



## Evaluation of quality parameters of selected composts

Michalina FRANICA<sup>1</sup>, Kamila GRZEJA<sup>1</sup>, Sandra PASZULA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Technologii Urządzeń i Zagospodarowania Odpadów

W badaniach brały również udział Biesiada Magdalena i Ogonek Karolina.

### Abstract

Storage of waste is one of the oldest methods in waste management. Therefore, it seeks to limit it and even eliminate it altogether. Over the last few years there has been an increase in the amount of municipal waste at selective collection, including composting. This process belongs to biological waste treatment methods, where the product becomes a valuable fertilizer.

The research was conducted to determine the fertilizer properties of selected green waste composts.

**Keywords:** compost, biological waste, waste management, properties of waste

### Streszczenie

Ocena parametrów jakościowych wybranych kompostów

Składowanie jest jedną z najstarszych metod w gospodarce odpadami. W związku z tym dąży się do jej ograniczenia, a nawet całkowitego wyeliminowania. W ostatnich kilku latach zaobserwowano wzrost ilości odpadów komunalnych podczas selektywnej zbiórki, do której zaliczyć można kompostowanie. Proces ten należy do biologicznych metod przetwarzania odpadów, gdzie produktem staje się cenny nawóz.

Przeprowadzone badania miały na celu określenie właściwości nawozowych wybranych kompostów z odpadów zielonych.

**Słowa kluczowe:** kompost, odpady zielone, gospodarka odpadami, właściwości odpadów

## 1 Wstęp

W ciągu ostatnich kilku lat prawidłowa gospodarka odpadami stała się czynnikiem wielu problemów związanych ze środowiskiem naturalnym. Proces ten obejmuje zarówno aspekty związane z ochroną środowiska, a także ekonomiczne. Ilość powstających odpadów nadal rośnie poprzez szybki rozwój przemysłu i wzrost standardu życia ludzi. Prawidłowe wykorzystanie zasobów naturalnych jest priorytetem europejskiego ustawodawstwa. Dyrektywa Ramowa o odpadach mówi o zasadzie „4r” czyli tzw. hierarchii odzysku: Reduce, Reuse, Recycle, Recover, która nakłania do racjonalnego wykorzystania odpadów i energii. Odpady ze względu na swój skład, miejsce oraz sposób dalszego postępowania mogą w różnym stopniu zagrażać środowisku. W związku z tym stosuje się wiele metod zagospodarowania odpadów, do których zaliczyć można m.in. recykling, produkcję biogazu, spalanie, czy odzysk energii [1,2].

Niezależnie od istnienia różnych metod postępowania z odpadami komunalnymi, w dalszym ciągu najstarszą i najpowszechniej stosowaną metodą w Polsce i na świecie jest ich składowanie. W skali państwa zaobserwować można stały wzrost strumienia odpadów komunalnych, przez co prawie 75% bezpośrednio trafiało na

składowiska. W roku 2011 wyprodukowano łącznie prawie 135 653 tys. Mg odpadów, z czego 9827,6 tys. Mg stanowiły odpady komunalne – unieszkodliwiono [3]:

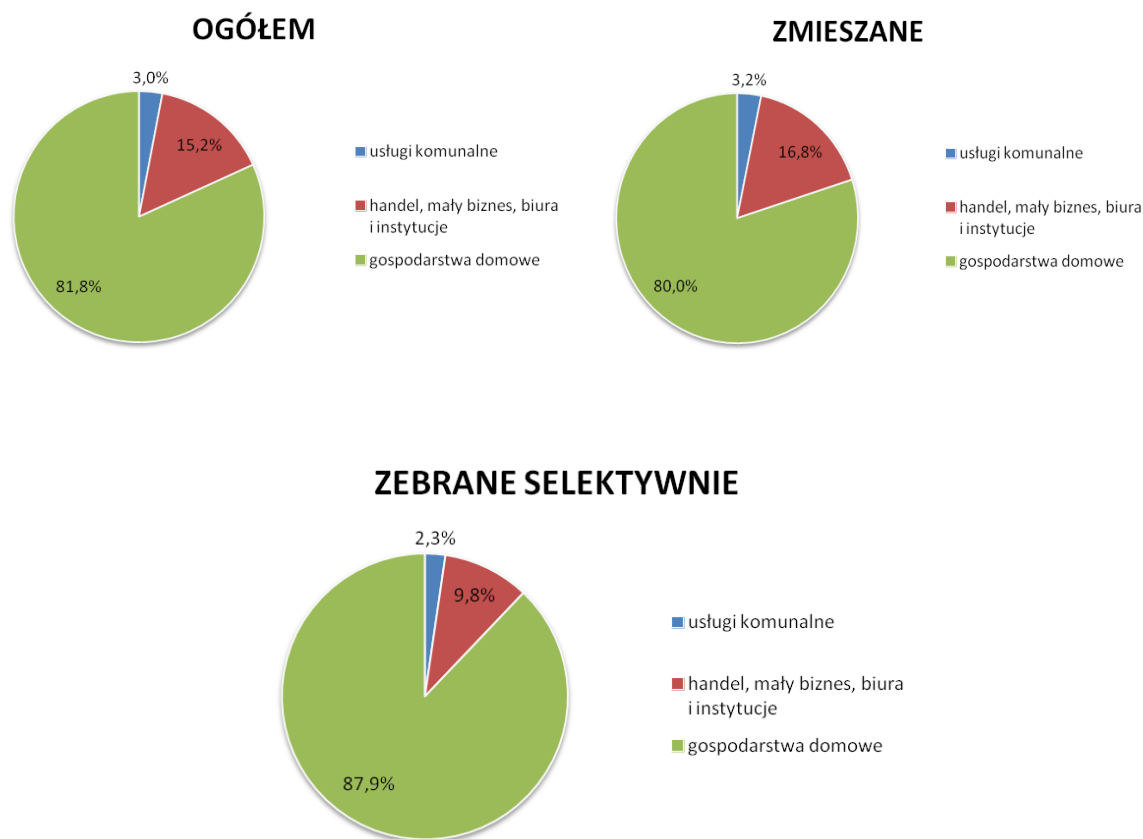
Termicznie – 1,15%

Biologicznie – 4,3%

Natomiast według danych statystycznych w Polsce w 2014 roku zebrano 10 330,4 tys. Mg odpadów komunalnych, gdzie na jednego mieszkańca przypadło prawie 268 kg wyprodukowanych odpadów [4].

Na podstawie powyższych danych można stwierdzić, że proces składowania odpadów komunalnych cieszy się dużą popularnością. Ten sposób zagospodarowania uznaje się za niebezpieczny dla środowiska, dlatego też dąży się do ograniczenia, a nawet całkowitego wyeliminowania składowania odpadów komunalnych ulegających biodegradacji. W świetle Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach odpady komunalne o kaloryczności powyżej 6 MJ/kg suchej masy i zawartości ogólnego węgla organicznego 5% suchej masy nie powinny trafiać na składowiska [5].

Dlatego też w ostatnim czasie można zaobserwować rosnącą ilość odpadów zebranych podczas selektywnej zbiórki. Frakcje jakie są zbierane to: papier, metale, tworzywa sztuczne, szkło, odpady wielomateriałowe czy biodegradowalne. Dzięki temu, że odpady te odbierane są z gospodarstw domowych regularnie, zmniejszył się problem związany z powstawaniem tzw. „dzikich wysypisk” [6].



Rys. 1.1. Źródła pochodzenia odpadów komunalnych zebranych w 2015 r. (wg GUS) [6]

Liczba zebranych odpadów komunalnych wyniosła w tym czasie 23,4%, gdzie na jednego mieszkańca naszego kraju przypadło ok. 66 kg odpadów zebranych selektywnie [6].

Selektywne zbieranie odpadów stanowi przyczynek m.in. do ich kompostowania. Procesowi temu poddawana jest frakcja biodegradowalna w efekcie czego pozyskuje się nawóz, który można wykorzystać w rolnictwie. [7-9].

### 1.1. Charakterystyka procesu kompostowania

Jedną z biochemicznych metod przetwarzania odpadów jest kompostowanie. Jest to proces recyklingu organicznego (Dz. U. 2013 poz. 21), odbywający się przy udziale mikroorganizmów. Kompostowanie przebiega w warunkach tlenowych, a jego składniki przemieniają się w gazy, m.in. dwutlenek węgla, substancje zawierające kwasy huminowe oraz wodę. Produktem procesu kompostowania jest nawóz (kompost) [10].

Przemiany jakie zachodzą podczas procesu kompostowania można przedstawić w następujący sposób:

**Substancje organiczne + O<sub>2</sub> + mikroorganizmy tlenowe**



**CO<sub>2</sub> + NH<sub>4</sub> + PO<sub>4</sub> + biomasa mikroorganizmów + ciepło + humus**

Rys.1.2. Graficzne przedstawienie przemian zachodzących podczas procesu kompostowania [11].

Kompostowanie odgrywa także szczególną rolę w ochronie środowiska, przede wszystkim poprzez: zwiększenie przestrzeni na składowiskach; wykluczenie odorów; poprawę jakości gleby oraz wzrost plonów; ograniczenie stosowania nawozów chemicznych [12].

### 1.2. Fazy kompostowania

Proces kompostowania zachodzi w czterech etapach, które przedstawiono w tabeli 1.1:

Tabela 1.1. Fazy kompostowania [13]

Faza	Charakterystyka
I – wstępnego kompostowania	W tej fazie następuje wzrost temperatury; trwa kilka dni.
II – intensywnego kompostowania	Faza wysokotemperaturowa, która utrzymuje się od kilku dni do kilkunastu tygodni.
III - przemian	Kompostowanie właściwe, które rozpoczyna się w 3 -5 tygodniu i trwa taki sam okres. W tej fazie charakterystyczne jest obniżenie temperatury, przeobrażenie związków trudno rozkładalnych oraz zmniejszenie objętości odpadów.
IV – dojrzewania kompostu	Kompostowanie wtórne trwające kilka miesięcy. W tym czasie formuje się stabilny kompost, pojawia się mikrofauna, a materiał się schładza.

Przebieg procesu kompostowania zależy od kilku czynników, m. in. takich jak: pH, temperatura, stężenia tlenu, zawartości wody, czy ilości i rodzaju mikroorganizmów [13].

### 1.3. Warunki procesu kompostowania

Aby proces kompostowania mógł przebiegać w sposób prawidłowy należy spełniać następujące warunki [14]:

- Temperatura powinna pozostawać na poziomie 65°C;
- pH w zakresie 7 - 9;
- C/N < 35;
- Masa odpadów musi być w odpowiedni sposób rozdrobniona, wymieszana oraz napowietrzona;

Jeśli spełnione są powyższe warunki uzyskuje się produkt finalny procesu kompostowania- nawóz organiczny. Zawiera on czynniki wzrostowe w postaci mikroelementów oraz próchnicę. Przemiany zachodzące w składowanych odpadach odbywają się z udziałem mikrofauny i mikroflory. Odpowiedzialny za te przemiany chemizm biochemiczny procesów można podzielić na częściową mineralizację i humifikację. Jak już

wspomniano prawidłowy proces kompostowania może przebiegać w warunkach uwzględniających odpowiedni: odczyn pH podłoża, składu chemicznego, temperatury, dostępu tlenu, udziału azotu niezbędnego do rozwoju mikroorganizmów rozkładających celulozę.

Niezbędnymi składnikami pokarmowymi dla mikroorganizmów przeprowadzającymi rozkład materii organicznej w procesie kompostowania są węgiel, azot, fosfor i potas. Są one źródłem energii dla mikroorganizmów oraz stanowią podstawowy składnik, który ma wpływ na szybkość ich wzrostu i procesy metaboliczne. Stosunek ilościowy węgla do azotu stanowi wskaźnik dojrzałości kompostu. Rozkład mikrobiologiczny substancji organicznych zależy od stosunku ilościowego C:N, dla którego optymalna wartość w kompostowanej biomacie powinna mieścić się w granicach od wartości nie większej niż 30:1 na początku procesu do 15:1 - 20:1 w dojrzałym kompoście [15]. Przy zbyt wysokim stosunku C:N następuje spowolnienie przemian zachodzących w biomacie z powodu zbyt małej ilości azotu, natomiast jego nadmiar może doprowadzić do powstawania amoniaku działającego toksycznie na mikroorganizmy co w rezultacie prowadzi do emisji uciążliwych odorów i zahamowania procesów rozkładu materii organicznej [16]. Celem ustalenia odpowiedniego stosunku tych dwóch składników w całej kompostowanej biomacie stosowane są różne dodatki np. trociny, kora, słoma, odchody kurze wpływające na przebieg procesu oraz jakość wyprodukowanego kompostu [17].

Na kompost składają się pozostałości roślin, trawa, liście, chwasty oraz drobne gałęzie, które pochodzą z gospodarstw domowych, działek, czy terenów zieleni miejskiej. Dzięki kompostowaniu można uniknąć palenia resztek roślinnych oraz ich wyrzucania dzięki czemu można pozyskać nawóz, który wzbogaca glebę w materię organiczną. Kompost stosuje się do nawożenia zarówno warzyw, drzew, roślin owocowych jak i krzewów owocowych i roślin ozdobnych oraz do ściółkowania gleby pod roślinami.

## 2. Charakterystyka badanych kompostów

Do badań użyto dwóch rodzajów kompostu: oznaczonych jako Kompost 1 i Kompost 2, a następnie porównano je pod względem jakości. Oba komposty pozyskano z wybranych kompostowni odpadów zielonych mieszczących się na terenie Śląska. Na rysunkach pokazano komposty po przesianiu.

KOMPOST 1



KOMPOST 2



Rys. 2.1. Badane komposty (fot. wyk. Karolina Ogonek)

### 3. Metodyka badań

Podczas przeprowadzanych analiz badano: pH, wilgotność, kwasowość, zasadowość, twardość, zawartość suchej masy, zawartość substancji organicznej, fitotoksyczność, zawartość azotu ogólnego i amonowego, zawartość fosforu, zawartość siarczanów z wyciągu wodnego, zawartość węgla organicznego, zawartość chlorków w wyciągu, zawartość kationów tj:  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Li^+$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ . Oznaczenia wykonane zgodnie z standardami norm.

Wykonano również test fitotoksyczności z zastosowaniem nasion rzeżuchy ogrodowej. Równocześnie z testami właściwymi wykonano próbę kontrolną. Doświadczenie przeprowadzono w ciemni, w temperaturze ok. 25°C przez okres trzech i siedmiu dni. Test pozwolił na określenie następujących parametrów [18]:

**Zdolność kiełkowania** ( $Z_k$ , %) zdefiniowano wzorem :

$$Z_k = \frac{n_k}{n_c} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

$n_k$ - liczba nasion wykiełkowanych

$n_c$ - liczba wszystkich wysianych nasion = 25

**Współczynnik inhibicji** wzrostu korzeni / łodygi roślin ( $I_K, I_N$ %):

$$I_K(I_N) = \frac{L_k - L_b}{L_k} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

$L_k$ - średnia długość korzenia/łodygi roślin w próbie kontrolnej [mm]

$L_b$ - średnia długość korzenia/łodygi roślin w próbie badanej [mm]

**Indeks kiełkowania** dla sumarycznej oceny obu parametrów (%GI):

$$GI = \frac{(G_s \cdot L_s)}{(G_c \cdot L_c)} \cdot 100\% \quad (3.3)$$

$G_s$  - liczba wykiełkowanych nasion w badanej próbie,

$G_c$  - liczba wykiełkowanych nasion w próbie kontrolnej,

$L_s$  - długości korzeni w badanej próbie [mm],

$L_c$  - długości korzeni w próbie kontrolnej [mm].

### 4. Wyniki badań

Celem porównania badanych kompostów określono podstawowe ich właściwości fizykochemiczne. Rezultaty badań zestawiono w tabeli 4.1.

Oba komposty charakteryzują się odczynem obojętnym. Zasadowość, mieszcząca się w przedziale 2,2-6 mval/dm<sup>3</sup> dla badanych próbek, określa zdolność kompostu do zobojętniania kwasów mineralnych, natomiast kwasowość, w obu przypadkach będąca na niskim poziomie rzędu kilku dziesiątych mval/dm<sup>3</sup>, opisuje zdolność do zobojętniania zasad i może być wywołana obecnością wolnego kwasu węglowego lub ulegających hydrolizie soli silnych kwasów. Większość roślin rośnie na glebach lekko kwaśnych lub obojętnych, jedynie tolerancyjne gatunki występują na zasadowym podłożu.

Pięciokrotnie większą twardością ogólną charakteryzuje się Kompost 1 (10,02 mval/dm<sup>3</sup>) niż Kompost 2 (2 mval/dm<sup>3</sup>). Oznacza to, że w Kompoście 1 znajdują się większe ilości rozpuszczonych soli wapnia i magnezu. Z kolei potencjał redox kompostów utrzymuje się na zbliżonym poziomie odpowiednio 165,5 mV i 153,9 mV, co świadczy o ich działaniu utleniającym.

Jednym z ważniejszych czynników wpływających na wzrost roślin jest zawartość substancji humusowych w glebie. Substancje te przyczyniają się do powiększenia kompleksu sorpcyjnego gleby. W Kompoście 1 zawartość substancji humusowych wynosi 1,6%, natomiast w Kompoście 2: 2,76%.

Kationy tj.:  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Li^+$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  w obu kompostach znajdują się w niewielkich ilościach rzędu 0,13 – 16,64 ppm. Kationy te znajdujące się w powierzchniowej warstwie gleby mogą ulec desorpcji, czyli powrócić do roztworu glebowego i być wykorzystane przez rośliny.

Parametrem znacznie odróżniającym od siebie oba nawozy jest zawartość azotu amonowego. Kompost 1 zawiera 1,67 [ $mg_{NH_4}/kg$ ], natomiast kompost 2: 10,50 [ $mg_{NH_4}/kg$ ]. Niska zawartość  $NH_4$  wpływa na zminimalizowanie podatności roślin na choroby tj. grzybica [8].

Tabela 4.1. Wyniki przeprowadzonych analiz na kompostach

oznaczenie	jednostka	Kompost 1	Kompost 2
wilgotność	%	33,00	4,10
pH	-	7,20	7,40
Kwasowość Kp	[mval/dm <sup>3</sup> ]	0,30	0,20
Zasadowość Zm	[mval/dm <sup>3</sup> ]	2,20	6,00
Twardość	[mval/dm <sup>3</sup> ]	10,02	2,00
Potencjał redox	[mV]	165,50	153,90
Substancje humusowe	[%]	1,60	2,76
Fosfor	[%]	1,49	1,91
Sód	[ppm]	0,58	1,16
Potas	[ppm]	2,31	13,34
Lit	[ppm]	1,10	0,13
Wapń	[ppm]	8,83	16,64
Bar	[ppm]	1,29	4,80
Zawartość substancji organicznych	[%]	48,27	52,17
RSO	[%]	33,61	43,50
Węgiel organiczny	[%]	15,80	20,45
Azot amonowy	[ $mg_{NH_4}/kg$ ]	1,67	10,50
Azot ogólny	[%]	1,15	0,98
C/N	-	14:1	21:1
C/N/P	-	14:1:1,5	21:1:2
Siarczany	[ $mg_{SO_4}/dm^3$ ]	$9,38 \cdot 10^{-2}$	0,101
Chlorki	[ $mg_{Cl^-}/dm^3$ ]	359	97
Zawartość substancji mineralnej	[%]	51,73	47,83
NSO	[%]	14,66	8,67

Na podstawie Rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r., w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. z 2008 r. Nr 119, poz. 765) można określić rodzaj nawozu dla badanych kompostów.

Tabela 4.2. Wymagania jakościowe przeznaczone dla nawozów w stałej postaci

	Jednostka	NAWÓZ		
		Organiczny	Organiczno- Mineralny	Mineralny
Substancja organiczna	% s.m.	$\geq 30$	$\geq 20$	-
Azot całkowity (N)	% masy	$\geq 0,3$	$\geq 1$	$\geq 2$
Fosfor ( $P_2O_5$ )	% masy	$\geq 0,2$	$\geq 0,5$	$\geq 2$
Potas ( $K_2O$ )	% masy	$\geq 0,2$	$\geq 1$	$\geq 2$

Porównując uzyskane wyniki można stwierdzić, iż oba komposty spełniają wszystkie kryteria dla nawozów organicznych.

Stosunek ilościowy węgla do azotu stanowi wskaźnik dojrzałości kompostu, od którego zależy rozkład mikrobiologiczny substancji. W obu badanych Kompostach wartości owego stosunku graniczą z przedziałem 15:1 – 20:1 (korelacja dla dojrzałego kompostu) i wynoszą dla Kompostu 1 14:1, natomiast dla Kompostu 2 21:1.

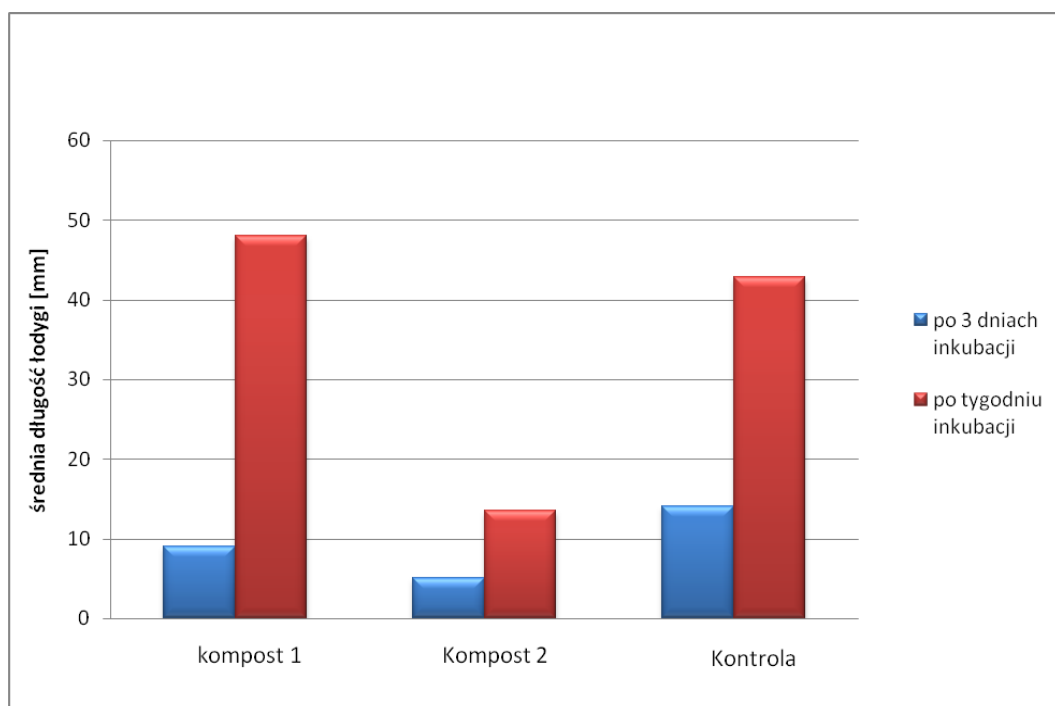
Ilość siarczanów w wyciągu wodnym z odpadów wyniosła w 1 Kompoście  $9,38 \cdot 10^{-2} \text{ mg}_{SO_4}/\text{dm}^3$  i  $0,101 \text{ mg}_{SO_4}/\text{dm}^3$  w Kompoście 2. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie niebezpiecznych dla środowiska wodnego (Dz. U. 2014 poz. 1800) [19] dopuszczalna ich zawartość wynosi  $500 \text{ mg}/\text{dm}^3$ . Zarówno w przypadku pierwszego kompostu, jak i drugiego poziomy stężenia są znacznie mniejsze niż dopuszczalne, co oznacza, że odcieki nie są zagrożeniem dla środowiska i mogą być wprowadzane do wód i gleby.

W myśl powyższego rozporządzenia dopuszczalna zawartość chlorków w ściekach, które są wprowadzane do wód lub ziemi wynosi  $1000 \text{ mg}/\text{dm}^3$  [19]. Poziom chlorków w obu badanych przesączach kompostów nie przekracza tej wartości, co oznacza że powstałe odcieki nie są uciążliwe dla środowiska.

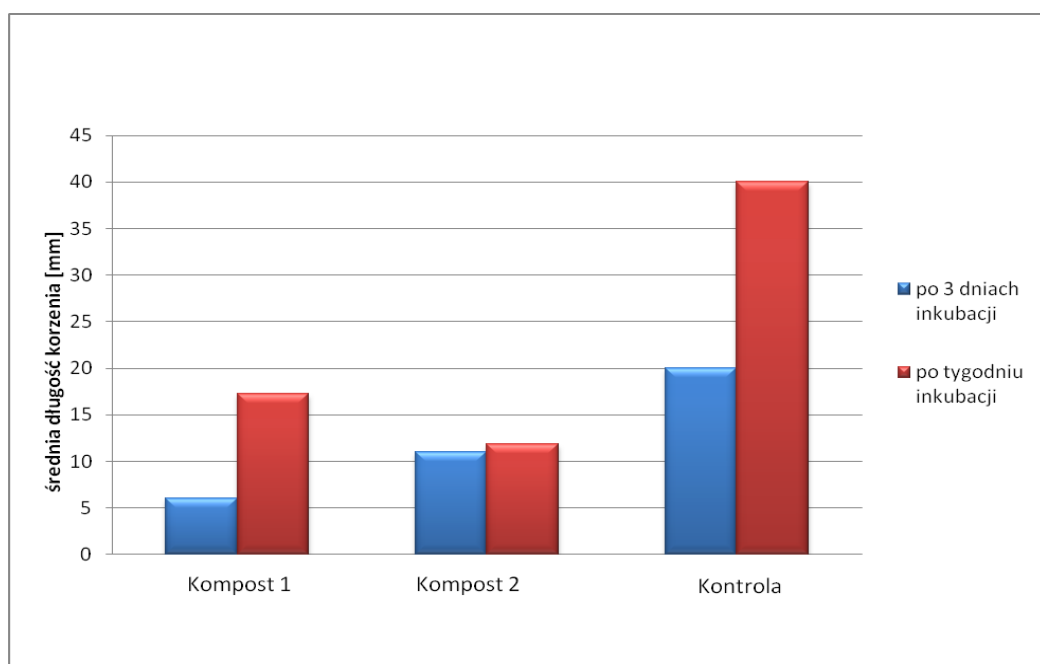
W ramach badań wykonano test fitotoksyczności na analizowanych kompostach. Test przeprowadzono z zastosowaniem nasion rzeżuchy. Równocześnie z testami właściwymi wykonano próbę kontrolną. Długości korzeni i pędów wykiełkowanych rzeżuch mierzono po upływie 3 i 7 dni. Analiza otrzymanych wyników przedstawiona została poniżej.

Z rysunków 4.1 i 4.2 można wnioskować, że dla obu kompostów średnia długość zarówno korzeni jak i łodyg wzrasta wraz z upływającym czasem inkubacji nasion. Największy przyrost długości łodygi rzeżuchy można zaobserwować dla Kompostu 1 (39 mm), natomiast minimalny przyrost (0,8 mm) długości korzenia wystąpił z udziałem Kompostu 2.

Obliczono również stosunek długości korzenia do łodygi Kompostu 1 i 2, który przedstawia się odpowiednio: 0,36 i 0,87. Zakłada się, że optymalna wartość owego stosunku ma być równa 1, wtedy roślina będzie stabilnie rosła. Otrzymane wartości jednak są mniejsze od 1, co powoduje dysproporcje między częścią korzeniową a łodygą. Wartość mniejsza od 1 świadczy o przyroście części nadziemnej.

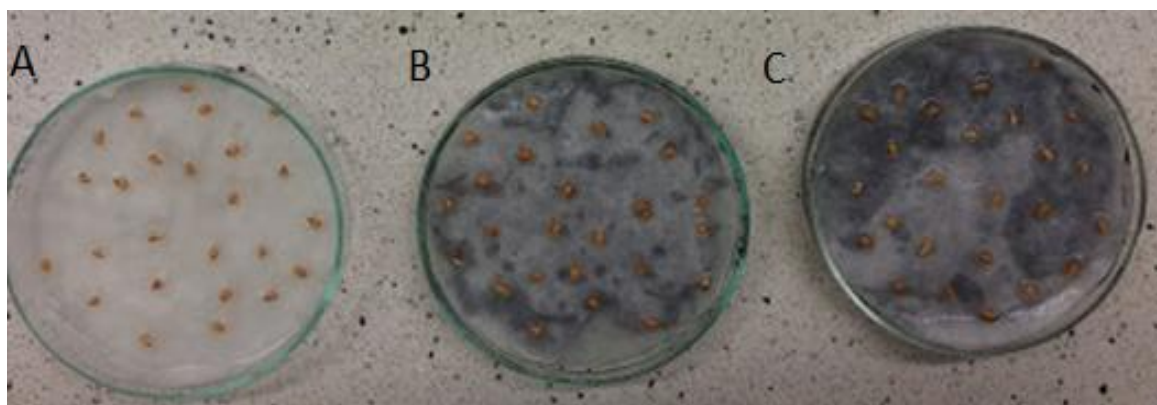


Rys. 4.1. Zależność średniej długości łodygi rzeżuchy od rodzaju podłoża w różnym czasie inkubacji

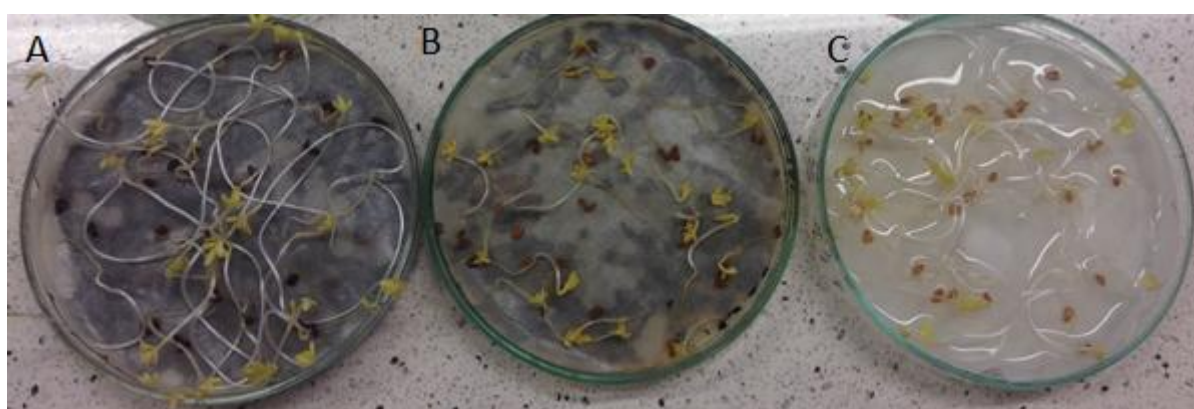


Rys. 4.2. Zależność średniej długości korzenia rzeżuchy od rodzaju podłoża w różnym czasie inkubacji





Rys. 4.3. Nasiona rzeżuchy w dniu rozpoczęcia testu fitotoksyczności odpowiednio: A próba kontrolna, B Kompost 2, C Kompost 1

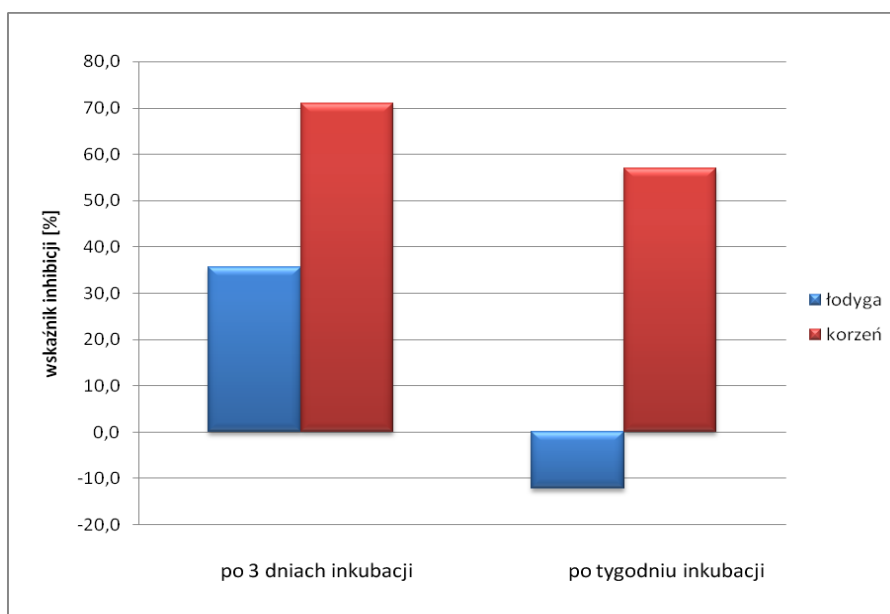


Rys. 4.4. Wykiełkowane nasiona rzeżuchy po tygodniu inkubacji odpowiednio: A Kompost 1, B Kompost 2, C próba kontrolna

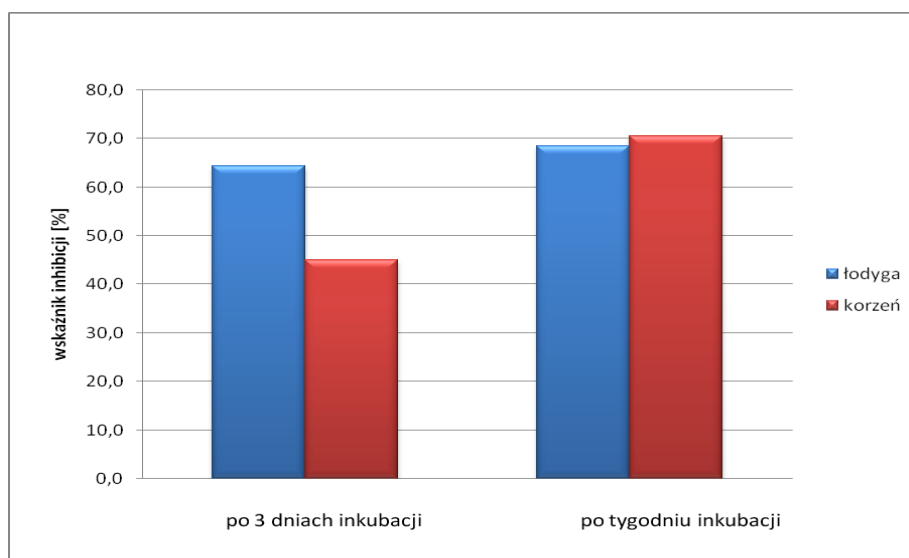
Tabela 4.3. Procentowa zdolność kiełkowania rzeżuchy w zależności od kompostu

	Kompost 1		Kompost 2		Kontrola	
	Łodyga	Korzeń	Łodyga	Korzeń	Łodyga	Korzeń
Po 3 dnach [%]	76	64	60	84	80	84
Po tygodniu [%]	96	96	88	88	100	100

Z tabeli 4.3 wynika, że zdolność kiełkowania dla łodygi rzeżuchy na badanych kompostach, po 3 dniach inkubacji, waha się w granicach 60-76%, dla korzeni zaś 64-84%. Natomiast zdolność kiełkowania dla korzenia i łodygi po tygodniu inkubacji znajduje się w przedziale 88-96%. Wyniki te mogą świadczyć o słabej jakości materiału roślinnego.



Rys. 4.5. Zależność wskaźnika inhibicji od czasu inkubacji dla Kompostu 1



Rys. 4.6. Zależność wskaźnika inhibicji od czasu inkubacji dla Kompostu 2

Z rysunku 4.5. wnioskować można, że stymulacja nastąpiła w przypadku łodygi dla Kompostu 1 zarówno po trzech dniach jak i po tygodniu inkubacji. Natomiast dla korzeni zaobserwowano inhibicję (70,9% po 3 dniach inkubacji i 57% po tygodniu). W przypadku Kompostu 2 jedynie we wczesnym stadium rozwoju korzenia zauważono stymulację: 45% (rys. 4.6). Dla łodygi po 3 dniach inkubacji i całości rośliny po tygodniu zaobserwowano inhibicję i obliczono, iż wskaźnik ten wynosi odpowiednio: 64,3%, 68,5% i 70,5%.

Tabela 4.6. Procentowy indeks kiełkowania w zależności od kompostu

	Kompost 1	Kompost 2
Indeks kiełkowania po 3 dniach inkubacji [%]	22,2	52,5
Indeks kiełkowania po tygodniu inkubacji [%]	41,3	25,9

Większą wartością indeksu kiełkowania nasion rzeżuchy charakteryzuje się Kompost 1 (41,3%) niż Kompost 2 (25,9%) po tygodniu inkubacji.

## 5. Wnioski

Aby uzyskać kompost o najwyższej jakości należy nieustannie edukować społeczeństwo po to, by zbierać odpady dobrze wyselekcjonowane.

Ze względu na słabą jakość materiału roślinnego, niemożliwe było uzyskanie nawozów o odpowiednich parametrach. W obu badanych kompostach zbyt niska zawartość substancji humusowych, na poziomie kilku procent oraz, w większości przypadków, zahamowanie wzrostu nasion rzeżuchy sprawia, że pozyskane komposty nie powinny być stosowane w rolnictwie. Nie ma przeszkód natomiast, aby wykorzystać go w celu poprawienia jakości gleby na terenach zdegradowanych.

## Literatura

1. Czop M., Luber A., (2015). Charakterystyka zmian jakości odcieków w czasie eksploatacji wybranych składowisk odpadów komunalnych. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, [17 \(4\)](#), 115-126.
2. Bilewski B., Hardtle G., Marek K. (2006). *Podręcznik gospodarki odpadami*. Warszawa: Wydawnictwo Seidel Przywiecki.
3. Jurczuk Ł., Koc-Jurczuk J. (2014). Zmiany podejścia do składowania odpadów, a generowanie odcieków składowiskowych. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, 16 (1), 31-39.
4. Adamczyk I., Różańska B., Sobczyk M. (2015). *Infrastruktura komunalna w 2014 roku. Informacje i opracowania statystyczne*, Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
5. Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach, Dz.U. 2015 poz. 1277.
6. Adamczyk I., Różańska B., Sobczyk M. (2016). *Infrastruktura komunalna w 2015 roku. Informacje i opracowania statystyczne*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
7. Manczarski P. (2007, listopad). *Kompostowanie odpadów komunalnych. Referat na Forum Technologii Ochrony Środowiska*, Poznań.
8. Czop M., Żydek K. (2017). Badanie wartości nawozowej wybranych kompostów z odpadów zielonych. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, 19 (1), 39-52.
9. D'Obyrn K., Szalińska E. (2005). *Odpady komunalne*. Kraków: Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.
10. D'Obyrn K., Szalińska E. (2005). *Odpady komunalne*. Kraków: Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.
11. Anders D. (2015). *Aspekty technologiczne zmian temperatur w procesie kompostowania*. Opole: Wydawnictwo Politechniki Opolskiej.
12. Rosik – Dulewska C. (2006). *Podstawy gospodarki odpadami*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
13. Jędrzak A. (2007). *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
14. Żygadło M. (2002). *Gospodarka odpadami komunalnymi*. Warszawa: Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej.

15. <http://www.kompostowanie.cba.pl/index.php/kompostowanie/parametry> [30.10.2017]
  16. De Bertoldi M., Vallini G., Petra A. (1984). Technological aspects of composting including modelling and microbiology. In: Composting of agricultural and other wastes. Proceedings of a CEC seminar, Oxford.
  17. Jędrzak A.(2007). Biologiczne przetwarzanie odpadów. Warszawa: Wydawnictwo PWE.
  18. Czop M., Czocho D., Korol A., Maduzia A. (2016). Tests of phytotoxicity of ashes from low-rise buildings on selected group of plants, *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*. 18 (3), 9-20.
  19. Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie niebezpiecznych dla środowiska wodnego, Dz.U. 201, poz.1800.
-