

PROMJENE KEMIJSKIH SVOJSTAVA STAJSKIH GNOJIVA PRI KOMPOSTIRANJU

Marija Vukobratović ⁽¹⁾, Z. Lončarić ⁽²⁾, Ž. Vukobratović ⁽¹⁾, Nada Dadaček ⁽¹⁾

Izvorni znanstveni članak
Original scientific paper

SAŽETAK

Suvremena poljoprivredna proizvodnja, pored proizvodnje dostatne količine hrane, mora proizvoditi visokokvalitetnu hranu, ali i očuvati okoliš, prvenstveno očuvanjem tala, kao prirodnog i obnovljivog, ali iscrpljivoga resursa. Očuvanje tala izravno naglašava brigu o osnovnim svojstvima tla koja utječu na njegovu plodnost, a jedna od mjera je primjena organskih gnojiva. U praksi se najčešće koristi stajski gnoj, a procesi razgradnje, koji, ovisno o načinu držanja stoke i izgnojavanja te uvjeta u kojima se takva masa skuplja i drži, često ne idu u željenome smjeru i prilikom primjene takvoga gnoja izostaju očekivani pozitivni učinci, a nerijetko se javljaju i negativni.

U pokusu je kompostirano pet različitih stajskih gnojiva (svježi i poluzreli goveđi, konjski, svinjski i pileći) i praćene su promjene kemijskih svojstava. Tijekom procesa kompostiranja došlo je do značajnih promjena: pH reakcija početnih kompostnih materijala narasla je kod svih komposta (od 8 na iznad 9), osim svinjskoga, čija je pH vrijednost bila ispod 7; EC se povećao prosječno za 69%, na kraju istraživanja utvrđen je vrlo visok EC u pilećem ($12,15 \text{ d}\cdot\text{Sm}^{-1}$, što je trostruko iznad graničnih vrijednosti za supstrat za kontejnersku proizvodnju) i konjskom ($8,75 \text{ d}\cdot\text{Sm}^{-1}$, što je gotovo dvostruko iznad tih vrijednosti). Čitav proces kompostiranja karakterizira opadanje udjela organskoga C (prosječno za 19,62%), dok je suprotna dinamika udjela ukupnoga N (prosječni porast za 38%). C-N odnos se u kompostima očekivano smanjio ispod 20:1, uz najveći pad kod goveđih stajskih gnojiva s najvišim početnim C-N odnosom. Utvrđen je i porast nitrarnog oblika dušika, uz pad udjela amonijačnog.

Ključne riječi: stajski gnoj, kompostiranje, kemijska svojstva komposta, C-N odnos, EC, pH

UVOD

Suvremeni poljoprivredni proizvođači, pored proizvodnje dostatne količine kvalitetne hrane, moraju voditi računa i o očuvanju okoliša, posebice tla kao prirodnog i obnovljivog, ali iscrpljivoga resursa. Očuvanje tala izravno naglašava brigu o osnovnim svojstvima tla koja utječu na njegovu plodnost, a to je, prije svega, organska tvar tla, koja utječe na čitav niz fizikalnih i kemijskih svojstava: bolja struktura, veći kapacitet za vodu i za zrak, povećan puferni kapacitet tla i kationski izmjenjivački kapacitet, izvor je biljnih hraniva, smanjuje ispiranje i toksičnost ksenobiotika i povećava mikrobiološku populaciju (Butorac, 1999., Kuo i sur., 2004.).

Intenzivna poljoprivredna proizvodnja dovela je do pada humoznosti tla na poljoprivrednim površinama RH, što su utvrdili različiti autori (Durman i Bertić, 1988., Adam i sur., 1990., Katušić i sur., 2005.). Ta pojava stvara potrebu za boljim gospodarenjem tlom i

spriječavanjem daljnje degradacije u čemu je organska gnojidba nezamjenjiva agrotehnička mjera. Nažalost, zaoravanje svježe organske tvari u tlo povezano je s mnogim problemima tehničke, ali i agrokemijske naravi (povećana koncentracija CO₂, a smanjena O₂, preširok C-N odnos, velika produkcija amonijaka i organskih kiselina, itd). Kompostiranjem svježe organske tvari mogla bi se otkloniti većina negativnih efekata zaoravanja svježe organske tvari.

Razgradnjom organske tvari dolazi do gubitka organskog ugljika, pH vrijednost se povećava ili smanjuje, ovisno o vrsti gnoja, konduktivitet povećava, C-N odnos se sužava, a sadržaj osnovnih i sekundarnih hra-

(1) Dr.sc. Marija Vukobratović, Želimir Vukobratović, dipl. ing. i Nada Dadaček, dipl. ing. – Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, M. Demerca 1, 48260 Križevci; (2) Prof. dr. sc. Zdenko Lončarić - Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Trg Sv. Trojstva 3, Osijek

niva (N, P, K, Ca, Mg) raste (Tiquia i Tam, 2002.; Michel i sur., 2004.; Zhu, 2007.)

Cilj ovoga rada je utvrditi promjene kemijskih svojstava stajskih gnojiva iz govedarske, konjogojske, svinjogojske i peradarske proizvodnje tijekom procesa kompostiranja.

MATERIJAL I METODE

Tehnologija kompostiranja i uzorkovanje

Početni materijal u provedenom procesu kompostiranja je stajski gnoj s četiri različite stočarske farme u kontinentalnome dijelu Hrvatske: 1. govedí gnoj svježi i poluzreli star 7 mjeseci (dobiven iz uzgoja mliječnih krava, u kojem je za stelju korištena pšenična slama u udjelu 1/13); 2. svinjski gnoj (separat svinjske gnojovke stare 150 dana); 3. pileći gnoj star 42 dana (mješavina gnoja, prostirke od jelove oblovine, ostataka hrane i perja, u kojem udio prostirke u ukupnoj masi gnoja iznosi oko 1/6); 4. konjski gnoj star 7 mjeseci (za prostirku korištena zobena slama i slama pšenoraži s udjelom oko 1/3).

Kompostne hrpe formirane su 5. i 6. srpnja 2006. godine u pirimidalni oblik dimenzija 2x2x1 m, osim pilećega, koji je slagan u hrpu 2x3x1 m. Početna vlaga bila je u odgovarajućim granicama (60 - 70%) osim u pilećem gnoju, gdje je bila preniska pa je dodatno vlažena s 950 litara vode. Prozračivanje kompostne hrpe, provedeno je aktivnim miješanjem. Početni materijal uzorkovan je na četiri različita mjesta prije formiranja hrpa, dok je uzorkovanje tijekom kompostiranja vršeno na sredini svake hrpe uzimanjem jednog prosječnog uzorka neposredno nakon miješanja. Uzorci su uzeti u količini od oko 5 kg i podijeljeni u dva poduzorka (Bernal i sur., 1998., Hsu i Lo, 1999., Zhu, 2007.). Dio uzorka sušen je u sušioniku na $75 \pm 2^\circ\text{C}$ kroz 48 sati ili do konstantne težine prema metodi TMECC 03.09-A (Test Methods for the Examination of Composting and Compost, Thompson, 2001.), homogeniziran, mljeven, prosijan kroz sito od 1 mm (Zhu, 2007.) i u papirnatim vrećicama čuvan u eksikatoru. U suhim uzorcima analizirani su organski ugljik te makro i mikroelementi. Ostatak svježeg uzorka spremljen je u polietilenske vrećice, zatvoren i čuvan u hladnjaku na 5°C (Hsu i Lo, 1999., Zhu, 2007.). U svježim uzorcima analizirani su suha tvar, pH, električni konduktivitet (EC), ukupni dušik, mineralni dušik. Kemijske analize u svježem uzorku provedene su unutar 48 sati.

Kemijska svojstva

pH reakcija svježeg i kompostiranih gnojiva određena je elektrometrijskim mjerenjem (Tiquia i Tam, 2000., Zhu, 2006.) na pH-metru s kombiniranom elektrodom. 10 g svježega materijala mučkano je jedan sat na rotacijskoj mučkalici u 100 ml deionizirane vode (1:10 w/v uzorak:voda). Mjerenje je obavljeno u otopini dobivenoj nakon taloženja krutoga dijela. Rezultati mjerenja izraženi su u pH jedinicama.

Električni konduktivitet izmjeren je u filtratu svježeg uzorka: 20 g uzorka i 100 ml deionizirane vode (1:5 w/v uzorak:voda) mučka se jedan sat na rotacijskoj mučkalici (Tiquia i Tam, 2000.). EC je izmjeren konduktometrom u filtratu, a dobivene vrijednosti izražene su u dSm^{-1} .

Organski ugljik određen je oksidacijom suhog uzorka mokrim postupkom na 135°C (ISO, 1998., modificirana metoda). Metodika je modificirana na taj način da je umjesto zrakosuhog uzorka (zbog problema homogeniziranja, usitnjavanja i vaganja) u postupak uzet uzorak osušen na 75°C . Sadržaj organskog ugljika izračunat je po formuli:

$$\text{OC} [\text{g kg}^{-1}] = \frac{\text{masa organskog C u uzorku (mg)}}{\text{masa analiziranog uzorka (g)}}$$

Ukupni dušik određen je prevođenjem dušika iz svježeg uzorka u amonijski oblik, destilacijom u bornoj kiselini i titracijom s HCl ili H_2SO_4 (ISO, 1995., modificirana metoda). Po propisu metode 1g usitnjenog i homogeniziranog svježeg uzorka odvaže se u kivetu za razaranje i doda 4 ml smjese sumporne i salicilne kiseline. Metoda je modificirana tako da je u tikvicu za spaljivanje, zapremine 100 ml, odvagan 1 g uzorka u koji je dodano 5 ml smjese kiselina. Ukupni dušik izražava se u g N kg^{-1} suhe tvari.

C:N odnos dobiven je matematički iz odnosa ukupnoga organskoga ugljika i ukupnoga dušika. Obje su veličine izražene u odnosu na suhu tvar.

$$\text{C} \cdot \text{N} = \text{OC} (\%) \div \text{ukupni N} (\%)$$

Sadržaj mineralnoga (amonijskoga i nitratnoga + nitritnoga) dušika određivan je destilacijom svježega uzorka u vodi uz dodatak MgO i Devardove legure, prema metodi ISO EN 13652 (Beline i Martinez, 2002.) Izražen je kao g N kg^{-1} suhe tvari.

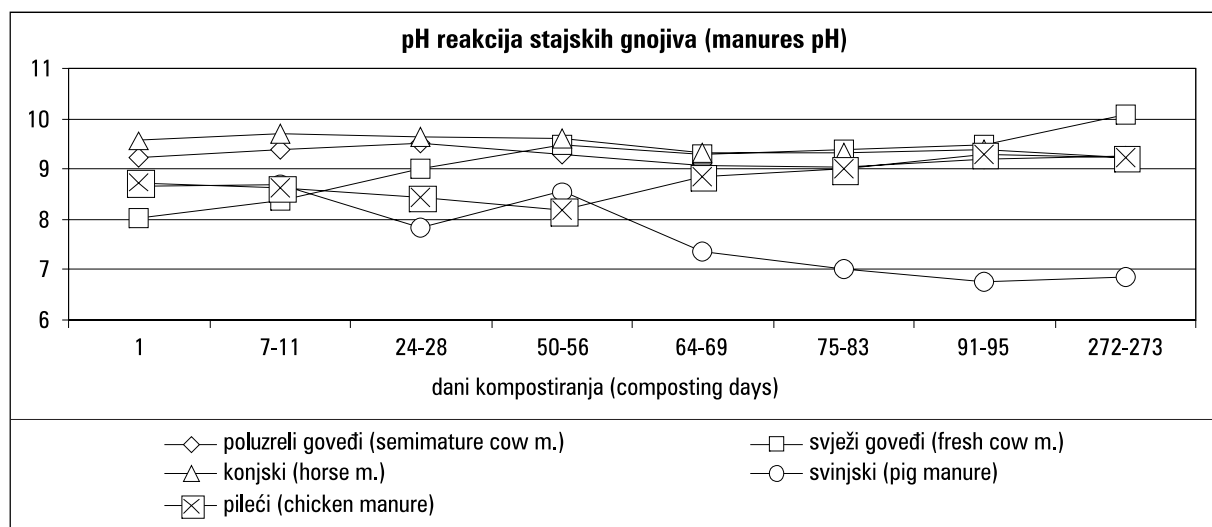
Statistička obrada podataka

Rezultati analiza stajskih gnojiva i komposta statistički su obrađeni PC aplikacijama SAS for Windows (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), StatSoft Statistica i Excel za utvrđivanje analize varijance (ANOVA), korelacija i multiregresijskih ovisnosti.

REZULTATI I RASPRAVA

pH reakcija

pH utječe na brzinu razgradnje organske tvari (regulirajući brojnost i aktivnost mikrobiloške populacije), kao i na raspoloživost hraniva i toksičnih elemenata. Većina bakterija, gljiva i aktinomiceta razvija se kod pH vrijednosti između 5,5 i 8 pa je to i optimalna vrijednost za kompostiranje (Epstein, 1997., Thompson, 2001.). Tijekom razgradnje organske tvari dolazi do izdvajanja amonijaka, koji dovodi do povećanja pH vrijednosti, dok se nakon termofilne faze i u uvjetima dobre prozračnosti amonijak oksidira u nitrate, što postupno smanjuje pH



Grafikon 1. Dinamika promjene pH reakcije po danima kompostiranja i vrstama stajskih gnojiva

Graph 1. Dynamics of pH level change according to days of composting and types of manure

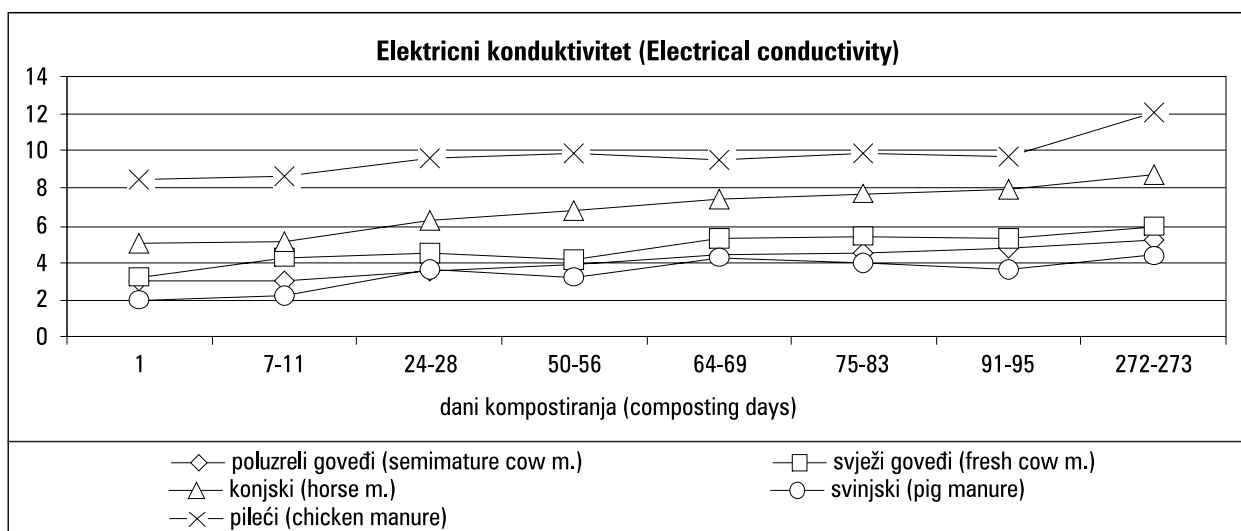
vrijednost i kompost na kraju procesa ima gotovo neutralnu reakciju (Sanchez-Monedero i sur., 2001.).

Dinamika promjene pH reakcije pojedinih stajskih gnojiva tijekom procesa kompostiranja promatrajući osam usporednih mjerenja može se vidjeti u Grafikonu 1. Najniži pH na početku kompostiranja imao je svježi goveđi gnoj (8,04). Tijekom kompostiranja pH vrijednost stalno je rasla do završetka istraživanja. pH reakcija poluzreloga goveđega gnoja nije jako varirala (od 9,24 do 9,26). Konjski gnoj je na početku kompostiranja imao najvišu pH reakciju (9,57), koja je u prvih mjesec dana još narasla, a onda je počela padati i na kraju kompostiranja iznosila 9,23. pH reakcija svinjskoga komposta pokazuje, uz blage oscilacije, tendenciju pada vrijednosti (od 8,68 do 6,88). pH reakcija pilećega gnoja na početku kompostiranja iznosi 8,76, tijekom prvih 50 dana pada, a zatim raste i 272. dana iznosi 9,25 (Grafikon 1.).

Komposti na kraju toga istraživanoga razdoblja imaju pH vrijednost iznad 9, što pokazuje da procesi transformacije $\text{NH}_4\text{-N}$ u $\text{NO}_3\text{-N}$ još nisu završili i da bi pH reakcija mogla biti ograničavajući čimbenik za uzgoj biljaka. Izuzetak je kompost iz svinjskoga gnoja, čija je pH reakcija blizu neutralne već nakon 64 - 69. dana i od tada se bitno ne mijenja (Grafikon 1.). Visoku pH vrijednost (8,5 - 9,0) kompostiranoga stajskoga gnoja navode i drugi autori (Hess i sur., 2004., Changa i sur., 2003., Bernal i sur., 1998.).

Električni konduktivitet

Električni konduktivitet (EC) pokazatelj je sadržaja topivih soli u kompostu i mijenja se ovisno o količini i vrsti iona u otopini. Niski EC može značiti nisku plodnost, zbog niskoqa sadržaja kalija, kalcija i magnezija, s druge



Grafikon 2. Dinamika promjene električnoga konduktiviteta po danima kompostiranja i vrstama stajskih gnojiva

Graph 2. Dynamics of change in electrical conductivity according to days of composting and types of manure

strane, visoka koncentracija soli može ukazivati na potencijalnu fitotoksičnost (Lončarić i sur., 2005.). Fitotoksično djelovanje očituje se u zaustavljanju klijanja ili usporavanju rasta korijena (Thompson, 2001.) i često je limitirajući čimbenik u proizvodnji u zaštićenim prostorima, proizvodnji presadnica ili biljaka, posebno osjetljivih na soli (Shanchez-Monedero, 2004.).

Promatrajući dinamiku EC pojedinih komposta dobivenih iz različitih stajskih gnojiva, može se zaključiti da je u stalnome porastu. Najnižu vrijednost na početku kompostiranja ima svinjski gnoj ($1,94 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), ta vrijednost stalno raste, uz manja variranja, do konačne koja iznosi $4,36 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Grafikon 2.). EC u goveđim gnojivima na početku kompostiranja iznosi oko $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, gotovo istim tempom raste u oba materijala do završetka procesa, a ukupni porast je oko 80% (Grafikon 2.). Dinamika promjene EC u konjskome gnoju pokazuje stalan pravilan porast i od početnih $4,97$ raste na $8,75 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Najviši EC u početku promatranoga razdoblja ima pileći gnoj ($8,51 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), neznatno se mijenja do 91 - 95. dana (Grafikon 2.), a onda naglo raste do kraja procesa kompostiranja ($12,15 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$).

Miller (2001.) navodi da EC iznad $3,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ već može biti ograničavajući čimbenik za nicanje sjemena, dok je gornja granica koduktiviteta za supstrate u kontejnerskoj proizvodnji $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Kako su svi komposti na kraju procesa imali EC viši od navedenih, mogli bi imati fitotoksično djelovanje na biljku i zbog toga ne bi bili pogodni za proizvodnju presadnica bez prethodnoga miješanja s drugim materijalima.

Organski ugljik

Tijekom procesa kompostiranja dolazi do opadanja udjela organskog ugljika, pri čemu se prvo razgrađuju lakorazgradivi spojevi (jednostavni šećeri, škrob, masti,

proteini), zatim sporo razgradivi (celuloza i hemiceluloza), dok zaostaju tvari otporne na razgradnju (Epstein, 1997.).

Dinamika udjela organskog C u pojedinim stajskim gnojivima tijekom procesa kompostiranja prikazana je Tablicom 1. Udio organskoga C u svinjskome gnoju statistički značajno ($P < 0,001$) opada do kraja procesa, s tim da je nagli pad zabilježen 24 - 28. dan, 64 - 69. i 75 - 83. Sličan trend opadanja pokazuju konjski i poluzreli goveđi gnoj uz velike oscilacije, koje su, vjerojatno, posljedica uzorkovanja i heterogenosti uzorka. Statistički vrlo značajne razlike ($P < 0,001$) zabilježene su između svakoga mjerenja tijekom kompostiranja (Tablica 1.). Svježi goveđi gnoj ima na početku procesa viši udio organskoga C od poluzreloga goveđega gnoja. Statistički vrlo značajan ($P < 0,001$) pad udjela organskoga C zabilježen je 50. - 56. dana, kad udio ugljika pada za 25%, da bi nakon toga opadanje bilo neznatno, za samo 4%, bez statističke značajnosti. Udio organskog ugljika u pilećem gnoju je u stalnom opadanju, od $401,48 \text{ gkg}^{-1}$ do $363,23 \text{ gkg}^{-1}$, s tim da je vrlo značajan ($P < 0,01$) pad bio 24. - 28. dana i 272. - 273. dana.

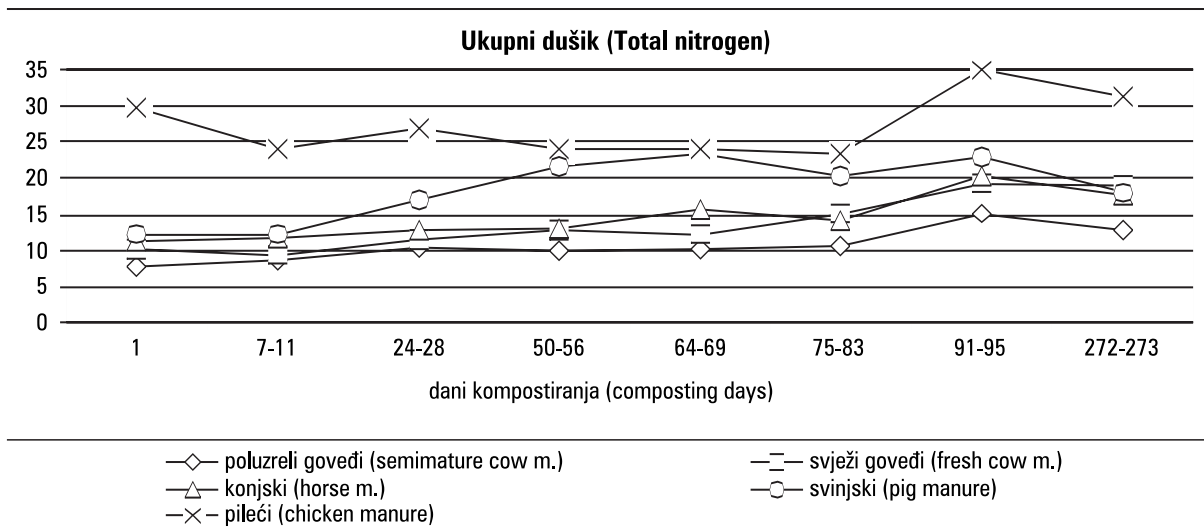
Najveći pad organskog ugljika (40%) izmjeren je kod svinjskoga gnoja, što je očekivano, jer se radi o separatu svinjske gnojovke koji ne sadrži nikakvu stelju pa, prema tome, ni teško razgradivi materijal. Razlika između udjela organskog ugljika na početku i završetku procesa kod poluzreloga i svježega goveđega gnoja iznosi od 21 do 25%, s tim da je manja kod svježega goveđega gnoja s većim udjelom nerazgrađene slame. Sličan rezultat navode Goyal i sur. (2005.) kompostirajući goveđi gnoj s otpadom šećerne trske u različitim omjerima. Najmanja promjena u sadržaju organskog ugljika u pilećem gnoju posljedica je velikog udjela piljevine koja sadrži više teže razgradivih spojeva (lignina). Wang i sur. (2004.) i Chanqa i sur. (2003.) navode vrlo malu promje-

Tablica 1. Sadržaj organskog ugljika ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) u kompostima tijekom osam usporednih mjerenja

Table 1. The content of organic carbon ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) in the composts in the course of eight parallel measurements

Dani tijekom kompostiranja <i>Composting days</i>	Poluzreli goveđi <i>Semimature cow manure</i>	Svježi goveđi <i>Fresh cow manure</i>	Konjski <i>Horse manure</i>	Svinjski <i>Pig manure</i>	Pileći <i>Chicken manure</i>	Prosjeak <i>Average</i>
1. dan (<i>day</i>)	294,00 b	373,13 a	285,08 b	299,90 a	401,48 a	330,72 d
7-11. dan (<i>day</i>)	323,37 a	373,24 a	292,93 a	289,53 a	388,71 a	333,56 d
24-28. dan (<i>day</i>)	254,53 d	360,48 a	276,06 c	247,73 b	378,71 c	303,50 c
50-56. dan (<i>day</i>)	285,30 c	320,96 b	266,98 d	250,64 b	376,85 c	300,15 c
64-69. dan (<i>day</i>)	249,22 d	318,10 b	238,18 f	209,09 c	376,32 c	278,18 b
75-83. dan (<i>day</i>)	195,60 f	308,44 b	227,98 g	183,58 d	378,59 c	258,84 a
91-95. dan (<i>day</i>)	235,61 e	316,88 b	255,17 e	221,49 c	367,51 c	279,33 b
272-273. dan (<i>day</i>)	234,76 e	307,58 b	261,86 d	214,76 c	363,23 d	276,44 b
Prosjeak (Average)	259,05 B	334,85 C	263,03 B	239,59 A	378,93 D	

Razlike između vrijednosti označenih različitim slovnim oznakama unutar kolone (mala slova) ili reda (velika slova) statistički su značajne ($P < 0,05$) - The differences between values marked with different letter in columns (lower case letters) or in rows (capital letters) are statistically significant ($P < 0,05$)



Grafikon 3. Dinamika promjene koncentracije ukupnoga dušika ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) po danima kompostiranja i vrstama stajskih gnojiva

Graph 3. Dynamics of change of total nitrogen concentration ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) according to days of composting and types of manure

nu u udjelu organskog ugljika u goveđem gnoju s piljevinom u odnosu na goveđi gnoj sa slamom.

Ukupni dušik

Dušik je makroelement neophodan za rast i razvoj svih živih bića, jer ga oni ugrađuju u svoje proteine i druge dušične spojeve. Zbog toga se uglavnom nalazi vezan u organskoj tvari, a samo manjim dijelom slobodan u mineralnim oblicima, kao amonijačni i nitratni ion. Tijekom kompostiranja dolazi do blagog povećanja koncentracije ukupnoga dušika, ali prvenstveno zbog gubitka mase i mineralizacije organske tvari (Sanchez-Monedero i sur., 2001.), tj. gubitka organskog ugljika (Tiquia, 2003.).

Na Grafikonu 3. vidljiva je dinamika promjene koncentracije dušika tijekom kompostiranja po vrstama stajskoga gnojiva. Goveđi i konjski gnoj imaju sličnu dinamiku promjene. Ona je do 91. - 95. dana u blagome porastu, a nakon toga u padu, mada je od početka do kraja kompostiranja povećana za 61% u poluzrelome goveđem gnoju, 85% u svježem goveđem i 58% u konjskom gnoju. Koncentracija ukupnoga dušika u svinjskome gnoju mijenja se tek nakon 24. - 28. dana, zatim naglo raste, da bi na kraju kompostiranja bila ista kao i kod svježega goveđega i konjskoga gnojiva. Kod pilećega gnojiva početna koncentracija dušika do kraja kompostiranja raste za svega 4,5%.

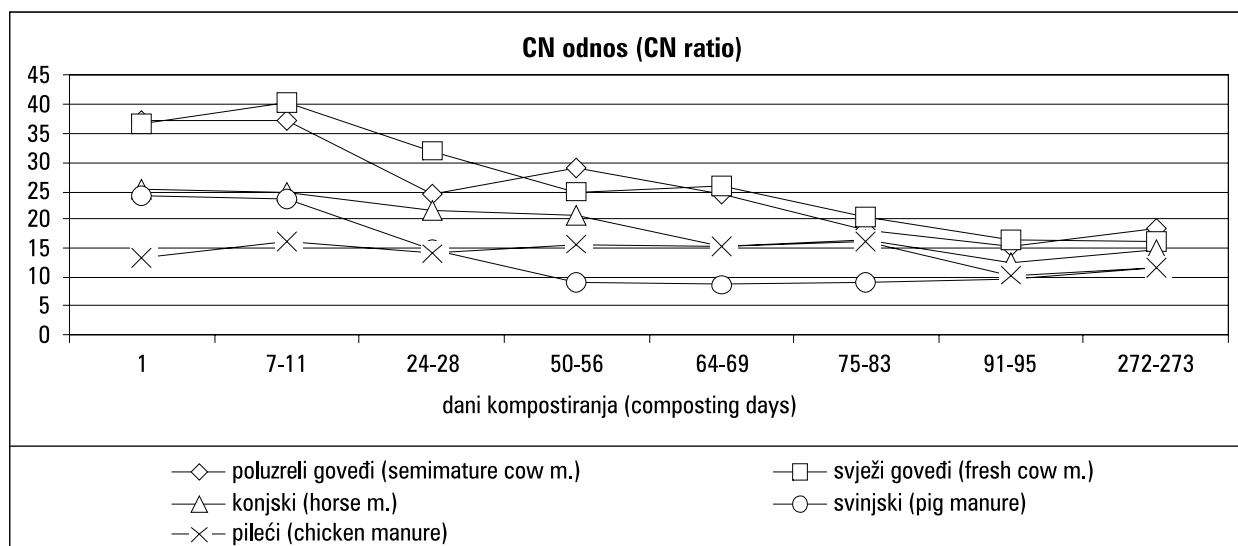
Prema koncentraciji ukupnoga dušika tijekom čitavoga procesa kompostiranja izdvajaju se pileći kompost, s najvišom razinom ukupnoga dušika, neovisno o fazi kompostiranja ($23,5 - 35,0 \text{ g N}\cdot\text{kg}^{-1}$), i poluzreli goveđi kompost, s najnižim razinama ukupnoga dušika ($7,9 - 15,2 \text{ g N}\cdot\text{kg}^{-1}$). Porast udjela N tijekom istraživanoga razdoblja kompostiranja od 46%, 58%, 61% i 85% u svinjskom, konjskom, poluzrelome goveđem i svježem

goveđem kompostu utvrđen u ovom istraživanju, sličan je rezultatima koje su iznijeli Grewal i sur. (2006.), Goyal i sur. (2005), Tiquia i Tam (1999.) i Bernal i sur. (1998.). Relativno najmanje povećanje (4,5%) koncentracije ukupnoga dušika kod pilećega gnojiva vjerojatno je posljedica najmanje promjene sadržaja organskog ugljika. Slične rezultate navode Kotaro i sur. (2005.) i Guerra-Rodriguez i sur. (2001.).

C:N odnos

Brza razgradnja organske tvari rezultira padom organskog ugljika i akumulacijom hraniva i mikrobiološke biomase (Tiquia i Tam, 2000.), što dovodi do smanjenja C:N odnosa, mada tijekom razgradnje i optimalna promjena ovisi o C:N odnosu početne sirovine za kompostiranje (Lončarić i sur., 2005.). Optimalni C:N odnos u početnom materijalu trebao bi biti oko 30 : 1 (Guelke, cit. po Contreras-Ramos i sur., 2004.), a u stabilnome kompostu ispod 25 : 1 (Kuo i sur., 2004.) ili 20 : 1 (Epstein, 1997.), mada neki autori smatraju da bi trebao biti sličniji odnosu koji postoji u humusu, tj. < 12:1 (Bernal i sur., 1998.).

Promatrajući dinamiku promjene C:N odnosa u pojedinim kompostima, može se uočiti da su najširi C:N odnos u početnome materijalu imali goveđi poluzreli i svježi gnoj (37,33 i 36,61). Oni, uz male oscilacije, do kraja kompostiranja padaju na 18,51, odnosno 16,13 (Grafikon 4.). Konjski i svinjski gnoj na početku procesa kompostiranja imaju sličan C:N odnos (25,31 i 24,24), dok se taj odnos u gotovom kompostu ponešto razlikuje (14,66 i 11,86). Pošto je koncentracija dušika u ta dva materijala podjednaka i na početku i na kraju istraživanja, nastala razlika pripisuje se bržoj razgradnji organske tvari, tj. smanjenju sadržaja organskog ugljika u svinjskome kompostu. C:N odnos je od početka do kraja



Grafikon 4. Dinamika promjene C-N odnosa po danima kompostiranja i vrstama stajskih gnojiva

Graph 4. Dynamics of C-N ratio change according to days of composting and types of manure

kompostiranja u konjskome gnoju smanjen za 44%, a u svinjskon za 54%. C:N odnos u pilećem gnoju, ima na početku kompostiranja najmanju vrijednost (13,45), koja u prvim tjednima raste, što je, vjerojatno, posljedica gubitka NH_3 volatilacijom, zbog uskog odnosa C i N i visokog pH. Nakon toga pada i na kraju kompostiranja iznosi 11,62 (Grafikon 4.). Tijekom cijeloga procesa C:N odnos smanjio se za svega 15,75%, a malo sužavanje C:N odnosa tijekom kompostiranja pilećega gnoja iznose mnogi autori (Mohee i sur., 2008., Kotaro i sur., 2005., Abdelhamid i sur., 2004.).

Svi komposti dobiveni iz različitih stajskih gnojiva nakon 9 mjeseci kompostiranja imaju C:N odnos uži od 20 : 1, što upućuje na njihovu stabilnost, po nekim autorima, dok je po drugima stabilan jedino kompost dobiven iz svinjskoga i pilećega gnoja, koji imaju C:N odnos manji od 12 : 1.

Koncentracija mineralnoga dušika

Kako najveći dio dušika nalazimo u organskoj formi, vezanog u strukturi proteina i jednostavnih peptida (Sanchez-Monedero i sur., 2001.), intenzivna razgradnja organske tvari u prvim tjednima kompostiranja dovodi do amonifikacije, a kasnije do nitrifikacije, ali u uvjetima dobre prozračnosti i nakon snižavanja temperatura kompostne hrpe ispod 40°C (Sanchez-Monedero i sur., 2001.).

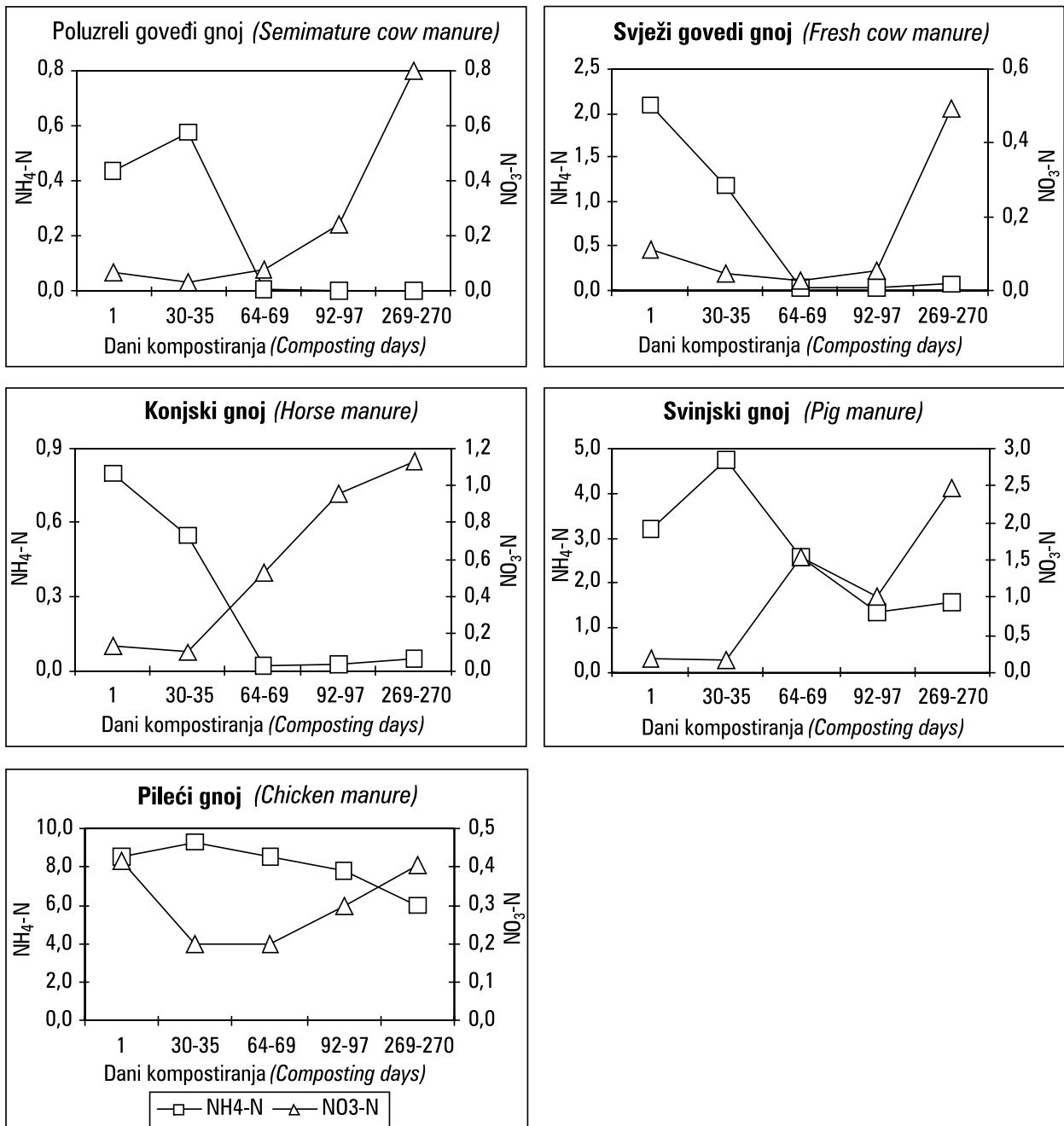
Na Grafikonu 5. prikazano je kretanje amonijskoga i nitratnoga dušika po vrstama stajskog gnoja tijekom pet usporednih mjerenja, a iz njega se može zaključiti da je općenito koncentracija $\text{NH}_4^+\text{-N}$ na početku visoka, a s vremenom pada, dok je koncentracija $\text{NO}_3^-\text{-N}$ u prvim tjednima kompostiranja niska te protjecanjem procesa kompostiranja raste.

Kod goveđih i konjskih stajskih gnojiva koncentracija $\text{NH}_4^+\text{-N}$ pada na ispod $0,1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, a $\text{NO}_3^-\text{-N}$ raste i

uvećana je 8 puta kod konjskog, a 10 i 12 puta kod goveđih komposta. Slične rezultate navode Grewal i sur. (2006.), Zmora-Nahum i sur. (2005.) i Wang i sur. (2004.). Svinjski gnoj ima na početku kompostiranja koncentraciju $\text{NH}_4^+\text{-N}$ veću od $3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, koja u prvih mjesec dana još raste, nakon toga počinje naglo padati i na kraju procesa iznosi $1,57\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Istovremeno, s padom koncentracije $\text{NH}_4^+\text{-N}$, raste koncentracija $\text{NO}_3^-\text{-N}$ do kraja kompostiranja. Sličnu dinamiku promjena prilikom kompostiranja svinjskoga gnoja iznose Zhu (2006.) i Tiquia i Tam (1998.). Dinamika kretanja koncentracije $\text{NH}_4^+\text{-N}$ i $\text{NO}_3^-\text{-N}$ u pilećem gnoju nešto se razlikuje od ostalih gnojiva. Ona raste u prvih mjesec dana, kad, zbog vlaženja gnoja, kreće vrlo burna mikrobiološka aktivnost. Nakon toga blago pada, da bi do kraja procesa pala s $8,5$ na svega $6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, što ga svrstava u vrlo nestabilne komposte. Udio nitratnoga dušika ne razlikuje se na završetku procesa od početnoga, mada se od najniže vrijednosti, koja je izmjerena 64. - 69. dana, udvostručuje. Takvi rezultati prouzročeni su, vjerojatno, visokom koncentracijom amonijevih iona i visokom temperaturom kompostne hrpe, koja se zadržala do 90. dana, a oboje inhibira nitrificirajuće mikroorganizme (Sanchez-Monedero i sur., 2001.). Stalno povećanje sadržaja $\text{NO}_3^-\text{-N}$ tijekom kompostiranja pilećega gnoja utvrdili su Kotaro i sur. (2005.), Tiquia i Tam (2002. i 2000.), dok Wang i surr. (2004.) navodi da kompostiranjem pilećega gnoja s hrastovom oblovinom u 91 dan nisu dobili porast koncentracije nitratnoga dušika.

ZAKLJUČAK

Na temelju rezultata provedenih istraživanja, može se zaključiti da je tijekom procesa kompostiranja došlo do značajnih promjena kemijskih svojstava kompostnih tvari. pH reakcija početnih kompostnih materijala bila je



Grafikon 5. Usporedba dinamike mineralnoga dušika (g kg^{-1}) tijekom pet usporednih mjerenja po vrstama stajskog gnoja

Graph 5. Comparison of mineral nitrogen dynamics (g kg^{-1}) in the course of five parallel measurements according to types of manure

iznad 8, a nakon 9 mjeseci kompostiranja svi komposti su imali pH vrijednost iznad 9, osim svinjskoga, čija je pH vrijednost bila ispod 7. Neutralni pH svinjskoga komposta čini ga dobrim medijem za biljnu proizvodnju, dok bi visoki pH ostalih mogao prouzročiti fitotoksičnost.

Električni konduktivitet svih istraženih stajskih gnojiva značajno se povećao procesom kompostiranja (prosječno 69%). Svinjski i govedí dostižu EC blizu graničnih vrijednosti za supstrat za kontejnersku proizvod-

nju, dok je konjski gotovo dvostruko, a pileći gotovo trostruko iznad tih vrijednosti i mogli bi biti fitotoksični.

Čitav proces kompostiranja karakterizira opadanje udjela C (prosječno 19,6%), dok je suprotna dinamika udjela ukupnoga N (porast prosječno 38%). C:N odnos se u kompostima očekivano smanjio i svi su komposti nakon termofilne faze imali C:N ispod 20 : 1. Utvrđen je i porast nitrarnog oblika N i pad udjela amonijskog oblika dušika.

LITERATURA

1. Abdelhamid, M.T., T. Horiuchi, S. Oba (2004): Composting of rice straw with oilseed rape cake and poultry manure and its effect on faba bean (*Vicia faba* L.) growth and soil properties, *Bioresource Technology* 93: 183-189.
2. Adam, M., Janeković, Đ., Karavidović, P., Sabo, K., Dešić, I. (1990): Procjena aciditeta i sadržaja humusa u antropogeniziranim tlima Valpovštine. *Zemljište i biljka* 39: 65.-72.
3. Beline, F., Martinez, J. (2002): Nitrogen transformations during biological aerobic treatment of pig slurry: effect of intermittent aeration on nitrous oxide emissions. *Bioresource Technology* 83: 225-228.
4. Bernal, M.P., Paredes, C., Sanchez-Monedero, M.A., Cegarra, J. (1998): Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology* 63:91-99.
5. Butorac, A. (1999.): *Opća agronomija. Školska knjiga, Zagreb.*
6. Changa, C.M., Wang, P., Warson, M.E., Michel, F.C. Jr., Hoitink, H.A.J. (2003): Assessment of the Reliability of a Commercial Maturity Test Kit of Composted Manures. *Compost Science & Utilization*, 11: 127-145.
7. Contreras-Ramos, S.M., Alvares-Bernal, S.D., Trujillo-Tapia, N., Dendooven, L. (2004.): Composting of tannery effluent with cow manure and wheat straw. *Bioresource Technology* 94: 1584-1591.
8. Durman, P., Blaženka Bertić (1988.): Kontrola plodnosti tla u uvjetima intenzivne ratarske proizvodnje Hrvatske. *Poljoprivredne aktualnosti* 30:319.-379.
9. Epstein, E. (1997): *The science of composting.* Technomic Publishing Company. Lancaster, Pennsylvania, USA.
10. Guerra-Rodriguez, E., Diaz-Ravina, M., Vazquez, M. (2001): Co-composting of chestnut burr and leaf litter with solid poultry manure. *Bioresource Technology* 78: 107-109.
11. Goyal, s., Dhull, S.K., Kapoor, K.K. (2005): Chemical and biological Changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity, *Bioresource Technology* 96: 1-7.
12. Grewal, S.K., Rajeev, S., Sreevatsan, S., Michel, F.C. Jr. (2006): Persistence of *Mycobacterium avium* subs. *paratuberculosis* and other Zoonotic Pathogens during Simulated Composting, Manure Packing, and Liquid Storage of Dairy Manure. *Environmental Microbiology* 72: 565-574.
13. Hess, T.F., Inga Grdzelišvili, H. Sheng, Carolyn J. Hovde (2004.): Heat Inactivation of *E. Coli* during Manure Composting. *Compost Science & Utilization* 12 (4):314-322.
14. Hsu, J.H., Lo, S.L. (1999): Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting of pig manure. *Environmental Pollution* 104: 189-196.
15. ISO (1995): Soil Quality. Determination of totalnitrogen. International standard. ISO 11261:1995. International Organization for Standardization. Geneve. Switzerland.
16. ISO (1998): Soil Quality. Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation. International standard. ISO 14235:1998(E). International Organization for Standardization. Geneve. Switzerland.
17. Katušić, J., Besek, Z., Šarčević, Z., Vukadinović, V., Bertić, B., Lončarić, Z. (2005.): Analiza tla kao temelj profitabilnije proizvodnje šećerne repe. XL Znanstveni skup hrvatskih agronoma, Zbornik radova, 445.-446.
18. Kotaro, K., Nobuaki, M., Hiroyasu, T., Ichio, N. (2005): Evaluation of maturity of poultry manure compost by phospholipid fatty acids analysis. *Biol. Fertil. Soils* 41: 399-410.
19. Kuo, S., Ortiz-Escobar, M.E., Hue, N.V., Hummel, R.L. (2004): Composting and compost utilization for agronomic and container crops. *Recent Res. Devel. Environmental Biology*, 1:451-513.
20. Lončarić, Z., Meri Engler, K. Karalić, Gordana Bukvić, Ružica Lončarić, D. Kralik (2005.): Ocjena kvalitete vermikompostiranog goveđeg stajskog gnoja. *Poljoprivreda*. 11(1): 57.-63.
21. Michel, F.C. Jr., Pecchia, J.A, Rigot, J., Keener, H.M. (2004): Mass and Nutrient Losses During the Composting of Dairy Manure Amended with Sawdust or Straw. *Compost Science & Utilization*, 12: 323-334.
22. Miller, M. (2001.): Fulfilling special needs of nurseries. *BioCycle*. 4: 55-59.
23. Mohee, R., M.-F. B. Driver, N. Sobratee (2008): Transformation of spent broiler litter from exogenous matter to compost in a sub-tropical context. *Bioresource Technology* 99: 128-136.
24. Sanchez-Monedero, M.A., Roig, A., Paredes, C., Bernal, M.P. (2001): Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rudgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology* 78: 301-308.
25. Sanchez-Monedero, M.A., Roig, A., Cegarra, J., Bernal, M.P., Noguera, P., Abad, M., Anton, A. (2004): Compost as Media Constituents for Vegetable Transplant Production. *Compost Science & Utilization*, 12: 161-168.
26. Thompson, W.H. (ed.) (2001): *Test Methods for the Examination of Composting and Compost.* The United States Composting Council Research and Education Foundation. The United States Department of Agriculture.
27. Tiquia, S.M., Tam, N.F.Y., Hodgkiss, I.J. (1998): Changes in chemical properties during composting of spent pig litter at different moisture contents. *Agricultural Ecosystem Environment*. 67: 79-89.
28. Tiquia, S.M., Tam, N.F.Y. (1999): Chemical parameters for maturity determination og pig manure disposed from the pig-on-litter (POL) system i Hong Kong. *Manure Management '99.* Extension Division-University of Saskatchewan (Ed.). Canada. Pp 449-463.
29. Tiquia, S.M., Tam, N.F.Y. (2000): Co-composting of spent pig litter and sludge with forced-aeration. *Bioresource Technology* 72: 1-7.
30. Tiquia, S.M., Tam, N.F.Y. (2002.): Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles. *Process Biochemistry* 37: 869-880.

31. Tiquia, S.M. (2003): Evaluation of organic matter and nutrient composition of partially decomposed and composted spent pig litter. *Environmental Technology*, 24: 97-107.
32. Zhu, N. (2006.): Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. *Bioresource Technology* 97: 1870-1875.
33. Zhu, N. (2007): Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. *Bioresource Technology* 98: 9-13.
34. Zmora-Nahum, S., Markovitch, O., Tarchitzky, J., Chen, Y. (2005): Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 2109-2116.
35. Wang, P., Changa, C.M., Watson, M.E., Dick, W.A., Chen, Y., Hoihtk, H.A.J. (2004): Maturity indices for composted dairy and pig manures. *Soil Biology & Biochemistry* 36: 767-776.

MODIFICATIONS OF CHEMICAL PROPERTIES OF MANURE IN THE PROCESS OF COMPOSTING

SUMMARY

Apart from the production of sufficient food quantities modern agricultural production should produce high- quality food, but also preserve the environment, primarily by preserving the soil as a natural, renewable, but also exhaustible resource. Preservation of soil directly emphasizes the concern about elementary properties of soil affecting its fertility. One of the measures is usage of organic manure. Manure is used most often in practice, and the processes of decomposition depending on the way of maintenance and manure removal of the cattle, and the conditions in which such stack is amassed and kept are not often desirably directed. During implementation of such manure, the expected positive effects appear to be the negative ones.

Five different manure types have been composted in the experiment (cattle manure, horse, pig and poultry) and the changes in the chemical properties have been monitored. During the process of composting significant changes have occurred: pH level of initial compost materials has grown in all the composts (from 8 to over 9), except for the pig, which had the pH level below 7; EC had an average increase of 69%, and at the end of the research a very high EC was found out in the poultry ($12.15 \text{ d}\cdot\text{Sm}^{-1}$ which is three times above the borderline values for substrates of container production) and horse ($8.75 \text{ d}\cdot\text{Sm}^{-1}$ which is almost twice the value). The entire process of composting is characterized by the decrease of the portion of organic carbon (on the average for 19.62%), while the dynamics of the portion of the total N is vice versa (average increase by 38%). C-N ratio in the composts decreased, as expected, below 20:1 and the highest decrease is with the cattle manure with the highest initial C-N ratio. The increase of NO_3^- and decrease of NH_4^+ were established.

Key-words: manure, composting, chemical properties of compost, C-N ratio, EC, pH level

(Primljeno 11. studenoga 2008.; prihvaćeno 1. prosinca 2008. - Received on 11 November 2008; accepted on 1 December 2008)