

Jacek CZEKAŁA

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gruntów
ul. Szydlowska 50, 60-656 Poznań
e-mail: jczekala@up.poznan.pl

Wojciech CZEKAŁA

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
Stacjonarne i Niestacjonarne Studia Doktoranckie przy Wydziale Rolniczym Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu

IMPACT OF DIFFERENT ORGANIC WASTE MATERIALS ON THE DYNAMICS OF CHANGES IN THE CONTENTS OF DRY MATTER, ORGANIC MATTER AND ORGANIC CARBON IN COMPOSTS

Summary

Communal sewage sludge was composted in an open-air compost plant with the addition of sawdust, wood chips and straw. Sewage sludge was composted in the compost heaps with: sawdust, with sawdust and wood chips or with sawdust and straw. The entire experimental material was mixed with the tractor aerator which was also used to fragmented the material and form compost heaps. During the experiment, samples for analyses were collected on the day of experiment establishment as well as after 21, 36, 49 and 90 days with the aim to determine, among others: contents of dry matter, organic matter and organic carbon. It is evident from the obtained data that changes in the content of the examined substances were influenced, primarily, by the time of composting and, to a lesser, albeit significant extent, by the cooperation of time and compost heat composition. In the case of organic matter and organic carbon, the compost heap composition failed to exert a significant impact on their content and changes during composting.

Key words: *composts; organic waste; dry substance; organic matter; organic carbon; experimentation*

WPŁYW RÓŻNYCH ODPADÓW ORGANICZNYCH NA DYNAMIKĘ ZMIAN ZAWARTOŚCI SUCHEJ MASY, MATERII ORGANICZNEJ ORAZ WĘGLA ORGANICZNEGO W KOMPOSTACH

Streszczenie

Komunalne osady ściekowe kompostowano z dodatkiem trocin, zrębków drzewnych i słomy na kompostowni otwartej. W trzech pryzmach osady ściekowe kompostowano z trocinami, z trocinami i zrębkami drzewnymi oraz trocinami i słomą. Całość wymieszano aeratorem ciągnikowym, który równocześnie rozdrabniał materiał i formował pryzmy. W okresie badań pobrano próbki do analiz w dniu założenia doświadczenia, po 21, 36, 49 i 90 dniach, określając między innymi zawartość suchej masy, materii organicznej i węgla organicznego. Z danych wynika, że zmiany zawartości badanych parametrów były uzależnione przede wszystkim od czasu kompostowania i w mniejszym, ale istotnym stopniu również od współdziałania czasu i składu pryzm. W przypadku materii organicznej i węgla organicznego skład pryzm nie miał istotnego wpływu na ich zawartość i zmiany w okresie kompostowania.

Słowa kluczowe: *komposty; odpady organiczne; sucha masa; materia organiczna; węgiel organiczny; badania*

1. Wstęp

Komunalne osady ściekowe stwarzają w coraz większym stopniu problemy nie tylko natury ekologicznej, ale i społecznej. Jest to spowodowane między innymi trudnościami w ich racjonalnej utylizacji. Z dotychczasowej praktyki wynika, że część osadów była składowana, z tendencją do zmniejszania się ich masy w okresie ostatnich kilkunastu lat. Jeżeli w 2002 r. osady składowane stanowiły 44,4% ich wytworzonej masy, to w 2005 roku stanowiły 31,0%, a w 2010 r. 10,3% [3, 6]. Zwiększał się natomiast udział osadów wykorzystywanych rolniczo, który w 2010 roku wyniósł 20,7%. Problem jednak pozostaje, gdyż zgodnie z obowiązującym prawem [14] po 1 stycznia 2013 r. nie będzie można składować odpadów zawierających powyżej 5% ogólnego węgla organicznego w suchej masie, a straty na żarzeniu nie mogą przekraczać 8% s.m. Mając powyższe na uwadze w „Krajowym Programie Gospodarki Odpadami

2010” [9] przewiduje się m.in. ograniczenie składowania odpadów, zwiększenie ilości komunalnych osadów ściekowych przetworzonych przed wprowadzeniem do środowiska oraz osadów przekształconych metodami termicznymi [2]. Analizując obecną sytuację postępowania z osadami, jak i optymistyczne prognozy dotyczące roli unieszkodliwiania termicznego osadów do 2018 r. [9], należy mieć wątpliwości co do realności wykonania powyższych założeń. Niemniej mogą być realne prognozy dotyczące kompostowania osadów, będące metodą naturalnej ich utylizacji. Metoda ta, przy jej właściwym przeprowadzeniu, zapewnia uzyskanie produktu bezpiecznego dla środowiska. Mając na uwadze właściwości fizyczne i chemiczne osadów, należy jednak dokładnie przeanalizować dodatek odpadów organicznych, tak pod kątem aeracji pryzmy, jak i dodatku węgla. Odpadem takim może być np. słoma, trociny czy zrębki drzewne. Odpady te zastosowano w doświadczeniu, a uzyskane wyniki zaprezentowano w pracy.

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

Komponent Component	Pryzma 1 / Pile 1		Pryzma 2 / Pile 2		Pryzma 3 / Pile 3	
	Sucha masa Dry matter (kg)	Udział Share (%)	Sucha masa Dry matter (kg)	Udział Share (%)	Sucha masa Dry matter (kg)	Udział Share (%)
Osady ściekowe Sewage sludge	422,0	29,6	448,0	27,6	457,0	42,8
Trociny Sawdust	1006,0	70,4	755,0	46,5	490,0	45,8
Słoma; Straw	-	-	-	-	122,0	11,4
Zrębki drzewne Wooden chips	-	-	421,0	25,9	-	-
Razem / Sum	1428,0	100	1624,0	100	1069,0	100

2. Materiał i metody badań

Badania przeprowadzono na kompostowni otwartej, należącej do MZK Sp. z o.o. w Czarnkowie (52°55' długości i 16°32' szerokości geograficznej). Utworzono pryzmy (rys. 1), w których głównym komponentem były komunalne osady ściekowe, z udziałem od 27,6 do 42,8% (tab. 1). Zróżnicowany był również udział odpadów organicznych dodanych do poszczególnych pryzm (tab. 1), jak i ich skład (tab. 2). Uwagę zwraca między innymi wąski stosunek C : N w zrębkach drzewnych, wynoszący 20,7, co jest spowodowane większą zasobnością w azot. Zrębki pochodziły z wiosennej pielęgnacji drzew, a więc gałęzie były stosunkowo świeże i młode, z obecnością liści, co tłumaczyłoby tak dużą zawartość azotu. Jednak zawartość azotu w zrębkach drzewnych wydaje się być naturalna. Potwierdzeniem są dane przedstawione przez Kulikowską i Klimiuk [11].



Rys. 1. Utworzone pryzmy przed mieszaniem: 1 - osad + trociny, 2 - osad + trociny + zrębki, 3 - osad + trociny + słoma
 Fig. 1. Pile created before mixing: 1 - sewage sludge + sawdust, 2 - sewage sludge + sawdust + wooden chip, 3 - sewage sludge + sawdust + straw

Komponenty po dodaniu do każdej z pryzm zostały wymieszane przy użyciu aeratora ciągnikowego (rys. 2), który jednocześnie rozdrabniał materiał i napowietrzył pryzmy. Tak uformowane pryzmy pozostawiono na wolnym powietrzu, poddając je procesowi kompostowania (rys. 3).



Rys. 2. Pierwsze mieszanie pryzm
 Fig. 2. The first throwing of the compost pile



Rys. 3. Widok na dojrzewające komposty
 Fig. 3. View of the matured compost

Próbki kompostów pobrano w dniu założenia doświadczenia – (dzień 0), po 21, 36, 49 i 90 dniach, oznaczając:

- suchą masę – metodą suszarkową w tem. 105°C,
- pH_(H₂O) – konduktometrycznie,
- azot ogólny – metodą Kjeldahla,
- materię organiczną (MO) – metodą strat na żarzeniu w 550°C,
- węgiel organiczny (C_{org}) – metodą oksydometryczną [4].

W przeprowadzonym doświadczeniu dwuczynnikowym czynnikiem pierwszego rzędu był rodzaj kompost, a drugiego czasu (dni) kompostowania. Wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji, a istotność różnic średnich oceniono testem Duncana (program STAT).

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
	%				g · kg ⁻¹ s.m.; g · kg ⁻¹ d.m.		
Osady / Sewage sludge	16,83	34,11	59,32	5,75	2,17	2,46	23,96
Trociny / Sawdust	33,09	44,99	0,41	110,8	0,05	0,02	3,36
Słoma / Straw	90,27	45,36	0,81	56,0	1,19	1,51	21,34
Zrębki drzewne / Wooden chips	38,99	35,99	1,74	20,7	1,58	2,89	29,44

3. Wyniki i dyskusja

Sucha masa jest parametrem, który podlega na ogół dużym zmianom w procesie kompostowania. Wiąże się to między innymi z różnym uwilgotnieniem kompostowanych odpadów, jak i przebiegiem warunków atmosferycznych. Ocenia się [8, 12], że optymalne uwilgotnienie przyzmy winno mieścić się w granicach 50-70%. Z danych przedstawionych w tab. 2 wynika, że osady ściekowe były najbardziej uwodnionym komponentem przyzmy (16,83% s.m.). Biorąc pod uwagę udział zastosowanych odpadów w przyzmych i ich uwilgotnienie wykazano, że średnia zawartość suchej masy w poszczególnych przyzmych była istotnie zróżnicowana (tab. 3).

Tab. 3. Wpływ rodzaju kompostu niezależnie od czasu kompostowania na zmiany wartości wybranych parametrów

Table 3. Influence of the type of compost regardless of the composting time on change in the value of selected parameters

Składnik / Element	Kompost / Compost		
	1	2	3
Sucha masa / Dry matter (%)	32,29 a	33,96 b	35,34 c
Materia organiczna Organic matter (%)	74,30 a	74,60 a	76,10 a
Węgiel organiczny Organic carbon (%)	38,97 a	39,27 a	39,22 a

a, b, c - średnie oznaczone różnymi literami w wierszu różnią się statystycznie istotnie przy $p < 0.05$

a, b, c - means marked with different letters in rows are significantly different at $p < 0.05$

W trakcie kompostowania następowały zmiany ilościowej suchej masy, dając w przekroju całego doświadczenia tendencje zmniejszania się tej zawartości z upływem czasu (tab. 4). Dynamika tych zmian była zróżnicowana w poszczególnych przyzmych (tab. 5). W przyzmy 1 i 2 zmiany były podobne i wolne, a zdecydowanie większa w przyzmy 3. We wszystkich przyzmych wraz z czasem kompostowania tempo tych zmian wyraźnie zmniejszało się, a różnice w zawartościach suchej masy w kompostach między przyzmy były istotne. Tak zmienne zawartości suchej masy mogły być wynikiem nierównomiernego rozkładu opadów i temperatur podczas doświadczenia. Z danych niepublikowanych wynika, że np. w miesiącu lipcu były tylko trzy dni z opadami, ale suma opadów wynosiła 77,55 mm, z czego aż 73,80 mm przypadało tylko na dwa dni, tj. na 24 i 25 dzień kompostowania. Z kolei w sierpniu suma opadów wynosiła już 106,05 mm, które przypadły na 13 dni z opadami.

Zdecydowanie mniejsze różnice między kompostami zanotowano w odniesieniu do materii organicznej. Rozpatrując jej zawartość w kompostach, niezależnie od dni kompostowania (tab. 3), nie stwierdzono istotnych różnic,

tak jak to miało miejsce dla czynnika czasu (tab. 4, $F_{0,01} = 24,47^{**}$). Zmiany takie stwierdzono również we współdziałaniu obu czynników (tab. 5), dla których $F_{0,01} = 2,80^{**}$. Uwagę zwraca brak jednoznacznych zmian zawartości MO we wszystkich kompostach, chociaż można zauważyć, że wystąpiły zmienne tendencje zmniejszania się jej zawartości wraz z czasem kompostowania. Zaobserwowano, że w kompostach dojrzałych (1 i 3) różnice zawartości MO były nieistotne i wyższe niż w kompoście 2. Oznacza to, że w warunkach kompostowania osadów ściekowych z samymi trocinami różnice udziałów obu komponentów nie miały większego wpływu na kształtowanie się końcowej zawartości materii organicznej. Wykazane stosunkowo wolne tempo rozkładu materii organicznej, wynoszące średnio dla kompostów i czasu kompostowania od 0,7 do 13,0% w stosunku do dnia założenia przyzmy, mogło wynikać między innymi ze składu samych komponentów, głównie trocin i zrębków. Hay i in. [7] wykazali, że straty MO w kompostach zależały od rodzaju i udziału komponentów w kompoście. Były one większe w przypadku kompostowania osadów ze słomą niż z trocinami. Zwraca się również uwagę na znaczenie stosunku trocin do osadów ściekowych na przemiany zachodzące podczas kompostowania [1, 15], jak i pozytywny wpływ dodatku zrębków drzewnych do takiej mieszanki [5]. Ich obecność zwiększa porowatość mieszanki, a więc sprzyja natlenieniu przyzmy. Jednak z badań Ponsá i in. [13] wynika, że straty materii organicznej podczas kompostowania osadów ze zrębkami drzewnymi zależały w dużym stopniu od udziału zrębków w przyzmy. Podobne zjawisko dotyczy także osadów i trocin. Są one na ogół większe przy mniejszym udziale trocin [1], co częściowo potwierdzono w badaniach.

Podobne zróżnicowanie zmian zanotowano w przypadku węgla. Biorąc pod uwagę rodzaj kompostu, bez względu na czas kompostowania, nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości węgla organicznego (tab. 3). Podobną sytuację, jak wspomniano wcześniej, stwierdzono dla materii organicznej. Zmiany, z tendencją strat z upływem czasu notowano w przypadku C_{org} kompostów (tab. 4), chociaż dynamika tych strat była zmienna i nasiliła się dopiero po trzech tygodniach kompostowania. Ale w kompoście dojrzałym nastąpił wzrost wartości tego parametru. Jednak należy zauważyć, że są to średnie dla wszystkich kompostów. Zróżnicowanie między nimi można zanalizować dopiero we współdziałaniu czynników doświadczenia, czyli rodzaju kompostu i czasu kompostowania (tab. 5). Do trzeciego miesiąca kompostowania wystąpiły istotne różnice między kompostami, które zmniejszały się w końcowym okresie procesu. W wyniku tego zawartość węgla organicznego w kompostach 2 i 3 ukształtowała się na tym samym poziomie (37,33%) i była ona istotnie mniejsza w porównaniu z kompostami z osadami ściekowymi i trocin. (41,23 %).

Tab. 4. Wpływ czasu (dni) kompostowania, niezależnie od rodzaju kompostu, na zawartość suchej masy, materii organicznej i węgla organicznego w kompostach

Table 4. Effect of composting time (days), irrespective of the type of compost, on changes in dry matter, organic matter and organic carbon content in composts

Składnik / Element	Dni kompostowania / Days of composting				
	0	21	36	49	90
Sucha masa / Dry matter (%)	31,59 b	37,81 d	35,62 c	34,97 c	29,33 a
Materia organiczna / Organic matter (%)	79,00 c	74,53 b	77,83 c	72,17 a	72,50 b
Węgiel organiczny / Organic carbon (%)	42,39 c	41,89 c	38,19 b	34,66 a	38,63 b

a, b, c - średnie oznaczone różnymi literami w wierszu różnią się statystycznie istotnie przy $p < 0.05$

a, b, c - means marked with different letters in rows are significantly different at $p < 0.05$

Tab. 5. Współdziałanie rodzaju kompostu z czasem kompostowania na zmiany zawartości suchej masy, materii organicznej i węgla organicznego w kompostach

Tab. 5. Interaction between types of composts and composting time on changes in the content of dry matter, organic matter and organic carbon in experimental composts

Składnik / Element	Kompost Compost	Dni kompostowania / Days of composting				
		0	21	36	49	90
Sucha masa; Dry matter (%)	1	32,15 cd	33,76 def	33,40 de	32,43 d	29,72 ab
	2	32,65 d	38,68 h	35,59 fg	34,91 ef	27,95 a
	3	29,96 ab	40,97 i	37,87 h	37,55 gh	30,33 bc
Materia organiczna Organic matter (%)	1	76,50 de	71,00 b	76,00 cde	76,50 de	74,00 bcd
	2	81,00 f	76,00 cde	78,00 ef	67,50 a	70,50 ab
	3	79,50 ef	76,00 cde	79,50 ef	72,50 bc	73,0 bcd
Węgiel organiczny; Organic carbon (%)	1	42,72 de	40,51 cd	35,79 a	34,62 a	41,23 cde
	2	44,06 e	41,46 cde	38,63 bc	34,87 a	37,33 ab
	3	40,39 cd	43,72 e	40,15 cd	34,50 a	37,33 ab

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

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

W 49 dniu badań zawartość węgla we wszystkich kompostach były zbliżone, stąd można przypuszczać, że dodatek zrębków do pryzmy 2, jak i słomy do pryzmy 3 mógł mieć wpływ na porowatość mieszanek, a więc i dostępność tlenu na tyle, że w fazie dojrzewania nastąpiła zwiększona mineralizacja połączeń węgla. Tym bardziej, że przed fazą dojrzewania pryzmy były kolejno raz mieszane.

Wyniki uzyskane w doświadczeniu wykazały, że komunalne osady ściekowe kompostowane z odpadami drzewnymi, w tym z trocinami czy zrębkami drzewnymi podlegały stosunkowo szybko istotnym zmianom, przy względnie niewielkiej dynamice zmian zawartości materii organicznej czy węgla organicznego.

4. Wnioski

1. W analizowanym doświadczeniu czasu kompostowania miał największy i istotny wpływ na wartości badanych substancji, podobnie jak i współdziałanie czasu kompostowania z rodzajem kompostów.
2. Skład kompostów rozpatrywany niezależnie od czasu kompostowania nie miał istotnego działania na zawartość materii organicznej i węgla organicznego w kompostach.
3. Zwiększony udział trocin w pryzmach sprzyjał gromadzeniu węgla organicznego w kompostach dojrzałych, a dodatek zrębków drzewnych jego większym stratom.
4. Dynamika zmian zawartości suchej masy w kompostach była zróżnicowana zależnie od składu pryzm, wykazując największe zmiany w warunkach kompostowania osadów z udziałem trocin i słomy.

5. Bibliografia

[1] Banegas V., Moreno J.L., Moreno J.I., Garcí'a C., Leo'n G., Herná'ndez T.: Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust. Waste Management, 2007, 27(10), 1317-1327.

[2] Bieñ J.: Metody zagospodarowania osadów ściekowych z komunalnych oczyszczalni ścieków. W: Metody zagospodarowania osadów ściekowych. II Ogólnop. Konf. Szkolen., Zielona Góra, 3-4 lutego 2011 r., 7-17.

[3] Czekala J.: Rolnicze wykorzystanie osadów ściekowych. W: Metody zagospodarowania osadów ściekowych. II Ogólnop. Konf. Szkolen., Zielona Góra, 3-4 lutego 2011 r., 26-34.

[4] Ciavatta C., Antisari V. L., Sequi P.: Determination of organic carbon in soils and fertilizers. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1989, 20(7&8), 759-773.

[5] Eftoda, G., McCartney D.: Determining the critical bulking agent requirement for municipal biosolids composting. Compost Sci. Util., 2004, 12, 208-218.

[6] Główny Urząd Statystyczny. Ochrona środowiska. Informacje i opracowania statystyczne. Warszawa, 2011, 574.

[7] Hay J., Chang S., Ahn H., Kellogg H., Cabellaro R.: Alternative bulking agent for sludge composting. Biocycle, 1988, 22, 46-51.

[8] Hoitink, H.A.J., Kuter, G.A.: Effects of composts in growth media on soilborne pathogens. In: The Role of Organic Matter in Modern Agriculture, eds. Chen Y. and Avnimelech Y., 1986, pp. 289-306.

[9] Krajowy Program Gospodarki Odpadami 2010. Ministerstwo Środowiska. www.mos.gov.pl/krajowy_plan_gospodarki_odpadami_2010/8884

[10] Kulikowska D., Bilicka K. Analiza przemian materii organicznej i związków azotu podczas kompostowania osadów ściekowych. Czasopismo Techniczne. Środowisko, 2009, 106, 3-Ś, 101-110.

[11] Kulikowska D., Klimiuk E.: Organic matter transformations and kinetics during sewage sludge composting in a two-stage system. Biore-source Technology, 2011, 102, 23, 10951-10958.

[12] Kuo S., Ortiz-Escobar M.E., Hue N.V., Hummel R.L.: Composting and compost utilization for agronomic and container crops. Recent Res. Devel. Environ. Boil., 2004, 1, 451-513.

[13] Ponsá S., Pagans E., Sánchez A.: Composting of dewatered wastewater sludge with various ratios of pruning waste used as a bulking agent and monitored by respirometer. Biosystems Engineering, 2009, 102, 433-443.

[14] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 7 września 2005 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczenia odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu. Dz. U. z 2005, nr 186, poz. 1553.

[15] Zubillaga M.S., Lavado R.S.: Stability indexes of sewage sludge compost obtained with different proportions of bulking agent. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 2003, 34, 581-591.