



Porównanie zawartości wybranych metali ciężkich w próbkach kompostów

Izabela Siebielska, Beata Janowska
Politechnika Koszalińska

1. Wstęp

Państwa członkowskie Unii Europejskiej zobowiązane zostały do redukcji składowania odpadów komunalnych ulegających biodegradacji. Jedną z metod unieszkodliwiania tych odpadów są procesy biologiczne zachodzące w warunkach tlenowych i beztlenowych. Kompostowanie odpadów organicznych (odpadów komunalnych, osadów ściekowych i innych) prowadzi do biologicznego procesu dekompozycji materiału organicznego w warunkach tlenowych, którego końcowym produktem są związki organiczne będące prekursorami humusu. Odpady przeznaczone do biologicznego przetwarzania powinny spełniać określone wymagania pod względem składu chemicznego i właściwości fizycznych. Biomasa przeznaczona do kompostowania powinna spełniać podstawowe parametry jakościowe. Zawartość substancji organicznej nie może być niższa niż 60% s.m., proporcja węgla organicznego do azotu C/N powinna wynosić około 25÷35. Wilgotność odpadów poddawanych procesom tlenowym powinna mieścić się w granicach od 45 do 60%. Zawartość metali ciężkich nie powinna przekraczać dopuszczalnych wartości określonych dla nawozów organicznych [3, 5].

Osady z komunalnych oczyszczalni ścieków oraz frakcja organiczna odpadów komunalnych są cennym źródłem związków organicznych oraz mineralnych. Daje to zatem możliwość ich przyrodniczego wykorzystania np. do rekultywacji gruntów zdegradowanych lub w postaci nawozu organicznego jakim jest kompost lub [7, 8]. Kompostowanie odpadów organicznych zapewnia ich stabilizację, higienizację oraz zmniejszenie masy. Ograniczeniem w przyrodniczym stosowaniu kompostowanych odpadów jest zawartość metali ciężkich, która determinuje możliwość ich zagospodarowania [7, 9]. Kompostowanie osadów ściekowych ze względu na ich wysokie uwodnienie wymaga wymieszania ich z materiałem strukturotwórczym np. trocinami, wiórami lub innymi odpadami [2]. Szczególnie korzystne jest wykorzystanie, jako materiału strukturotwórczego, frakcji organicznej odpadów komunalnych, która ze względu na wysoką zawartość węgla organicznego poprawia również stosunek C/N. Ograniczeniem stosowania frakcji organicznej do produkcji kompostu jest uzyskanie materiału, który spełnia wymogi dla nawozów organicznych. Wprowadza to konieczność selektywnej zbiórki odpadów [5, 9].

Celem pracy jest porównanie wybranych parametrów fizykochemicznych jak ChZT_{Cr} , C/N oraz zawartości wybranych metali ciężkich, w kompostach różniących się udziałem procentowym osadów ściekowych i frakcji organicznej odpadów komunalnych w biomasie stanowiącej wsad do bioreaktora.

2. Materiał i metody

Do badań wykorzystano próbki kompostów wytworzonych w warunkach skali laboratoryjnej w bioreaktorze statycznym o pojemności 60 litrów, z napowietrzaniem wymuszonym. Wsad do bioreaktora stanowiła mieszanina składająca się z osadów ściekowych pobieranych z oczyszczalni ścieków w zlewni stutysięcznego miasta oraz frakcji organicznej odpadów komunalnych ze składowiska odpadów. Osady pobierane do kompostowania po urządzeniach odwodniających posiadały wilgotność 70÷75%. Frakcję organiczną odpadów uzyskano przesiewając niesegregowane odpady przez sito o średnicy oczek 4 cm, a następnie przez sito o średnicy 2 cm. Niestety w uzyskanej frakcji, oprócz odpadków biodegradowalnych obecne było także szkło i tworzywa sztuczne, które pełniły rolę materiału strukturotwórczego, jednak w negatywny sposób wpływały na jakość uzyskanego kompostu. Wilgotność frakcji organicznej odpadów wynosiła około 50%.

Kompostowaniu poddano trzy rodzaje biomasy, różniące się udziałem procentowym osadów ściekowych i frakcji organicznej odpadów. Proces kompostowania dla każdego rodzaju wsadu do bioreaktora był powtórzony dwukrotnie (cykl I, cykl II). Pierwszy wsad stanowiła mieszanina składająca się z 30% frakcji organicznej odpadów i 70% osadów ściekowych (30% I, 30% II). Drugi rodzaj biomasy zawierał po 50% frakcji organicznej odpadów komunalnych i osadów ściekowych (50% I, 50% II). Trzeci wsad do bioreaktora to mieszanina składająca się z 70% frakcji organicznej odpadów i 30% osadów ściekowych (70% I, 70% II). Objętość wprowadzonej masy wynosiła 50 l.

W pierwszej fazie kompostowania, wzrostu temperatury, dostarczano powietrze w ilościach $2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$. Maksymalna temperatura wynosiła 70°C . W fazie dojrzewania kompostu zmniejszono przepływ powietrza do $0,5 \text{ dm}^3/\text{min}$. Czas trwania procesu dla wszystkich rodzajów kompostowanej biomasy wynosił 182 dni. Wskaźnik wyrażający proporcję powierzchni masy kompostowanej do jej objętości mieścił się w przedziale charakterystycznym dla bioreaktorów, pracujących w skali laboratoryjnej i wynosił $15,7:1 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Wskaźnik ten jest o wiele mniejszy w przypadku bioreaktorów pracujących w skali technicznej. Ze względu na wymiary bioreaktora, różnica w przebiegu kompostowania w skali technicznej i w skali laboratoryjnej polega między innymi na czasie trwania fazy termofilnej [3, 5]. Tę różnicę można w pewnym stopniu ograniczyć stosując bioreaktor, w którym wzrost temperatury w fazie termofilnej wynika z procesów biochemicznych. Wymaga to jednak dobrego izolowania bioreaktora od warunków zewnętrznych, co ogranicza wychładzanie i spowalnia kompostowanie. Tak przygotowana instalacja pozwalała na kontrolowanie, a nawet ograniczenie wpływu zmiennych czynników zewnętrznych na przebieg procesu. Natomiast przeprowadzanie kompostowania w skali technicznej nastęrcza bardzo wiele problemów i jest często niemożliwe uzyskanie powtarzalnych warunków przebiegu procesu.

Próbki masy kompostowanej pobierano zgodnie z normą PN-Z-15011-1 pt. „Kompost z odpadów komunalnych. Pobieranie próbek”. Częstotliwość poboru próbek zależała od intensywności zachodzących procesów i wynosiła: przez pierwsze 4 tygodnie co 7 dni, przez następne 6 tygodni co 14 dni, przez kolejne 12 tygodni co 21 dni, a ostatnia próbka pobrana została po 28 dniach.

Oznaczenie azotu ogólnego

Azot ogólny oznaczany był w świeżej próbce za pomocą techniki analizy elementarnej w makroanalizatorze VARIOMAX CN zaopatrzonym w detektor przewodności cieplnej. Najmniejsza oznaczana zawartość azotu w próbce wynosiła 0,02 mg [1].

Oznaczenie węgla ogólnego

Wysuszoną próbkę poddawano analizie elementarnej w makroanalizatorze VARIOMAX CN wyposażonym w detektor przewodności cieplnej. Najmniejsza oznaczana zawartość węgla w próbce wynosiła 0,02 mg [1].

Oznaczenie wilgotności

Zawartość wody w próbce analizowano metodą wagową. Materiał kompostowany suszono w temperaturze 105°C [5].

Oznaczenie chemicznego zapotrzebowania na tlen (ChZT)

Oznaczenie chemicznego zapotrzebowania na tlen (ChZT) wykonano metodą dwuchromianową wg normy PN-74/C-04578.03. W celu ujednolicenia próbki średnica ziaren nie powinna przekraczać 0,1 mm [4].

Oznaczenie całkowitej zawartości metali

Pobrane próbki były suszone w temperaturze 105°C, następnie mielone w moździerz agatowy. Potem zostały poddane mineralizacji mieszaniną kwasów (65% HNO₃, 70% HClO₄ i 30% H₂O₂) przy użyciu energii mikrofalowej (aparatus Milestone 1200 Mega). W tak przygotowanych próbkach oznaczono zawartość całkowitą wybranych metali (Cu, Cr, Cd, Ni i Pb) metodą FAAS (aparatus Philips 9100X). Oznaczenie metali przeprowadzono w trzech równoległych próbkach.

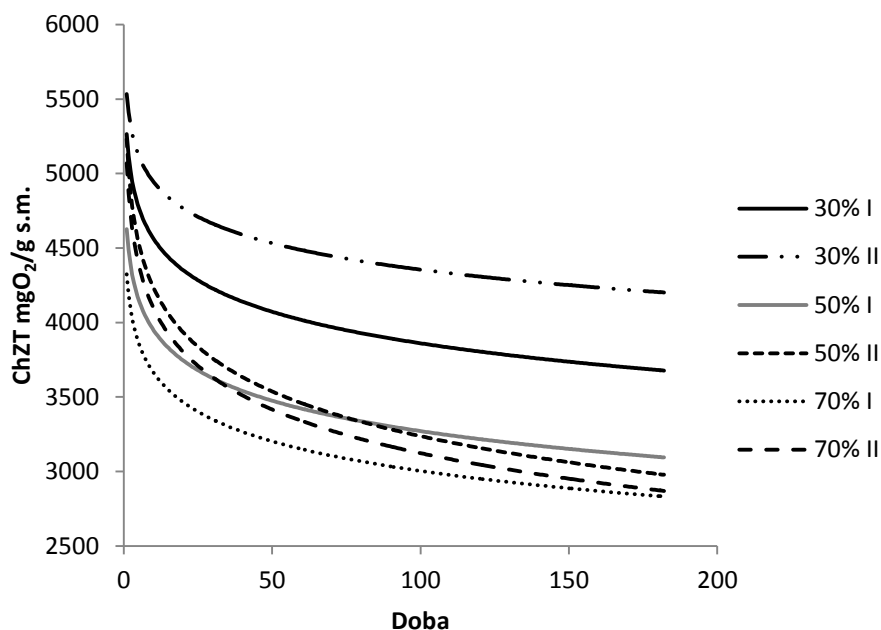
3. Wyniki i dyskusja

3.1. Charakterystyka fizykochemiczna badanych kompostów

Najwyższą wilgotność miał w pierwszej dobie wsad składający się z 30% frakcji organicznej (30% II) i wynosiła ona 70%, w pozostałych przypadkach około 60%. W czasie przebiegu procesu wilgotność masy kompostowanej utrzymywała się na poziomie 50%. Najmniejszą

wilgotność w ostatniej 182. dobie zaobserwowano przy kompostowaniu wsadu z 30% frakcji organicznej z cyklu I oraz wsadu z 50% frakcji organicznej z cyklu II. Wartość ta wyniosła około 40%. We wszystkich cyklach wilgotność w czasie procesu nie przekroczyła 70% i nie spadła poniżej 40%.

Chemiczne zapotrzebowanie tlenu ($ChZT_{Cr}$) jest wskaźnikiem stopnia stabilności kompostu. Za kompost stabilny uznawany jest taki materiał, którego $ChZT_{Cr}$ zmalało do 80% wartości początkowej [5]. Wyniki przeprowadzonych oznaczeń przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Zmiana parametru $ChZT_{Cr}$ w czasie

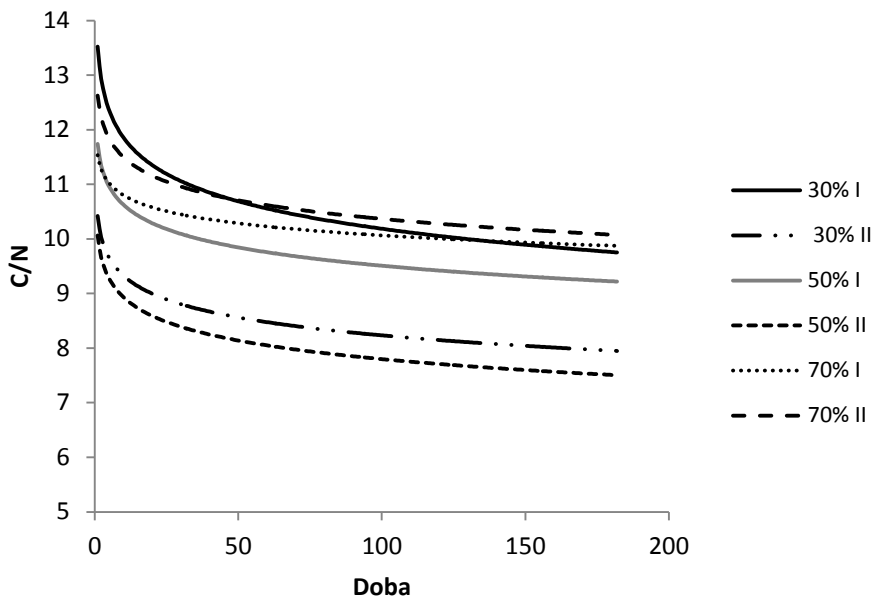
Fig. 1. Change of $ChZT_{Cr}$ parameter in time

Największą wartość tego parametru zaobserwowano dla mieszanki składającej się z 30% frakcji organicznej odpadów i 70% osadów ściekowych. Odpowiednio 4800 mg O_2/g s.m. dla cyklu I i 5133 mg O_2/g s.m. dla cyklu II. Najmniejszą wartością $ChZT_{Cr}$ charakteryzował się wsad kompostowy o składzie 70% frakcji organicznej odpadów i 30% osadów ściekowych. Odpowiednio 4062 mg O_2/g s.m. dla cyklu I i 4518 mg O_2/g s.m.

dla cyklu II. $ChZT_{Cr}$ dla mieszaniny zawierającej po 50% składników wyniósł 4600 mg O_2/g s.m. dla obu cykli. Wartości te wskazują na osady ściekowe jako podstawowe źródło węgla organicznego. Za kompost stabilny w cyklu I, dla mieszaniny z 30% frakcji organicznej można uznać wsad po 90. dobie prowadzenia procesu, a w cyklu II po 112. dobie. W przypadku biomasy, zawierającej po 50% składników, kompost może być uznany za stabilny w obu cyklach w 70. dobie prowadzenia procesu. 56. doba to moment, od którego kompost jest już stabilny dla I i II cyklu kompostowania wsadu, o składzie 70% frakcji organicznej odpadów i 30% osadów ściekowych. Zawartość osadów ściekowych w mieszaninie, a zatem i ilość węgla organicznego determinowały czas trwania fazy mineralizacji prowadzonego procesu. Im mniejsza była zawartość węgla organicznego we wsadzie kompostowym, tym szybciej można było uznać kompost za stabilny. Prawdopodobnie związki organiczne obecne w osadach ściekowych dużo łatwiej ulegają mineralizacji, w przeciwieństwie do substancji organicznej zawartej we frakcji organicznej odpadów komunalnych.

Kolejnym parametrem, określającym stabilność kompostu, jest stosunek C:N. W momencie, kiedy parametr ten osiąga wartość poniżej 10:1, charakterystyczną dla próchnicy, kompost uważany jest za stabilny [3, 5]. Dla wszystkich rodzajów kompostowanej biomasy, w pierwszej dobie trwania procesu stosunek C:N wynosił poniżej 15:1. Tak niska wartość tego parametru wynikała prawdopodobnie z dużej zawartości azotu całkowitego, co jest typowe dla osadów ściekowych. Kompostowanie przy tak niskiej wartości początkowej tego parametru wiąże się z wysoką emisją amoniaku w pierwszych dobach prowadzenia procesu [6]. Wyniki przedstawiono w formie wykresów na rysunku 2.

W cyklu I kompostowania mieszaniny, składającej się z 30% frakcji organicznej odpadów i 70% osadów ściekowych, stosunek C:N zmalał od 13:1 w pierwszej dobie, do 10:1 w ostatniej dobie. W cyklu II kompostowania analogicznej mieszaniny spadek nastąpił z wartości 10:1 do wartości 7:1. W czasie kompostowania wsadu złożonego z 50% składników w cyklu I analizowany parametr zmalał z 11:1 do 8:1, a w cyklu II zmalał z 10:1 do 8:1. Podczas kompostowania biomasy złożonej z 70% frakcji organicznej odpadów i 30% osadów ściekowych w cyklu I stosunek C:N na początku wyniósł 11:1, a na końcu 9:1. Natomiast w cyklu II na początku stosunek C:N wyniósł 12:1 i na końcu 9:1.



Rys. 2. Zmiana stosunku C:N w czasie

Fig. 2. Change of C:N ratio in time

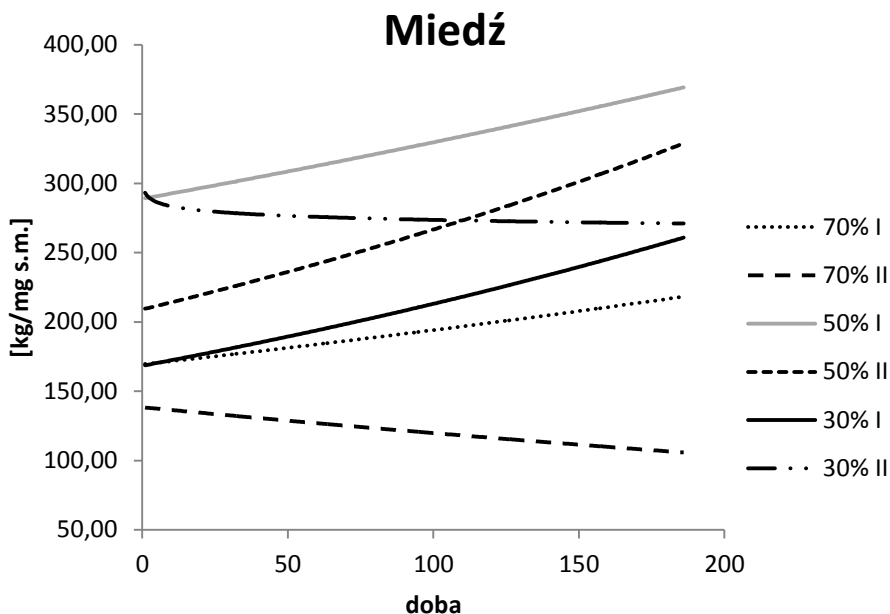
W przeciwieństwie do wskaźnika $ChZT_{Cr}$ parametr C:N obejmuje nie tylko związki organiczne, łatwo ulegające utlenieniu, ale wszystkie, także trudno rozkładalne substancje organiczne. W czasie prowadzenia procesu, we wszystkich cyklach nastąpił niewielki spadek stosunku węgla do azotu. W większym stopniu ubywało jednak związków węgla aniżeli związków azotu. Jest to prawdopodobnie wynikiem obecności dużych ilości azotu w związkach organicznych trudno rozkładalnych, obecnych we frakcji organicznej odpadów komunalnych [6]. Ubytek węgla może być natomiast związany z rozkładem związków organicznych, łatwo ulegających reakcjom i charakterystycznych dla osadów ściekowych. Zależności te nie są jednak tak oczywiste jak w przypadku parametru $ChZT_{Cr}$.

3.2. Zawartość całkowita metali

Średnie wartości stężenia miedzi dla próbek kompostów, składających się z biomasy zawierającej 70% frakcji organicznej odpadów i 30% osadu ściekowego w pierwszym cyklu kompostowania zawierały się w przedziale od 146 mg/kg s.m. do 261 mg/kg s.m., natomiast w cy-

klu II od 94 mg/kg s.m. do 199 mg/kg s.m. W próbkach kompostów zawierających 50% frakcji organicznej odpadów i 50% osadów ściekowych w pierwszym cyklu kompostowania, stężenie miedzi zawierało się w przedziale od 252 do 446 mg/kg s.m., a w cyklu II drugim od 212 do 658 mg/kg s. m. Zawartość miedzi w próbkach biomasy zawierającej 30% frakcji organicznej odpadów kształtowała się od 116 do 309 mg/kg s. m. w cyklu I, natomiast w cyklu II od 235 do 305 mg/kg s.m. Najwyższą zawartość badanego metalu zaobserwowano w cyklu I dla próbek kompostu składającego się 50% frakcji organicznej odpadów (rys. 3), natomiast najniższe dla kompostów, w których zawartość frakcji organicznej odpadów komunalnych we wsadzie do bioreaktora wynosiła 70% (cykl I). Najniższą wartość koncentracji miedzi w próbkach kompostów, pobranych po 182. dobach zanotowano w cyklu II 70% frakcji organicznej odpadów (102,6 mg/kg s.m.), a najwyższą w próbkach pochodzących z II cyklu, zawierającego po 50% frakcji organicznej odpadów i osadów ściekowych (658,44 mg/kg s.m.). W obecnie obowiązującym rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r., w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu, nie zostały określone maksymalne wartości stężeń miedzi.

Na rysunku 3 przedstawiono linię trendu zmian zawartości miedzi w badanym materiale, w czasie trwania procesu kompostowania. W czterech przypadkach kompostowanej biomasy zaobserwowano wyraźną tendencję do wzrostu stężenia miedzi w miarę upływu czasu kompostowania. Natomiast dla cyklu II kompostowanej biomasy, zawierającej 30% i 70% frakcji organicznej odpadów, zanotowano tendencję do spadku zawartości Cu. Może to być spowodowane tym, że frakcja organiczna odpadów pochodzi z niesegregowanych odpadów komunalnych, mogą w niej występować elementy metalowe, które będą wpływały znacząco na zawartość miedzi w badanych próbkach. Na podstawie przeprowadzonych badań można przypuszczać, że zawartość miedzi nie zależy od zawartości procentowej osadów ściekowych i frakcji organicznej odpadów w biomasie przeznaczonej do kompostowania. Zależy natomiast od początkowego stężenia tego metalu w biomasie przeznaczonej do kompostowania.



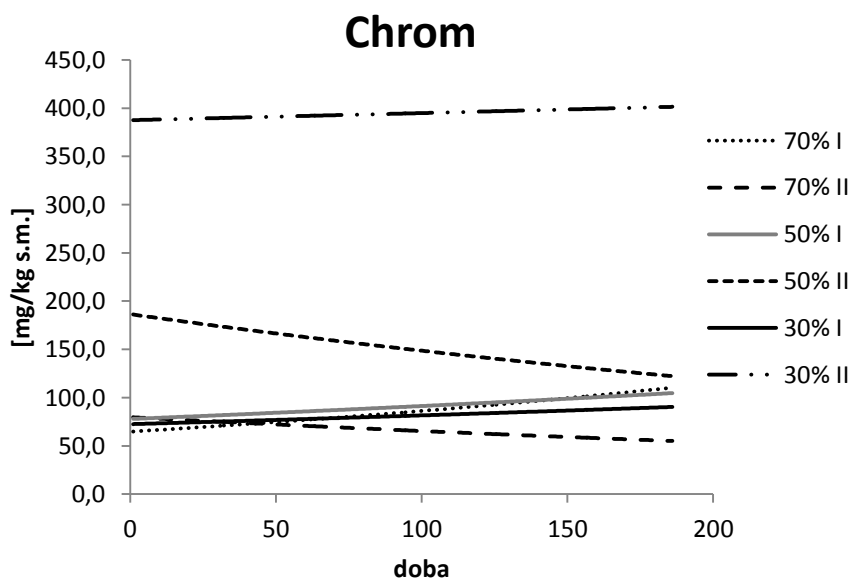
Rys. 3. Zawartość miedzi w badanym materiale

Fig. 3. Copper content in the examined material

Stężenie chromu w próbkach kompostowanej biomasy zawierającej 70% frakcji organicznej odpadów w cyklu I zawierało się w przedziale od 55 do 126 mg/kg s.m., a w próbkach pobieranych w cyklu II od 48 do 116 mg/kg s.m. W próbkach kompostów, których wsad stanowiło 50% osadów ściekowych i 50% frakcji organicznej odpadów, średnie stężenie badanego pierwiastka w pierwszym cyklu wynosiło od 67 do 123 mg/kg s.m., a w drugim od 121 do 248 mg/kg s.m. Natomiast zawartość chromu w kompoście zawierającym 30% frakcji organicznej odpadów dla pierwszego cyklu badań wynosiła od 64 do 121 mg/kg s.m., a w drugim od 328 do 438 mg/kg s.m. Najniższe wartości stężeń badanego metalu zanotowano dla próbek pobieranych w cyklu II, w którym 70% wsadu kompostowanej biomasy stanowiła frakcja organiczna odpadów, a najwyższą zawartością chromu charakteryzowały się próbki pobierane w trakcie trwania drugiego cyklu kompostowania biomasy zawierającej 30% frakcji organicznej odpadów (rys. 4).

Zawartość chromu w próbkach kompostu pobranego z bioreaktora po 182. dobach trwania procesu, w drugim cyklu kompostowania biomasy zawierającej 30% i 50% frakcji organicznej przekroczyła dopuszczalne wartości (100 mg/kg s.m.), określone w rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu. Najniższe średnie stężenie Cr zanotowano w próbkach zawierających 70% frakcji organicznej w drugim cyklu badań (51,77 mg/kg s.m.), a najwyższe w biomacie, w której udział procentowy frakcji organicznej odpadów wynosił 30% – cykl II (414,40 mg/kg s.m.).

Na rysunku 4 przedstawiono linie trendu zmian zawartości chromu w badanym materiale. W 4. przypadkach zaobserwowano tendencję do wzrostu stężenia chromu w trakcie trwania kompostowania. Na podstawie przeprowadzonych badań można przypuszczać (rys. 4), że na zawartość chromu w próbkach kompostu dojrzałego może mieć wpływ udział procentowy osadów ściekowych w biomacie stanowiącej wsad do bioreaktora oraz początkowe stężenie tego pierwiastka we wsadzie.



Rys. 4. Zawartość chromu w badanym materiale

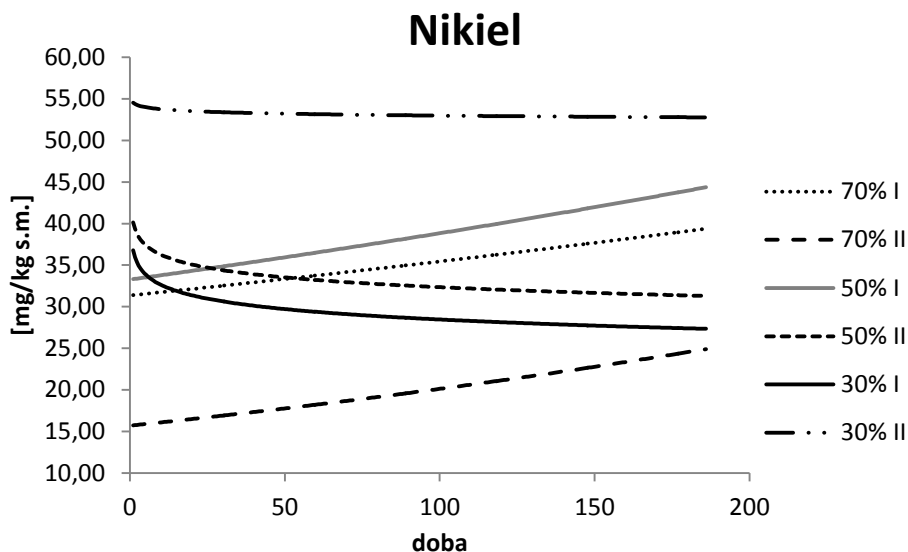
Fig. 4. Chromium content in the examined material

Stężenie niklu w próbkach kompostu pobieranych w trakcie trwania procesu kompostowania biomasy, składającej się z 70% frakcji organicznej odpadów i 30% osadu ściekowego w pierwszym cyklu, zawierało się w przedziale od 29 do 47 mg/kg s.m., a w drugim od 11 do 28 mg/kg s.m. Natomiast próbki kompostów otrzymanych w wyniku kompostowania 50% frakcji organicznej i 50% osadów ściekowych charakteryzowały się zawartością niklu w cyklu I od 33 do 46 mg/kg s.m., a w drugim od 29 do 43 mg/kg s.m. Wyższe średnie wartości stężeń badanego pierwiastka zanotowano w próbkach, w których udział procentowy frakcji organicznej wynosił 30%. W pierwszym cyklu kompostowania tej biomasy zawartość Ni kształtowała się w granicach od 24 do 51 mg/kg s.m., a w drugim od 46 do 57 mg/kg s.m. Najwyższą średnią zawartość niklu w próbkach kompostu, pobranego z bioreaktora po 182. dniach trwania procesu, zaobserwowano w cyklu II, w którym 30% masy wsadu stanowiła frakcja organiczna odpadów – 55,68 mg/kg s.m, a najniższą w próbkach zawierających 70% frakcji organicznej (cykl II) – 19,23 mg/kg s.m. Można przypuszczać, że nikiel obecny w próbkach kompostów pochodzi głównie z osadu ściekowego. Średnie stężenia niklu w kompoście pobieranym po 182. dobach nie przekraczały dopuszczalnych stężeń określonych (60 mg/kg s.m.) w rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu.

Na rysunku 5 przedstawiono linie trendu zmian stężenia Ni w badanym materiale, w czasie trwania kompostowania. W trzech przypadkach zaobserwowano wzrost zawartości badanego pierwiastka. Ta zależność nie jest jednak uwarunkowana procentowym udziałem frakcji organicznej odpadów i osadów ściekowych w biomase przeznaczonyj do kompostowania. W wyniku przeprowadzonych badań można stwierdzić, że na wartość stężenia badanego pierwiastka może mieć wpływ skład procentowy materiału przeznaczony do kompostowania oraz zawartość początkowa tego metalu we wsadzie kompostowym (rys. 5).

Średnia zawartość ołowiu w próbkach kompostu, otrzymanego w wyniku kompostowania biomasy składającej się 70% frakcji organicznej odpadów komunalnych i 30% osadu ściekowego, zawierała się w przedziale od 77 do 144 mg/kg s.m. – cykl I, a w cyklu II od 31 do 187 mg/kg s.m. Próbkę kompostu, otrzymanego w wyniku kompostowania 50% frakcji organicznej odpadów i 50% osadów ściekowych,

w pierwszym cyklu charakteryzowały się średnimi wartościami stężeń w zakresie od 59 do 91 mg/kg s.m., a w cyklu II od 63 do 125 mg/kg s.m. Najniższą średnią zawartość ołowiu (rys. 6) zanotowano w próbkach zawierających 30% frakcji organicznej odpadów. W cyklu I były to wartości od 31 do 55 mg/kg s.m., a w cyklu II od 36 do 46 mg/kg s.m. Najwyższe średnie stężenie ołowiu w próbkach kompostu, pobranego z bioreaktora po 182. dobach, zaobserwowano w cyklu II mieszaniny składającej się z 50% frakcji organicznej i 50% osadu ściekowego – 125 mg/kg s.m., a najniższe w cyklu I, w którym wsad kompostowy stanowiło 30% frakcji organicznej odpadów – 38,74 mg/kg s.m. Wartości te nie przekraczały dopuszczalnych stężeń określonych w rozporządzeniu z dnia 18 czerwca 2008 roku (140 mg/kg s.m.).

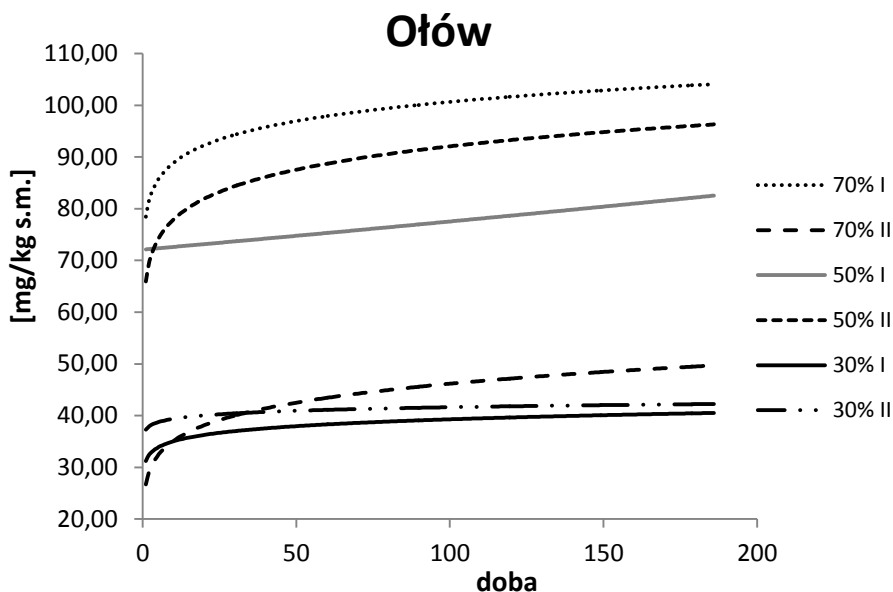


Rys. 5. Zawartość niklu w badanym materiale

Fig. 5. Nickel content in the examined material

Na rysunku 6 przedstawiono linie trendu zmian zawartości Pb w kompostowej biomase. We wszystkich sześciu przeprowadzonych procesach kompostowania, w pobieranych próbkach, zanotowano wzrost stężenia badanego metalu. Wyższą zawartością Pb charakteryzowały się w próbki, w których udział procentowy frakcji organicznej wynosił 50%

i 70%. Zatem frakcję organiczną odpadów komunalnych można traktować jako źródło tego pierwiastka. Na podstawie przeprowadzonych wyników można przypuszczać, że zawartość ołowiu w próbkach kompostów zależy od udziału procentowego frakcji organicznej odpadów w biomase przeznaczony do kompostowania oraz od początkowego stężenia tego pierwiastka.

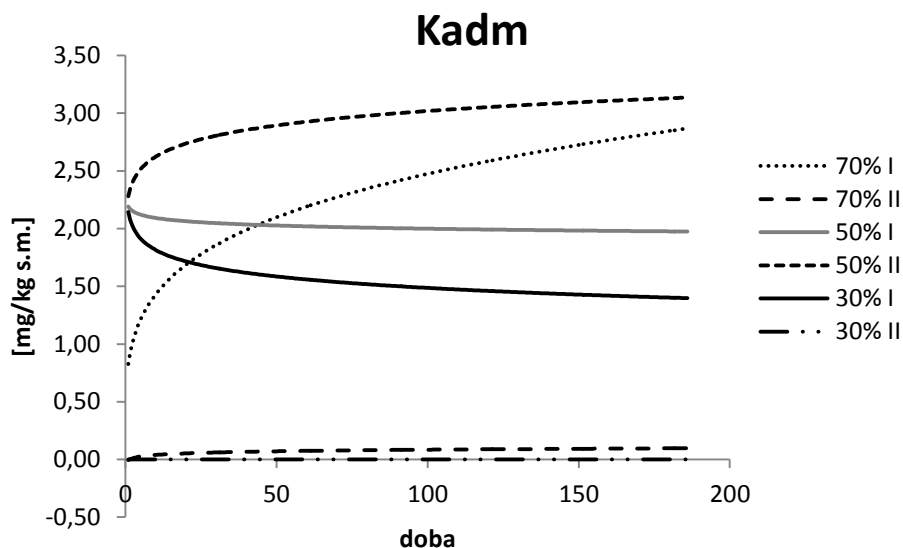


Rys. 6. Zawartość ołowiu w badanym materiale
Fig. 6. Lead content in the examined material

Średnia zawartość kadmu w próbkach kompostów pobieranych w trakcie trwania kompostowania biomasy, zawierającej 70% frakcji organicznej odpadów w pierwszym cyklu, zawierała się w przedziale od 1,02 do 4,95 mg/kg s.m., natomiast w cyklu II nie wykryto obecności tego pierwiastka. Dla próbek otrzymanych w wyniku kompostowania 50% frakcji organicznej w cyklu I średnie stężenie Cd wynosiło od 1,63 do 3,42 mg/kg s.m., a w cyklu II od 2,02 do 3,82 mg/kg s.m. Zawartość kadmu w próbkach, w których wsad kompostowy składał się z 30% frakcji organicznej odpadów i 70% osadu ściekowego, kształtowała się w granicach od 0,85 do 2,07 mg/kg s.m. – cykl I, natomiast w próbkach

pobieranych w cyklu II nie stwierdzono obecności tego pierwiastka. Średnia zawartość badanego metalu w próbkach kompostów, pobranych z bioreaktora po 182. dobach, nie przekraczała dopuszczalnej zawartości (5 mg/kg s.m.) określonej w rozporządzeniu z dnia 18 czerwca 2008 r. Najwyższym średnim stężeniem Cd charakteryzowały się próbki otrzymane w wyniku kompostowania biomasy zawierającej 50% frakcji organicznej – cykl II (3,82 mg/kg s.m.).

Na rysunku 7 przedstawiono linie trendu zmian stężenia kadmu w kompostowanej biomacie. Na podstawie uzyskanych wyników trudno jednoznacznie określić wpływ składu procentowego mieszaniny przeznaczonej do kompostowania. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że na zawartość badanego metalu ma wpływ jego początkowe stężenie w materiale przeznaczonym do kompostowania.



Rys. 7. Zawartość kadmu w badanym materiale

Fig. 7. Cadmium content in the examined material

4. Podsumowanie

Metale ciężkie występują naturalnie w środowisku, glebie, żywności. Są również szeroko stosowane w procesach produkcyjnych i w konsekwencji są obecne w odpadach komunalnych oraz w osadach

ściekowych. Kompost produkowany na bazie tych odpadów jest potencjalnym źródłem metali ciężkich wprowadzanych do środowiska [7, 8]. Z przeprowadzonych badań wynika, że istotna jest zawartość początkowa metali w biomase przeznaczony do kompostowania, która zależy od jakości ścieków doprowadzanych do oczyszczalni, technologii oczyszczania ścieków i składu morfologicznego odpadów komunalnych. Na zawartość metali we frakcji organicznej odpadów komunalnych ma również wpływ segregacja odpadów oraz sposób jej realizacji [9]. Odpady segregowane u źródła charakteryzują się niższą zawartością metali niż odpady niesegregowane lub poddane segregacji mechanicznej.

Badania wykazały, że trudno jest jednoznacznie określić wpływ udziału procentowego frakcji organicznej i osadu ściekowego na stężenie badanych metali ciężkich. Zawartość Pb w kompoście jest najprawdopodobniej zdeterminowana ilością wprowadzanej frakcji organicznej odpadów do kompostowanej biomasy, natomiast wzrost stężenia Cr i Ni jest obserwowany w mieszaninie składającej się w większym procencie z osadu ściekowego. Proces kompostowania powoduje kumulację metali ciężkich w kompoście. Ich stężenie zależy od początkowej zawartości substancji organicznej i stopnia jej degradacji.

Skład procentowy biomasy miał natomiast zasadniczy wpływ na wartość parametrów fizykochemicznych. Najwyższe wartości $ChZT_{Cr}$ zanotowano dla wsadu kompostowego, zawierającego 70% osadu ściekowego. Natomiast najniższą wartością stosunku C/N charakteryzowała się mieszanina zawierająca 30% osadów ściekowych. Zawartość osadu ściekowego w mieszaninie, a zatem i ilość węgla organicznego determinuje czas trwania fazy mineralizacji prowadzonego procesu.

*Badania zostały zrealizowane w ramach projektu badawczego
Nr NN523448336.*

Literatura

1. AN-A-220205-E-01
2. **Bień J. B.:** *Osady ściekowe. Teoria i praktyka.* Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2002.
3. **Epstein E.:** *The science of composting.* Technomic publishing Company Inc. Lancaster 1997.
4. **Hermanowicz W., Dojlido J., Dożańska W., Koziorowski B., Zerbe J.:** *Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków.* Arkady, Warszawa 1999.

5. **Jędrzszak A.:** *Biologiczne przetwarzanie odpadów*, PWN, Warszawa 2007.
6. **Kulikowska D., Bilicka K.:** *Analiza przemian materii organicznej i związków azotu podczas kompostowania osadów ściekowych*. Czasopismo Techniczne. 2009.
7. **McBride M.B.:** *Toxic metals in sewage sludge-amended soils: has promotion of beneficial use discounted the risk?* Advances in Environmental Research 8, 5÷19, 2003.
8. **Pichtel J., Anderson M.:** *Trace metal bioavailability in municipal solid waste and sewage sludge composts*. Bioresource Technology 60, 223÷229, 1997.
9. **Smith S.R.:** *A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts to sewage sludge*, Environment International 35, 142÷156, 2009.

Comparison of Selected Heavy Metals Content in Composts Samples

Abstract

The article presents the results of the influence of the percentage of sewage sludge and organic fraction in biomass subjected to composting for the content of selected heavy metals (Cu, Cr, Cd, Ni and Pb).

Samples of compost produced in a laboratory scale static bioreactor with capacity of 60 liters, with forced aeration. Input to the bioreactor was mixture consisting of sewage sludge collected from sewage treatment plant in the catchment area of the city with 100 thousands inhabitants and organic fraction of municipal waste from landfill. Sewage sludge collected for composting after the dewatering devices contained 70÷75% of water. The organic waste fraction obtained by sieving non-sorted waste through a sieve with mesh diameter of 4 cm, and then through a sieve with a diameter of 2 cm. Unfortunately the resulting fraction, apart from biodegradable waste, contained glass and plastic, which served as the structure creating material, however, negatively affected the quality of the compost. Water content in organic fraction of waste is around 50%.

Studies have shown that the concentration of the metals studied depends on the initial content of the material intended for composting. The lead content in the compost depends mainly on the amount of organic fraction of municipal solid waste, and the concentration of Cr and Ni on the percentage of sewage sludge composted biomass.