

Jacek CZEKAŁA¹, Waldemar FERDYKOWSKI², Zbyszek ZBYTEK³

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gruntów

60-656 Poznań, ul. Szydlowska 50, e-mail: jczekala@up.poznan.pl

² Miejski Zakład Komunalny spółka z o.o. w Czarnkowie, e-mail: mzk6@wp.pl

³ Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu

ul. Starołęcka 31, 60-963 Poznań, e-mail: zbytek@pimr.poznan.pl

CHANGES IN THE CONTENT OF SOME CONSTITUENTS FOUND IN THE SEWAGE SLUDGE COMPOSTED TOGETHER WITH HEMP WASTES AND WOOD CHIPS

Summary

The composting of household sewage sludge is one of the methods of their rational management. However, in order that the process is successful, it is necessary to supplement sludge with structural materials as well as with other biowastes. During the composting process, organic matter is degraded and nearly all parameters of the composted mixtures, including macroelements, undergo changes. That is why the aim of the performed experiments was to determine the direction of changes in the organic carbon content as well as in total quantities of nitrogen, phosphorus, potassium, sodium and calcium occurring in the course of composting. The composting process was carried out using sewage sludge supplemented with hem wastes or/and straw and wood chips and lasted 224 days and during this time the samples for chemical analysis were collected. It was demonstrated, among others, that the strongest influence on the content of the analyzed constituents was exerted by the time (days) of composting and, to a lesser extent, by the type of composts. No statistical significance was demonstrated concerning the interactions of experimental factors on concentrations of the analyzed chemical elements.

ZMIANY ZAWARTOŚCI NIEKTÓRYCH SKŁADNIKÓW W OSADZIE ŚCIEKOWYM KOMPOSTOWANYM Z ODPADEM Z KONOPI I ZRĘBKAMI DRZEWNYMI

Streszczenie

Kompostowanie komunalnych osadów ściekowych jest jedną z metod ich racjonalnego zagospodarowania. W procesie tym konieczny jest jednak dodatek materiałów strukturalnych, jak i innych bioodpadów. Ich obecność jest niezbędna dla prawidłowego przebiegu procesu kompostowania, podczas którego następuje między innymi rozkład materii organicznej, a zmianom ilościowym podlegają niemal wszystkie parametry kompostowanych mieszanek, w tym i makroskładniki. Dlatego celem pracy było określenie kierunku zmian zawartości węgla organicznego, oraz ogólnych ilości azotu, fosforu, potasu, sodu i wapnia zachodzących w trakcie kompostowania. Do procesu zastosowano osad ściekowy z dodatkiem odpadu z konopi oraz lub/i słomy i zrębek drzewnych. Czas kompostowania wynosił 224 dni, podczas którego pobierano próbki do analizy chemicznej. Wykazano między innymi, że najsilniejszy wpływ na zawartość badanych składników miał czas (dni) kompostowania i w mniejszym stopniu rodzaj kompostów. Nie wykazano statystycznej istotności interakcji czynników doświadczenia na zawartości omawianych pierwiastków.

1. Wstęp

Konsekwencją rozwoju cywilizacyjnego człowieka jest nie tylko zużywanie coraz większych ilości różnych dóbr natury, ale i powstawanie odpadów. Ocenia się, że w państwach UE produkuje się około 1,3 biliona Mg odpadów, co odpowiada ekwiwalentowi 3,5 Mg stałych odpadów na mieszkańca rocznie [15]. Według innych danych światowa produkcja odpadów w 2006 roku osiągnęła poziom około 2,02 biliona Mg [13]. Wśród odpadów coraz większą pozycję zajmują komunalne osady ściekowe, które ze względu na właściwości fizyczne i chemiczne nie zawsze mogą być wykorzystane przyrodniczo. Determinowane jest to normami prawnymi w wielu krajach, w tym w Polsce [12]. Według założeń Krajowego Programu Gospodarki Odpadami [8] do 2018 roku, głównymi kierunkami utylizacji osadów ściekowych będą ich termiczne przekształcenia i kompostowanie. To ostatnie jest metodą biologiczną stosowaną od wielu lat, w tym i w Polsce [6]. Podkreślić jednak trzeba, że w odniesieniu do osadów ściekowych metoda ta stosowana jest w ograniczonym zakresie. Główną barierą powodującą te ograniczenia wydają się być przepisy praw-

ne wymagające uciążliwych i bardzo kosztownych badań niezbędnych do określenia przydatności kompostów do rolniczego wykorzystania, czego nie spotyka się na taką skalę w takich krajach, jak Niemcy, Austria czy Szwajcaria.

Kompostowanie osadów ściekowych jest bardziej złożonym procesem w porównaniu z kompostowaniem samych odpadów biodegradowalnych. Wynika to z natury i właściwości osadów. Zawierają one na ogół duże ilości azotu i fosforu, co w znaczącym stopniu utrudnia dobór organicznych komponentów celem uzyskania inicjalnej wartości stosunku C : N rzędu 20-30 : 1. To z kolei wpływa na zmniejszenie udziału osadów w kompostowanej masie, co z punktu ekonomicznego oczyszczalni jest trudno akceptowalne. Poza tym, podczas kompostowania wraz ze wzrostem temperatury obserwuje się uwalnianie związanej w osadach wody, w wyniku czego mogą następować straty wielu składników.

Celem pracy było prześledzenie zmian ilościowych niektórych składników kompostów wytwarzanych na bazie komunalnych osadów ściekowych oraz wybranych bioodpadów w warunkach kompostowania otwartej.

2. Materiał i metody badań

Badania przeprowadzono na kompostowni MZK Sp. z o.o. w Czarnkowie. Utworzono trzy przyzmy, których podstawowymi komponentami były osady ściekowe oraz odpad konopi (rys. 1 i 2).



Rys. 1. Odpad z konopi
Fig. 1. Hemp waste



Rys. 2. Pierwsze przetrzucenie przyzmy
Fig. 2. The first throwing of the compost pile

Zgodnie ze schematem badań do przyzmy nr 2 dodano dodatkowo słomę, a do przyzmy nr 3 zrębki drzewne. Ilości poszczególnych komponentów w przeliczeniu na suchą masę, oraz ich udział w przyzmach przedstawiono w tab. 1.

Zastosowane odpady charakteryzowały się zróżnicowanym składem chemicznym, co ilustrują wybrane dane przedstawione w tab. 2.

W każdej przyzmy warstwę spodnią przy podłożu stanowiła słoma, której nie uwzględniano w bilansie odpadów. Spowodowane było to tym, że aerator podczas pracy nie mieszał słomy z pozostałymi komponentami. Stanowiła ona więc swobodną warstwę izolującą przyzmę od betonowego podłoża w procesie kompostowania. Przygotowane odpady ułożono warstwami, po czym całość przetrzucono za pomocą aeratora ciągnikowego, który przetrzczał, napowietrzył i rozdrabniał materiał organiczny. Ze względu na ilość i masę objętościową odpad konopi dodano w dwóch partiach w odstępie tygodnia. Przerzucanie przyzm wykonano raz w tygodniu przez pierwszy miesiąc kompostowania, w dalszym etapie w zależności od temperatury kompostowej masy. Kompostowanie do końca fazy schłodzenia trwało 93 dni, a okres ich dojrzewania trwał kolejne 131 dni. W sumie okres kompostowania przyzm trwał 224 dni.

Próbki kompostów do analiz pobrano w dniu założenia doświadczenia - dzień (0), po 93 i 224 dniach, oznaczając: suchą masę – metodą suszarkową w temperaturze 105°C, odczyn kwasowości $pH_{(H_2O)}$ – konduktometrycznie, materię organiczną – przez spoielenie w temp. 550°C, węgiel organiczny – metodą utleniająco-miareczkową (oksydometryczną) z dichromianem (VI) potasu w środowisku kwaśnym, azot ogólny – metodą Kjeldahla.

Popiół uzyskany przy oznaczaniu materii organicznej rozpuszczono w roztworze 3 mol·dm⁻³ HCl na gorąco przez 3 godziny pod przykryciem, przesączając zawartość do probówek o objętości 15 cm³ i uzupełniając wodą redestylowaną do znaku. W tak przygotowanych przesączach oznaczono:

- fosfor – kolorymetrycznie,
- potas, sód, wapń – metodą emisyjnej spektrometrii atomowej.

Doświadczenie prowadzono w układzie dwuczynnikowym: czynnikiem pierwszego rzędu był rodzaj kompostu, drugiego rzędu czas (dni) kompostowania. Wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji, a istotność różnic średnich oceniono testem Duncana (program STAT).

Tab. 1. Masa i udział komponentów w przyzmach mieszanek kompostowych
Table 1. Weight and proportions of constituents in compost mixtures piles

Komponent Component	Pryzma 1; Pile 1		Pryzma 2; Pile 2		Pryzma 3; Pile 3	
	Sucha masa – kg Dry matter - kg	Udział - % Share - %	Sucha masa – kg Dry matter - kg	Udział - % Share - %	Sucha masa – kg Dry matter - kg	Udział - % Share - %
Osad ściekowy Sewage sludge	1262	30,6	1216	32,8	1273	37,6
Odpad konopi Hemp waste	2856	69,4	2243	60,4	1614	47,6
Słoma; Straw	-	-	253	6,8	-	-
Zrębki drzewne Wooden chips	-	-	-	-	501	14,8
Razem	4118	100	3712	100	3333	100

Tab. 2. Wybrane właściwości osadów ściekowych i odpadów organicznych
Table 2. Selected properties of sewage sludge and organic wastes

Komponent Component	Sucha masa Dry matter	C _{org} Organic C	N _{og} Total N	C : N	P	K	Ca	Na
	g · kg ⁻¹ s.m.; DM							
Osad; Sludge	11,71	435,7	55,44	7,86	22,66	1,61	23,4	1,78
Słoma; Straw	90,44	428,3	8,34	51,35	1,26	9,95	3,39	9,95
Odpad konopi Hemp waste	77,62	445,8	18,20	24,49	2,55	10,23	8,29	10,24
Zrębki drzewne; Wooden chips	45,58	463,0	3,36	137,79	1,66	3,03	30,17	3,03

3. Wyniki i dyskusja

Wartość kompostu wytworzonego z osadów ściekowych jest wypadkową wielu czynników. Wśród nich wymienić należy między innymi skład chemiczny i właściwości fizyczne osadów, ich strukturę, uwilgotnienie, jak i dobór komponentów kompostowanej masy. Z reguły kompostowanie komunalnych osadów ściekowych stwarza większe problemy w porównaniu z kompostowaniem odpadów organicznych bez udziału osadów. Jedną z przyczyn jest duża zawartość azotu w osadach [3, 10], co utrudnia uzyskanie optymalnej wartości stosunku C : N w przyźmie. Problem ten ma z kolei duże znaczenie ekonomiczne dla kompostowni, bowiem ogranicza możliwość większego udziału osadów w kompostowanych mieszankach. W praktyce często pomija się przyjęty wymóg wartości stosunku C : N równy 20-35: 1, biorąc pod uwagę konkretne warunki kompostowania. Z obserwacji wynika, że nie wpływa to na pogorszenie jakości uzyskiwanych kompostów, a sam proces kompostowania przebiega szybko, bez większych zakłóceń. Dzieje się tak w sytuacji węższego C : N, co sprzyja przyspieszonemu rozkładowi masy organicznej. Trzeba jednak podkreślić, że odbywa się to najczęściej kosztem większych emisji amoniaku. Sytuacja taka może mieć miejsce w warunkach stosowania, jako dodatku bioorganicznego do osadów, materiałów zasobnych w azot. W badaniach był nim odpad konopi, zawierający średnio 18,20 g·kg⁻¹ s.m azotu. Ale zawartość azotu w osadach, wynosząca 55,44 g·kg⁻¹ s.m determinowała w głównej mierze wartości inicjalne C : N, wynoszące w dniu założenia doświadczenia kolejno dla przyźm 11,33; 11,14 i 12,46 (tab. 5).

Czynniki doświadczenia miały zróżnicowany wpływ na zmiany ilościowe poszczególnych składników. Najsilniejsze działanie ujawniło się dla czasu (dni) kompostowania. Istot-

ność tego czynnika stwierdzono dla wszystkich analizowanych pierwiastków, na poziomie $p < 0,05$ (N i Na) lub $p < 0,01$ (C, P, K, Ca). Z kolei rodzaj kompostu oddziaływał istotnie ($p < 0,01$) tylko na zawartość N, P i K (tab. 3). Uwagę zwraca natomiast generalnie brak interakcji między czynnikami doświadczenia, która ujawniła się tylko ($p < 0,05$) w odniesieniu do węgla organicznego kompostów, a na granicy istotności była w przypadku azotu ogólnego (tab. 5).

Zawartość węgla organicznego w kompostach istotnie malała z czasem kompostowania rozpatrując to niezależnie od rodzaju kompostu (tab. 4). W odniesieniu do dnia rozpoczęcia doświadczenia spadek ten wynosił 8,7% w 93 dniu i aż 25% w kompoście dojrzałym. Podobny kierunek zmian wykazała w badaniach Krzywy-Gawrońska [9] we wszystkich kompostach, niezależnie od ich rodzaju i składu.

Analizując dane z tab. 5 wynika, że we wszystkich kompostach kierunek spadku ilościowego węgla był podobny, ale największy dla kompostu nr 3. Powyższe kierunki zmian wynikają prawdopodobnie z udziału zrębków, których obecność mogła zwiększać ilość przestrzeni wewnątrz kompostu, a tym samym i ilości tlenu. Tym bardziej, że ilość tlenu wpływa na szybkość zmian temperatury w kompostach, jak i jej zróżnicowany rozkład w dniach kompostowania [11]. To z kolei determinuje zmiany innych parametrów kompostów, w tym stosunku C : N, którego wartość na ogół jest odwrotnie proporcjonalna do zawartości popiołu [7].

W świetle przedstawionych w pracy danych, wydaje się jednak, że dekompozycja materii organicznej kompostowanej masy zależy w dużej mierze od składu chemicznego komponentów [1,14], jak i ich udziału w kompostowanych mieszankach.

Tab. 3. Wpływ rodzaju kompostu niezależnie od czasu kompostowania na zmiany zawartości węgla organicznego oraz ogólnej zawartości makroskładników w kompostach (g·kg⁻¹ s.m.)

Table 3. Effect of the type of compost, irrespective of composting time, on changes in organic carbon content and total macronutrient contents in experimental composts (g·kg⁻¹ DM).

Składnik; Element	Kompost; Compost		
	pryzma 1	pryzma 2	pryzma 3
C _{org} ; Organic C	297,40a	293,29a	300,23a
N; Total N	28,97b	30,19c	27,82a
P; Total P	24,22b	24,82b	21,76a
Na; Total Na	1,76a	1,81a	1,70a
K; Total K	18,33b	21,29c	14,40a
Ca; Total Ca	35,74a	36,48a	34,45a

a, b, c - średnie oznaczone różnymi literami w wierszu różnią się statystycznie istotnie przy $p < 0,05$
means marked with different letters in rows are significantly different at $p < 0,05$

Tab. 4. Wpływ czasu kompostowania niezależnie od rodzaju kompostu na zmiany zawartości węgla organicznego i makroskładników w kompostach (g·kg⁻¹ s.m.)

Table 4. Effect of composting time, irrespective of the type of compost, on changes in organic carbon content and total macronutrient contents in experimental composts (g·kg⁻¹ s.m.)

Składnik; Element	Dni kompostowania; Days of composting		
	dzień założenia doświadczenia (0)	dzień 93	dzień 224
C _{org} ; Organic C	347,53c	282,60b	260,80a
N; Total N	29,90b	28,76a	28,33a
P; Total P	30,16b	20,92a	1,36a
Na; Total Na	2,40b	1,48a	1,36a
K; Total K	23,02c	17,31b	13,69a
Ca; Total Ca	46,70b	30,27a	29,45a

a, b, c - średnie oznaczone różnymi literami w wierszu różnią się statystycznie istotnie przy $p < 0,05$
means marked with different letters in rows are significantly different at $p < 0,05$

Tab. 5. Współdziałanie rodzajów kompostów z czasem kompostowania na zmiany zawartości badanych składników ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)
 Table 5. Interaction between types of composts and composting time on changes in the content of examined constituents ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ DM).

Składnik; <i>Element</i>	Kompost; <i>Compost</i>	Dni kompostowania; <i>Days of composting</i>		
		dzień założenia doświadczenia (0)	dzień 93	dzień 224
C _{org} ; Organic C	1	340,60d*	280,20bc	271,40b
	2	346,67d	275,80b	257,40a
	3	355,33d	291,80c	253,60a
N; Total N	1	30,05bc	29,17abc	27,69ab
	2	31,12c	28,73abc	30,72bc
	3	28,52abc	28,37abc	26,57a
P; Total P	1	29,95c	12,98b	20,72b
	2	31,03c	21,54b	21,89b
	3	29,49c	19,24ab	16,55a
Na; Total Na	1	2,38c	1,45b	1,46b
	2	2,39c	1,54b	1,49b
	3	2,42c	1,44b	1,14a
K; Total K	1	23,96e	16,97bcd	14,06b
	2	26,75f	19,89d	17,22bcd
	3	18,35cd	15,07bc	9,79a
Ca; Total Ca	1	46,25b	29,52a	31,44a
	2	47,15b	31,54a	30,76a
	3	46,68b	29,76a	26,90a

* wartości oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie dla $p < 0.05$

* values marked by different letters are significantly different at $p < 0.05$

Jak wspomniano wcześniej, większym zmianom w procesie kompostowania podlegał azot, o czym świadczy istotny wpływ obu czynników doświadczenia na ten parametr. Zawartość azotu determinowana była silniej rodzajem kompostu ($F = 11,19^{**}$), niż czasem kompostowania ($F = 5,27^*$). Wpływ na to miał głównie kompost nr 2, który oprócz osadów składał się z odpadu konopi i słomy. Inicjalna, średnia zawartość N w nim była wyższa w porównaniu z pozostałymi kompostami (tab. 5) i wynosiła w tym kompoście $31,12 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m, a w kompoście dojrzałym $30,72 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Zaobserwowano spadek ilości azotu w kompostach dojrzałych z czasem kompostowania, ale jego skala była najmniejsza właśnie w kompoście nr 2 (o 1,3%), wobec 7,84% w kompoście nr 1 i 6,84% w kompoście nr 3.

Zmiany ilościowe pozostałych makroskładników zależały w różnym stopniu od rodzaju kompostu (tab. 3) i zdecydowanie silniej od czasu kompostowania (tab. 4). Natomiast nie stwierdzono istotnej interakcji obu czynników (tab. 5). Jak wspomniano wcześniej czas kompostowania był czynnikiem najsilniej wpływającym na zawartość wszystkich składników w kompostach. Tendencja zaobserwowanych zmian była jednoznaczna, w kierunku ich ubytków wraz z upływem dni kompostowania. Biorąc pod uwagę dzień rozpoczęcia doświadczenia i kompost dojrzały, ale niezależnie od rodzaju kompostu stwierdzono, że straty te układały się w następującym szeregu malejącym:

$$\text{Na} > \text{K} > \text{Ca} > \text{P}$$

Ich wielkość wynosiła odpowiednio - 43,12%; 40,55% i 36,40% i 34,61%.

Mimo, że brak statystycznie istotnych interakcji między omawianymi czynnikami w kształtowaniu zawartości makroskładników, to ujawniły się pewne tendencje ich zmian pod wpływem tych czynników. Przede wszystkim straty pierwiastków były zawsze największe w kompoście nr 3, i po fazie dojrzewania. Ponieważ wielkość strat składników

była równie wysoka już po fazie schłodzenia, to w przypadku kompostowni otwartej można mówić o dwóch podstawowych źródłach tych strat. Pierwsze, to naturalne straty z odciekami, które następują w warunkach podwyższonych temperatur w kompoście, gdzie ma miejsce uwalnianie wody związanej w osadach. Źródło drugie to możliwość wypłukiwania składników w okresie jesienno-zimowy w warunkach braku okrycia przyz.

Zróznicowanie składu kompostów jest zjawiskiem naturalnym, zależnym w dużej mierze od ilości i składu zastosowanych komponentów do kompostowania [2, 4, 5]. Wykazano stosunkowo duże straty makroskładników, szczególnie sodu i potasu z kompostów, co stanowi istotną wskazówkę w dalszym postępowaniu z kompostami. Na uwagę zasługuje szczególnie pierwszy okres kompostowania, w którym straty te były większe w porównaniu do fazy dojrzewania. Niezależnie od tego badane komposty charakteryzowała duża wartość nawozowa, biorąc pod uwagę końcową zasobność w azot i inne makroskładniki. Oddzielną kwestią jest ich dostępność dla roślin.

4. Wnioski

1. W warunkach doświadczenia wykazano, że czas (dni) kompostowania miał istotnie najsilniejszy wpływ na zmiany ilościowe badanych składników w kompostach.
2. Nie stwierdzono istotnego współdziałania rodzaju kompostów i czasu kompostowania na zawartość azotu i ogólnych form innych makroskładników w kompostach.
3. Z upływem czasu kompostowania straty makroskładników w kompostach zwiększały się od założenia doświadczenia do końca fazy schłodzenia.
4. Spośród badanych pierwiastków największe straty stwierdzono w zawartości sodu i potasu, a mniejsze fosforu i wapnia.
5. Dodatek słomy do osadów z odpadem konopi zapobiegał, a zrzębków sprzyjał stratom makroskładników z kompostów.

5. Literatura

- [1] Banegas V., Moreno J.L., Moreno J.I., García C., León G., Hernández T.: Composting aerobic and aerobic sewage sludge rising two proportions of sawdust. *Waste Management*, 27, 1317-1327, 2007.
- [2] Baran S., Wójcikowska-Kapusta A., Żukowska G., Strzałka A.: Wpływ kompostowania odpadów komunalnych na zawartość makroskładników. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 537, 33-39, 2009.
- [3] Czekala J.: Osady ściekowe źródłem materii organicznej i składników pokarmowych. *Fol. Univ. Agric. Stein 2000 Agricultura* (77), 33-38, 1999.
- [4] Czekala J., Sawicka A.: Przetwarzanie osadu ściekowego z dodatkiem słomy i trocin na produkt bezpieczny dla środowiska. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 6, 2, 41-50, 2006.
- [5] Czekala J.: Właściwości chemiczne kompostu wytworzonego z komunalnego osadu ściekowego i różnych bioodpadów. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 53(3), 35-41, 2008.
- [6] Dach J.: Kompostowanie a emisje gazowe. W: *Planowanie technologii kompostowania osadów ściekowych i innych bioodpadów* (red. E. Wiegand). *Mat. III Ogólnopolskiej Konferencji*, Tarnowo Podgórze, Poznań, 16-17 kwietnia 2008 r., 67-74, 2008.
- [7] Hsu J-H., Lo s-L.: Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting of pig manure. *Environmental Pollution*, 104, 189-196, 1999.
- [8] Krajowy Plan Gospodarki Odpadami. 2006. Uchwała Rady Ministrów nr 233. *Monitor Polski*, nr 90, poz. 946.
- [9] Krzywy-Gawrońska E.: Zmiany odczynu i zawartości makroskładników w kompostach z wycierki ziemniaczanej, słomy, trocin i komunalnego osadu ściekowego w czasie ich rozkładu. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 512, 369-379, 2006.
- [10] Maćkowiak Cz.: Skład chemiczny osadów ściekowych i odpadów przemysłu spożywczego o znaczeniu nawozowym. *Nawozy i Nawożenie*, 4(5), 131-145, 2000.
- [11] Banoopoor M., Nasrabadi T., Kamali M., Hoveidi H.: The effect of aeration rate on generated compost quality, using aerated static pile method. *Waste Management*, 29, 570-573, 2009.
- [12] ReportLinke. Global Waste Management <http://www.reportlinker.com/p047488/Global-Waste-Management.html>, 12.06.2010.
- [13] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. *Dz. U.*, 2002, Nr 134, poz. 1140.
- [14] Sánchez-Monedero M.A., Cegarra J., García D., Roig A.: Chemical and structural evolution of humic acids during organic waste. *Biodegradation*, 13, 361-371, 2002.
- [15] Waste in The World. Information, 4.1. Europe- facts & figures. www.groundwork-herts.org.uk/upload/documents/.../document7.pdf