznego przekształcania [3].

Kompostowanie to proces tlenowy prowadzący do powstania produktu, który nie będzie już odpadem, wtedy gdy spełniać będzie kryteria jakościowe dla nawozów organicznych, organiczno-mineralnych lub środków wspomagających uprawę roślin. Fermentacja metanowa to proces beztlenowy, w którym wytwarzany jest biogaz oraz przefermentowany produkt (fermentat), który również nie będzie traktowany jako odpad, jeśli spełniać będzie kryteria jakościowe dla nawozów organicznych lub środków wspomagających uprawę roślin. Procesy mechaniczno-biologicznego przetwarzania (MBP) odpadów wykorzystuje się głównie w celu przygotowania ich do ostatecznego składowania lub do odzysku energii bądź termicznego unieszkodliwiania [3].

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki i Pracy z 7 września 2005 r., (z późn. zm.) w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu, odpady zawierające całkowity węgiel organiczny w ilości przekraczającej 5% nie mogą być składowane (tab. 1) [4–5].

T a b e l a 1

Kryteria dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne [4]

Parametr	Wartość graniczna
Ogólny węgiel organiczny (TOC)	5%
Strata przy prażeniu (LOI)	8%
Ciepło spalania	6 MJ/kg s.m.

Regulacje te oznaczają między innymi wyeliminowanie ze składowania odpadów komunalnych niesegregowanych (zmieszanych) o kodzie 20 03 01, jak również poważne ograniczenia dotyczące składowania pozostałości z sortowania odpadu o kodzie 19 12 12 (inne odpady, w tym zmieszane substancje i przedmioty z mechanicznej obróbki odpadów inne niż wymienione w 19 12 11) [6]. Konieczne więc staje się zastosowanie takiej obróbki i przetworzenie odpadów, aby spełniały wymagania zawarte w obowiązujących przepisach prawnych. Jednym z takich sposobów jest mechaniczno-biologiczne przetworzenie zmieszanych odpadów komunalnych.

Odpady (stabilizaty) wytwarzane w procesach biologicznego przetwarzania, spełniające wymagania określone w paragrafie 6 ustęp 1 projektu rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 7 maja 2012 r. [7] w sprawie mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych, klasyfikuje się jako odpady o kodzie 19 05 99 (odpady z tlenowego rozkładu odpadów stałych [kompostowania], inne niewymienione odpady). Odpady te wykazują bardzo dużą zmienność składu fizykochemicznego, nie należą jednak według katalogu odpadów do odpadów niebezpiecznych [8]. Odpady te po przetworzeniu można składować lub wykorzystać na cele nawozowe, po spełnieniu określonych warunków.

W projekcie rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych [7] wprowadzono wyższe wartości wskaźników straty przy prażeniu oraz całkowitego węgla organicznego dla stabilizatów po mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu zmieszanych odpadów komunalnych, niż te zawarte w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z 12 czerwca 2007 r., które zmieniają rozporządzenie w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu [5]. Paragraf 6 punkt 1 projektu z 7 maja 2012 r. mówi, że proces biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych powinien być prowadzony w taki sposób, aby uzyskany stabilizat spełniał następujące wymagania:

- 1) straty prażenia stabilizatu są mniejsze niż 35% suchej masy, a zawartość węgla organicznego jest mniejsza niż 20% suchej masy, lub
- 2) ubytek masy organicznej w stabilizacie w stosunku do masy organicznej w odpadach, mierzony stratą prażenia lub zawartością węgla organicznego jest większy niż 40%, lub

3) wartość parametru AT4 jest mniejsza niż 10 mg O₂/g s.m.

Według Rozporządzenia Ministra Gospodarki i Pracy z 7 września 2005 r. (z późn. zm.) w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu [4] zanim odpady zostaną zdeponowane na składowiskach muszą spełnić także inne wymagania, które przedstawiono w tabeli 2.

T a b e l a 2

Kryteria dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne [4]

Składnik	Dopuszczalne wartości wymywania na składowiskach odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne ciecz/faza stała = 10 dm ³ /kg [mg/kg s.m.] test podstawowy
Arsen	2
Bar	100
Kadm	1
Chrom całkowity	10
Miedź	50
Rtęć	0,2
Molibden	10
Nikiel	10
Ołów	10
Antymon	0,7
Selen	0,5
Cynk	50
Chlorki	15 000
Fluorki	150
Siarczany	20 000
Wskaźnik fenolowy	-
Rozpuszczony węgiel organiczny	800
Stałe związki rozpuszczone	60 000

W chwili obecnej zagospodarowanie produktu finalnego kompostowania stwarza coraz więcej problemów w związku z koniecznością ochrony gleby przed zanieczyszczeniami. Największym, związanym z przyrodniczym (nieprzemysłowym) wykorzystaniem kompostów z odpadów komunalnych, są wysokie zawartości metali ciężkich oraz zanieczyszczenia mechaniczne, takie jak szkło, ceramika i tworzywa sztuczne. Taka sytuacja ma jednak miejsce głównie przy kompostowaniu niesegregowanego strumienia odpadów komunalnych, np. według technologii MUT-Dano. Nadmierne ilości pierwiastków metalicznych w kompostach z odpadów komunalnych (ze względu na właściwości toksyczne) mogą wpływać na zmiany w żyzności gleb, obniżać plonowanie roślin oraz jakość plonów, co w konsekwencji stanowi zagrożenie dla człowieka. Metale ciężkie po wprowadzeniu do gleb mogą również przedostawać się do zbiorników wód powierzchniowo-

wych i podziemnych [2]. Sytuacja ta wymusiła wprowadzenie ostrych wymagań dotyczących zawartości substancji szkodliwych we wszystkich produktach stosowanych jako dodatek nawozowy do gleb, a więc i w kompoście. Ograniczenia te odnoszą się w szczególności do metali ciężkich. Zastosowany produkt musi także być bezpieczny pod względem sanitarno-parazytologicznym [9].

Wartość użytkowa kompostu zależy w głównej mierze od jakości kompostowanego surowca oraz sposobu prowadzenia procesu technologicznego i dojrzałości produktu końcowego. Jakość kompostu ocenia się na podstawie zawartych w nim substancji organicznej i składników pokarmowych dla roślin, przy jednoczesnym uwzględnieniu zawartości metali ciężkich i mikroorganizmów patogennych [10].

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (z późn. zm.) [11]:

1) nawozy organiczne i organiczno-mineralne dopuszczone do obrotu powinny spełniać następujące wymagania:

- Chrom (Cr) – 100 mg,
- Kadm (Cd) – 5 mg,
- Nikiel (Ni) – 60 mg,
- Ołów (Pb) – 140 mg,
- Rtęć (Hg) – 2 mg

w przeliczeniu na kg suchej masy nawozu lub środka wspomagającego uprawę roślin [9];

2) nawozy organiczne w postaci stałej powinny zawierać:

- 30% substancji organicznej w przeliczeniu na suchą masę,
- 0,3% (m/m) azotu całkowitego (N),
- 0,2% (m/m) fosforu w przeliczeniu na pięciotlenek fosforu (P_2O_5),
- 0,2% (m/m) potasu w przeliczeniu na tlenek potasu (K_2O);

3) nawozy organiczno-mineralne w postaci stałej powinny zawierać:

- 20% substancji organicznej w przeliczeniu na suchą masę,
- 1% (m/m) azotu całkowitego (N),
- 0,5% (m/m) fosforu w przeliczeniu na pięciotlenek fosforu (P_2O_5),
- 1% (m/m) potasu w przeliczeniu na tlenek potasu (K_2O).

Według Krajowego planu gospodarki odpadami 2012 [12] w Polsce działa 85 kompostowni odpadów zielonych i selektywnie zbieranych odpadów organicznych (roślinnych i zwierzęcych), 4 zakłady fermentacji oraz 9 zakładów mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych.

W procesie kompostowania wykorzystywane są różne technologie, począwszy od najprostszych pryzmowych do bioreaktorowych [10]. Część kompostowni przerabia odpady komunalne niesegregowane u źródła. Z uwagi na to, wytwarzane komposty, oprócz wysokiej zawartości substancji organicznej, zawierają również duże ilości metali ciężkich oraz są często silnie zanieczyszczone szkłem [12]. Przykładem może tu być kompost pochodzący z kompostowni warszawskiej, w którym szkło stanowi 20% suchej masy [12].

Jakość kompostu zależy w głównej mierze od charakterystyki ilościowo-jakościowej odpadów przeznaczonych do kompostowania. Decydując się na daną technologię, należy brać pod uwagę: ilość odpadów przeznaczonych do kompostowania, przeznaczenie zastosowania kompostu oraz warunki terenowo-klimatyczne. W przypadku przeznaczenia kompostu na cele rolnicze powinno się wybierać technologie wykorzystujące odpady zbierane selektywnie (np. MUT-Herhof). Technologia dla kompostowania odpadów zmieszanych (np. według technologii MUT-Dano), predysponuje otrzymany produkt do rekultywacji lub składowania [13].

2. Materiał do badań

Materiał do badań stanowiły komposty pochodzące z siedmiu kompostowni zlokalizowanych na terenie kraju. Do przekształcania odpadów kompostownie stosowały różne technologie.

Pierwsza kompostownia – działała według metody Kneer-Horstman. Do procesu kompostowania kierowane są odpady zielone. Jest to system intensywnego kompostowania w zamkniętych kontenerach, w których odpowiednio przygotowany materiał wsadowy ulega homogenizacji i higienizacji, w trakcie ok. 14-dniowego cyklu, stając się kompostem o I lub II stopniu szumusowania, gotowym do dojrzewania w pryzmach [14]. Pobrano, zgodnie z normą [15], materiał do badań to kompost po sześciu tygodniach na pryzmie.

Druga kompostownia – wykorzystywała technologię MUT-Dano. W tej technologii kompostowane są głównie odpady zmieszane. W metodzie tej stosuje się obrotowy biostabilizator, w którym odbywa się rozdrabnianie materiału, jego homogenizacja, wstępny rozkład tlenowy i higienizacja [16]. Dalszy proces kompostowania zachodzi w pryzmach i trwa zazwyczaj 4–6 miesięcy. W trakcie kompostowania materiał kompostowy jest przierzucany za pomocą specjalnych maszyn napowietrzających. Z tego typu kompostowni pobrano do badań 2 reprezentatywne próbki (zgodnie z normą [15]). Jedną stanowił materiał po 24-godzinnym przebywaniu w komorze (biostabilizatorze), drugą próbkę pobrano z pryzmy, na której kompost dojrzewał 8 miesięcy.

Trzecia kompostownia – wykorzystywała technologię MUT-Herhof do kompostowania odpadów zielonych wraz z odpadami organicznymi pochodzącymi

ze zbiórki selektywnej. Technologia ta stosowana jest w odniesieniu do frakcji organicznej odpadów, a wstępny proces kompostowania zachodzi w bioreaktorach. Etap w bioreaktorze trwa 7–10 dni. Po zakończeniu procesu masę kompostową przewietrza się i rozładowuje, a następnie umieszcza się ją w pryzmach, gdzie kompost dojrzewa ok. 3 miesięcy. Do badań pobrano (zgodnie z normą [15]) próbkę materiału kompostowego, świeżo po wyjęciu z bioreaktora, próbkę materiału przebywającego na pryzmie 6 tygodni, zmieszanego z osadem ściekowym w stosunku masowym – osad ściekowy : odpad komunalny 1:14 oraz próbkę trzymiesięcznego kompostu z pryzmy (dane otrzymane z kompostowni).

Czwarta kompostownia – stosowała metodę kompostowania komorową otwartą z napowietrzaniem dla odpadów zmieszanych. Pobrano (zgodnie z normą [15]) 3 próbki do badań. Pierwszą stanowił materiał zaraz po wyjęciu z komory, drugą trzytygodniowa frakcja 0–15 mm na pryzmie, trzecią – trzytygodniowa frakcja 15–35 mm na pryzmie.

Piąta kompostownia – korzystała z technologii Kneer dla odpadów zmieszanych. Technologia zbliżona do tej stosowanej w kompostowni pierwszej. Z tego miejsca pobrano do badań 3 reprezentatywne próbki (zgodnie z normą [15]). Pierwszą z nich stanowił materiał z pięciodniowej pryzmy, drugą – materiał z piętnastodniowej pryzmy, trzecią – materiał z pryzmy po 25 dniach dojrzewania.

Szósta kompostownia – stosowała technologię pryzmową dla odpadów zielonych. Do badań pobrano dwie reprezentatywne próbki (zgodnie z normą [15]). Pierwszą próbę stanowił materiał jednoroczny, drugą – dwuletni.

Siódma kompostownia – wykorzystywała do procesu kompostowania odpadów zmieszanych technologię MUT-Kyberferm. Technologia ta, podobnie jak MUT-Dano umożliwia intensywny przebieg procesu kompostowania wydzielonej frakcji organicznej w bioreaktorach [12]. W tej kompostowni pobrano dwie próbki do badań, z czego pierwszą stanowił materiał świeżo po wyjęciu z komory, a drugą – materiał po 7 tygodniach na pryzmie.

3. Wyniki badań i omówienie

W badanych próbkach kompostów oznaczono całkowitą zawartość węgla organicznego oraz straty przy prażeniu, a w wyciągach wodnych z badanych kompostów oznaczono zawartość pierwiastków śladowych, takich jak: antymon, bar, chrom ogólny, cynk, kadm, miedź, molibden, nikiel, ołów oraz chlorki i siarczany. Straty przy prażeniu i zawartość wody oznaczono przy pomocy metody wagowej, a zawartość całkowitego węgla organicznego metodą spektrometrii w podczerwieni. Wyciągi wodne z kompostów sporządzono według normy PN-Z-15009:1997, a pierwiastki śladowe oznaczono metodą atomowej spektrometrii emisyjnej z plazmą indukcyjnie wzbudzoną (ICP-OES). Chlorki oznaczono metodą miareczkową, a jony siarczanowe – wagową.

Wyniki badań zamieszczono w tabelach 3 i 4.

Poniżej umieszczono opisy do numerów próbek stosowanych na przedstawionych rycinach.

- 1.1 – kompostownia nr 1 – próbka materiału 6 tygodni na pryzmie – odpady zielone, technologia Kneer-Horstman,
- 2.1 – kompostownia nr 2 – próbka materiału 8 miesięcy na pryzmie – odpady zmieszane, technologia MUT-Dano,
- 2.2 – kompostownia nr 2 – próbka materiału 24 godziny na pryzmie – odpady zmieszane, technologia MUT-Dano,
- 3.1 – kompostownia nr 3 – próbka materiału świeżego po opuszczeniu komory bioreaktora – odpady zielone, technologia MUT-Herhof,
- 3.2 – kompostownia nr 3 – próbka materiału 3 miesiące na pryzmie – odpady zielone, technologia MUT-Herhof,
- 3.3 – kompostownia nr 3 – próbka materiału 6 tygodni na pryzmie – odpad zielony zmieszany z osadem ściekowym – odpady zielone, technologia MUT-Herhof,
- 4.1 – kompostownia nr 4 – próbka materiału świeżego po opuszczeniu komory bioreaktora – odpady zmieszane, kompostownia komorowa otwarta z napowietrzaniem,
- 4.2 – kompostownia nr 4 – frakcja 0–15 mm, 3 tygodnie na pryzmie – odpady zmieszane, kompostownia komorowa otwarta z napowietrzaniem,
- 4.3 – kompostownia nr 4 – frakcja 15–35 mm, 3 tygodnie na pryzmie – odpady zmieszane, kompostownia komorowa otwarta z napowietrzaniem,
- 5.1 – kompostownia nr 5 – próbka materiału 5 dni na pryzmie – odpad zmieszany, technologia Kneer-Horstman,
- 5.2 – kompostownia nr 5 – próbka materiału 15 dni na pryzmie – odpad zmieszany, technologia Kneer-Horstman,
- 5.3 – kompostownia nr 5 – próbka materiału 25 dni na pryzmie – odpad zmieszany, technologia Kneer-Horstman,
- 6.1 – kompostownia nr 6 – próbka materiału z pryzmy jednorocznej – odpady zielone, pryzma,
- 6.2 – kompostownia nr 6 – próbka materiału z pryzmy dwuletniej – odpady zielone, pryzma,
- 7.1 – kompostownia nr 7 – próbka materiału świeżo po opuszczeniu komory bioreaktora – odpady zmieszane, technologia MUT-Kyberferm,
- 7.2 – kompostownia nr 7 – próbka materiału 7 tygodni na pryzmie – odpady zmieszane, technologia MUT-Kyberferm.

Tabela 3

Wyniki oznaczeń pierwiastków śladowych oraz chlorków i siarczanów w wyciągach wodnych badanych kompostów

Parametr	Jednostka	1.1	2.1	2.2	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	5.3	6.1	6.2	7.1	7.2
Chlorki	mg/kg	355	485	1 050	1 040	666	791	537	2 150	1 520	670	597	768	934	737	2 340	2 270
Siarczany	mg/kg	310	5 700	2 900	1 300	1 000	400	2 500	10 100	5 420	1 300	14 600	11 800	370	400	690	7 240
Antymon	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Bar	mg/kg	0,42	0,9	8,2	0,58	2,8	0,26	5,2	1,8	2,1	7,0	8,7	6,4	0,75	1	1,6	0,65
Chrom ogólny	mg/kg	<0,0030	<0,0030	2,9	0,020	0,48	0,0070	0,49	0,0040	0,0070	0,37	0,51	0,42	0,0080	0,011	0,027	0,0090
Cynk	mg/kg	4,7	1,8	23,8	2,8	16,5	0,92	16,7	3,2	4,1	18,7	18,6	18,5	3,3	5,8	9,2	3,2
Kadm	mg/kg	0,042	<0,0005	<0,0005	0,013	0,0052	0,00050	<0,0005	<0,0005	0,016	<0,0005	0,0025	<0,0005	0,017	0,027	0,013	0,005
Miedź	mg/kg	0,63	0,45	2,4	0,46	6,1	0,4	2,9	1,2	1,5	4,6	3,2	2,1	1,5	1,1	2,3	1,6
Molibden	mg/kg	0,17	0,29	1,8	<0,0040	0,65	<0,0040	0,63	0,75	0,31	0,93	0,96	0,97	0,15	0,2	0,25	0,53
Nikiel	mg/kg	0,31	0,25	2,4	0,33	0,38	0,33	0,86	0,23	0,31	0,85	1,1	1,0	0,36	0,65	1,1	0,19
Ołów	mg/kg	0,83	0,17	1,2	0,42	1,4	0,2	1,3	1,1	1,1	1,6	2,0	1,1	0,45	0,52	1,0	0,2

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 4

Wyniki oznaczeń parametrów fizykochemicznych w próbkach badanych kompostów

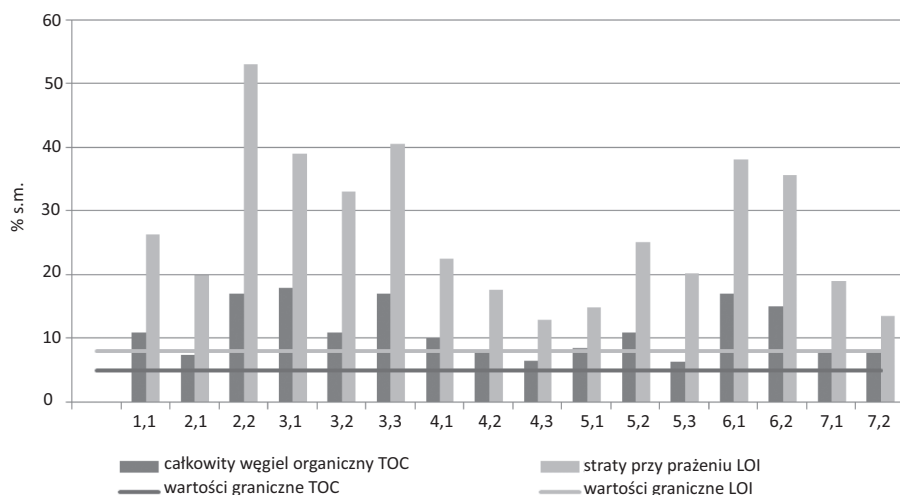
Parametr	Jednostka	1.1	2.1	2.2	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	5.3	6.1	6.2	7.1	7.2
Całkowity węgiel organiczny	% s.m.	11,0	7,4	17,0	18,0	11,0	17,0	10,0	7,7	6,6	8,6	11,0	6,4	17,0	15,0	8,3	7,7
Straty przy prażeniu	% s.m.	26,3	20,0	53,0	39,0	33,0	40,5	22,5	17,6	12,9	14,9	25,1	20,3	38,0	35,7	19,0	13,5
Zawartość wody	%	51,4	37,0	51,1	41,3	39,3	37,2	29,3	24,2	21,1	21,4	34,8	12,2	34,9	50,2	18,9	19,3

Źródło: Jak w tab. 1.

Ze względu na to, że jedenaście z badanych szesnastu próbek kompostów pochodziła z kompostowni wykorzystującej w procesie kompostowania odpady zmieszane, nie można brać pod uwagę ich wykorzystania przyrodniczego. Wartości oznaczonych parametrów fizykochemicznych porównano więc z rozporządzeniem Ministra Gospodarki i Pracy w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu [4–5]. Zgodnie z obowiązującymi przepisami [4–5], od 1 stycznia 2013 r. nie będzie można składować odpadów zawierających powyżej 5% całkowitego węgla organicznego. W przypadku badanych próbek kompostów z odpadów zmieszanych, jak i z samych zielonych, wartość 5% została przekroczona, co wskazuje jednoznacznie, że kompostów tych nie będzie można składować. W odniesieniu do pięciu próbek kompostów z odpadów zielonych, pochodzących z kompostowni 1, 3 i 6 (próbki 1.1, 3.1, 3.2, 6.1, 6.2) możliwe jest rozpatrywanie ich wykorzystania na cele przyrodnicze.

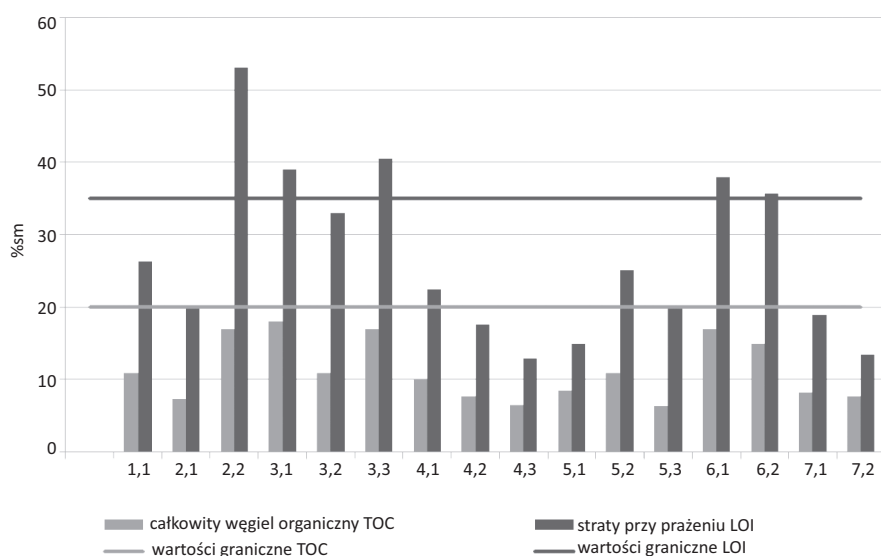
Z przeprowadzonych badań wynika, że we wszystkich badanych próbkach kompostu, zarówno tych grzejnych, jak i tych po dłuższym okresie przebywania na pryzmach, wartość TOC jest wyższa niż 5% (tab. 4, ryc. 1). Najwyższy udział całkowitego węgla organicznego odnotowano w próbce kompostu oznaczonej jako 3.1 – próbka kompostu z odpadów zielonych, po opuszczeniu komory bioreaktora, technologia MUT-Herhof – 18% TOC oraz dla próbek kompostów oznaczonych jako 2.2, 3.3, 6.1 i 6.2 (od 15 do 17% TOC). Próbka 2.2 to kompost z odpadów zmieszanych 24 godziny na pryzmie, technologia MUT-Dano, 3.3 to kompost z odpadów zielonych po 6 tygodniach na pryzmie, zmieszanych w stosunku 1:14 z osadem ściekowym (MUT-Herhof). Próbki 6.1 i 6.2 to próbki kompostu z odpadów zielonych po roku i dwóch latach przebywania na pryzmie.

W przypadku wskaźnika straty przy prażeniu, według obowiązujących przepisów prawnych [5], wartość jego nie powinna przekroczyć 8% dla odpadów przewidzianych do składowania na składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne (tab. 4, ryc. 1). Wyniki przeprowadzonych badań strat przy prażeniu, podobnie jak wyniki zawartości TOC, wykluczają składowanie kompostu powstałego z odpadów zmieszanych z możliwości jego składowania, zgodnie z rozporządzeniem w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu [4–5]. Wartości wskaźnika straty przy prażeniu wahały się od 12,9% s.m. dla próbki 4.3 kompostu z odpadów zmieszanych z pryzmy 3-tygodniowej dla frakcji 15–35 mm, z kompostowni stosującej kompostowanie komorowe z napowietrzaniem do wartości 53,0% LOI dla próbki 2.2, kompost z odpadów zmieszanych, próbka materiału 24 godziny na pryzmie, technologia MUT-Dano (tab. 4, ryc. 1).



Ryc. 1. Porównanie oznaczonych wartości straty przy prażeniu oraz całkowitego węgla organicznego w badanych próbkach kompostu z wartościami dopuszczalnymi wg Rozporządzenia Ministra Gospodarki z 12 czerwca 2007 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu [5]

Inaczej rzecz się ma w przypadku porównania wartości tych samych wskaźników (TOC i LOI) dla stabilizatorów z biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych według projektu rozporządzenia z 7 maja 2012 r. [7] (ryc. 2).

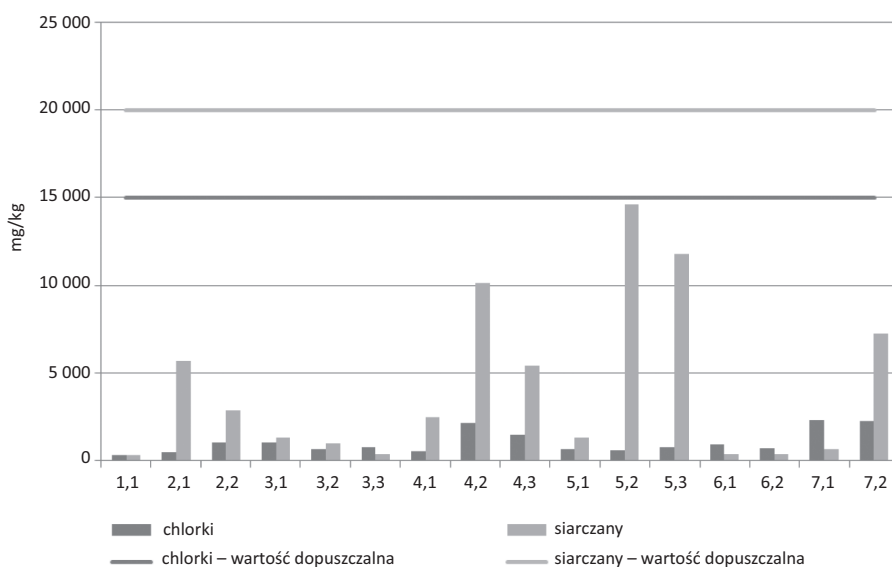


Ryc. 2. Porównanie oznaczonych wartości straty przy prażeniu oraz całkowitego węgla organicznego w badanych próbkach kompostu z wartościami dopuszczalnymi wg projektu rozporządzenia Ministra Środowiska z 7 maja 2012 r. w sprawie mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych [7]

W tym przypadku wszystkie z badanych kompostów, zwanych w projekcie rozporządzenia [7] stabilizatami, spełniają wymagania dla wskaźnika zawartości ogólnego węgla organicznego, którego wartość nie może przekraczać 20% (ryc. 2). W przypadku strat przy prażeniu pięć z badanych próbek nie spełniły tych wymagań. Wartości oznaczone były wyższe niż wartość graniczna, wynosząca 35% LOI, uwzględniona w projekcie rozporządzenia [7].

W badanych próbkach kompostu określono również zawartość pierwiastków śladowych w wyciągu wodnym. Porównano zawartość wskaźników wymienionych w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki i Pracy z 7 września 2005 r. (z późn. zm.) w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu (tab. 2) [4] z wynikami badań wyciągów wodnych z badanego materiału (tab. 3).

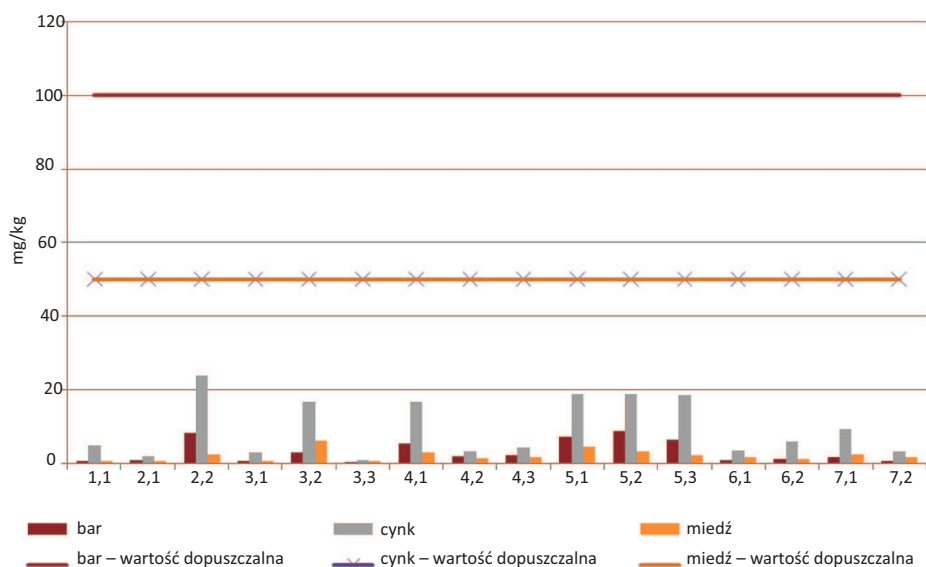
W odniesieniu do zawartości jonów chlorkowych oraz jonów siarczanowych zbadane wartości tych wskaźników w pobranym materiale po procesie kompostowania nie przekroczyły maksymalnych wartości 15 000 mg/kg Cl⁻ i 20 000 SO₄²⁻ (ryc. 3).



Ryc. 3. Porównanie oznaczonych wartości jonów chlorkowych i siarczanowych w badanych próbkach kompostu z wartościami dopuszczalnymi wg Rozporządzenia Ministra Gospodarki z 12 czerwca 2007 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu [5]

W przypadku oznaczeń pierwiastków śladowych nie odnotowano przekroczeń dla wszystkich badanych próbek przekompostowanego odpadu. Zawartość antymonu mieściła się poza granicami oznaczalności we wszystkich przypadkach,

a stężenia innych pierwiastków śladowych mieściły się w zakresach znacznie niższych od dopuszczalnych (tab. 3). Zawartość baru wynosiła od 0,26 mg/kg dla próbki 3.3 do 8,2 mg/kg dla próbki 2.2 i 8,7 mg/kg dla próbki 5.2, przy wartości dopuszczalnej 100 mg/kg. Zawartość cynku wynosiła od 0,92 mg/kg dla próbki 3.3 do 23,8 mg/kg dla próbki 2.2, przy wartości dopuszczalnej 50 mg/kg. Stężenia miedzi w wyciągach wodnych badanych kompostów wynosiły w przeliczeniu na mg/kg odpowiednio od 0,4 dla próbki 3.3 do 6,1 dla próbki 3.2.

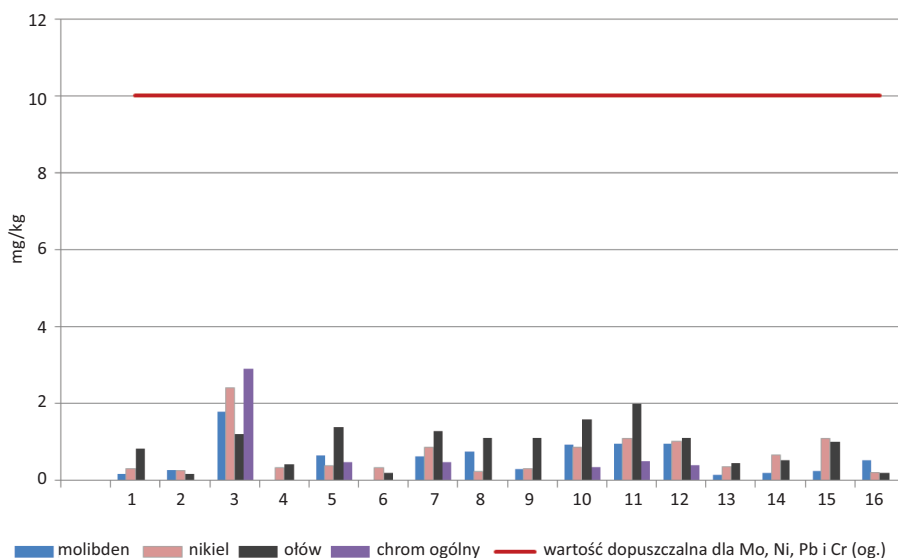


Ryc. 4. Porównanie oznaczonych wartości baru, cynku i miedzi w badanych próbkach kompostu z wartościami dopuszczalnymi wg Rozporządzenia Ministra Gospodarki z 12 czerwca 2007 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu [5]

W analizach zawartości kadmu w badanych kompostach dla próbek 2.1 i 4.2 występował on poza granicami oznaczalności metody analitycznej. Najwyższą wartość odnotowano dla próbki 1.1 – 0,042 mg/kg, w porównaniu z wartością dopuszczalną 1,0 mg/kg (tab. 3).

Dla czterech kolejnych badanych pierwiastków, molibdenu, niklu, ołowiu i chromu ogólnego wartość dopuszczalna zgodnie z rozporządzeniem [4–5], wynosi 10 mg/kg. I w tym przypadku nie zostały granice dopuszczalne przekroczone. Najwyższą ilość molibdenu odnotowano w próbce 2.2 – 1,8 mg/kg. W próbkach 3.1 i 3.3 nie udało się oznaczyć ilościowo tego pierwiastka – występował on poniżej granicy oznaczalności metody, która wynosiła 0,004 mg/kg. Najniższe stężenie niklu odnotowano dla próbki 7.2 – 0,19 mg/kg, a najwyższe dla próbki 2.2 – 2,4 mg/kg. Najniższe stężenie ołowiu wynosiło 0,17 mg/kg dla próbki 2.1, a najwyższe 2,0 mg/kg dla próbki 5.2. W próbkach 1.1 i 2.1 zawartość

chromu mieściła się poniżej zakresu metody analitycznej, zaś najwyższe jego stężenia odnotowano dla próbki 2.2, w której jego stężenie wynosiło 2,9 mg/kg (ryc. 5).



Ryc. 5. Porównanie oznaczonych wartości molibdenu, niklu, ołowiu i chromu ogólnego w badanych próbkach kompostu z wartościami dopuszczalnymi wg Rozporządzenia Ministra Gospodarki z 12 czerwca 2007 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu [5]

6. Podsumowanie

Najniższe wartości pierwiastków śladowych, w wyciągach wodnych z kompostów odnotowano dla próbek kompostów 2.1 – próbka materiału 8 miesięcy na przymie – odpady zmieszane, technologia MUT-Dano i 3.2 – kompost z odpadów zielonych z kompostowni stosującej technologię MUT Herhof (tab. 3). Maksymalne dopuszczalne stężenia tych pierwiastków ujęto w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki i Pracy z 7 września 2005 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu [4], z późniejszymi zmianami [5]. W próbkach tych oznaczono najniższe zawartości baru, chromu ogólnego, cynku, kadmu, miedzi, molibdenu i ołowiu.

Najwyższe zawartości pierwiastków śladowych oznaczanych w wyciągach wodnych z kompostów odnotowano dla próbek odpadów zmieszanych. Próbka 2.2 charakteryzowała się najwyższymi stężeniami baru, chromu ogólnego, cynku, miedzi, molibdenu, niklu i ołowiu. Była to próbka z odpadów zmieszanych przebywająca na przymie 24 godziny. Kolejnymi próbkami, charakteryzującymi się wyższymi wartościami pierwiastków śladowych, były komposty z odpadów

zmieszanych z kompostowni stosującej technologię Kneer-Horstman. Z przeprowadzonych badań wynika, że w większości przypadków zawartość pierwiastków śladowych w kompostowanym materiale zmniejszała się wraz z wydłużeniem czasu kompostowania, wzrastało natomiast stężenie siarczanów (tab. 3). Proces kompostowania wpływa również na zmniejszenie udziału całkowitego węgla organicznego oraz strat przy prażeniu (tab. 4), co udowadniają także badania innych autorów [17].

Powstały w procesie biologicznego przetwarzania kompost może w znacznym zakresie spełniać wymagania dotyczące odpadów po biologicznym przetwarzaniu zawarte w projekcie rozporządzenia z 7 maja 2012 r. [7]. Dodatkowo projekt ten wprowadza możliwość oznaczania TOC i straty po prażeniu lub ubytku masy organicznej w stabilizacie w stosunku do masy organicznej w odpadach, mierzony stratą prażenia lub zawartością węgla organicznego, albo też oznaczenia parametru AT4. Daje to właścicielowi przetworzonego odpadu, czyli stabilizatu, pewną elastyczność w wyborze parametrów, które będzie brał pod uwagę w dalszym postępowaniu.

Materiał wyjściowy, który wykorzystany będzie do wytworzenia kompostu może pochodzić jedynie z produkcji roślinnej albo z wydzielonej frakcji odpadów komunalnych biodegradowalnych, jak również z odpadów komunalnych zmieszanych [18]. W świetle obowiązujących przepisów wytworzenie kompostów, które spełniać będą wymagania dla nawozów organicznych, możliwe jest tylko z odpadów zbieranych selektywnie. Uzyskanie nawozów organicznych ze zmieszanych odpadów komunalnych w instalacjach mechaniczno-biologicznego przetwarzania jest prawie niemożliwe.

Główny problem w przypadku zastosowania nawozowego kompostu stanowią metale ciężkie [18]. W licznych przypadkach stężenia pierwiastków śladowych są tak wysokie, że eliminują możliwość takiego wykorzystania kompostu. Podobnie rzecz się ma w odniesieniu do przetwarzania osadów pochodzących z oczyszczania ścieków komunalnych wspólnie ze zmieszanyymi odpadami komunalnymi, jeżeli osady ściekowe zawierałyby nadmierne ilości metali ciężkich [3]. Wynika z tego, że oczyszczony stabilizat, który nie będzie spełniać wymagań jakościowych dla nawozu organicznego lub środka wspomagającego uprawę roślin, należy sklasyfikować jako odpady o kodzie 19 05 03 – kompost nieodpowiadający wymaganiom (nienadający się do wykorzystania). W tym wypadku może on być wykorzystany jedynie do rekultywacji zamkniętego składowiska jako dolna warstwa pokrywy rekultywacyjnej lub składowany na składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne po spełnieniu określonych wymagań [3].

Tylko trzy z badanych kompostowni przerabiały odpad zielony. Pozostałe wykorzystywały do procesu kompostowania odpady zmieszane, zawierające w swoim składzie znaczne ilości szkła, tekstyliów oraz tworzyw sztucznych. Charakter

i skład morfologiczny tych kompostów wykluczał ich wykorzystanie jako komponentu o właściwościach nawozowych.

Z przeprowadzonych badań wynika, iż wytworzone z odpadów komposty nie spełniają kryteriów dla odpadów przeznaczonych do składowania, zawartych w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 12 czerwca 2007 r. [5], z uwagi na wysoką zawartość całkowitego węgla organicznego oraz wysokie wartości straty przy prażeniu. W przypadku zawartości jonów chlorkowych i siarczanych oraz badanych pierwiastków śladowych kryteria te zostały spełnione.

Na tym etapie badań nie wykonano analiz fizykochemicznych w suchej masie pobranych próbek kompostów, uwzględnionych w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (z późn. zm.) [1]. Badania te planuje się wykonać w dalszym etapie prac*.

* Cytowaną literaturę zamieszczono po tłumaczeniu artykułu w języku niemieckim.