

SUNKIŲJŲ METALŲ (Cr, Cd, Ni) KONCENTRACIJŲ KAITA NUOTEKŲ DUMBLO VERMIKOMPOSTAVIMO PROCESO METU

Aušra ZIGMONTIENĖ¹, Indrė LIBERYTĖ²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹ausra.zigmontiene@vgtu.lt; ²indre.liberyte@gmail.com

Santrauka. Nuotekų dumblo tvarkymo ir naudojimo problema – svarbi biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo strategijos dalis. Lietuvoje kasmet susidaro apie 80 tūkst. tonų nuotekų dumblo, o didžiausia dalis šio kiekio vis dar sandėliuojama valyklų aikštelėse. Nuotekų dumblas gali būti efektyviai naudojamas žemės ūkyje, tačiau sunkieji metalai, esantys nuotekų dumble, apsunkina jo naudojimą. Vienas iš būdų pagerinti dumblo savybes ir kartu sumažinti liekamąsias metalų koncentracijas – nuotekų dumblo vermikompostavimas. Sunkiųjų metalų (chromo, nikelio ir kadmio) koncentracijų kaitos vermikompostuojant nuotekų dumblą tyrimas atliktas naudojant Kalifornijos sliekus (*Eisenia fetida*). Tirta sunkiųjų metalų koncentracijos kaita viso kompostavimo proceso metu. Tyrimui naudotas nuotekų dumblas (60 kg) buvo paimtas iš Vilniaus miesto nuotekų valyklos ir į jį įleista 1,5 kg Kalifornijos sliekų. Viso tyrimo metu buvo palaikomos optimalios sąlygos sliekams gyvuoti ir veikti (optimali temperatūra, drėgmė, pH). Tyrimo trukmė – 120 parų (birželio–rugpjūčio mėnesiai), dumblo mėginiai imti 10 parų intervalu. Išmatuotos ir nustatytos sunkiųjų metalų – chromo, nikelio ir kadmio – koncentracijos nuotekų dumble.

Reikšminiai žodžiai: nuotekų dumblas, vermikompostavimas, sunkieji metalai, Kalifornijos sliekai.

Įvadas

Besivystantys pramonės, energetikos ir transporto sektoriai per pastaruosius šimtmečius smarkiai pakeitė aplinkos būklę – klimatas šiltėja, Žemę saugantis ozono sluoksnis ardomas. Visa tai – žmogaus veiklos rezultatas. Siekdamas ekonominės gerovės ir norėdamas patenkinti savo dabartinius poreikius, žmogus tapo ne aplinkos dalimi, o jos vartotoju. Intensyvus vartojimas skatina milžiniškų atliekų kiekių susidarymą, kuris savo ruožtu kelia daugybę aplinkosaugos problemų.

Europos Komisija galutinėje ataskaitoje „Nuotekų dumblo naudojimo žemės ūkyje aplinkosauginis, ekonominis ir socialinis poveikis“ paskelbė, kad Europos Sąjungos šalyse 2010 m. susidarė 11 564 000 tonų nuotekų dumblo, iš kurių Lietuvoje susidarė 80 000 tonų atliekų. Ataskaitoje pranešama, kad iš viso tik apie 30 % Lietuvoje susidariusio nuotekų dumblo buvo panaudota žemės ūkyje.

Nuotekų dumblo sandėliavimas aikštelėse – populiariausias Lietuvoje šių atliekų tvarkymo būdas – taip pat kelia nemažai aplinkosaugos problemų. Toks tvarkymo būdas yra rimta aplinkosaugos problema – pūvantis dumblas išskiria metano dujų (CH_4), sieros vandenilio (H_2S) ir daug nemalonaus kvapo cheminių junginių, kurie teršia aplinką (Baltrėnas *et al.* 2008). Yrant nuotekų dumblei, išsiskiria

vandenilio sulfidai amoniako dujos (NH_3), metilaminas (CH_3NH_2) ir kiti junginiai, turintys itin aštrų ir nemalonų kvapą. Valyklose susidarantis dumblo kiekis yra didelis, tarsi dideli ir šių dujų emisijų kiekiai (Zuokaitė, Zigmontienė 2009; Jackel *et al.* 2005). Taip pat galima paviršinių ir požeminių vandenų tarša, dirvožemio tarša, nemalonių kvapų sklaidimas ir kt. (Aktar, Sengupta 2008; Harrison, Oakes 2002; Zuokaitė, Zigmontienė 2009).

Kasmet dumblei tvarkyti reikia didelių žemės plotų, kurie galėtų būti naudojami kitokiems poreikiams. Todėl privalu ieškoti tokių nuotekų dumblo apdorojimo ir naudojimo būdų, kurie ne tik sumažintų ekologines problemas, bet ir jas padėtų spręsti.

Nuotekų dumblas yra gausus naudingų organinių medžiagų, tokių kaip azotas, fosforas, kalis (Seleiman *et al.* 2010). Nuotekų dumblas yra miesto atliekos, turinčios didelį kiekį maistingųjų medžiagų, kurios gali būti perdirbamos į naudingą maistinį produktą (Frank *et al.* 1983). Žemės ūkyje jo naudojama tik trečdalis (Fytili, Zabaniotou 2008).

Vienas svarbiausių kriterijų, pagal kurį įvertinamas nuotekų dumblo tinkamumas žemės ūkiui, be biologinio užterštumo ir kenksmingų organinių junginių, yra sunkiųjų metalų kiekis. Apdorotą nuotekų dumblą naudoti žemės

ūkyje gali būti itin naudinga, sprendžiant tokias problemas, kaip degraduojančio dirvožemio atkūrimas ar žemės naudmenų pagerinimas tręšiant apdorotu dumbliu. Tačiau nuotekų dumblo naudojimas yra smarkiai apribotas, nes jame būna susikaupusios didelės sunkiųjų metalų ir mikrobiologinių teršalų koncentracijos (Seleiman *et al.* 2010).

Vermikompostavimas – palyginti naujas organinių atliekų apdorojimo būdas. Apdorojant atliekas tam tikros rūšies sliekai, mintantys atliekose esančiomis bioskaidžiomis medžiagomis, jas mineralizuoja. Taip gaunamas vermikompostas – naudingas produktas, kuris yra homogeniškas, su sumažėjusiu teršalų kiekiu, turintis daug maistingųjų medžiagų ir nedarantis jokio neigiamo poveikio aplinkai (Suthar, Singh 2008). Vermikomposte yra daugiau ištirpusių azoto, fosforo, kalio, kalcio, magnio medžiagų, jis turi sukaukęs daug kenkėjų repelentų. Tai moksliskai pagrįstas augalų augimo stimulatorius ir saugotojas nuo kenkėjų bei ligų (Pattnaik, Reddy 2011; Nagavallemma *et al.* 2004; Sinha *et al.* 2009).

Ši technologija pasaulyje ryškėja kaip potenciali kietųjų organinių atliekų tvarkymo alternatyva. Tai yra patrauklus ir ekonomiškąs perdirbimo procesas, kuriam nereikia daug kapitalo ir energijos sąnaudų. Taikant šį būdą atliekos paverčiamos naudingu augalams ir dirvožemiui komponentu, mažinančiu neigiamą įtaką aplinkai (Lekshmanaswamy, Yasotha 2012; Singh *et al.* 2004). Jau pripažįstama, kad vermikompostas, stabdantis ekologinę degradaciją, gali duoti daug naudos, siekiant patenkinti didelius maistinių medžiagų poreikius žemės ūkio sektoriuje (Aalok *et al.* 2008). Jis yra reikšmingas ekologiniu požiūriu, nes kenksmingos atliekos perdirbamos netešiant aplinkos, netgi priešingai – pagaminant dirvožemio degradacijos problemą sumažinantį substratą.

Organinių atliekų apdorojimas sliekais yra paplitęs visame pasaulyje ir vis populiarėja. Ši technologija naudojama JAV, Kanadoje, Italijoje ir Japonijoje. Vermikompostavimas sparčiai plinta Indijoje ir kitose šalyse.

Lietuvoje ši technologija taip pat gali būti naudojama efektyviai. Dėl palyginti nedidelių finansinių, technologinių ir aplinkos apsaugos reikalavimų vermikomposto gamyba iš organinių atliekų yra priimtina tiek namų ūkio sąlygomis, tiek dideliu mastu.

Tyrimų tikslas – įvertinti sunkiųjų metalų bioakumuliacijos dėsninumus sliekuose, kompostuojant nuotekų dumblą.

Metodika

Stabilizuojant Vilniaus miesto komunalinių nuotekų dumblą vermikultūra, jis yra paverčiamas maistingųjų medžia-

gų turinčiu ir dirvožemiui naudingą substratu. Taikant šį metodą siekiama sumažinti sunkiųjų metalų koncentracijas dumbliu. Naudojami sliekai turėtų sumažinti į tiriamą nuotekų dumblą įterptų sunkiųjų metalų – chromo, nikelio ir kadmio – kieki, kurio dalis turėtų akumuliuotis sliekų audiniuose.

Atliktuose tyrimuose nagrinėjamas Vilniaus miesto nuotekų dumbliu esančių sunkiųjų metalų – kadmio, chromo, nikelio – koncentracijų kitimas.

Nuotekų dumblo paruošimas

Komunalinių nuotekų dumblas, kurio drėgnis – 80 %, patalpintas į 70×50×60 cm matmenų plastikinę dėžę. Apskaičiuota, kad 1,5 kg sliekų per visą tyrimo laiką (120 parų) užtekų 60 kg nuotekų dumblo (Shahmansouri *et al.* 2005).

Konteinerio (1 pav., a, b) apačioje pragražiamos skylės dumblo skysčiui nutekėti, viršuje – kad būtų užtikrinta pakankama aeracija ir deguonies kiekis.

Į tiriamąjį nuotekų dumblą įterpiama sunkiųjų metalų tirpalų. Paruošiami sunkiųjų metalų tirpalai – CdSO₄, Cr(NO₃)₃ ir Ni(NO₃)₂ – sumaišyti su distiliuotu vandeniu. Taip užtikrinama pakankama sunkiųjų metalų koncentracijų kaitai įvertinti.



1 pav. Nuotekų dumblo paruošimas sliekams įterpti
Fig. 1. Sewage sludge preparation for worm insertion

Vermikultūros įterpimas

Į konteinerį su dumbliu įdedama vermikultūros – Kalifornijos sliekų (lot. *Eisenia fetida*). Prieš įterpiant sliekus į tiriamą nuotekų dumblą, jie turi aklimatizuotis, kad nepatirtų streso dėl terpės pakeitimo. Aklimatizacija vykdoma pagal M. Shaymaa *et al.* (2010) aprašytą metodiką.

Aklimatizacija reikalinga, kad sliekai prisitaikytų prie naujos – nuotekų dumblo su sunkiaisiais metalais – aplinkos. Vykdomos aklimatizacijos esmė – sliekų migracija iš jų pradinės gyvenamosios terpės į kitą. Procesas buvo vykdomas 42×30×22 cm matmenų dėžėje, padalytoje į dvi

sekcijas. Pirmoje sekcijoje buvo sliekų gyvenamoji terpė – kompostas, sudarytas iš karvių mėšlo, šiaudų, organinių atliekų likučių, antroji sekcija – tiriamasis nuotekų dumblas su sunkiųjų metalų tirpalų mišiniu. Aklimatizacijos procesas stebimas kiekvieną parą. Po savaitės buvo pastebėta migracija į nuotekų dumblo sekciją.

Eksperimento sąlygos

Viso proceso metu stebimos ir palaikomos optimalios aplinkos (dumblo) sąlygos naudingai sliekų veiklai užtikrinti. Visų pirma užtikrinamas tinkamas dumblo drėgnumas – apie 80 %. Drėgmės kiekiui sumažėjus, dumblas palaistomas vandeniu. Tikrinamas ir drėgmės perteklius. Esant didesniam kaip 90 % drėgnumui, dalis skysčio pašalinama.

Mezofiliniam procesui vykti palaikoma $\pm(20-30)$ °C dumblo temperatūra. Ji termometru matuojama periodiškai ir fiksuojami jos pokyčiai.

Konteineris laikomas uždengtas dangčiu (1 pav., c) saulės neapšviestoje vietoje – dėl per didelio šviesos kiekio, tenkančio sliekų veiklos terpei, galimas produktyvumas gali sumažėti ir temperatūra kilti.

Kad būtų vykdoma aktyvi ir naudinga sliekų veikla, terpės pH turėtų būti artimas neutraliam, tai 6,5–8,5. Jei dumblas per rūgštus, numatoma jį neutralizuoti $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tirpalu.

pH įvertinamas pH-metru „MultiCal 538 WTW“ su stiklo elektrodu. Norint tinkamai nustatyti nuotekų dumblo rūgštingumą, reikalingas laboratorijos džiovintame spintoje 105 ± 2 °C temperatūroje išdžiovintas dumblas.

Bendram anglies kiekiui nustatyti naudojamas SSM-5000A kieto mėginio modulis „Shimadzu TOV-V“ serijos bendrosios anglies analizatorius.

Sunkiųjų metalų nustatymas

Norint nustatyti sunkiuosius metalus nuotekų dumble, jis turi būti sudeginamas, kad pasišalintų drėgmė ir organinė dumblo dalis. Visų pirma į porcelianinę lėkštutę įdedamas nuotekų dumblo mėginys ir elektrinėje krosnyje deginamas apie 3 valandas 450 °C temperatūroje. Sudegęs mėginys ruošiamas mineralizuoti.

Pasveriami 0,5 g sudeginto dumblo ir beriami į mineralizavimo indelius. Tuomet į tą patį indelį su paruoštu dumblo mėginiu pilama 12 ml koncentruotos HNO_3 rūgšties ir 2 ml vandenilio peroksido H_2S_2 rūgšties. Indeliai sandariai uždaromi eksikatoriuje. Tuomet mėginiai mineralizuojami mineralizatoriuje (200 °C temperatūroje) vieną valandą.

Po mineralizavimo indelis su mėginiu atvėsinaamas iki 50–70 °C. Tada tirpalas iš indelio filtruojamas per stiklo filtrą į 50 ml kolbutę. Nufiltravus iki žymės kolbu-

tėje, skiedžiama dejonizuotu vandeniu. Paskui matuojamos metalų koncentracijos spektrometru „Buck Scientific 210 VGP“ su oro ir acetileno liepsna.

Tyrimo rezultatai ir jų analizė

Eksperimentas truko 120 parų, kurių metu nustatoma ir analizuojama sunkiųjų metalų koncentracijų kaita, nustatomas šių toksinių medžiagų pašalinimas iš nuotekų dumblo. Kas dešimt parų buvo imami mėginiai ir matuojami juose esantys sunkiųjų metalų kiekiai.

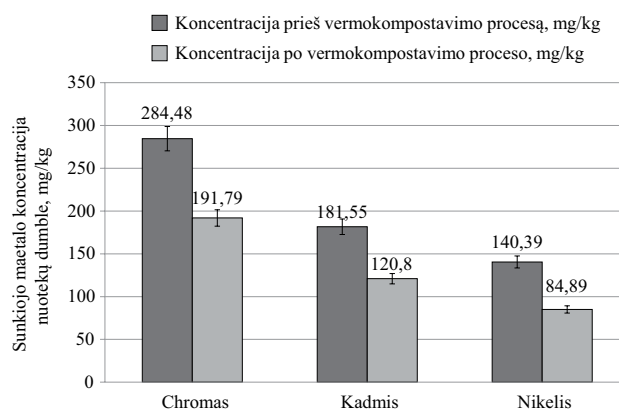
Shahmansouri *et al.* (2005) tyrė sunkiųjų metalų kaupimąsi Irano ir Kalifornijos sliekuose vermikompostuojant nuotekų dumblą. Šiais tyrimais nustatyta, kad sunkiųjų metalų Cr ir Cd koncentracijos vermikomposte laikui bėgant mažėja dėl jų kaupimosi sliekų audiniuose.

Singh ir Kalamdhad (2012), atlikę nuotekų dumblo vermikompostavimo tyrimus, nustatė, kad Kalifornijos sliekai dėl savo fiziologinės apykaitos ypatumų gali sukaupti didelius sunkiųjų metalų, esančių netoksinių formų, kiekius.

Mūsų atliktų tyrimų metu nustatyta, kad per 120 vermikompostavimo parų tiriamų sunkiųjų metalų koncentracijos sumažėjo. 2 ir 3 pav. esančiose diagramose vaizduojami atliktų tyrimų rezultatai.

Matyti, kad chromo metalo koncentracija per 120 proceso parų sumažėjo beveik pusantro karto (1,48) karto, palyginti su pradine metalo kiekiu verte. Nuo pradinės koncentracijos, kuri buvo 284,48 mg/kg, chromo nuotekų dumble sumažėjo 92,62 mg/kg – iki 191,79 mg/kg.

Begum, Krishna (2010) eksperimentiniais tyrimais nustatė, kad iš nuotekų dumblo per 60 parų (gruodis-sausis) vermikompostuoti naudojant Kalifornijos sliekus buvo pašalinta 69,9 proc. chromo kiekio, lyginant su pra-



2 pav. Nustatyti sunkiųjų metalų koncentracijų pokyčiai nuotekų dumble po 120 parų vermikompostavimo, mg/kg
Fig. 2. Changes in the concentration of heavy metals in sewage sludge after 120 days of vermicomposting

dine (112 mg/kg) koncentracija. Šių tyrimų metu nuotekų dumblas įvairiomis proporcijomis buvo sumaišytas su vandens hiacintomis.

Kadmio koncentracija nuotekų dumble sumažėjo 1,5 karto. Pradinė metalo koncentracija nuotekų dumble nuo 181,55 mg/kg per 40 parų sumažėjo iki 131,68 mg/kg. Per likusį vermikompostavimo proceso laiką koncentracija dar sumažėjo iki 120,8 mg/kg.

Tyrinėdamas nuotekų dumble esančius sunkiuosius metalus Azizi su mokslininkų grupe (2013) nustatė, kad vermikompostuojant nuotekų dumblą (maišant jį su panaudotų grybų kompostu) po 10 savaičių nuo tyrimo pradžios Cr ir Cd koncentracijos, lyginant su pradine, nuotekų dumble sumažėjo 90–98,0 proc.

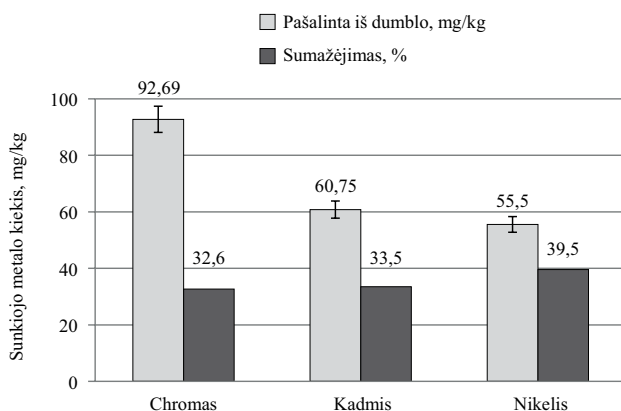
Nikelio koncentracija tiriamajame dumble sumažėjo 55,5 mg/kg – nuo 140,39 mg/kg iki 84,89 mg/kg. Metalo koncentracija sumažėjo daugiau nei pusantro karto – 1,65.

Iš 1 kg nuotekų dumblo buvo pašalinta 92,69 mg chromo metalo. Lyginant su pradiniu šio metalo kiekiu dumble, eksperimento metu iš nuotekų dumblo buvo pašalinta 33,5 proc. chromo.

Iš dumblo kadmio buvo pašalinta 60,75 mg/kg. Nikelio per 120 eksperimento parų iš 1 kilogramo dumblo pašalinta 55,5 mg.

3 pav. pavaizduoti procentiniai koncentracijų pokyčiai nuotekų dumble, lyginant su pradinėmis šio parametro vertėmis. Nuotekų dumble jį vermikompostuojant daugiausia sumažėjo nikelio koncentracija – 39,5 proc. nuo pradinio kiekio. Chromo koncentracijos pokytis panašus – 33,5 proc. Kadmio kiekis nuotekų dumble sumažėjo 32,6 proc.

Šiose diagramose pateikti rezultatai taip pat rodo, kad didžiausia pradinė koncentracija vermikompostuojamame nuotekų dumble buvo chromo metalo – būtent šio metalo buvo daugiausia pašalinta iš dumblo.



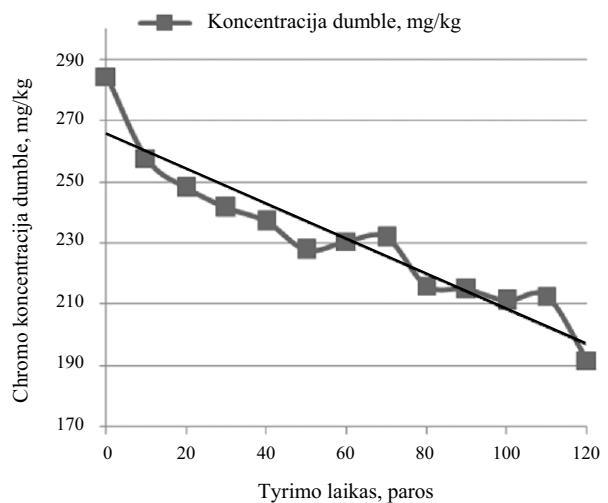
3 pav. Sunkiųjų metalų koncentracijų sumažėjimas nuotekų dumble po 120 parų vermikompostavimo, mg/kg

Fig. 3. Decrease in the concentration of heavy metals in sewage sludge after 120 days of vermikomposting

Šiuo tyrimu nustatyta, kad daugiausia iš nuotekų dumblo buvo pašalinta chromo metalo, tuomet panašiais, tačiau kiek mažesniais kiekiais dumble sumažėjo kadmio ir nikelio metalų. Iš nuotekų dumblo pašalintų metalų koncentracijų pasiskirstymas toks: Cr > Cd > Ni.

4–6 pav. grafiškai pateikti chromo, kadmio ir nikelio koncentracijos pokyčiai nuotekų dumble viso proceso metu, dešimties parų intervalais.

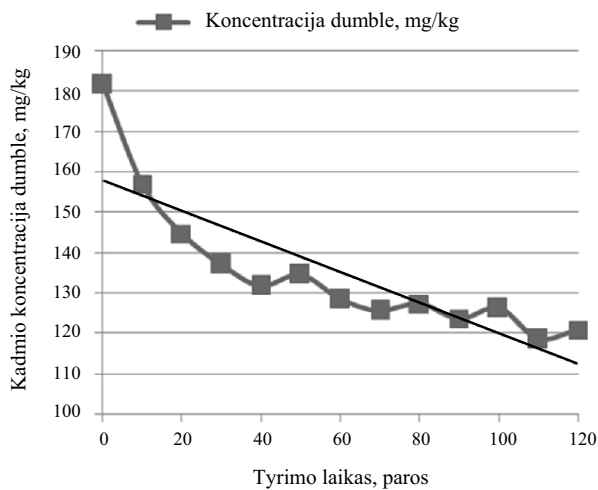
Kaip matyti iš 4 pav. pavaizduotų rezultatų, intensyviausiai chromo metalo koncentracija mažėja pirmąsias 50 proceso parų. Tačiau viso vermikompostavimo metu išliko bemaž tolydi koncentracijos mažėjimo tendencija. Labiausiai koncentracija krinta per pirmąsias dešimt parų – per šį laikotarpį chromo metalo koncentracija nuotekų dumble sumažėjo 26,78 mg/kg. Toliau nuo 10 iki 20, 20–30, 30–40, 40–50 parų koncentracija krito panašiai, atitinkamai 9,43 mg/kg, 6,43 mg/kg, 11,59 mg/kg ir 9,43 mg/kg. Paskutinėmis eksperimentinio tyrimo paromis koncentracijos krito nedaug, nors mažėjimo tendencija išliko. Per dešimt parų nuo 80–90 ir 90–100, 100–110 tyrimo parų koncentracijos sumažėjo atitinkamai 0,98 mg/kg, 3,68 mg/kg ir 1,44 mg/kg. Per eksperimento paskutines 10 parų koncentracija krito labiau – per šį laikotarpį buvo pašalinta 21,08 mg iš 1 kg nuotekų dumblo.



4 pav. Chromo koncentracijų kaita nuotekų dumble
Fig. 4. Changes in chromium concentration in sewage sludge

5 pav. vaizduojami kadmio koncentracijų matavimo rezultatai rodo, kad intensyviausiai kadmio metalo koncentracija mažėjo per pirmąsias 40 proceso parų. Per likusį nuotekų dumblo vermikompostavimo laiką (80 parų) kadmio koncentracija jame mažėjo, nors intensyvumas ne toks ryškus kaip pirmosiomis eksperimento paromis.

Per pirmąsias 10 parų koncentracija sumažėjo 24,66 mg/kg. Per kitas dešimt parų koncentracija suma-



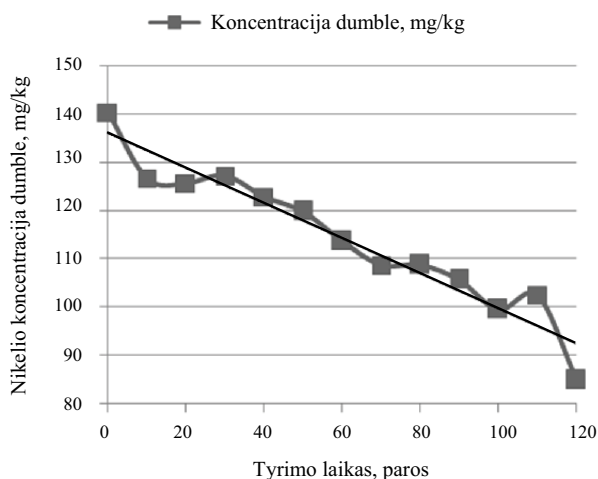
5 pav. Kadmio koncentracijų kaita nuotekų dumble

Fig. 5. Changes in cadmium concentration in sewage sludge

žėjo dar 12,36 mg/kg. Per kitus du laikotarpus nuo 20 iki 30 ir nuo 30 iki 40 parų koncentracija mažėjo panašiai – atitinkamai 7,6 mg/kg ir 5,25 mg/kg. Likusį laiką kadmio kiekis mažėjo panašiu greičiu. Nuo 60 iki 70, 80–90, 110–120 parų atitinkamai kadmio koncentracija sumažėjo 2,89 mg/kg, 3,68 mg/kg, 2,27 mg/kg. Nuo 100 iki 110 parų stebimas ryškesnis koncentracijų pasikeitimas – kadmio sumažėjo per 7,73 mg/kg.

Nikelio koncentracijos kaita viso proceso metu (pavaizduota grafiškai 6 pav.) rodo, kad iš nuotekų dumblo šis metalas buvo šalinamas tolygiai, panašiu intensyvumu viso vermikompostavimo metu.

Vidutiniškai per parą chromo metalo buvo pašalinama 0,77 mg. Tai didžiausias per parą pašalinamas vidutinis sunkiojo metalo kiekis. Kadmio buvo šalinamas kiek mažesniu greičiu – 0,51 mg per parą, o nikelio metalo buvo pašalinama mažiausiu greičiu – vidutiniškai 0,46 mg.



6 pav. Nikelio koncentracijų kaita nuotekų dumble

Fig. 6. Changes in concentration in sewage sludge

Iš 4–6 pav. pavaizduotų rezultatų matyti sunkiųjų metalų mažėjimo tendencija viso proceso metu, tačiau sunkieji metalai intensyviausiai šalinami pirmosiomis 40–50 nuotekų dumblo vermikompostavimo paromis.

Atliekant tyrimą nebuvo pastebėta, kad Kalifornijos sliekų gyvybinės funkcijos sumažėjo, sunkiųjų metalų koncentracijos buvo nedidelės, kad būtų neigiamai paveikta sliekų veikla.

Kitų mokslininkų atliktų tyrimų metu nustatyta, kad kritinė chromo metalo koncentracija sliekams veikti yra 890 mg/kg. Esant tokiai terpės (maisto) koncentracijai, sulėtėja sliekų gyvybinė veikla (Lock, Jansen 2002). Aleagha ir kt. atliktų tyrimų metu nustatyta, kad kadmio koncentracijai sliekų terpėje esant 200 mg/kg sliekų reprodukcija tampa beveik nulinė, didėjant koncentracijai lėtėja sliekų gyvybinės funkcijos (Aleagha *et al.* 2009). Aleaghi ir Ebadi (2011) tyrimai parodė, kad nikelio koncentracijos sliekų veiklai nedarė esminio poveikio. Didesnių pokyčių pastebėta didinant nikelio koncentracijas iki 1000 mg/kg – esant tokiai koncentracijai buvo nustatytas didelis sliekų augimo slopinimas (Aleaghi, Ebadi 2011).

Išvados

Nustatyta, kad apdorojant nuotekų dumblą Kalifornijos sliekais galima efektyviai šalinti iš jo sunkiuosius metalus, taip paverčiant užterštą nuotekų dumblą naudingą ir nekenksmingu aplinkai substratu.

Išanalizavus šia tema atliktų tyrimų rezultatus ir lyginant juos su mūsų tyrimų rezultatais, galima teigti, kad mūsų eksperimento rezultatai patvirtina Kalifornijos sliekų veiklos efektyvumą, šalinant sunkiuosius metalus iš nuotekų dumblo. Tyrimai parodė, jog vermikompostuojant nuotekų dumblą dideli sunkiųjų metalų kiekiai gali būti pašalinami.

Atlikus tyrimų analizę nustatyta, kad daugiausia iš nuotekų dumblo pašalinta chromo metalo. Nuotekų dumble chromo koncentracija sumažėjo nuo 92,62 mg/kg. Palyginus su pradine chromo koncentracija, nuotekų dumble ji sumažėjo 33,5 proc.

Lyginant procentinę koncentraciją pirmąją eksperimento parą ir paskutinę, matyti, kad daugiausia pašalinta nikelio metalo – 55,5 mg, šis kiekis sudaro 39,5 proc. pradinės koncentracijos kiekio.

Kadmio koncentracija nuotekų dumble eksperimento pabaigoje buvo mažesnė 32,6 proc., šio metalo pašalinta 60,75 mg/kg.

Po sunkiaisiais metalais užteršto vermikompostavimo rekomenduojama juos tvarkyti kaip pavojingąsias (sunkiųjų metalų turinčias) atliekas.

Literatūra

- Aalok, A., et al. 2008. Vermicomposting: a better option for organic solid waste management, *Journal of Human Ecology* 24(1): 59–64.
- Aktar, W.; Sengupta, D. 2008. *Sewage sludge disposal–land application–environmental problems – an overview* [interaktyvus], [žiūrėta 2013 m. sausio 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.shamskm.com/files/sewege-sludge-disposal-an-overview.pdf>
- Aleagha, M., et al. 2009. Bioaccumulation of heavy metals by Iranian Earthworm (*Eisenia fetida*) in the process of vermicomposting, *American – Eurasian Journal of Agriculture & Environment Science* 5(4): 480–484.
- Aleagha, M. M.; Ebadi, A. G. 2011. Study of heavy metals bioaccumulation in the process of vermicomposting, *African Journal of Biotechnology* 10(36): 6997–7001.
- Azizi, A. B., et al. 2013. Vermiremoval of heavy metal in sewage sludge by utilising *Lumbricus rubellus*, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 90: 13–20. ISSN 0147-6513
- Baltrėnas, P.; Butkus, D.; Vasarevičius, S.; Oškinis, V.; Zigmontienė, A. 2008. *Aplinkos apsauga*. Vilnius: Technika, 14–125. <http://dx.doi.org/10.3846/995-S>
- Begum, A.; Krishna, H. 2010. Management of municipal sewage sludge by vermicomposting technique, *International Journal of ChemTech Research* 2(3):1521–1252.
- Fytli, D.; Zabaniotou, A. 2008. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12: 116–140. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2006.05.014>
- Harrison, E. Z.; Oakes, S. R. 2002. Investigation of alleged health incidents associated with land application of sewage sludges, *New Solutions* 12(4): 387–408. <http://dx.doi.org/10.2190/0FJ0-T6HJ-08EM-HWW8>
- Jackel, U.; Thummes, K.; Kampfer, P. 2005. Thermophilic methane production and oxidation in compost, *FEMS Microbiology Ecology* 52: 175–184. <http://dx.doi.org/10.1016/j.femsec.2004.11.003>
- Frank, R.; Klauck, C.; Stonefield, K. I. 1983. Metal transfer in vermicomposting of sewage sludge and plant wastes, *The Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 31: 673–679. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01606044>
- Lock, K.; Janssen, C. R. 2002. Ecotoxicity of chromium (III) to *Eisenia fetida*, *Enchytraeus albidus*, and *Folsomia candida*, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 51: 203–205. <http://dx.doi.org/10.1006/eesa.2001.2122>
- Lekshmanaswamy, M.; Yasothea, D. 2012. Vermitechnology – an eco–biological tool for management of solid wastes, with special reference to pressmud, sludge and cowdung, *Indian Journal of Natural Sciences* 11(11): 864–964. ISSN 0976-0997.
- Nagavallema, K. P., et al. 2004. *Vermicomposting: recycling wastes into valuable organic fertilizer*. Global Theme on Agrecosystems Report No. 8. 17 p.
- Pattnaik, S.; Reddy, W. 2011. Heavy metals remediation from urban wastes using three species of earthworm (*Eudrilus eugeniae*, *Eisenia fetida* and *Perionyx excavatus*), *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology* 3(14): 345–356.
- Seleiman, M., et al. 2010. Sewage sludge as nutrient source for bioenergy crops, iš *Maataloustieteen Päivät*. Department of Applied Biology, University of Helsinki.
- Shaymaa, M., et al. 2010. Removal of aluminium, lead and nickel from industrial sludge via vermicomposting process, *World Applied Science Journal* 10(11): 1296–1305. ISSN 1818-4952.
- Shahmansouri, M. R.; Pourmoghadam, H.; Parvaresh, A. R.; Alidadi, H. 2005. Heavy metals bioaccumulation by Iranian and Australian earthworms (*Eisenia fetida*) in the sewage sludge vermicomposting, *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 2(1): 28–32.
- Singh, N. B., et al. 2004. Optimum moisture requirement during vermicomposting using *Perionyx excavatus*, *Applied Ecology and Environmental Research* 2(1): 53–62.
- Singh, J.; Kalamdhad, A. S. 2012. Reduction of heavy metals during composting – a review, *International Journal of Environmental Protection* 2(9): 36–43. <http://dx.doi.org/10.15666/aeer/02053062>
- Sinha, R. K., et al. 2009. Earthworms vermicompost: a powerful crop nutrient over the conventional compost & protective soil conditioner against the destructive chemical fertilizers for food safety and security, *American – Eurasian Journal of Agricultural And Environmental Science* 5: 14–22. ISSN 1818-6769.
- Suthar, S.; Singh, S. 2008. Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (*Perionyx excavatus* and *Perionyx sansibaricus*), *International Journal of Environmental Science and Technology* 5(1): 99–106. ISSN 1735-1472.
- Zuokaitė, E.; Zigmontienė, A. 2009. Amoniako ir metano dujų, išsiskiriančių kompostuojant nuotekų dumblą, tyrimai, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 1(4): 110–113.

CHANGES IN THE CONCENTRATION OF HEAVY METALS (Cr, Cd, Ni) DURING THE VERMICOMPOSTING PROCESS OF SEWAGE SLUDGE

A. Zigmontienė, I. Liberytė

Abstract

Sewage sludge treatment and utilization is an important issue for a biodegradable waste management strategy. Heavy metals in sewage sludge complicate its use. Vermicomposting is one of the ways to improve the characteristics of sewage sludge and to reduce the residual concentrations of heavy metals.

Study on changes in the concentration of heavy metals (Chromium, Nickel and Cadmium), when vermicomposting sewage sludge, was performed using Californian earthworms (*Eisenia fetida*). For that purpose, 60 kg of sewage sludge from Vilnius Waste Water Treatment Plant were taken thus inserting 1.5 kg of Californian earthworms into it. Optimal conditions for work (optimum temperature, moisture, pH) for earthworms to survive were maintained in the course of the study that lasted 120 days and was conducted in June – August. The samples of sewage sludge and earthworms were taken every 10 days. The concentrations of heavy metals in sewage sludge were measured using atomic absorption spectroscopy.

Keywords: organic waste, heavy metals, vermicomposting, vermicompost, Californian earthworms.