

**Tomasz Ciesielczuk\*, Grzegorz Kusza\***

**ZAWARTOŚĆ METALI CIĘŻKICH W KOMPOSTACH Z ODPADÓW  
JAKO CZYNNIK OGRANICZAJĄCY ICH WYKORZYSTANIE  
DO CELÓW NAWOZOWYCH**

**HEAVY METAL ASSESSMENT IN SOLID MUNICIPAL WASTES  
COMPOSTS AS A BORDER FOR FERTILIZING USE**

**Słowa kluczowe:** kompost, nawożenie, metale ciężkie.

**Key words:** compost, fertilizing, heavy metals.

*Use of organic fertilizers for soils enrichment is especially important in case of crops use for human food production or for feeding stuff. As a fertilizers could be use manure, litter, liquid manure, green fertilizers or composts. Law requirements from polish Waste Directive force dumping minimization of amount of biodegradable wastes in three time deadlines. After that part of biodegradable wastes will be composted in compost factories or small individual compost piles. However a quality of final compost product will be depend of raw material structure. If for composting will be used non separated municipal solid wastes (MSW), quality of compost could be low. In this work for estimation of quality composts available in Poland six composts were examined. Three of them were made in compost factories and next three in individual gardens compost piles.*

*The lowest quality was observed in case of compost produced according to MUT-DANO technology from non separated MSW. Rest of examined composts (also from MUT Herhof compost factories) had similar high quality as a result of raw material – separated from MSW organic fraction. However even particular check of wastes for composting don't eliminate all possible sources of heavy metals. In result of it in compost comes from private compost piles higher concentrations of copper and chromium were noted but these values didn't exceed maximal accepted by polish law amounts.*

---

\* **Dr inż. Tomasz Ciesielczuk i dr Grzegorz Kusza – Katedra Ochrony Powierzchni Ziemi, Uniwersytet Opolski, ul. Oleska 22, 45-052 Opole; tel.: 77 401 60 27; 501 334 254; e-mail: tciesielczuk@uni.opole.pl**

## 1. WPROWADZENIE

Nawożenie upraw rolniczych odgrywa istotną rolę w aspekcie zasobności gleb w przyswajalne składniki, a co za tym bezpośrednio wpływa na plonowanie roślin uprawnych. W racjonalnej gospodarce rolnej nawozy organiczne powinny stanowić podstawę wzbogacania gleb w składniki odżywcze, a przede wszystkim w cenną materię organiczną. To właśnie ona wprowadzana do gleby wpływa na zwiększenie zdolności retencji wody gleb lekkich, rozluźnia strukturę gleb ciężkich i zlewnych oraz polepsza własności sorpcyjne. Rośliny uprawne mogą być nawożone materią organiczną w postaci gnojowicy, obornika, nawozów zielonych oraz kompostów. Gnojowica ze względu na konieczność posiadania odpowiednich zbiorników do jej czasowego magazynowania jest kłopotliwa w użyciu, natomiast obornik, którego stosowanie jest bardzo polecane, zwłaszcza na glebach lekkich, jest podstawowym nawozem stosowanym w wielu gospodarstwach. Jego znakomitą uzupełnieniem może być kompost z odpadów. Komposty stanowią niejako odrębną grupę środków polepszających własności gleb, ponieważ mogą powstawać nawet z dala od typowych gospodarstw rolnych. Materiał wyjściowy zastosowany do wytworzenia kompostu może być bardzo zróżnicowany. Może bowiem powstawać z: odpadów pochodzących wprost z produkcji roślinnej, wydzielonej ze strumienia odpadów komunalnych frakcji odpadów biodegradowalnych lub nawet z odpadów komunalnych zmieszanych. Jedną z niezaprzeczalnych zalet kompostu jest to, że może być on wytwarzany w warunkach gospodarstw indywidualnych lub nawet na terenach ogródków działkowych, przy minimalnym nakładzie finansowym i niskim zapotrzebowaniu na robociznę. Do produkcji kompostu nie jest potrzebna wiedza fachowa, a wprowadzane do gleb wraz z kompostem mikroorganizmy wpływają korzystnie na uruchamianie związków biogenych oraz tworzenie się związków próchnicznych. Jednakże pewnym ograniczeniem w wykorzystaniu kompostu może być zawartość w nim metali ciężkich, która w wielu wypadkach może nawet eliminować ten materiał jako nawóz.

Celem pracy było określenie zawartości niektórych metali ciężkich w kompostach pochodzących z profesjonalnych kompostowni i gospodarstw indywidualnych.

## 2. PODSTAWY PRAWNE

Zgodnie z ustawą o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz.U. 2007 nr 39, poz. 251) ilość frakcji odpadów biodegradowalnych w strumieniu odpadów komunalnych kierowanych do składowania musi być stopniowo zmniejszana o 25, 50 i 65%, odpowiednio w latach 2010, 2015 i 2020, w stosunku do masy tych odpadów powstałych w roku bazowym 1995. Zgodnie z powyższym, przewiduje się, że w Polsce będą powstawać znaczne ilości kompostu produkowanego zarówno z odpadów komunalnych zmieszanych albo ich biodegradowalnej frakcji, wysortowanej u źródła lub już na składowisku.

Jakość kompostów regulowana jest przez ustawę o nawozach i nawożeniu z dnia 10 lipca 2007 r. (Dz.U. Nr 147, poz. 1033), która kwalifikuje komposty jako nawozy organiczne, które muszą spełniać wymagania im stawiane. Wymagania te określone zostały w rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu. Są one zbliżone do wymagań zawartych w obowiązującej niegdyś normie branżowej BN-89/ 9103-09. Przywołane rozporządzenie ściśle określa maksymalne zawartości metali ciężkich, które w nawozach są głównym czynnikiem wykluczającym kompost z zastosowania.

### **3. MATERIAŁ I METODY BADAŃ**

Do badań wykorzystano komposty produkowane w profesjonalnych kompostowniach oraz komposty produkowane w gospodarstwach indywidualnych. Komposty pochodzące z instalacji zawodowych to: KA (technologia MUT-DANO – kompostownia Katowice), ZW (technologia MUT-HERHOF, kompostownia Żywiec) oraz ZA (technologia MUT-HERHOF, kompostownia Zabrze). Komposty produkowane w gospodarstwach to: GU (kompost z odpadków kuchennych i ogrodowych, Opole), UK (kompost z odpadków kuchennych i ogrodowych, Opole) oraz KS (kompost z odpadków kuchennych pochodzący ze wsi w południowej części woj. opolskiego).

Próby pierwotne składające się na próbę zbiorczą pobierano szpadlem wprost z pryzm, penetrując je na głębokość do 40 cm. Do badań zawartości metali ciężkich próby suszono w temperaturze pokojowej, a następnie mielono w agatowym młynie kulowym.

Spośród badanych materiałów, jedynie kompost KA powstał ze zmieszanych odpadów komunalnych. Wszystkie badane materiały były kompostami dojrzałymi, gotowymi do zastosowania.

W badanych materiałach oznaczano zawartość wilgoci, materii organicznej, wapnia oraz odczynu, przewodności elektrolitycznej właściwej (metodyka według Polskich Norm) i metali ciężkich. Metale ciężkie oznaczano metodą spektroskopii absorpcji atomowej na aparacie PHILIPS-UNICAM PU 9100X, po uprzedniej mineralizacji mikrofalowej na mokro z wodą królewską w aparacie MARS-X.

### **4. WYNIKI I DYSKUSJA**

Podstawowe parametry badanych materiałów przedstawiono w tabeli 1. Wszystkie badane komposty wykazywały podobne własności z wyjątkiem kompostu KA produkowanego z odpadów komunalnych zmieszanych. Kompost ten charakteryzował się nieco podwyższonym odczynem oraz przewodnością elektrolityczną wskazującą na znaczne zasolenie. Charakteryzowała go również największa zawartość materii organicznej oraz wapnia spośród wszystkich badanych kompostów.

**Tabela 1.** Podstawowe parametry charakteryzujące jakość badanych materiałów**Table 1.** General parameters of investigated materials

	KA	ZW	ZA	GU	UK	KS
Odczyn (pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub> )	8,13(0,03)	7,59(0,02)	7,78(0,02)	7,52(0,03)	7,45(0,03)	7,12(0,02)
EC [mS/cm]	3,20(0,03)	1,33(0,07)	1,21(0,13)	0,90(0,04)	1,02(0,05)	0,92(0,10)
Wilgotność [%]	28,2(1,4)	20,5(0,8)	18,8(0,6)	23,1(1,2)	18,5(0,7)	16,8(0,5)
Materia org. [%]	47,6(0,65)	31,1(2,05)	31,8(1,43)	31,9(1,21)	9,1(0,66)	21,2(1,42)
Wapń [mg/kg s.m.]	9,11(0,15)	5,42(1,01)	4,32(0,42)	3,82(0,86)	2,82(0,14)	4,90(1,31)

W nawiasach okrągłych – odchylenie standardowe.

Biorąc pod uwagę oznaczone parametry podstawowe wszystkie badane materiały spełniają wymagane normy, a najlepszym produktem pochodzącym z gospodarstw indywidualnych był kompost GU, natomiast w przypadku kompostowni zawodowych kompost ZA. Obydwa komposty charakteryzowała zarówno duża zawartość materii organicznej, jak i niskie zasolenie. Jednakże, rozpatrując jakość produkowanych kompostów, szczególną uwagę należy zwrócić, oprócz parametrów podstawowych, na zawartość metali ciężkich oraz zanieczyszczeń organicznych [Thiele 2002]. Obowiązujące przepisy (Dz.U. 236, poz. 2369) zezwalają na wprowadzanie do obrotu nawozów organicznych i organiczno-mineralnych, w których maksymalne ilości metali ciężkich nie przekraczają następujących wartości: cynku – 1500, miedzi – 400, ołowiu – 100, niklu – 30, chromu – 100 i kadmu – 3 mg/kg s.m.

Badane komposty stanowią także bogate źródło makro- i mikroelementów, choć przyswajalność tych ostatnich przez rośliny może być ograniczona nawet do 15–22% [Soumare i in. 2001]. Podobne zjawisko dotyczy również metali ciężkich, których przyswajalna ilość może w zależności od odczynu gleby i form występowania ich w kompostach, stanowić tylko nikłą część zawartości całkowitej. W badanych kompostach (z wyjątkiem kompostu KA) stwierdzono małe i średnie zawartości badanych metali (tab. 2), i nieco mniejsze zawartości miedzi, niklu i ołowiu, a podobne cynku jak w kompostach z odpadów uzyskanych w Hiszpanii [Madrid i in. 2007, Puglisi i in. 2007].

**Tabela 2.** Zawartość wybranych metali ciężkich w kompostach [mg/kg s.m.]**Table 2.** Heavy metals content in composts [mg/kg dw]

	KA	ZW	ZA	GU	UK	KS
Cu	282,9	36,31	42,735	80,24	46,22	23,07
Zn	1755,9	303,94	714,48	276,9	180,3	167,61
Cd	3,51	1,04	4,12	<0,50	0,78	0,94
Ni	47,58	22,82	11,34	12,99	11,12	16,48
Pb	544,98	37,86	101,22	24,58	19,32	32,96
Cr	36,74	28,53	22,45	79,78	27,82	15,07

Jedynie zawartość metali w kompoście KA była większa – w tym w wypadku cynku, ponad dwukrotnie. Jednak komposty produkowane z odpadów komunalnych niesortowanych mogą zawierać nawet 10 razy mniej cynku i ołowiu oraz 5 razy mniej miedzi niż w kompoście KA, badanym w badaniach prezentowanych w niniejszej pracy [Lima i in. 2004]. Przy stwierdzonych podwyższonych stężeniach metali w glebach po zastosowaniu kompostu jako nawozu w dawce 75 Mg/ha zanotowano zwiększone ich pobieranie przez rośliny, co jednak nie spowodowało kumulacji powodującej przekroczenie norm obowiązujących dla żywności [Yuan-Song 2000] w prosie, kukurydzy czy ogórkach. Jednakże stosowanie kompostów wytwarzanych ze zmieszanych odpadów komunalnych może prowadzić do istotnego statystycznie zwiększenia się stężeń cynku i ołowiu w glebie, a to może już stanowić realne zagrożenie dla konsumentów uprawianych tam roślin [Weber i in. 2007].

Mniejsze ilości metali notowane były nie tylko w kompostach produkowanych w gospodarstwach indywidualnych, ale także w produktach pochodzących z profesjonalnych kompostowni systemu Herhof, co przemawia za tym sposobem jako drogą do ograniczania ilości odpadów biodegradowalnych kierowanych na składowiska. Jedynie ilości cynku i ołowiu mogą przyjmować nieco większe wartości ze względu na udział w materiale wsadowym zmiotków z terenów zieleni oraz liści drzew pochodzących z obszarów miejskich – bardziej narażonych na zanieczyszczenie analizowanymi pierwiastkami. Ponadto w jednym wypadku (kompost ZA) zanotowano stężenie kadmu przekraczające 4 mg/kg, co może w istotny sposób wpływać na ograniczenie wykorzystania tego materiału.

Komposty produkowane w gospodarstwach indywidualnych – często w małych przydomowych kompostowniach charakteryzowały niewielkie ilości metali ciężkich – zwłaszcza kadmu. Zastanawia jedynie duża zawartość chromu – 79,8 mg/kg s.m. (ponad dwukrotnie przekraczająca ilości tego pierwiastka notowane w kompoście KA) w kompoście GU produkowanym w gospodarstwie indywidualnym z odpadów kuchennych oraz ogrodowych (skoszona trawa, chwasty). Jest to największa zawartość chromu zanotowana w badanych kompostach w trakcie badań.

Szczególnie istotny z punktu widzenia zachowania gleby w wysokiej kulturze jest właściwy jej odczyn. Zakwaszone gleby stają się mniej produktywne, niektóre gatunki roślin nietolerujące niższych wartości odczynu, gorzej plonują, a w skrajnych wypadkach gleby mogą być nawet wyłączane z upraw. Kompost z odpadów posiadający zwykle odczyn od zbliżonego do obojętnego do lekko zasadowego (pH 7,17–8,5) wpływa na zwiększenie pH gleby oraz własności buforowych gleby. Eksperymenty prowadzone na glebach piaszczystych w Afryce wykazały wzrost wartości pH po zastosowaniu kompostu o pH 6,7–6,8 do 7,4–7,5 [Grigatti i in. 2004, Ouedraogo i in. 2001]. Zwiększenie wartości pH jest ważne również w aspekcie zmniejszenia mobilności metali, które w przypadku gleb zakwaszonych uwalniają się do roztworu glebowego i mogą być pobierane przez uprawiane rośliny lub mogą być wymywane do wód podziemnych.

Szczególną uwagę należy zwracać na typ gleby przeznaczonej pod nawożenie kompostem. Zastosowanie kompostu na glebach piaszczystych w dawce 65 Mg/ha doprowadziło do zwiększenia ilości materii organicznej, azotanów oraz metali ciężkich w wodach gruntowych, co może stanowić zagrożenie, jeśli wody te ujmowane są do celów irygacyjnych lub pitnych [Kashl i in. 2002]. Zatem niezwykle istotne jest dokładne obliczenie dawki kompostu, jaka może być zastosowana na danym typie gleb.

Ze względu na dużą zawartość materii organicznej, ale także na znaczne ilości łatwo dostępnych miogenów, kompost może z powodzeniem zastępować nawożenie mineralne. W omawianych tu badaniach porównano nawożenie przy zastosowaniu tradycyjnego nawozu mineralnego z nawożeniem kompostem. Zanotowano istotne statystycznie różnice w ilościach dostępnych dla roślin pierwiastków biogennych (Ca, P, K oraz Mg), przy czym w odniesieniu do nawożenia mineralnego odnotowano wartości mniejsze niż w odniesieniu do nawożenia kompostem w dawkach 60 i 120 Mg/ha [Weber i in. 2007]. Wynikać to może z tego, że składniki dostarczane z nawożeniem mineralnym, szczególnie w okresie niesprzyjającej aury, np. długotrwałych opadów, mogą być wymywane w głąb profilu glebowego, natomiast składniki pokarmowe dostarczane wraz z kompostem są zabsorbowane i ich wymycie jest utrudnione.

Nawet najlepiej zbilansowane makro- i mikroelementy wprowadzane wraz z nawozami do gleb nie dadzą wymaganego efektu nawozowego w razie braku wody. Eksperymenty nawożenia kompostem gleb piaszczystych wykazały, że po zastosowaniu kompostu następuje zwiększenie ilości dostępnej dla roślin wody z  $0,085 \text{ m}^3 / \text{m}^3$  do  $0,124 \text{ m}^3 / \text{m}^3$ , co w znacznym stopniu poprawia plonowanie [Weber i in. 2007]. Wprowadzanie wraz z kompostem dużej ilości materii organicznej do gleby zwiększa tempo mineralizacji wprowadzonych związków organicznych, co z jednej strony powoduje zwiększenie ilości dostępnych dla upraw pierwiastków (a także nasilonego uwalniania zabsorbowanych metali), a z drugiej strony powoduje także szybszy rozkład związków toksycznych, np. WWA [Carlstrom 2007], czy też herbicydów [Kadian i in. 2008]. Zastosowanie kompostu może zatem wpływać korzystnie na jakość gleby nie tylko przez zwiększenie ilości dostępnej wody, materii organicznej i dostępnych biogenów, ale także poprzez zwiększenie aktywności mikrobiologicznej może przyspieszać detoksykację gleby, co jest ważne szczególnie w odniesieniu do upraw wymagających częstych oprysków pestycydami.

Stosowanie kompostu do celów nawozowych może w pewnych warunkach podlegać ograniczeniom. Generuje bowiem ryzyko zanieczyszczenia gleb lekkich i wód podziemnych zarówno metalami ciężkimi, jak i materią organiczną, a ponadto – co wykazały badania prowadzone na rzeżusze – silna fitotoksyczność niedojrzałego (świeżego) kompostu może prowadzić do istotnego statystycznie spadku liczby wykiełkowanych nasion [Aslam i in. 2008]. W związku tym należy znaczną uwagę przywiązywać do stopnia dojrzałości kompostu, kontrolując poziom stosunku C/N, który w dojrzałym kompoście powinien wynosić 10–15/1.

## 5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wskazują, że najmniej przydatnym do przyrodniczego wykorzystania ze względu na dużą zawartość metali ciężkich jest kompost KA. Zanotowane w odniesieniu do tego materiału stężenia cynku, ołowiu i kadmu, przekraczające dopuszczalne normy zawarte w rozporządzeniu (Dz.U. 236, poz. 2369), eliminują ten produkt z wykorzystania go do celów nawozowych. Ponadto wykazano, że komposty produkowane w profesjonalnych kompostowniach z wysortowanej z odpadów komunalnych frakcji organicznej, nie odbiegają jakością od kompostów produkowanych (w gospodarstwach indywidualnych) ze ściśle segregowanych odpadów organicznych i mogą być one z powodzeniem stosowane jako środek polepszający własności gleby także w aspekcie ich zasobności w wodę.

Ze względu na obowiązujące przepisy prawne, wymuszające stopniowe ograniczanie ilości składowanych odpadów biodegradowalnych, ilość powstającego kompostu znacznie gwałtownie rosnąć. Jednym ze sposobów zagospodarowania kompostu będzie nawożenie gleb, jednak biorąc pod uwagę zawartość w kompoście metali ciężkich oraz możliwość zanieczyszczenia wód podziemnych materią organiczną, należy dokładnie obliczać dawki kompostu, jakie mogą być bezpiecznie zastosowane na danym typie gleb.

## PIŚMIENNICTWO

- ASLAM D.N., HORWATH W., VAN DER GHEYNST J.S. 2008. Comparison of several maturity indicators for estimating phytotoxicity in compost-amended soil, *Waste Management* 28: 2070–2076.
- CARLSTROM C.J., TUOVINEN O.H. 2003. Mineralization of phenanthrene and uoranthene in yardwaste compost. *Environmental Pollution* 124: 81–91.
- GRIGATTI M., CIAVATTA C., GESSA C. 2004. Evolution of organic matter from sewage sludge and garden trimming during composting. *Bioresource Technology* 91: 163–169.
- KADIAN N., GUPTA A., SATYA S., MEHTA R.K., MALIK A. 2008. Biodegradation of herbicide (atrazine) in contaminated soil using various bioprocessed materials. *Bioresource Technology* 99: 4642–4647.
- KASHL A., ROMHELD V., CHEN Y. 2002. The influence of soluble organic matter from municipal solid waste compost on trace metal leaching in calcareous soils. *The Science of the Total Environment* 291: 45–57.
- LIMA J.S., DE QUEIROZ J.E.G., FREITAS H.B. 2004. Effect of selected and non-selected urban waste compost on the initial growth of corn. *Resources, Conservation and Recycling* 42: 309–315.
- MADRID F., LOPEZ R., CABRERA F. 2007. Metal accumulation in soil after application of municipal solid waste compost under intensive farming conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119: 249–256.

- OUEDRAOGO E., MANDO A., ZOMBRE N.P. 2001. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 84: 259–266.
- PUGLISI E., CAPPÀ F., FRAGOULIS G., TREVISAN M., RE A.A.M. 2007. Bioavailability and degradation of phenanthrene in compost amended soils. *Chemosphere* 67: 548–556.
- SOUMARE M., DEMEYER A., TACK F.M.G., VERLOO M.G. 2001. Chemical characteristics of Malian and Belgian solid waste compost. *Bioresource Technology* 81: 97–101.
- THIELE S., BRUMMER G.W. 2002. Bioformation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil under oxygen deficient conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 733–735.
- WEBER J., KARCZEWSKA A., DROZD J., LICZNAK M., LICZNAK S., JAMROZ E., KOCOWICZ A. 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Biology & Biochemistry* 39: 1294–1302.
- YUAN-SONG W., YAO-BO F., MIN-JIAN W., JU-SI W. 2000. Composting and kompost application in China. *Resources, Conservation and Recycling* 30: 277–300.