



VILNIAUS GEDIMINO
TECHNIKOS UNIVERSITETAS

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

APLINKOS APSAUGOS KATEDRA

Indrė Liberytė

**SUNKIŲJŲ METALŲ (Cr, Cd, Ni) KONCENTRACIJŲ KAITOS IR
BIOAKUMULIACIJOS *KALIFORNIJOS SLIEKUOSE*
VERMIKOMPOSTUOJANT NUOTEKŲ DUMBLĄ
EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI IR VERTINIMAS**

**HEAVY METALS (Cr, Cd, Ni) CONCENTRATIONS AND
BIOACCUMULATION BY *CALIFORNIAN EARTHWORMS* IN THE
PROCESS OF VERMICOMPOSTING SEWAGE SLUDGE**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H17004

Atliekų tvarkymo technologijos specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2014

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Aplinkos apsaugos katedra

ISBN
Egz. Sk. ...1.....
Data 2014 – 06 - 11

Antrosios pakopos studijų **Aplinkos inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas 4 (atliekų tvarkymo technologija)

Pavadinimas **Sunkiųjų metalų (Cr, Cd, Ni) koncentracijų kaitos ir bioakumuliacijos Kalifornijos sliekuose vermikompostuojant nuotekų dumblą eksperimentiniai tyrimai ir vertinimas**

Autorius **Indrė Liberytė**

Vadovas **Aušra Zigmontienė**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe yra nagrinėjamos nuotekų dumblo susidarymo ir tvarkymo problemos, analizuojamos nuotekų dumblo apdorojimo ir panaudojimo žemės ūkyje galimybės. Kaip praktiškas, finansiškai optimalus, techninių reikalavimų nekeliantis nuotekų dumblo apdorojimo būdas yra pateikiamas vermikompostavimas. Darbe analizuojama vermikompostavimo technologija, nagrinėjama jos panaudojimo galimybė Lietuvoje, apžvelgiama užsienio šalių patirtis.

Darbe pateikiami atlikti sunkiųjų metalų (Cr, Cd, Ni) pašalinimo ir jų bioakumuliacijos Kalifornijos sliekuose tyrimai. Yra pateikiama eksperimentinių tyrimų metodika. Taip pat pateikiami eksperimento, kuriuo siekiama nustatyti sunkiųjų metalų pašalinimą ir jų bioakumuliaciją Kalifornijos sliekuose, rezultatai ir analizė. Pateikiami atliktų bendrųjų kokybinių nuotekų dumblo vermikomposto parametrų tyrimų rezultatai. Sudarant empirines formules, nustatomas dėsnis, pagal kurį vyko vermikompostavimo procesas. Nustatomas optimali laiko trukmė, per kurią bioakumuliuojama daugiausiai sunkiųjų metalų. Išnagrinėjus tyrimų rezultatus yra pateikiamos išvados ir rekomendacijos.

Baigiamąjį magistro darbą sudaro 8 dalys: įvadas, nuotekų dumblo tvarkymo metodų ir ir vermikompostavimo procesų apžvalga, sunkiųjų metalų koncentracijos kaitos vermikompostuojant nuotekų dumblą tyrimo metodika, rezultatų dalis, sunkiųjų metalų koncentracijos kaitos ir bioakumuliacijos vermikompostuojant nuotekų dumblą matematinis modeliavimas, bendrosios išvados, rekomendacijos, literatūros sąrašas ir priedai.

Darbo apimtis – 96 psl. be priedų, 38 pav., 7 lent., 111 literatūros šaltiniai.

Nuotekų dumblas, sunkieji metalai, vermikompostas, Kalifornijos sliekai.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Environmental Protection

ISBN
Copies No. ...1.....
Date 2014 – 06 - 11

Master Degree Studies **Environmental Engineering** study programme Master Graduation Thesis 4 (Waste Treatment Technology)

Title **Research and Evaluation of Heavy Metals (Cr, Cd, Ni) concentration and bioaccumulation in the process of sewage sludge vermicomposting**

Author **Indrė Liberytė**

Academic supervisor **Assoc Prof Dr Aušra Zigmontienė**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

The problems of sewage sludge formation and management are investigated in the Master's thesis, sewage sludge treatment and use in agriculture is analyzed as well. As a practical, financial attractive sewage sludge treatment method is given vermicomposting, as having low-technical needs. There is a technology of vermicomposting analyzed in a work as well as its applicability in Lithuania. Also an experience of vermicomposting in other foreign countries is investigated.

The research of removal of heavy metals (Cr, Cd, Ni) and their bioaccumulation in Californian earthworms is presented in the work. A methodology of the research is given. Results and their analysis of the research of removal of heavy metals and their bioaccumulation in Californian earthworms is presented. Results of a qualitative parameters of vermicomposted sewage sludge is given. When forming empirical formulas a vermicomposting process' law is generated using MathCad computer program. An optimal time is determined, during which the vermicomposting process proceeded. The conclusion and recommendation were made after the literature review and analysis of research results.

The thesis consists 7 parts: introduction, a review of sewage sludge treatment methods and process of vermicomposting, the methodology of heavy metals (Cr, Cd, Ni) concentration and bioaccumulation in Californian earthworms research, results, the mathematical modeling of heavy metals (Cr, Cd, Ni) concentration and bioaccumulation in Californian earthworms, conclusion, recommendation, literature and appendix.

The size of work – 98 pages without appendixes, 38 pictures., 7 tables., 111 sources of literature.

Sewage sludge, heavy metals, vermicompost, Californian earthworms.

TURINYS

Paveikslų sąrašas	6
Lentelių sąrašas	8
Santrumpos	9
IVADAS	10
IVADAS	10
1. NUOTEKŲ DUMBLO TVARKYMO METODAI IR VERMIKOMPOSTAVIMO PROCESŲ APŽVALGA	13
1.1. Nuotekų dumblas, jo susidarymas ir sudėtis	13
1.1.1. Nuotekų dumblo susidarymas	14
1.1.2. Nuotekų dumblo sudėtis	15
1.2. Nuotekų dumblo apdorojimo būdai	17
1.3. Nuotekų dumblo panaudojimas	22
1.4. Sunkieji metalai nuotekų dumble	24
1.5. Sliekų panaudojimo nuotekų dumblo tvarkymo procesuose galimybės	26
1.5.1. Vermikompostavimo technologijos analizė	27
1.5.2. Vermikompostavimui naudojami sliekai	31
1.5.3. Vermikompostavimo procesas	35
1.5.4. Vermikompostavimo proceso reikalavimai	36
1.6. Skyriaus apibendrinimas	38
2. SUNKIŲJŲ METALŲ KONCENTRACIJOS KAITOS VERMIKOMPOSTUOJANT NUOTEKŲ DUMBLĄ TYRIMAS	40
2.1. Tyrimo objektas	40
2.2. Tyrimo tikslas	40
2.3. Tyrimo uždaviniai	40
2.4. Tyrimo metodo esmė	40
2.5. Tyrimo atlikimo eiga	40
3. REZULTATAI	50
3.1. Eksperimentinių tyrimų statistinis įvertinimas	50
3.2. Eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė	51
3.2.1. Dumblo stabilizavimo rodikliai	65
3.3. Skyriaus išvados	68
4. SUNKIŲJŲ METALŲ (CR, CD, NI) BIOAKUMULIACIJOS KALIFORNIJOS SLIEKUOSE VERMIKOMPOSTUOJANT NUOTEKŲ DUMBLĄ MATEMATINIS MODELIAVIMAS	70
4.1. Matematinio modelio tyrimo eiga taikant mažiausių kvadratų metodą	70
4.2. Matematinis modeliavimas mažiausių kvadratų metodu	71
4.3. Didžiausios pašalinamos koncentracijos modeliavimas	80

4.4. Skyriaus apibendrinimas	84
IŠVADOS	86
REKOMENDACIJOS.....	88
LITERATŪROS SĄRAŠAS	89
PRIEDAI.....	97

Paveikslų sąrašas

1.1 pav.	Susidarančio dumblo kiekiai Lietuvoje 2004 m.-2016m. (Investicinė...,2006)	17
1.2 pav.	Dumblo susidarymo nuotekų valymo metu schema (European...,2001)	18
1.3 pav.	Galimų dumblo apdorojimo būdų schema (Dauknys 2011)	22
1.4 pav.	Kompostavimo proceso schema (Brazas 2011)	23
1.5 pav.	Kompostavimo srautų schema (Garg 2009)	24
1.6 pav.	Dumblo panaudojimo galimybės	29
1.7 pav.	Užterštumo sunkiaisiais metalais schema (Ottaviani 1989)	29
1.8 pav.	Vermikompostavimo principinė schema rietuvėje (dėžėje) (Aplinkos..., 2012)	31
1.9 pav.	Didelės apimties vermikompostavimo ložės (www.biztrademarket.com)	32
1.10 pav.	Eisenia fetida sandara (www.happydranch.com)	36
1.11 pav.	Slieko organizme vykstantis virškinimo procesas	38
2.1 pav.	Tiriamąjį dumblo talpinimo dėžė	44
2.2 pav.	Tiriamąjį dumblo talpinimo dėžė, paruošta vermikultūros įterpimui	44
2.3 pav.	Kalifornijos sliekų aklimatizacijos dėžė su dviem sekcijomis	46
2.4 pav.	Vermikompostavimui paruoštas dumblas ir jo talpinimo dėžė	46
2.5 pav.	Atominės absorbcijos spektrometras (AAS) Buck Scientific 210 VGP	50
3.1 pav.	Chromo (Cr) koncentracijos kaita vermikompostuojant nuotekų dumblą	55
3.2 pav.	Kadmio (Cd) koncentracijos kaita vermikompostuojant nuotekų dumblą	56
3.3 pav.	Nikelio (Ni) koncentracijos kaita vermikompostuojant nuotekų dumblą	58
3.4 pav.	Sunkiųjų metalų koncentracijų pokyčiai nuotekų dumble lyginant su pradinėmis vertėmis	59
3.5 pav.	Kadmio (Cd) koncentracijos sliekų audiniuose kaita	60
3.6 pav.	Chromo (Cr) koncentracijos sliekų audiniuose kaita	61
3.7 pav.	Nikelio (Ni) koncentracijos sliekų audiniuose kaita	62
3.8 pav.	Sunkiųjų metalų koncentracijų pokyčiai (mg/kg) sliekų audiniuose	63
3.9 pav.	metalų koncentracijų pokyčiai nuotekų dumble bei sliekų audiniuose, %	63
3.10 pav.	Sunkiųjų metalų koncentracijų pokyčiai nuotekų dumble bei sliekų audiniuose, mg/kg	64
3.10 a pav.	Chromo koncentracijų nuotekų dumble ir sliekuose kaitos spartos palyginimas	65
3.11 pav.	Chromo nuotekų dumble ir sliekuose koncentracijų kaitos per pirmąsias 60 dienų	65
3.12 pav.	Kadmio nuotekų dumble ir sliekuose koncentracijų kaitos spartos palyginimas	66
3.12 a pav.	Kadmio nuotekų dumble ir sliekuose koncentracijų kaita per pirmas 70 dienų	67
3.13 pav.	Nikelio nuotekų dumble ir sliekuose koncentracijų kaitos spartos palyginimas	67
3.13 a pav.	Nikelio nuotekų dumble ir sliekuose koncentracijų kaitos per pirmas 70 dienų	68
3.14 pav.	Bendrosios anglies kiekis nuotekų dumble	68
3.15 pav.	Nuotekų dumblo drėgmės kiekis, %	69
3.16 pav.	Nuotekų dumblo pH vertės proceso metu	69

3.17 pav. Bendrosios anglies kiekio, drėgmės kiekio ir pH reikšmių palyginimas	70
3.18 pav. Aplinkos ir nuotekų dumblo temperatūra proceso metu	70

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Dumblo skirstymas į klases pagal mikrobiologinius-parazitologinius parametrus	10
1.2 lentelė. Dumblo skirstymas į kategorijas pagal sunkiųjų metalų koncentraciją	10
1.3 lentelė. Vermikopostą sudarančių maistinių medžiagų kiekiai (Handbook..., 2006)	30
2.1 lentelė. Metalų koncentracijos	43
2.2 lentelė. Pagrindinės sąlygos atominei absorbcinei spektroskopijai	48
3.1 lentelė. Statistinių parametrų dydžių skaičiavimo pavyzdys	52
3.2 lentelė. Pradinės sunkiųjų metalų koncentracijos nuotekų dumble	52
4.1 lentelė. Duomenys, naudojami matematiniam modeliavimui	69

Santrumpos

Cd – kadmis

Cr – chromas

ES – Europos Sąjunga

HN – higienos norma

kol. Sk./g – kolonijų skaičius grame

LAND – Lietuvos aplinkos apsaugos normatyvinis dokumentas

LR – Lietuvos Respublika

mg/kg – miligramai kilograme

Ni – nikelis

PAH – policikliniai aromatiniai angliavandeniliai

PCB – polichlorinti bifenilai

°C – laipsniai Celsijaus

Pvz. – pavyzdžiui

Nr. – numeris

pH – rūgštingumas

pav. – paveikslas

NO₂ – azoto dioksidas

NO₃ – nitratas

NH₄ – amonio azotas

CH₄ – metanas

Tūkst. - tūkstantis

IVADAS

Problema

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

Dabartinė Lietuvos atliekų tvarkymo sistema yra galutinėje kūrimo stadijoje. Mūsų šalyje populiariausia vis dar yra atliekų deponavimo strategija, kuri pagal atliekų tvarkymo hierarchiją yra nepriimtiniausia dėl neigiamo poveikio aplinkai. Įgyvendinant tvariosios plėtros idėjas, Lietuva stengiasi gerinti esančią situaciją. Valstybiniame strateginiame atliekų tvarkymo plane prioritetą teikiamas atliekų perdirbimui ar pakartotiniam jų panaudojimui.

Viena iš atliekų tvarkymo problemų yra dumblo, susidariusio valant nuotekas, nukenksminimas ir panaudojimas. Daugybę metų ši problema nebuvo tinkamai sprendžiama, todėl šiandien nuotekų valyklose yra susikaupę milžiniški kiekiai nuotekų dumblo. Lietuvoje kasmet susidaro apie 80 tūkstančių tonų nuotekų dumblo, o didžiausia dalis šio kiekio vis dar sandėliuojama valyklų aikštelėse. Nuotekų valyklos nebepajėgia sutvarkyti tokių atliekų kiekių, o didėjant nuotekų išvalymo efektyvumams, technologijų tobulumui ir griežtėjant nuotekų aplinkosauginiams standartams, šis kiekis dar padidės. Taigi dumblo tvarkymo problema tampa vis aktualesne.

Nuotekų dumblo sandėliavimas aikštelėse – populiariausias Lietuvoje šių atliekų tvarkymo būdas, kuris kelia nemažai aplinkosaugos problemų. Visų pirma yrant šioms atliekoms išsiskiria šiltnamio efektą skatinančios dujos, tokios kaip anglies dvideginis (CO_2), metanas (CH_4) ir diazoto dujos (N_2O). Valyklose susidarantis dumblo kiekis yra didelis, taigi dideli ir šių dujų emisijų kiekiai. Kita problema - nemalonių kvapų sklaidimas. Yrant nuotekų dumblui, išsiskiria vandenilio sulfidai (H_2S), amoniako dujos (NH_3), metilaminas (CH_3NH_2) ir kiti junginiai, turintys itin aštrų ir nemalonų kvapą.

Taip pat sandėliuojant dumblą galimas dirvožemio, požeminių ar paviršinių vandenų užteršimo pavojus. Sandėliuojant dumblą aikštelėse, ji turi būti įrengta taip, kad dumblo skystoji dalis neprasiskverbtų pro apsauginį sluoksnį ir nepatektų į dirvožemį ir požeminius vandenis.

Kasmet toks dumlo tvarkymas reikalauja didelių žemės plotų, kurie galėtų būti panaudojami kitokiems poreikiams. Todėl yra privalu ieškoti tokių nuotekų dumblo apdorojimo ir panaudojimo būdų, kurie ne tik sumažintų ekologines problemas, bet ir jas padėtų spręsti.

Darbo aktualumas

Degraduojanti aplinka yra viena didžiausių pasaulio problemų, o per didelis cheminių trąšų naudojimas esamą situaciją dar pablogina – dirvožemis praranda derlingumą ar jis bent mažėja. Nevaldomas trąšų naudojimas neigiamai veikia ūkio našumą ir kelia dirvožemio degradaciją. Dabar jau pradedama suprasti, jog ekologiškas ir atitinkantis tvariosios plėtros idėjas ūkininkavimas gali pakeisti produktyvumo mažėjimo tendenciją ir pagerinti ūkio santykį su aplinka.

Nuotekų dumblas yra turtingas naudingų organinių medžiagų, o žemės ūkyje jo panaudojamas tik trečdalis. Naudojimas yra smarkiai apribotas, nes jame būna susikaupusios didelės sunkiųjų metalų ir mikrobiologinių teršalų koncentracijos. Apdoroto nuotekų dumblo panaudojimas žemės ūkyje gali būti itin naudingas, sprendžiant tokias problemas, kaip degraduojančio dirvožemio atstatymas ar žemės naudmenų pagerinimas tręšiant apdorotu dumbliu.

Dėl nuotekų valymo metu vykstančių cheminių, fizikinių ir biologinių procesų, dumble kaupiasi sunkieji metalai bei silpnai biodegraduojantys organiniai junginiai, o galiojantys aplinkosaugos teisiniai dokumentai leidžia naudoti komunalinių nuotekų dumblą žemės ūkyje tik tuomet, jei jame esančių kenksmingų medžiagų, tokių kaip sunkieji metalai, kiekis neviršija leistinų normų. Todėl kaip vienas iš sprendimų šioms problemoms spręsti taikomas nuotekų dumblo stabilizavimas jį vermikompostuojant.

Nors vienas populiariausių ir efektyviausių dumblo panaudojimo būdų yra biodujų gamyba jį pūdant, tam reikia įrenginių, kainuojančių didelius kaštus. Finansiškai vermikompostavimas yra labiau priimtinas dumblo apdorojimo būdas.

Pasaulyje vermikompostavimas yra plačiai paplitusi ir efektyviai naudojama organinių atliekų, tarp jų ir dumblo, tvarkymo technologija. Yra atlikta daugybė mokslinių tyrimų, padedančių įrodyti vermikompostavimo naudą ir efektyvumą. Įvairių valstybių mokslininkai tyrė šį procesą. Indijos mokslininkas S. Hait'as atliko nemažai nuotekų dumblo vermikompostavimo skirtingomis sąlygomis tyrimų. Ispanų mokslininkas M. J. Fernandez – Gomez'as tyrinėjo vermikomposto poveikį augalams, taip pat skirtingų sąlygų poveikį sliekų veiklai. Augalų augimą vermikomposte tyrinėjo ir H. Deka, indų mokslininkas. Vermikomposto gamybai naudojamų *Eisenia fetida* sliekų veiklą ir savybes tyrinėjo Korėjos mokslininkas S. W. Hong. K.D. Yagav – dar vienas Indijos tyrinėtojas, domėjęsis vermikompostavimo galimybėmis.

Temos naujumas

Tiriamas Vilniaus nuotekų valyklos dumble esančių sunkiųjų metalų – kadmio (Cd), cromo (Cr) ir nikelio (Ni) – koncentracijų kitimas jį vermikompostuojant. Įvertinamas dumblo stabilizavimas panaudojant *Eisenia fetida* sliekus.

Darbo tikslas

Eksperimentiškai nustatyti sunkiųjų metalų koncentracijų kitimą vermikompostuojant komunalinių nuotekų dumblą ir įvertinti šio dumblo stabilizavimo procesus.

Darbo uždaviniai

- Eksperimentiškai nustatyti sunkiųjų metalų kiekio kitimą komunalinių nuotekų dumble;
- Ištirti sunkiųjų metalų koncentracijas sliekų audiniuose ir įvertinti pernašos faktorius;
- Įvertinti nuotekų dumblo stabilizavimo jį vermikompostuojant efektyvumą;
- Suformuluoti gautus rezultatus atitinkančias išvadas bei pateikti rekomendacijas.

Darbo praktinė reikšmė

Šio darbo rezultatai gali būti sėkmingai pritaikyti nuotekų dumblo, užteršto sunkiaisiais metalais, tvarkymo srityje. Aukštas vermikompostavimo efektyvumas, įrangos paprastumas, sąlygų prieinamumas, patikimas sunkiųjų metalų šalinimo būdas, taip apdoroto dumblo lengvas panaudojimas žemės ūkyje, ir santykinai nedidelės finansinės išlaidos tokiam dumblo stabilizavimui galėtų paskatinti nuotekų valyklas naudoti šį apdorojimo metodą.

1. NUOTEKŲ DUMBLO TVARKYMO METODAI IR VERMIKOMPOSTAVIMO PROCESŲ APŽVALGA

1.1. Nuotekų dumblas, jo susidarymas ir sudėtis

Nuotekų dumblas yra miestų ir gyvenviečių valymo įrenginiuose nuotekų valymo procese susidarantis dumblas (nuosėdos), apdorotas biologiniais, cheminiais, terminiais, ilgalaikio pūdymo (6 –8 mėn.) sandėliavimo būdais, sumažinančiais dumblo mikrobiologinį – parazitologinį užterštumą (Nuotekų dumblo...1996). Dumblui nepriskiriamos medžiagos ir elementai, sulaikomi grotose, sietuose, riebalų gaudyklėse, naftos gaudyklėse, smėliagaudėse, flotatoriuose ir pan. tai yra šiukšlės, smėlis, riebalai, naftos produktai (LAND 20-2005).

Nuotekų dumblas gali būti skirstomas pagal savo prigimtį į tris tipus:

- dumblas, susidaręs valant komunalines nuotekas, sudarytas iš buitinių nuotekų, buitinių ir pramoninių nuotekų ar buitinių nuotekų, maišytų su lietaus nuotėkiu;
- dumblas, susidaręs valant pramonines nuotekas;
- dumblas, susidaręs ruošiant geriamąjį vandenį (European..., 2001).

Itin svarbi nuotekų dumblo klasifikaciją pagal jame esančių teršalų tipą ir jų koncentraciją. Lietuvos aplinkos apsaugos normatyviniame dokumente „Nuotekų naudojimo tręšimui ir rekultyvavimui reikalavimai“ LAND 20-2005 nuotekų dumblas skirstomas į klases, atsižvelgiant į mikrobiologinius – parazitologinius parametrus (1.1 lentelė).

1.1 lentelė. Dumblo skirstymas į klases pagal mikrobiologinius-parazitologinius parametrus (LAND 20-2005)

Dumblo klasė	Fekalinė žarnyno lazdelė (Escherichia Coli), kol.sk./g	Anaerobinės klostridijos (Clostridium perfringens), kol.sk./g	Helmintų kiaušinėliai ir lervos, vnt./kg	Patogeninės enterobakterijos, kol. sk./g
A	≤ 1000	≤ 100 000	0	0
B	1001 – 100 000	100 001 – 10 000 000	1 - 100	0
C	> 100 000	> 10 000 000	> 100	> 1

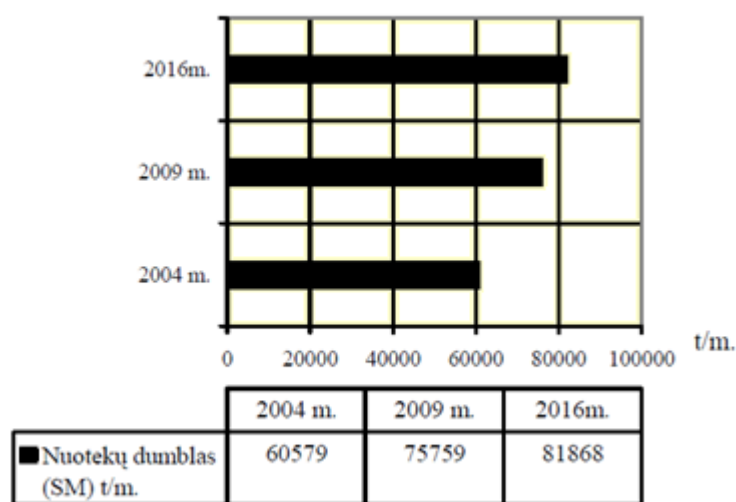
Kategorijos nuotekų dumblui yra sudarytos atsižvelgiant į sunkiųjų metalų kiekį (1.2 lentelė).

1.2 lentelė. Dumblo skirstymas į kategorijas pagal sunkiųjų metalų koncentraciją (LAND 20-2005)

Dumblo kategorija	Sunkiųjų metalų koncentracija, mg/kg						
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Hg
I	< 140	< 1,5	< 140	< 75	< 50	< 300	< 1,0
II	140 - 750	1,5 – 20	140 – 400	75 – 4000	50 – 300	300 – 2500	1,0 – 8,0
III	> 750	> 20	> 400	> 4000	> 300	> 2500	> 8,0

Nuotekų dumblo skirstymas pagal šiuos parametrus yra reikšmingas, vertinant dumblo panaudojimo galimybes ir taikant apdorojimo būdus.

Europos komiteto pateiktoje galutinėje ataskaitoje apie nuotekų dumblo naudojimą Europoje (2010) pateikiama, kad Lietuvoje 2010 metais nuotekų valyklose susidarė 80 tūkstančių tonų dumblo, iš kurio 30% buvo panaudota žemės ūkyje, o 5% buvo užkasta. Kadangi likusioji dumblo dalis lieka nepanaudota ir kaupiasi valyklų aikštelėse, iškyla problema, kur susidariusį dumblą panaudoti. 1.1 paveiksle pavaizduota dumblo, susidariusio valant nuotekas, kiekio prognozė 2016 metams.



1.1 pav. Susidarančio dumblo kiekiai Lietuvoje 2004 m.-2016m. (Investicinė...,2006)

1.1 paveiksle pateikiami duomenys vaizduoja nuotekų dumblo didėjimo prognozes. Daugiausia dumblo susidaro valant komunalines ir mišrias nuotekas (Lietuvos respublikos.. 2002).

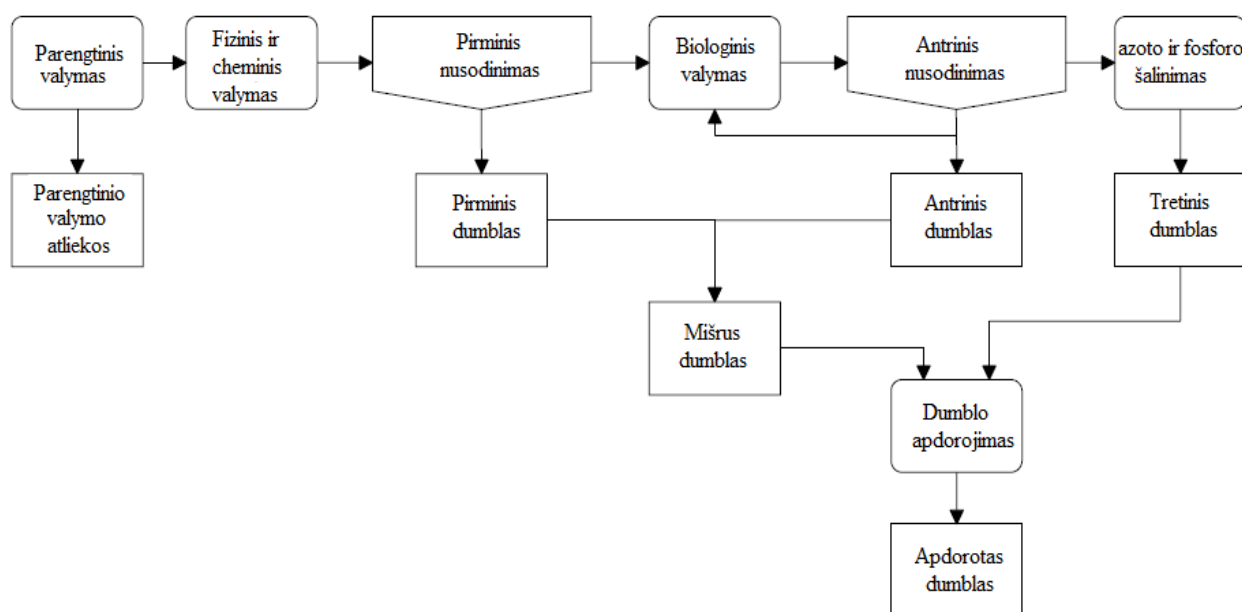
1.1.1. Nuotekų dumblo susidarymas

Iš vandenį naudojančių gyventojų, kai kurių pramonės įmonių surinktos nuotekos, atkeliavusios į nuotekų valyklą, pereina per seriją įvairių valymo etapų, kuriuose naudojami fiziniai, biologiniai ir cheminiai valymo procesai, kad būtų pašalintos kietosios ir maistinės medžiagos, išskaidytos organinės medžiagos ir sunaikinti patogenai vandenyje (Stehouwer, 1999).

Nuotekų dumblas susidaro visose (pirminio, antrinio, tretinio) nuotekų valymo pakopose. Pirminio valymo metu susidaręs dumblas faktiškai yra iš nuotekų pašalintos kietosios medžiagos.

Pagrindinę dalį antrinio dumblo sudaro biologiškai užaugusi mikroorganizmų biomasė bei pirminio valymo metu nepašalintos smulkios kietųjų medžiagų dalelės (Aplinkos ministerija, 2008). Dažniausiai nuotekų dumblas susidaro taip (1.3 paveikslas): iš gyventojų surinktos nuotekos visų pirma prateka pro grotas, kuriose sulaikomi stambiausi nešmenys. Po to nuotekamasis vanduo pasiekia smėliagaudę – specialų įrenginį, kuriame yra nusodinamos smėlis ar

panašios mineralinės medžiagos. Šis etapas vadinamas parengtiniu nuotekų valymu. Po jo nuotekos atsiduria dideliuose rezervuaruose – pirminiuose nusodintuvuose, kuriuose yra nusodinamas vadinamasis pirminis dumblas. Iš pirminių nusodintuvų nuotekos leidžiamos į aerotankus (biologinis valymas), į kuriuos papildomai tiekiamas oras, kad greičiau dauginųsi bakterijos, perdirbančios teršalus, esančius nuotekose. Aerotankuose valytas vanduo suteka į antrinį nusodintuvą. Juose nusodintas aktyvus dumblas (antrinis dumblas) paduodamas į dumblo apdorojimo barą, o dalis grąžinama į aerotanką vėl valyti nuotekas. Jei valytose nuotekose yra per didelis azoto ir fosforo kiekis, joms turi būti taikomas tretinis valymas, kurio metu susidaro tretinis dumblas. Jis, kartu su pirminio ir antrinio dumblo mišiniu keliauja į dumblo apdorojimo sektorių.



1.2 pav. Dumblo susidarymo nuotekų valymo metu schema (European...,2001)

Dumblo charakteristikos bei dumblo kiekis priklauso nuo į nuotekų valyklą atitekančių nuotekų sudėties, nuotekų valyklų technologinės schemos bei naudojamų valymo metodų. Nuotekų dumblo susidarymui turi įtakos ir iš pramonės įmonių į aglomeracijų nuotekų valyklas atitekančios nuotekos tiek savo kiekiu, tiek ir taršos lygiu (Investicinė...,2006).

1.1.2. Nuotekų dumblo sudėtis

Nuotekų dumblo sudėtis apytikriai gali būti suskirstyta ir nusakyta 5 pagrindinėmis komponentų grupėmis:

- Nekenksmingi organinės anglies, Kjeldalio azoto ir fosforo turintys komponentai;
- Toksiškos medžiagos:

- sunkieji metalai – Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Cd, Hg, As (kiekiai kinta nuo daugiau kaip 1000 ppm iki mažiau kaip 1 ppm);
- polichlorinti bifenilai (PCB), policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAH), dioksinai, pesticidai, endokrinu sardančios medžiagos, linijiniai aliklsulfonatai, fenoliai ir kt.;
- Patogenai ir kiti mikrobiologiniai teršalai;
- Neorganiniai komponentai, pavyzdžiui silikatai, aluminatai, kalcio ir magnio turintys komponentai.
- Vanduo (jo kiekis dumble svyruoja nuo kelių iki 95 proc. ((Rulkens 2003, Marchioretto 2003).

Nuotekų dumble yra žemės ūkiui vertingų junginių ir teršalų. Vertingą žemės ūkiui dumblo dalį sudaro organinės medžiagos, azotas, fosforas ir kalis, taip pat nedidelės kalcio, sieros ir magnio koncentracijos. Teršalai paprastai būna organiniai teršalai, patogenai bei sunkieji metalai (European..., 2001). Tuo pat metu nuotekų dumblas yra sudėtingas biologinis mišinys, sudarytas iš daugybės medžiagų.

Dumblas yra labai sudėtingas analizės objektas, kurį sudaro labai įvairūs elementai: biogeninės medžiagos, patogeniniai organizmai, sunkieji metalai, begalė organinių junginių. Nuotekų dumblas kelia potencialų pavojų sveikatai ir aplinkai, nes jame yra labai daug cistos pirmuonių, parazitų kiaušinėlių, fekalinių patogenų, pavyzdžiui, salmonelių (*Salmonella*), *Shigella* bakterijų ir *Escherichia coli*, o taip pat sunkiųjų metalų, pavyzdžiui, cinko, kadmio, gyvsidabrio ir vario (Sinha 2009, Daukšas 2004).

Organinės medžiagos sudaro 40-80 % sausosios masės, priklausomai nuo nuotekų valymo technologijų būdo t.y. aerobinis ar anaerobinis, ir nuo nuotekų rūšies, t.y. yra valomos buitinės, pramoninės ar maišytos nuotekos. Žmogaus fekalinės medžiagos yra pagrindinis organinių medžiagų šaltinis nuotekų dumble. Nors tam tikros pramonės šakos gali prisidėti žymiai daugiau prie organinio medžiagų kiekio, esančio nuotekų dumble. Daugiausia organinių medžiagų, randamų nuotekų dumble, yra riebalai, baltymai, angliavandeniai, aliejai, amino rūgštys, celiuliozė, žmonių ir gyvūnų ekskrementai ir riebios rūgštys. Gyvi ir negyvi mikroorganizmai (patogeniniai mikroorganizmai) sudaro taip pat nemažą dalį organinės medžiagos, esančios nuotekų dumble (Schowanek et al., 2004).

Antropogeninės kilmės organinių junginių (patvariųjų organinių teršalų) nuotekų dumble identifikuojama daugiau kaip 300, ir dauguma iš jų gali patekti į aplinką. Dažniausiai randami organiniai teršalai: polichlorinti bifenilai (PCB), polichlorinti dibenzo-p-dioksinai ir dibenzofuranai (PCDD/PCDF), angliavandeniliai, policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAH), įvairūs pesticidai (Įgyvendinant...2005).

Į nuotekų dumblo sudėtį taip pat įeina ir biogeninės medžiagos. Azoto ir fosforo sausoje dumblo masėje nustatoma vidutiniškai 1,5 – 3%. Organinis azotas yra pagrindinė maisto medžiaga gyviesiems organizmams, įeinanti į amino rūgščių, proteinų, baltymų, vitaminų, (RNR) ir (DNR) sudėtį, dalyvaujanti jų sintezėje (Kašėtaitė, 2007). Nuotekų dumble esantis bendrasis azotas susideda iš kelių azoto formų. Tai visų pirma bendrasis azotas, taip pat nitritai ir nitratai, amonis ir amoniakas, ištirpęs dujinis organinis azotas, suspenduotas lengvai degraduojantis azotas ir suspenduotas dujinis (organinis) azotas (Vaisiūnaitė, 2011).

Fosforas nuotekų dumble dažniausiai atsiranda gyvntojams naudojant įvairius detergentus – ploviklius, skalbimo miltelius ir kt. Dažnai fosforas dumble aptinkamas fosfatų pavidalu. Kai nuotekų dumblas naudojamas žemės ūkyje, daug dėmesio yra skiriama azotui ir jo junginiams.

Rekomendacijos, reguliuojančios dumblo paskirstymą ant dirvožemio, dažniausiai remiasi kultūrinių augalų azoto poreikiu. Tačiau dumble yra tam tikras kiekis fosforo, kurio nepaisyti negalima. Nuotekų dumble fosforas pasitaiko tiek organinės, tiek neorganinės kilmės. Yra nustatyta, kad fosforas į nuotekų valymo įrenginius daugiausiai patenka junginių pavidale, dumble mineralų pavidalu fosforas aptinkamas 65 – 85 % (O'Riordan, 1987).

Šie elementai siejami su nebūdingu, pernelyg sparčiu aukštesniųjų augalų ir kitų organizmų (dumblių, fitoplanktono) vystymusi, biologinio produktyvumo didėjimu vandens telkiniuose, kuris lemia vandens masės fizinių ir cheminių savybių bei biotopų kaitą, skatina vandens telkinių uždumblėjimą, kitaip eutrofikaciją. Kai yrant biomasei sunaudojama daugiau deguonies, dėl to jo pradeda trūkti. Tačiau per dideli šių medžiagų kiekiai taip pat sukelia ir papildomai problemų sausumos augalams, slopina augalų augimą (Vaisiūnaitė, 2011).

1.2. Nuotekų dumblo apdorojimo būdai

Pasaulyje yra žinomas ne vienas nuotekų valykloje susidariusio dumblo apdorojimo būdas. Populiariausi yra tokie:

- Aerobinis pūdyimas,
- Anaerobinis pūdyimas,
- Kompostavimas,
- Terminis apdorojimas
- Stabilizavimas kalkėmis (McGhee ir Steel, 1991)

Visi šie metodai naudojami siekiant sumažinti organinių medžiagų ir mikroorganizmų, galinčių sukelti įvairias ligas, kiekį, gerinant nuotekų dumblo laikymo sanitarines sąlygas. pasaulyje mažiau populiarūs dumblo apdorojimo procesai – stabilizavimas kalkėmis ir terminis apdorojimas.

Kalkės yra plačiai naudojamos koaguluoti ir stabilizuoti pramonės likutinį dumblą arba išsiurbtą valymo įrenginių dumblą bei miesto biologinės kietosios medžiagos apdorojimui prieš pakartotinį dumblo naudojimą žemės tręšimui ar deginimui (Naujasis., 2013). Procesas vykdomas kalkėmis padidinant dumblo pH > 12 ir palaikant ilgiau kaip 2 valandas. Po 24 valandų pH rodiklis turi išlikti ne mažesnis kaip 11,5 (Lietuvos..., 2005).

Pagrindinė problema, susijusi su dumblo kalkinimu, yra talpyklų, vamzdynų ir kitos įrangos matmenų parinkimas bei stabilizuoto nuotekų dumblo pašalinimas. Be to, dumblo stabilizavimas kalkėmis nesumažina jo kiekio, kaip sumažina biologinis apdorojimas. Taip pat trūkumas – kalkinimas trumpą laiką stabdo biologinį aktyvumą (Wiessman ir Hammer, 1993, Tray 1995).

Dumblo deginimui Europoje naudojamos trys pagrindinės technologijos: verdančio sluoksnio katiluose, kartotinio žaizdro katilinėse ir deginamos kartu su kitomis komunalinėmis atliekomis (atliekų deginimo įrenginiai) ar dažnai cemento pramonėje. Bet kokios naudotinos technologijos turi teigiamą ir (ar) neigiamą įtaką aplinkai (Podgaiskytė, 2008). Dumblas deginamas slėginėje talpoje, maždaug 260 °C temperatūroje apie 30 sekundžių. Dumblo deginimo tokiais sąlygomis poveikis – tirpių organinių junginių ir azoto išmetimas į aplinką (A general..., 2003).

Taip pat pasaulyje yra naudojama deginimo elektra technologija. Ji pagrįsta elektros infraraudonųjų spindulių sukeliama šiluminiu efektu.

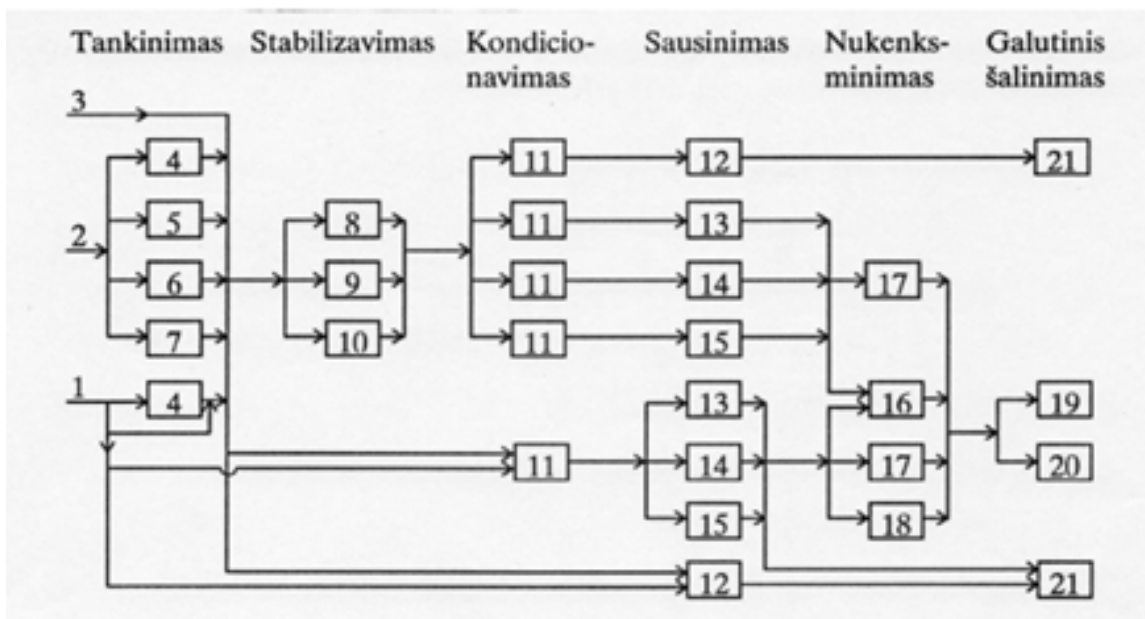
Elektrinius infraraudonuosius deginimo įrenginius sudaro horizontaliai orientuotos, izoliuotos krosnys. Dumblas keliauja pintos vielos konvejeriu, esančiu krosnyje, virš jo yra įtaisyti infraraudonieji kaitinimo elementai. Šie deginimo įrenginiai sudaryti iš surenkamų kaitinimo modulių, kurie gali būti jungiami reikalingo ilgio ir pan. (United states..., 2005).

Deginimas sumažina jo metu gautą šalintiną atliekų kiekį, visiškai sunaikina patogenus, suskaido didžiąją dalį organinių teršalų ir atgaunamas nedidelis energijos, susikaupusios nuotekų dumble, kiekis. Proceso metu susidarančių šalintinų atliekų kiekis sudaro tik 10–20% pirminio dumblo kiekio. Pelenuose lieka dalis lakiųjų metalų ir jų koncentracija padidėja 5–10 kartų (Stehouwer 1999).

Didelis šio metodo trūkumas yra didelės energijos sąnaudos ir stipria srove grąžinamas skystis iš nusausinimo proceso etapo (Tray, 1995).

Iš 1.3 paveikslo schemoje pateiktų metodų matyti, kad nuotekų dumblo apdorojimas vyksta keliais etapais. Pirmiausia reikia jį sutankinti specialiuose įrenginiuose, pavyzdžiui tankintuvuose, centrifugose, sietuose ar floatavimo įrenginiuose. Tuomet nuotekų dumblas yra stabilizuojamas metatankuose, mineralizatoriuose ar stabilizuojami kalkėmis. Po šio proceso nuotekų dumblas kondicionuojamas cheminiais reagentais. Kad dumblas būtų nusausinamas pakankamai, jis

papildomai apdorojamas centrifugose, filtruose ar filtrapresuose. Šiais būdais apdorotas dumblas panaudojamas pagal poreikį.



1.3 pav. Galimų dumblo apdorojimo būdų schema (Dauknyš, 2011). (1 – pirminių nusodintuvų dumblas; 2 – perteklinis aktyvusis dumblas, 3 – biologinė plėvelė; 4 – gravitaciniai tankintuvai; 5 – dekantavimo centrifugos ir separatoriai; 6 – būgniniai sietai; 7 – flotavimo įrenginiai; 8 – metatankai; 9 – aerobiniai mineralizatoriai; 10 – stabilizavimas kalkėmis; 11 – kondicionavimas cheminiais reagentais; 12 – dumblo sausavimo aikštelės; 13 – centrifugos; 14 – vakuuminiai filtrai; 15 – filtrapresiai; 16 – terminis džiovinimas ir deginimas; 17 – kompostavimas; 18 – stabilizavimas kalkėmis; 19 – žemdirbystės laukai; 20 – žemių rekultyvavimas; 21 – sąvartynai)

Lietuvoje dumblo apdirbimui taikomos tokios technologijos: pūdymas, džiovinimas, kompostavimas. Iš viso Lietuvoje per metus pūdoma 61511 SM (sausos medžiagos) tonų dumblo, o džiovinama – 53666 SM tonų dumblo (Kašėtaitė, 2007).

Apskritai, labiausiai pageidaujamas būdas neutralizuoti nuotekų dumblą yra kompostavimas. Tai sudėtingas procesas, kuriuo siekiama:

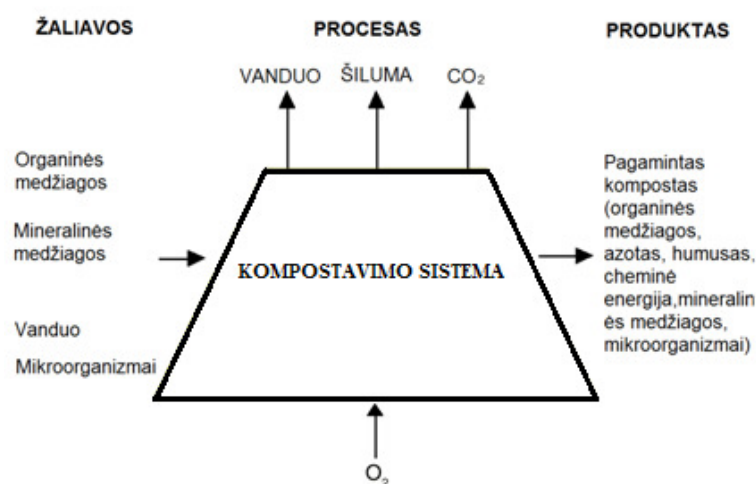
- Sunaikinti patogeninius organizmus;
- Stabilizuoti organines medžiagas;
- Išdžiovinti dumblą;
- Gaminti aplinkai nekenksmingą ir parduodamą produktą (Kosobucki, 2000).

Kompostavimas yra biologinis procesas, kurio metu mikroorganizmai ir bestuburiai gyvūnai organines medžiagas (mėšlą, dumblą, lapus, popierių, maisto atliekas ir kt.) paverčia naujos kokybės organika, vadinama kompostu (Kašėtaitė, 2007). Nuotekų dumblo kompostavimo tikslas yra jo stabilizacija arba tolesnis nusausinto dumblo stabilizavimas ir dumblo kiekio sumažinimas,

taip pat dumblo struktūros pagerinimas, ksenobiotikų pašalinimas (Dumblo tvarkymo..., 2006). Tai procesas, kurio metu anglies ir azoto santykis yra apie 30:1, drėgmės, aeracijos ir temperatūros rodikliai yra atidžiai stebimi ir valdomi (Composting, 2013).

Kompostavimo proceso (1.4 paveikslas) metu organinės medžiagos, mineralinės medžiagos, vanduo (drėgmė) ir mikroorganizmai sudaro žaliavas kompostui. Šias žaliavas veikiant laikui, temperatūrai, drėgmei, fizinėms ir cheminėms reakcijoms, vyksta jų skaidymas. Besiskaidant šioms medžiagoms yra išskiriama drėgmė, šiluma ir anglies dvideginio dujos. Galiausiai šio apdorojimo proceso pabaigoje yra gaunamas galutinis produktas – kompostas.

Nuotekų dumblo kompostavimas labai perspektyvus nuotekų dumblo tvarkymo būdas, kadangi reikalingas trumpas laiko tarpas iki gaunamo produkto, kuris neturi kvapo ir yra nekensmingas, tinkamas panaudojimui. Pasirinkus kita kompostavimo būdą, kompostavimas gali užtrukti iki pusės metų. Kadangi pagamintas produktas neturi nemalonaus kvapo tai jis naudojamas žemės ūkyje nemaistinėms kultūroms auginti, taip pat uždariant sąvartynus, atstatant pažeistas teritorijas, auginant energetinį mišką, atstatant žaliuosius plotus, kelių statyboje ir kitose srityse (Kašėtaitė, 2007).



1.4 pav. Kompostavimo proceso schema (Brazas, 2011)

Toks dumblo apdorojimas yra vienas pagrindinių metodų, įsisavintų žemės ūkio sektoriuje, nes kompostuotajame nuotekų dumble yra daug maistinių medžiagų, ypač azoto ir fosforo, ir jis užtikrina ilgalaikį dirvožemio pagerinimą (Delgado Arroyo, 2002).

Taigi bendrasis kompostavimo proceso poveikis nuotekų dumbliui:

- Žymus tūrio sumažinimas,
- Kvapų panaikinimas,
- Sumažinamas lakiųjų junginių kiekis,

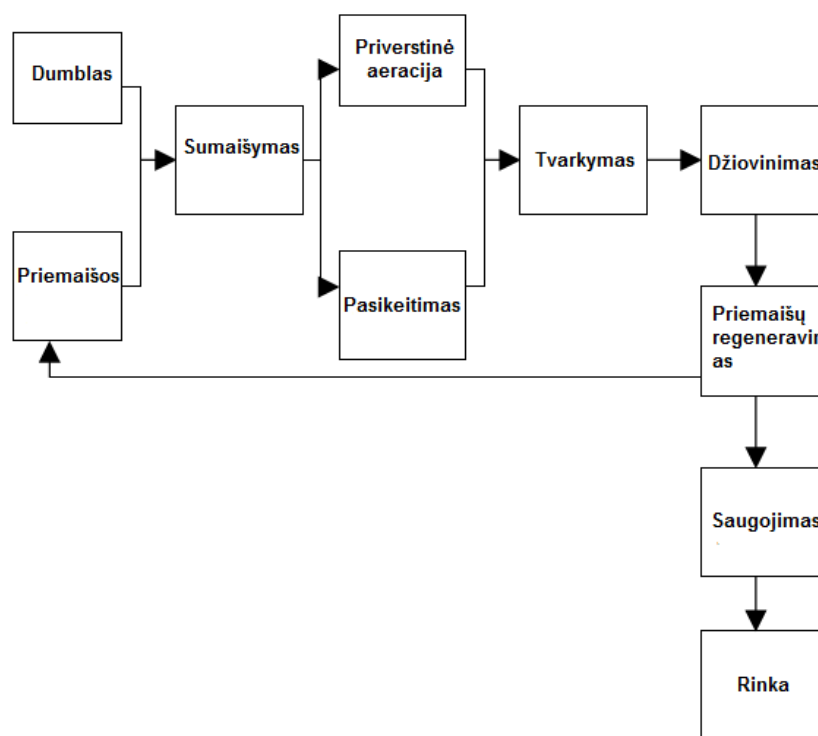
- Stabilizuojama organinė dalis,
- Pašalinama didžioji dalis patogenų (Stehouwer 1999).

Dumblo kompostavimo procesą galima išskirstyti į keturis etapus (1.5 paveikslas). Pirmajame etape į dumblą įterpiama tam tikrų priemaišų, kad procesas vyktų sparčiau. Kitas etapas – mechaninis ar natūralus aeravimas. Toliau yra atgaunamos įterptos priemaišos. Paskutiniai du etapai yra tolesnis kompostuoto dumblo tvarkymas, laikymas bei galutinis šalinimas (Garg 2009).

Nuotekų dumblas gali būti kompostuojamas panaudojant nemažai atliekų kompostavimo technologijų: anaerobinis kompostavimas, kompostavimas biofermentatoriuose, biotankuose, vermikompostavimas.

Kitas vienas efektyviausių nuotekų dumblo apdorojimo būdų yra pūdymas. Pūdymas gali būti dviejų tipų – aerobinis ir anaerobinis. Visą anaerobinį procesą galima suskirstyti į tokias tris stadijas:

1. Organinių junginių tirpimas ir hidrolizė (hidrolizė);
2. Rūgštinis rūgimas ir acitogenezė (fermentacija);
3. Metanogenezė (Sapkaitė, 2009).



1.5 pav. Kompostavimo srautų schema (Garg, 2009)

Didžiausią energetinį potencialą turi dumblas iš pirminių nusodintuvų. Pagal literatūros šaltinius ir užsienio šalių inžinerinę praktiką, rekomenduojama nuotekų dumblo pūdymo įrenginius statyti didesnėse kaip 20 000 EGS nuotekų valyklose. Siekiant visiškai išnaudoti dumble sukauptą energiją, rekomenduojama kartu su pirminiu dumblo pūdyti ir perteklinį dumblą.

Tuomet papildomai sumažintume bendrą dumblo kiekį, pašalintume didelę dalį organinių medžiagų, būtų minimizuota kvapų problema. Jeigu pūdytą dumblą būtų galima iškart panaudoti žemės ūkyje, pažeistoms teritorijoms atstatyti ar pan., tai pūdomųjų reaktorių paskirtis būtų tik bendro dumblo kiekio mažinimas, kvapų eliminavimas ir sausinimo efektyvumo didinimas (Abromavičius, 2005).

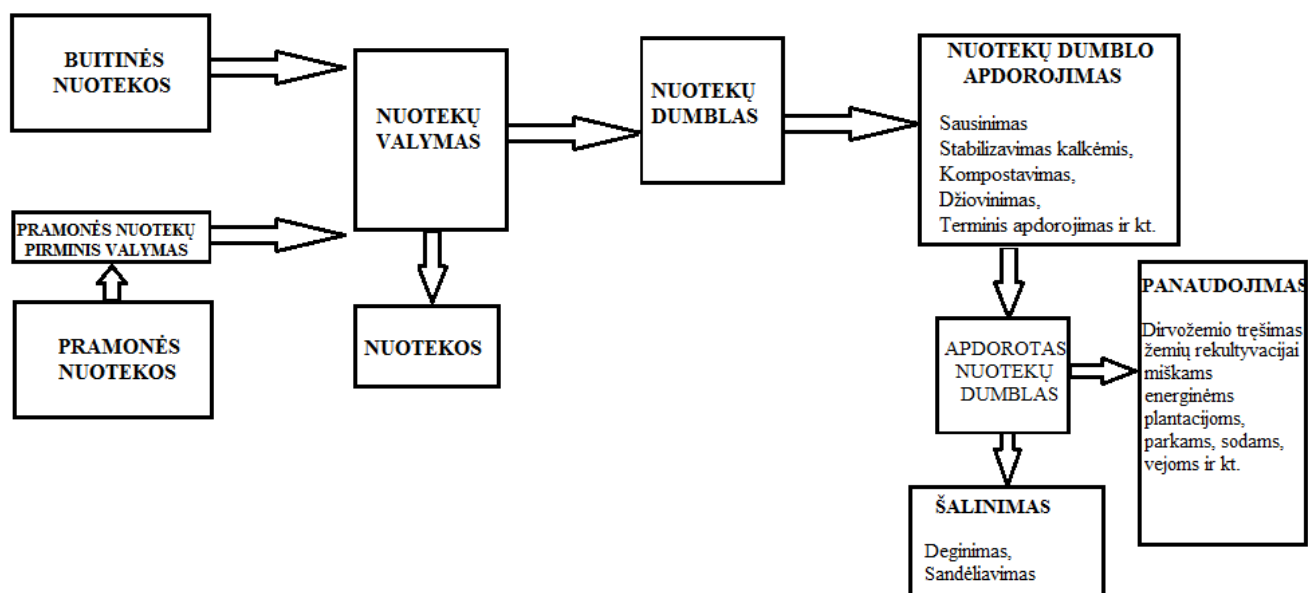
1.3. Nuotekų dumblo panaudojimas

Didžiulių susidariusio dumblo kiekių panaudojimas yra įsisenėjusi problema Lietuvoje. Iki 1999 metų pagrindinis nuotekų dumblo tvarkymo būdas buvo jo deponavimas sąvartynuose. Įgyvendinant Sąvartynų direktyvos 1999/31/EB reikalavimus dumblo laikymas sąvartynuose uždraustas, todėl šiuo metu didelės dumblo sankaupos yra laikomos nuotekų valyklų sandėliavimo aikštelėse, o tai kelia daug aplinkosaugos problemų – paviršinių ir požeminių vandenų galima tarša, dirvožemio tarša, nemalonių kvapų sklidimas ir kt. (Aktar, Sengupta 2008, Harrizon, Oakes 2002, Zuokaitė 2008).

Nuotekų dumblo tvarkymas vis dar yra itin problematiškas dėl didelių finansinių išteklių, reikalingų norint įdiegti tvarkymo sistemas – stabilizavimo reaktorius, dehidracijos sistemas (Sinha et.al. 2009). Beveik 50 % Europoje veikiančių nuotekų valyklų išlaidų sudaro dumblo apdorojimas ir šalinimas (European Commision 2002).

Pasaulyje naudojami keli pagrindiniai dumblo utilizavimo būdai: sumaišytas su kitomis organinėmis atliekomis dumblas naudojamas dirvoms tręšti (laukuose tręšiami pašariniai javai), komposto gamybai, deginimui bei karjerams rekultivuoti, nors žinoma, kad tarp jų yra begalė alternatyvių sprendimų (Sruogys, 2000). Normatyviniame dokumente LAND 20 – 2005 kaip prioritetinės dumblo panaudojimo sritys netiesiogiai įvardinta žemės ūkis (laukų tręšimas) bei pažeistos teritorijos (jų rekultivavimas).

Dabartiniai nuotekų dumblo tvarkymo metodai pasaulyje apima deponavimą sąvartynuose, deginimą, sandėliavimą jūrose ir naudojimą žemės ūkyje. Deginimas ir žemės užpildymas nėra populiarius tvarkymo metodai dėl reikalingų didelių išlaidų ir keliamo pavojaus aplinkai (Oziadzici 2013). Schemoje, pavaizduotoje 1.2 paveiksle, vardijama daug nuotekų dumblo panaudojimo variantų. Apdorotas ir reikalavimus atitinkantis dumblas naudojamas dirvožemiui tręšti. Tai yra pats populiariausias būdas, plačiai taikomas visame pasaulyje.



1.6 pav. Dumblo panaudojimo galimybės

Tręšimas – viena iš pagrindinių agrotechnikos priemonių, nuo kurios priklauso dirvožemio našumas, maisto medžiagų balansas dirvoje, kultūrinių augalų derlingumas. Nuotekų dumblas yra turtingas organinių medžiagų bei mineralų, tad yra galimybė plačiai jį naudoti žemės ūkyje (Jakelaitienė 2012, Jakubus, Czekala 2001). Dumblo panaudojimas tręsimui išsprendžia dvi problemas: grąžina į dirvožemį iš jo su derliumi paimamą organiką ir sunaudoja besikaupiantį miestuose nuotekų dumblą. (Sruogys, 2000).

Tai dažniausiai taikomas ir pigiausias nuotekų dumblo utilizavimo metodas. Neapdoroto ar apdoroto dumblo taikymas dirvožemiui pagerinti gali žymiai sumažinti dumblo šalinimo kainą, taip pat padengti didelę dalį fosforo ir azoto, reikalingo kultūriniais augalams (Aktar, 2008).

Žemės ūkio naudmenas geriausia tręšti mažų savivaldybių nuotekų valymo įrenginiuose susidarančių nuotekų dumblu, nes industrializuotų miestų nuotekų dumble didesni sunkiųjų metalų kiekiai. Jei viršijamos numatytos normos, sveikatai keliamas pavojus prilyginamas pesticidų ar cheminių trąšų keliamai grėsmei. Laikantis nustatytų reikalavimų dirvoms tręšti, gali būti naudojamas tik A ir B klasių bei I-II kategorijų dumblas. Itin griežtai tręšimas nuotekų dumblu kontroliuojamas pievose bei plotuose, kuriuose numatoma auginti vaiskrūmius bei daržoves - čia gali būti naudojamas tik A klasės ir I kategorijos dumblas. Tačiau tręšiant tokiu dumblu dirvožemius, yra būtina prieš tai dumblą apdoroti.

Tręšti dirvą galima tik atitinkančiu reikalavimus dumblu. už nuotekų dumblo kokybę ir tinkamą tvarkymą yra atsakingas jo turėtojas. Atiduodant nuotekų dumblą ūkininkams, jo kokybė visada privalo būti tikrinama. Jei dėl savo savybių dumblas netinkamas kaip trąša, jis gali būti naudojamas kaip žaliava biodujoms išgauti, gali būti deginamas, apdorojamas ir naudojamas kelių statybos sektoriuje, sąvartynų perdengimui (Petrošiūtė, 2011).

Kitas dumblo panaudojimo būdas – **žemių rekultivacija**. Tai „techninių, inžinerinių, statybos ir biologinių darbų, kuriais siekiama pažeistą žemę padaryti tinkamą žmogaus ūkinei veiklai, visuma“ (Aleksavičius, 2007).

Dar 1983 metais A. Palazzo tyrimais įrodė, kad nuotekų dumblo padengus nederlingą ir degradavusį dirvožemį, jame padidėjo organinio azoto ir organinės anglies kiekiai tiek, kad palaikė augalų augimą, nors tai, atrodė, buvo neįmanoma. Dažniausiai rekultivuojami naudingųjų iškasenų karjerai, durpynai ar nebeeksploatuojami sąvartynai.

Biodujų gamyba – dar vienas būdas nuotekų dumblo panaudoti. Šis metodas yra populiariausias Europoje. Biodujų gamyba iš nuotekų dumblo taikoma visame pasaulyje mažu, vidutiniu ir dideliu mastu. Didelis dėmesys skiriamas šiam dumblo panaudojimo būdai dėl pakartotinio atliekų panaudojimo, energijos atgavimo, be to, didėja ir noras visiškai išspręsti problemą dėl kenksmingų organinių ir neorganinių medžiagų nuotekų dumble (Rulkens, 2007). Biodujos, netradicinės energijos šaltinis, yra pagaminamos fermentuojant organines atliekas. Organinė nuotekų dumblo frakcija yra surenkama ir patalpinama į uždarą konteinerį, vadinamą biodujų pūdytuvu. Tuomet organinių atliekų biodegradacija keičiama kitu procesu – biometanizavimu, kai metanogeninės bakterijos gamina metanu prisotintas biodujas. Dumblas, suskaidytas anaerobiškai, gali būti toliau kondicionuojamas ar kompostuojamas (Malik, 2009).

Organinės medžiagos gali būti skaidomos ir paverčiamos dujomis aerobinio ir anerobinio procesų metu. Iš vieno kilogramo organinių medžiagų galima išgauti apie vieną kilogramą dujų. Aerobinio skaidymo metu yra galimas tik organinių medžiagų suskaidymas, o anaerobinio pūdymo metu ne tik suskaidomos organinės medžiagos, bet ir galima surinkti organinių medžiagų skilimo produktus – dujas. Iš pūdymo žalio dumblo susidarančių dujų kaloringumas didesnis nei pūdymo perteklinio dumblo, vidutiniškai apie 10% (Investicinė..., 2006).

Aprašytus nuotekų dumblo panaudojimo būdus galima taikyti daugumoje aglomeracijų, kai nuotekų dumblo kokybė nėra prasta. Mažoms aglomeracijoms, kurių dydis yra mažesnis kaip 2000 GE, sutankintas ir sausintas nuotekų dumblas gali būti laikinai saugomas, o vėliau panaudotas tais pačiais būdais.

1.4.Sunkieji metalai nuotekų dumble

Tarša sunkiaisiais metalais tapo viena labiausiai paplitusių ir didžiausių aplinkosaugos problemų pasaulyje. Be to, kenksmingi metalai dirvožemyje ir vandenyje kelia didelį pavojų aplinkai ir žmogaus sveikatai. Po pramonės revoliucijos dėl žmogaus ūkinės veiklos į aplinką patenka vis daugiau sunkiųjų metalų (Ghafoori, 2011).

Sunkiesiems metalams (SM) priskiriami tie cheminiai elementai, kurių atominė masė didesnė nei 40, o tankis didesnis nei $5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. (Baltrėnaitė 2007). Gamtoje dažniausiai aptinkami ir didžiausią pavojų keliantys sunkieji metalai yra šie: Pb, Cd, Cu, Zn, Cr, Ni, Mn, Fe, As, Hg. Sunkieji metalai yra gamtiniai Žemės plutos sudėtiniai elementai. Jie yra grupė metalų, kurie gali susidaryti gamtoje ir dažniausiai randami uolienų ir dirvožemio sudėtyje. Tačiau didžiausią šių metalų koncentraciją sudaro iš antropogeninės veiklos taršos šaltiniuose.

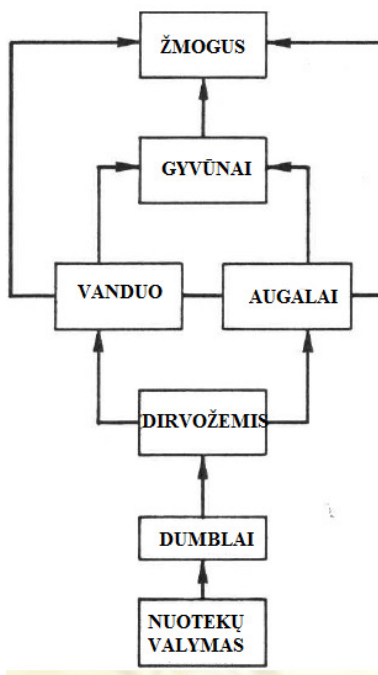
Tarša sunkiaisiais metalais pasaulyje pripažinta svarbia aplinkos problema, nes pagal Korte suminį indeksą, iliustruojantį pavojingumą gyvybei, sveikatai ir genetikai, užima vieną iš pirmaujančių vietų tarp kitų ekologinių problemų, tokių kaip pesticidai, rūgštieji lietūs, naftos išsiliejimai, cheminės trąšos, miesto triukšmas (Račaitė 2009). Svarbiausias sunkiųjų metalų šaltinis sausumoje ir vandens ekosistemose – nuotekų dumblas, naudojamos trąšos žemės ūkyje, pesticidai, gyvūninės kilmės atliekos ir nuotekų šalinimas (Sunkiųjų metalų... 2011). Dažniausiai iš nuotekų dumblo į dirvožemį patenka Pb, Ni, Cr, Cu, Zn (HN 60:2004).

Vienas svarbiausių kriterijų, pagal kurį įvertinamas nuotekų dumblo tinkamumas žemės ūkiui, be biologinio užterštumo ir kenksmingų organinių junginių, yra sunkiųjų metalų kiekis. Žymus sunkiųjų metalų kiekio padidėjimas dumble yra stiprus argumentas prieš tokio dumblo panaudojimą tręšimo tikslais (Barańkiewicz, 2001). Su dumblu patenkančių į dirvožemį sunkiųjų metalų kiekis neturi būti didesnis, nei nustatytos normos, nes tada padidėja pavojus užteršti dirvožemį.

Dumblas, kuriame be pagrindinių teršalų yra ir tokių sunkiųjų metalų kaip kadmio ar nikelio, gali lemti sumažėjusį augalų augimą ir jų kokybę. Nuotekose esantys sunkieji metalai nėra išvalomi ir panaikinami. Jie arba kartu su išvalytomis nuotekomis grąžinami atgal į aplinką, arba yra pašalinami kartu su nuotekų dumblo (Gilmour 1977, Corrado 1978).

Dėl fizinių – cheminių procesų, vykstančių nuotekų valymo metu, dumblas turi savybę kaupti sunkiuosius metalus ar sunkiai biodegraduojančius organinius junginius. Nuotekų dumble kaupiasi tokie sunkieji metalai kaip arsenas, kadmio, chromas, varis, švinas, gyvsidabris, molibdenas, nikelis, selenas ir cinkas. Maždaug 70–75% sunkiųjų ir kitų metalų, esančių nuotekose, yra pernešami ir transformuojami į dumblą (Vargova, 2005).

Daugybė tyrimų buvo atlikta, kad būtų galima nustatyti nuotekų dumble esančių metalų neigiamą poveikį kultūroms, kadangi čia susikaupę sunkieji metalai kelia rimtą pavojų žmogaus sveikatai ir gyvūnams. 1.7 paveiksle pavaizduota schema, kaip sunkieji metalai naudojant nuotekų dumblą yra grąžinami atgal į dirvožemį, iš kurio patenka į augalus ar vandenį ir galiausiai patenka į maisto grandinę. Taip žmogaus organizmas yra nuodijamas kenksmingais sunkiaisiais metalais.



1.7 pav. Užterštumo sunkiaisiais metalais schema (Ottaviani, 1989)

Kaip matyti iš 1.7 paveiksle pavaizduotos schemos, sunkųjų metalų koncentracija dirvožemyje priklauso nuo žmogaus veiklos. Atliktų tyrimų metu (Cornu et. al. 2001) nustatyta, jog sunkieji metalai iš nuotekų dumblo į dirvožemį daugiausia migruoja tirpalų pavidalu. Pastebėta, jog nikelis judriausias metalas tiek nuotekų dumble, tiek dirvožemyje. Švino judėjimas šiose terpėse buvo kompleksiškas ir sparčiai didėjo bėgant laikui, palyginus su kitais sunkiaisiais metalais.

1.5. Sliekų panaudojimo nuotekų dumblo tvarkymo procesuose galimybės

Vermikompostavimas - procesas, kurio metu sliekai organines medžiagas tokias kaip mėšlas, kanalizacijų dumblas, lapai ir maisto atliekas paverčia žemės pavidalui panašia medžiaga, kuri vadinama biohumusu (Alternatyvus., 2012). Sliekų pagalba kompostuojamos įvairios organinės atliekos: mėšlas, buitinės atliekos, nutekamųjų vandenų nuosėdos ir kt. Tokia atliekų perdirbimo technologija vadinama vermikompostavimu, o gautas kompostas – vermikompostu.

Vermikompostavimas yra palyginti naujas organinių atliekų apdorojimo būdas, kurio metu 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).

Vermikompostavimas - tai mezofilinis procesas, sukliamas mikroorganizmų ir sliekų, kurie tampa aktyvūs 10 – 32 °C temperatūroje (kalbama ne apie aplinkos temperatūrą, o apie terpės, kurioje veikia organizmai, temperatūrą). Šis procesas yra greitesnis nei paprastas kompostavimas, nes medžiaga (atliekos) pereina per sliekų virškinimo sistemą, vyksta jų transformacija, dėl kurios sliekų mėšle yra daug mikrobo veiklą ir augalų augimą reguliuojančių medžiagų. Gaunamas substratas, kuris turi sukaupęs cheminių kenkėjų repelentų (Nagavallemma *et. al* 2004). Be to, daugybė atliktų tyrimų parodė, jog vermikomposte visos maistingosios medžiagos lengvai prieinamoje formoje, taip pat padidina augalų maistingumą medžiagų įsisavinimą (Sreenivas 2000).

Šis metodas yra vienas iš efektyviausių kietųjų organinių atliekų apdorojimo būdų paverčiant jas naudingą ir aplinkai nekenksmingu produktu. Ši technologija pasaulyje ryškėja kaip potenciali organinių atliekų tvarkymo alternatyva. Tai yra patrauklus ir ekonomiškai perdirbimo procesas, kuris nereikalauja daug kapitalo ir energijos sąnaudų (Singh *et. al.* 2004), taikant šį būdą atliekos paverčimos naudingą augalams ir dirvožemiui komponentu, mažinančiu neigiamą indėlį aplinkai (Lekeshmanaswamy, Yasotha 2012).

1.5.1. Vermikompostavimo technologijos analizė

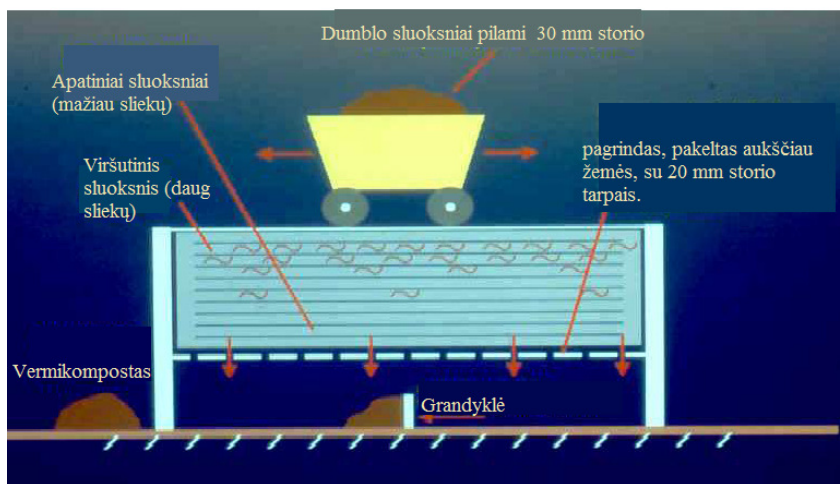
Kaip vermikompostavimo žaliavą pirmiausia tikslinga panaudoti atliekas, kurios daugiausia teršia aplinką ir sunkiai utilizuojamos. Tam tinka nuotekų valymo metu susidaręs dumblas. Vermikompostavimas yra reikšmingas ekologiniu požiūriu, nes kenksmingos atliekos perdirbamos neteršiant aplinkos. Kiti šio dumblo apdorojimo privalumai yra tokie:

- Nustoja išsiskirti nemalonūs kvapai. Praktikai teigia, kad bet kokia pūvanti organinė medžiaga sliekų dezodoruojama praėjus 1 – 2 dienoms.
- Daug (2 – 5 kartus) greičiau skaidomos ir mineralizuojamos organinės medžiagos. Pavyzdžiui, gaminant kompostą iš nutekamųjų vandenų nuosėdų ir kitų kenksmingų atliekų, sliekai (*Lumbricus terrestris*) jas suskaido per 3 – 4 savaites. Po 3,5 mėnesių atliekos tampa visiškai subrendusiu kompostu.
- Sumažėja atliekų tūris, pavyzdžiui, buitinių atliekų – 40–60 proc., o sliekų biomasė padidėja trigubai.
- Naudojant buitines atliekas kaip žaliavą, padidėja komposto išeiga (sliekai gali pasirinkti maistą).
- Nukenksminamas kompostas. Susidaro palankios sąlygos mikroorganizmų veiklai, kurie neigiamai veikia patogenines bakterijas, ypač salmonėles (Aleksando., 2008).

Ši technologija pagrįsta tuo, kad sliekai gyvybinės veiklos metu maistui naudoja augalines atliekas. Sliekų organizme jos susmulkinamos, chemiškai transformuojamos, praturtinamos kai kuriomis maisto medžiagomis, fermentais ir mikroorganizmais. Atliekos sliekų virškinimo trakte greitai netenka nemalonaus kvapo, skaidosi ir pereina į kompostą (Aleksandro., 2008). Be to, vermikomposte yra daugiau ištirpusių naudingų maistinių medžiagų – azoto, fosforo, kalio, kalcio, magnio – nei podirvyje ar normaliam komposto produkte (Pattnaik, 2009).

Kompostas ruošiamas iš anksto, tai yra prieš 2-8 mėnesius. Svarbu, kad netoliese būtų sliekų maistui reikalingų atliekų šaltiniai. Ruošiant kompostą – svarbus fermentacijos procesas, kuris priklauso nuo organinių atliekų rūšies bei jų fizinių-cheminių savybių (komposto sudėtinės dalis reikia parinkti taip, kad azoto ir anglies (C:N) santykis būtų 1:20-30). Jis trunka 2 – 15 mėnesių. Fermentacijos metu turi būti pakankamai drėgmės bei vykti aeracija. Atliekoms užkaitus iki 38 laipsnių, žūsta kenksmingi dumbliai, grybai piktžolių sėklos, greičiau vyksta mineralizavimasis ir humifikavimasis (Biohumuso.. 2013).

Atsižvelgiant į klimato sąlygas, vermikompostas ruošiamas įvairiais būdais. Jeigu šiltas ir palankus klimatas, sliekai gali būti laikomi po atviru dangumi. Yra žinomos kelios vermikompostavimo technologijos. Tai atliekų apdorojimas sliekais žemėje iškastose duobėse arba antžeminiuose kaupuose. Taip pat naudojami betoniniai ar plastikiniai rezervuarai, medinės dėžės, rietuvės.



1.8 pav. Vermikompostavimo principinė schema rietuvėje (dėžėje) (Aplinkos..., 2012)

Vermikomposto gamybos principas: į dėžę (rietuvę) (1.8 paveikslas) yra pilamas nuotekų dumblas atskirais sluoksniais po 30 mm. Juos skiria korėtos sienelės, kad būtų užtikrintas sliekų judėjimas ir kad susidaręs vermikomposto produktas galėtų būti nesudėtingai surinktas.

Talpos viršutiniuose sluoksniuose yra įleidžiama sliekų. Viršutiniuose sluoksniuose sliekų kiekis yra didesnis, o apatiniuose sluoksniuose jų yra įleista mažiau. Pačiuose apatiniuose

sluoksniuose sliekų gali ir nebūti, taip yra užtikrinama, kad sliekai neiškeliausi iš rietuvės pro angas. Pagamintas vermikompostas per korėtas sienėles krenta žemyn, kur yra surenkamas.

Standartinėje rietuvėje sliekų tankumas turi būti 60000 vienetų. Rietuvės sliekai laikomi 1-1,5 mėn., nepridedant atliekų. Per šį laiką jų masė išauga tiek, kad jie gali transformuoti organines atliekas į kompostą. Tuo metu suaktyvėja ir atliekose esančių mikroorganizmų veikla. Prasideda komposto gamyba. Kompostavimo ciklas vienoje rietuvėje gali tęstis nuo 3-6 iki 12 mėnesių. Šiuo laikotarpiu ant rietuvės paviršiaus, kur susidaro aktyvus perdirbimo sluoksnis, periodiškai kas 10-12 dienų pridedama naujų atliekų (Aleksandro., 2008).



1.9 pav. Didelės apimties vermikompostavimo ložės (www.biztrademarket.com)

Dvi pagrindinės pramoninio (didelio masto) vermikompostavimo technologijos – tai atliekų apdorojimas sliekais vermiložėse arba antžeminiuose kaupuose.

Esant dideliems atliekų kiekiams rekomenduojama vykdyti kompostavimą vermiložėse, iškastose duobėse arba kaupuose. Vermikompostavimo ložių matmenys yra rekomenduotini 6 metrų ilgio, 1 metro pločio ir pusės metro gylio (1.9 paveikslas, a). Antžeminiai kaupai dažniausiai būna kupolo formos, jų rekomenduotinas ilgis – 3 metrai (1.9 paveikslas, b), metro pločio ir pusės metro aukščio. Didesniuose kaupuose ar duobėse esančios atliekos dėl fizinių – cheminių reakcijų imtų kaisti, susidarytų puiki terpė daugintis termofiliniams organizmams. O pasiekus 38 °C temperatūrą, sliekai žūtų. Vermikompostavimo pagrindiniai elementai yra žaliava, sliekai ir tinkamos sąlygos procesui vykti. Šią technologiją galima taikyti tiek namų sąlygomis, tiek didesniu mastu.

1.3 lentelėje yra pateikiami vidutiniai vermikopostą sudarančių maistingų medžiagų kiekiai. Lentelėje pateikti duomenys gali kisti, priklausomai nuo daugelio veiksnių, tokių kaip vermikomposto substrato rūšies (organinės atliekos, nuotekų dumblas, maišytos organinės atliekos su dumbliu ir pan.), vermikompostavimui naudojamų sliekų rūšies ir proceso sąlygų (naudojant skirtingos rūšies sliekus ir vermikompostavimui parenkant skirtingas sąlygas, gaunami ir skirtingi vermikompostavimo produkto rodikliai).

1.3 lentelė. Vermikopostą sudarančių maistinių medžiagų kiekiai (Handbook..., 2006)

Azotas	1,5 – 2,5%	Kalcis	0.5 – 1.0%
Fosforas	0.9 – 1.7%	Magnis	0.2 – 0.3%
Kalio karbonatas (potašas)	1.5 – 2.4%	Siera	0.4 – 0.5%

Vermikomposto sudėtis ir cheminės savybės skiriasi, priklausomai ne tik nuo sliekų veiklos ir rūšies, bet ir nuo dumblo sudėties. Žinant verмикompostuojamo dumblo sudėtį, galima modeliuoti gaminamas trąšas.

Pagamintame biohumuse gausu makro- ir mikro-elementų, augimą skatinančių medžiagų, vitaminų, antibiotikų, amino rūgščių ir naudingos mikrofloros. Gana svarbūs biohumuse esantys makro ir mikro elementai. Pagamintas biohumusas yra arti neutralios ir šarmiškos reakcijos – pH 6,5 – 7,8, turi iki 60 % organinių medžiagų, 10-12 % humuso, 45-55 % drėgmės (Ekofert, 2012).

Yra pripažįstama, jog verмикompostas, be ekologinės degradacijos sustabdymo, gali duoti daug naudos, siekiant patenkinti didelius maistinių medžiagų poreikius žemės ūkio sektoriuje (Aalok, 2008).

Populiariausias verмикomposto panaudojimo būdas yra dirvožemio tręšimas verмикompostu miškininkystės, gėlininkystės, sodininkystės ar daržininkystės ūkiuose.

Vermikompostas yra pranašesnis už kitas (augalinių liekanų kompostai, mėšlas) organines trąšas, nes neturi piktžolių sėklų ir tinka visiems augalams tręšti. Moksliniais tyrimais nustatyta, kad sliekų biohumusas stimuliuoja sėklų dygimą, skatina augalų augimą ir vystymąsi, daigų prigijimą, kad tręšiant juo padidėja augalų derlius, bet išauginama kokybiška produkcija (Repšienė, Skuodienė 2012)

Teigiamas biohumuso poveikis apima ir padidėjusį sėklų daigumą, kaip pavyzdžiui pomidorų (Atiyeh *et. al* 2000 tyrimai), agurklių ir šilkmedžio (Jesikha, 2013), ybiškių (Wanmathi ir Selvakumar, 2012) ir pušų (Lazcano *et. al.* 2010) ir daug kitų. Augumo pagerėjimas šių tyrimų metu nustatomas atsižvelgus į lapų ar vaisių (žiedų) skaičių, lapų dydį, stiebų ar šaknų ilgį.

Vermikompostas yra turtingas N, K, P mikroelementų (azoto – 2-3%, kalio – 1,85 - 2,25%, fosforo – 1,55 – 2,25%), naudingų dirvožemių mikroorganizmų, taip pat jo sudėtyje yra „augalų augimo hormonų ir fermentų“. Tai mokslškai pagrįstas augalų augimo stimulatorius ir saugotojas nuo kenkėjų ir ligų (Sihna 2009b).

Mamta (2012) atliktų tyrimų metu nustatyta, kad tręšiant verмикompostu baklažanus, jų aukščio (2 – 2,8 pėdos), lapų skaičiaus (37 – 42), vaisių skaičiaus (6 – 12) ir svorio (296,1 – 343,7 g) rodikliai yra geresni už tų augalų, kurie buvo auginami paprastame dirvožemyje. Panašūs rezultatai atsispindi ir Narkhede (2011) tyrimuose, kuriuose čili pipirai buvo tręšiami verмикompostu. Lyginant su cheminėmis trąšomis, verмикompostu patręšti pipirai savo sudėtyje turėjo 2,9% chlorofilo junginių (cheminėmis trąšomis tręštų – 2,1%).

Vermikompostavimo proceso metu nuotekų dumblo rodikliai yra stabilizuojami. Tą parodė Gargo ir Gruptos tyrimai (2008) – veikiant *Eisenia fetida* sliekams nuotekų dumblo pH ir C:N santykis sumažėjo, o bendrosios anglies, bendrojo Kjeldalio azoto, bendrojo kalio ir bendrojo fosforo kiekiai padidėjo. Taip pat šio tyrimo metu paaiškėjo, jog geriausi rodikliai pasiekiami, kai dumbblas sumaišytas su karvių mėšlu 70:30 santykiu.

1.5.2. Vermikompostavimui naudojami sliekai

Pagrindinis vaidmuo verмикompostuojant organines atliekas tenka sliekams. Jau nuo senovės laikų buvo žinoma sliekų svarba dirvožemiui.

Aristotelis sliekus vadino „žemės žarnynu“ ir teigė, kad joks kitas gyvūnas nevaidina tokio svarbaus vaidmens gyvybės Žemėje istorijoje (Garg, 2006). Taip pat sliekų svarba dirvožemio derlingumui buvo pabrėžiama dar nuo Darvino laikų (Chaudhary, Bhandary, Shukla 2004). Darvinas, 39 metus studijavęs sliekų gyvenimą, teigė, jog sliekai apdoroja milžiniškus kiekius augalų atliekų ir padeda paversti juos į maistinėmis medžiagomis praturtintą dirvožemį (Lakshmi Prabha, 2009). Taigi jau seniai buvo žinoma apie sliekų gebėjimą skaidyti organines medžiagas, taip paverčiant jas substratu.

Tyrimai apie galimybę sliekus panaudoti nuotekų dumblo suskaidymui prasidėjo 1970 m. antroje pusėje, o toks jų panaudojimas buvo paibrėžtas kaip verмикompostavimas ar vermistabilizavimas (Naddafi *et. al*, 2006).

Maitindamiesi organinėmis atliekomis, sliekai gali sumažinti jų kiekį 40 – 50%. Kiekvienas sliekas sveria vidutiniškai 0,5 – 0,6 gramus, o atitinkamai pagal kūno svorį organinių atliekų suvalgo maždaug perpus savo svorio per parą (Nagavallemma, 2006).

Vėlesni tyrimai parodė, jog sliekai verмикompostavimo metu atlieka fizinius ir biocheminius procesus. Fiziniai procesai – tai substrato vėdinimas, maišymas ir smulkinimas, o biocheminiai procesai apima atliekų ardymą fermentais, esančiais sliekų virškinimo trakte (Sharma 2009).

Nuotekų dumblą, užterštą biologiniais ir mineraliniais teršalais galima paversti į naudingą kietą kompostą, naudojamą žemės ūkio srityje. Pastaruoju metu organinių medžiagų kompostavime daug dėmesio skiriama sliekams, kaip gyviems organizmams, kurie sugeba perdirbti organines atliekas į kompostus. Sliekų kultūra, arba vermikultūra (lot. vermis – sliekas), auginama naudojant atliekas kaip sliekų maisto šaltinį (Aleksandro., 2008).

Sliekai apibūdinami kaip žieduoti kirminai, simetriški su išorine liauka, gaminantys kiaušinėlius (kokonus), lietimui turi priešais burną, neturi kojų, tačiau juda smulkių šerelių pagalba. Sliekai yra hermofroditai ir dauginasi poriška (Dominguez, 2004).

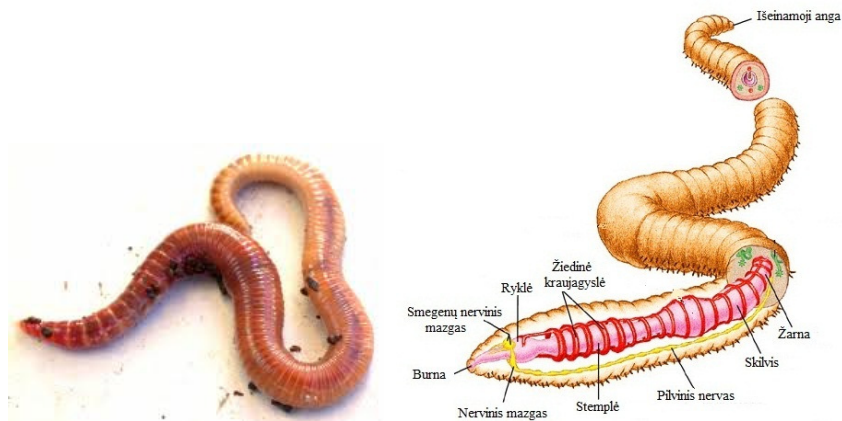
Šie bestuburiai minta dumblo komponentais, greitai juos versdasmi vermikompostu, sumažindami patogenus ir sunkiuosius metalus iki nepavojingo lygio. Dumblo tūris yra gerokai sumažinamas nuo 1 m³ šlapio dumblo (80% drėgnio) iki 0,5 m³ vermikomposto (30% drėgnio). Sliekai padidina potencialą dumblui aerobiškai skaidyti ir kompostuoti organines medžiagas ir taip pat stabilizuoti dumblo organines liekanas, t.y. pašalinti patogeninius teršalus, sunkiuosius metalus. Sliekai taip pat mineralizuoja dumble esančius azoto, fosforo ir kalio junginius. Sliekai yra prisitaikę gyventi atšiauriomis sąlygomis, vidutiniškai rūgščioje – šarminėje terpėje, kai pH svyruoja nuo 4,5 – 9. Jie gali toleruoti temperatūros svyravimus nuo 5 – 29 °C (Sinha, 2009a).

Per sliekų žarnyną praėjusiose atliekose pagausėja kalcio, magnio, fosforo, mikroelementų ir fermentų. Mineralinės druskos pereina į lengvai augalų pasisavinamas formas. Toks biohumusas taip pat turi baktericidinių savybių, jo sudėtyje yra biostimuliatorių ir fermentų. Tyrimais nustatyta biohumuso savybė surišti dirvožemyje ir organinėse atliekose esančius radionuklidus ir sumažinti nitratų bei sunkiųjų metalų patekimą į augalus (Alternatyvus..., 2012).

Tam tikros rūšies sliekai akumuliuoja sunkiuosius metalus ir juos prijungia prie kitų komponentų, taip sumažindami jų aplinkos toksiškumą. Vermikompostui gaminti gali būti naudojami įvairių rūšių sliekai, tačiau jei turi skirtingus reikalavimus sąlygoms, kad jų dauginimasis, augimas ir produktyvumas būtų kuo naudingesni.

Dažniausiai vermikompostui gaminti ūkiuose naudojami mėšlo sliekai (*Eisenia fetida*, šeim. *Lumbricidae*), vadinamieji Kalifornijos raudonieji sliekai. Jie greitai auga ir dauginasi, ilgai gyvena. Taip pat yra duomenų, kad naudojami ir kitų rūšių sliekai, pavyzdžiui, JAV tropikinė rūšis *Eudrilus eugeniae* (*Eudrilidae* šeim.), kuri greitai dauginasi įvairiose atliekose. Galima naudoti *Lumbricus terrestris*, *Dendrobaena subrubicunda*, *D. veneta*, *Perionyx excavatus*, *Amguthus asiaticus* (Aleksandro..., 2008). Taip pat galima naudoti ir *Lumbricus rubellus* sliekus.

Vermikompostams gaminti plačiausiai naudojami *Eisenia Fetida* (1.10 paveikslas) ir *Eisenia andrei* rūšies sliekai, kurie savo morfologinėmis savybėmis yra labai panašūs ir sunkiai atskiriami (Eitminavičiūtė, 2001). Raudonieji sliekai, mokslininkai vadinami *Eisenia fetida* gyvena viršutiniuose miško paklotės sluoksniuose. Vermikompostavimo apžvalgoje J. Dominguez teigia, kad pagrindinės *Eisenia fetida*, kitaip vadinamų kalifornijos sliekų, naudojimo priežastys yra: paplitimas visame pasaulyje bei lengvas į įterpimas į organines atliekas ir sėkminga šių sliekų veikla dideliame atliekų drėgmės diapazone.



1.10 pav. *Eisenia fetida* sandara (www.happydranch.com)

Šie Kalifornijos sliekai yra 6–8 cm ilgio, 3–4 mm skersmens ir sveria apie 0,8–1,0 g. Sliekas būna subrendęs tada, kai atsiranda balnelis (žiedo formos sustorėjimas). Apsivaisina kas 7 dienas. Susidaro kapsulę primenantis kokonas. Jis būna nuo šviesiai rudos iki beveik juodos spalvos, nedidelis (apie 2–3 mm pločio ir 3–4 mm ilgio). Kalifornijos slieko kokone būna apie 2–22 kiaušinėlius, kitų sliekų rūšių – tik 1–3. Skirtingai nuo paprastųjų sliekų, Kalifornijos sliekai gyvena 4 kartus ilgiau, t. y. 16 metų. Per metus laboratorinėmis sąlygomis pasidaugina iki 1500 kartų (Biohumuso., 2012).

Begum (2010) tyrimais nustatė, kad sunkiųjų metalų – chromo, švino ir cinko – kiekis vermikomposte, kuris sudarytas iš nuotekų dumblo ir vandens hiacintų (*Eichhornia crassipes*), žymiai sumažėjo naudojant *Eisenia fetida*.

Eisenia fetida veiklos efektyvumas priklauso ir nuo žaliavos, kurią sliekai perdirba. Štai Gargas (2005), atlikdamas *Eisenia fetida* augimo ir dauginimosi įvairių gyvūnų atliekų vermikompostavimo metu tyrimą, nustatė lytinio jų brendimo ir kiaušinėlių (kokonų) gamybos, priklausomai nuo gyvūno, kurio atliekas skaido, spartą – kiaušinėlių skaičius per laiko tarpą. Šio parametro rezultatai geriausi avies atliekose. Parametras panašus, kai naudojamas karvių, arklių ar kupranugarių mėšlas. Ne tokie geri rezultatai pasitaikė asilų ir buivolų atliekose. Tačiau tyrime vertinant kitą parametą – pagamintos biomasės kiekį – rezultatai skyrėsi. Avies atliekose prieaugis buvo didžiausias, toliau seka asilų ir buivolų mėšlas. Panašūs biomasės kiekiai per vienodą laiką susidarė ožių, karvių ir arklių vermikompostuojamose atliekose.

Buvo atlikti *E. fetida* sliekų, kilusių iš Irano ir iš Australijos, rūšių efektyvumo palyginimo tyrimai (Shahmansouri, 2005), ir nustatyta, kad vario ir cinko mikroelementus efektyviau kaupia Irano sliekai, tačiau Australijos sliekai lengviau ir naudingiau sukaupė chromo, kadmio ir švino metalus. Tyrimas parodė, kad sunkiuosius metalus nuotekų dumble esantys *E. fetida* sliekai (tiek Irano, tiek Australijos) gerai bioakumuliuoja ir gali būti naudojami vermikompostuojant, kadangi galutiniam produkte – vermikomposte – sunkiųjų metalų kiekis sumažėjo iki normatyvinių.

Lumbricus rubellus sliekai dažniausiai būna raudonai rudi ar rausvai violetinės spalvos, nugarinėje dalyje vaivorykštės spalvų, pilvo dalyje geltoni. Tai vidutinio dydžio, maždaug 10 – 15 cm ilgio iš Europos kilę sliekai. Vidutinė masė yra 1,89 g (Pagad, 2011). Kiekviename slieko segmente yra keturios poros šerelių. Subrendusio organizmo segmentų kiekis svyruoja nuo 95 – 105. Šie sliekai natūraliai gyvena dirvožemiuose, kuriuose yra daug organinių medžiagų. Dirvožemis šiems sliekams turėtų būti purus, pakankamai drėgnas ir jame turėtų būti geros dujinių medžiagų pernašos (Pandapedia, 2013). Dažniausiai šios rūšies sliekai sutinkami drėgnuose dirvožemiuose. Tai santykinai ilgo gyvenimo ciklo sliekai –gyvena apie 120 – 170 dienų (Dominguez, 2004).

Azizi, kartu su kitais mokslininkais (2012) atliko sunkiųjų metalų (Cr, cd, Pb, Cu ir Zn) šalinimo, naudojant *Lumbricus rubellus* sliekus miesto nuotekų dumble tyrimą. Po 10 ir 15 savaičių tikrinę vermikompostavimo su šiais sliekais rezultatus, nustatė, kad jau dešimtą vermikompostavimo savaitę chromo, kadmio ir švino koncentracijos dumble buvo sumažėjusios 90 – 98,7%. Kita vertus, vario ir cinko metalų, kurie yra laikomi mikroelementais, koncentracijos buvo didesnės už pradines. Nors jos buvo 10 – 200 kartų mažesnės už standartuose nurodomas ribines koncentracijų vertes.

Abiotiniai faktoriai taip pat daro įtaką *Lumbricus rubellus* veiklai dirvožemyje. Jo pH turėtų svyruoti intervale 5,5 – 8,7. Ideali terpės, kurioje būna šie sliekai, temperatūra yra 10,6 °C. Organizmų kvėpavimui reikšmės turi ir dirvožemio drėgmė.

Eudrilus eugeniae sliek rūšis, priklausanti Eudrilidea šeimai, buvo atrasti Afrikoje, bet sėkmingai užveisti iki šiol gyvuoja JAV, Kanadoje ir kitose valstybėse.

Tai dideli sliekai, kurie auga itin greitai. Tačiau pagrindinis jų panaudojimo trūkumas yra nedidelis toleruotinių temperatūrų diapazonas. Jų dauginimosi tempai taip pat intensyvūs ir geba greitai skaidyti dideliu skiekiais organinių atliekų ir įkomponuoti juos tiesiai į dirvožemio viršutinį sluoksnį (Dominguez, 2004).

Teigiama, kad ši rūšis, labiau žinoma kaip „Naktiniai šliaužikai“, yra antra labiausiai naudojama vermikompostavimui (po *Eisenia fetida*). Šie sliekai auga greičiau už kitus ir pagamina daugiau biomasės – 12 mg/dieną. Subrendę sliekai gali pasiekti 4,3g svorį. Subręsta po 40 dienų, o kokonus (kiaušinėlius) ima leisti po savaitės. Gyvenimo trukmė laboratorinėmis sąlygomis pasiekia 1 – 3 metus (Garg, 2005).

Šiems sliekams nėra būtinas didelis kiekis substrato, o optimali jų terpės temperatūra turėtų būti 8 – 30 °C. po kiaušinėlių padėjimo, jų inkubacijos trukmė siekia tris savaites (per tiek laiko iš kiaušinėlių išsiperi sliekai), ir esant 25 °C temperatūrai, tinkamam erdvės prieinamumui ir maisto gausai sliekai užauga iki 2,5g per 8 ar 10 savaičių. Praėjus šiam laikui, *Eudrilus eugeniae* sliekų augimas lėtėja, kol galiausiai sustoja esant 12 savaičių ir prieinama mirtingumo riba. Iki 17 ar 18

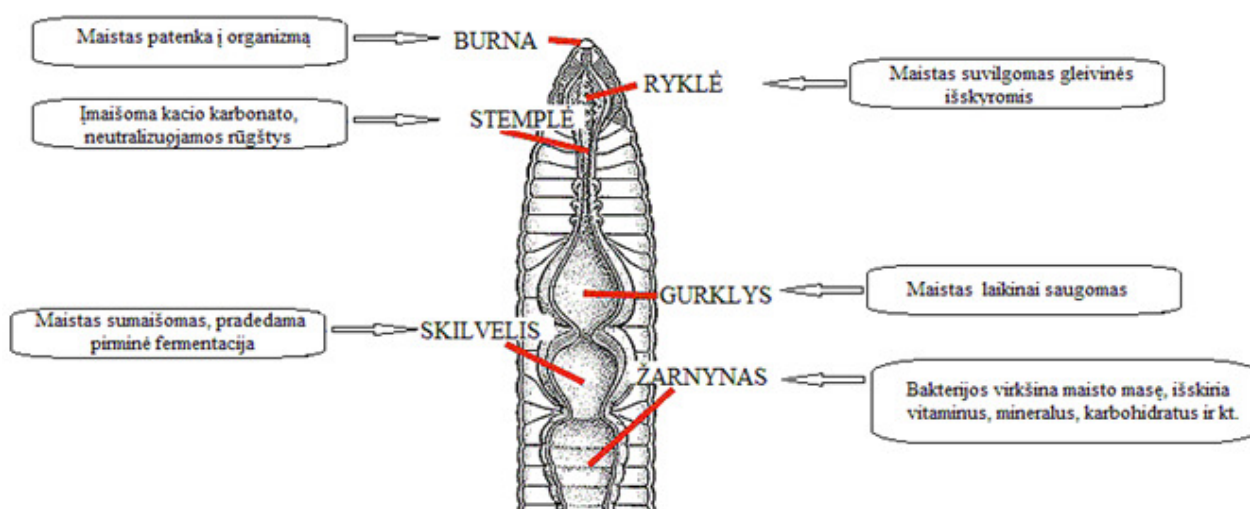
savaičių šios rūšies sliekų išgyvena apie 35% ar 45% esant optimalioms sąlygoms (Palsania, et. al., 2008).

Pattnaik (2011) atliko tyrimus, kaip trijų rūšių – *Eisenia fetida*, *Eudrilus eugeniae* ir *Perionix excavatus* – sliekai geba pašalinti sunkiuosius metalus iš nuotekų dumblo. Tyrimai parodė, jog viso vermikompostavimo metu (60 dienų) sunkiųjų metalų kiekiai palaipsniui mažėjo iki pat pabaigos. Sliekų audiniuose randamų sunkiųjų metalų koncentracijos buvo didelės, ypač aukštas šis rodiklis buvo *E. eugeniae* rūšies sliekuose. Juos naudojant tiriamame miesto nuotekų dumble kadmis, švinas, cinkas, varis ir manganas atininkamai sumažėjo 89,5%, 94,4%, 94,0%, 89,2% ir 77,5%. *Eisenia fetida* rūšies sliekai šių sunkiųjų metalų kiekų sumažino atitinkamai 85,5%, 92,3%, 91,0%, 86,6% ir 70,9%, o *P. excavatus* – 81,8%, 90,7%, 84,4%, 85,4% ir 68,6%.

Vienintelis parametras, kuris yra pakankamai jautrus, kad būtų galima nusakyti mineralinių medžiagų toksiškumą aplinkoje, yra sliekų kokonų (kiaušinėlių) susidarymas (Macki Aleagha, 2009). Nors sliekai yra kritiškai svarbūs vermikompostavimui, irimą, biooksidaciją ir stabilizaciją lemia sudėtinga sąveika tarp organinių medžiagų, mikroorganizmų, sliekų ir dirvožemio bestuburių gyvūnų (Dominguez, 2004).

1.5.3. Vermikompostavimo procesas

Vermikompostavimo procesas prasideda, kai sliekai vartoja (minta) organinę medžiagą per burną, rausdamiesi gilyn. Jie praryja bet kokio suirimo lygio augalus ar kitas organines atliekas, randamas paviršiuje. Visos šios suvartotos medžiagos keliauja per sliekio virškinimo traktą – keliauja per gurklį, tuomet per skilvelį ir galiausiai per žarnyną. Tuomet perėjusios per visą minėtą traktą, suvartotų organinių atliekų liekanos išeina per išangę į dirvą.



1.11 pav. Sliekio organizme vykstantis virškinimo procesas

Maistas į slieko organizmą patenka per burną (1.11 paveikslas). Ji yra apsupta stiprių lūpų, kurios veikia kaip ranka. Kadangi sliekas neturi dantų lūpomis jis paima maistą ir susmulkina jį taip, kad būtų patogų jį nuryti. Keliaudamas per ryklę, maistas yra sudrėkinamas gleivinės išskyromis ir patenka į stemplę. Joje į virškinamą maistą patenka kalcio karbonato, kad būtų neutralizuotos rūgštys, atsiradusios maisto (organinių medžiagų) irimo metu. Virškinimo procesas prasideda slieko skilvelyje. Stiprus skilvelio raumuo smulkina ir maišo suvartotą maistą, taip gamindamas lengviau virškinamą masę. Skilvelio sienelėse esančios liaukos išskiria fermentus (amilazė, celiulazė, chilanazė, celbiazė ir kt.), padedančius skaidyti organines medžiagas.

Toliau masė transportuojama į žarnyną, kuriame ir vyksta pagrindiniai virškinimo procesai. Žarnyne esančios gerosios bakterijos minta organinėmis medžiagomis ir yra išskiriami vitaminai, mineralai, karbohidratai ir proteinai.

Virškinimo procese dalyvauja įvairūs virškinimo fermentai, kurie padeda skaidyti organines medžiagas. Šie fermentai išskiria svarbias maistines medžiagas, tokiu būdu praturtindami sliekų anatomiją. Kai kurios maistinės medžiagos yra cukrus, amino rūgštys, keletas mažesnių organinių organizmų, tokių kaip bakterijos, grybeliai ar pirmuonys. Visa tai yra absorbuojama slieko žarnyne (Shaw, 2012).

1.5.4. Vermikompostavimo proceso reikalavimai

Pagrindiniai reikalavimai vermikompostavimo proceso metu yra tokie:

- Tinkama paklotė (gyvavimo terpė),
- Maisto šaltinis,
- Tinkama drėgmė,
- Tinkama aeracija,
- Tinkama temperatūra,
- Tinkamas pH (Garg, 2006)

Munroe (2010) siūlo paklotės sliekams veistis ir gyvuoti tinkamumą vertinti pagal tokius kriterijus:

- ✓ Aukštas absorbcijos lygis. Sliekai kvėpuoja per savo odą, todėl turi būti palaikoma tam tikra paklotės drėgmė, nes jei sliekų oda ims džiūti, jie žus.
- ✓ Gero išmaišymo galimybė. Jei žaliava per tanki, tai oro tėkmė joje yra sumažėjusi ar ivis jos nėra. Sliekams deguonis yra būtinas išgyventi. Skirtingos medžiagos ir savybės lemia terpės poringumą – dalelių dydis, forma, kiekis, tvirtumas.

- ✓ Žemas C/N rodiklis. Didelis anglies ir azoto junginių santykis gali sukelti staigią degradaciją ir su ja susijusias aukštos temperatūros, netinkamų, kartais mirtinų sąlygų atsiradimą.

Komposto kirminai yra dideli valgytojai. Idealiomis sąlygomis jie gali savartoti savo kūno svorio maistinių medžiagų. Tačiau bendra taisyklė ta, kad dažniausiai jie suvalgo pusės savo kūno svorio maisto kiekį. Sliekai valgo beveik visas organines medžiagas (augalinės ir gyvulinės kilmės), tačiau efektyviausiai dirba mintant gyvulių mėšlu (Munroe, 2010).

Kad vermikompostuojant nuotekų dumblą ar kitas organines medžiagas būtų pasiektas kuo aukštesnis naudingumas, labai svarbu parinkti optimalias sąlygas tokiame dublo apdorojimui. Vienas iš svarbiausių vermikompostavimo reikalavimų yra optimalus drėgnis. Tyrimo „Optimalus drėgmės kiekis vermikomposte naudojant *Perionyx excavatus*“ (Singh, 2004) metu nustatyta, kad organinėms atliekoms esant 90% drėgnumo, jau dvyliktą eksperimento dieną prasideda aerobinis procesas. Galima šito priežastis, autoriaus nuomone, gali būti perteklinis vanduo, kuris apribojo oro judėjimą substrato porose. Vadinasi, sulėtėjo ir vermikompostavimas. Esant 40% ir 50% drėgnumui, atliekų skaidymas taip pat nebuvo greitas. Tyrimo metu nustatyta, kad vermikompostavimui naudojant *Perionyx excavatus* sliekus, optimalus drėgnis, prie kurio skaidymas vyko sparčiausiai, buvo 80%.

Palsania ir kt. (2008) studijavo drėgmės pokyčio poveikį kiteninių reakcijų greičiams vermikompostavimo metu. Buvo naudojami *Eudrillus eugeniae* sliekai, o drėgmė terpėje buvo palaipsniui keičiama tokiais dydžiais: $45 \pm 5\%$, $55 \pm 5\%$, $65 \pm 5\%$, $75 \pm 5\%$ to $85 \pm 5\%$. Rezultatai parodė, jog esant $75 \pm 5\%$ drėgmei reakcijų kinetiškumas (t.y. sliekų organinių medžiagų mineralizavimas ir žaliavos stabilizavimo efektyvumas) buvo didžiausias. Būtent esant tokiame drėgmės kiekiui vermikompostavimas vyko greičiausiai.

Optimali temperatūra vermikompostavimui priklauso nuo naudojamų sliekų. Štai *Eisenia fetida* rūšiai tinkamiausia darbo temperatūra yra 20 - 25°C. Jie gali toleruoti temperatūrą 4 - 29 °C intervale. 29 °C temperatūra sliekams yra stresinė, o esant 32 °C – lengvai miršta (happydranch, 2013).

Lumbricus rubillus sliekams ideali temperatūra siekia 10,5 °C. Ribinė temperatūra, kuriai esant šios rūšies bestuburiai miršta siekia 27 °C (vermicomposters, 2013). 2009 metais atlikto tyrimo (Manaf et.al), kurio metu analizuotas paklotės (palankios gyvavimo terpės) poveikis vermikompostavimo procesui, rezultatai rodo, kad tinkamiausias šiam organinių atliekų apdorojimo būdui pH turi būti artimas neutraliam - 6,5 – 8,6.

Dar vienas rodiklis, kuris lemia sliekų veiklą, o kartu ir vermikompostavimo naudingumą, yra terpės druskingumas. Pagrindinis druskingumą lemiantis veiksnys yra amonio koncentracija. Sliekai, esant 5 mg/g ir didesniai terpės druskingumui, yra sunku išgyventi. Todėl jei pradinėje

medžiagoje (žaliavoje) yra mažai druskos, sliekų veiklos rezultatai yra geresni. Amonis sliekų audiniuose yra nitrifikuojamas per dvi savaites (Chaoui, 2010).

Vermikomposto kokybė priklauso nuo žaliavos apdorojimo šiuo būdu trukmės. Jamalud (2010)

atliko tyrimą, kaip vermikompostavimo turkmė daro įtaką produkto kokybei. Paaiškėjo, kad komposto kokybė praėjus ilgesniam laikui (kokybė buvo tikrinama po 10 ir 30 savaičių) buvo geresnė: nustatytas naudingų makroelementų kiekio padidėjimas bei sunkiųjų metalų kiekio ir C/N santykio vertės sumažėjimas. Taigi galima daryti išvadą, kad kuo ilgiau žaliavos (organinės atliekos) yra vermikompostuojamos, tuo produkto kokybė tampa geresnė.

Gargas (2005), atlikdamas *Eisenia fetida* augimo ir dauginimosi įvairių gyvūnų atliekų vermikompostavimo metu tyrimą, nustatė, kad šių sliekų didelis mirtingumas išvengiamas, jei žaliava yra 2 savaites kompostuojama prieš įvedant į ją sliekus. Šio išankstinio kompostavimo metu, anot Gargo, pašalinama didelė dalis toksiškų dujų.

Straipsnyje „*Eisenia fetida* sliekų sunkiųjų metalų bioakumuliacija vermikompostuojant“ (Alegba, 2009) aprašyti tyrimai parodė, kad dėl sliekų aktyvumo vermikompostuojant organines atliekas padidėja sunkiųjų metalų judėjimas dirvožemyje ir biologinis prieinamumas. Sunkiųjų metalų koncentracijos sumažėjimas įrodo, kad *Eisenia fetida* sliekų audiniai akumuliuoja sunkiuosius metalus (tyrimai buvo atlikti ir su nuotekų dumblo). Ypač pasireiškė tokių metalų kaip nikelis ir kadmio absorbcija.

1.6.Skyriaus apibendrinimas

Lietuvoje kasmet susidaro apie 80 tūkstančių tonų nuotekų dumblo. Tobulėjant nuotekų valymo technologijoms, didėjant valymo įrenginių efektyvumui, susidarysiančio dumblo kiekiai bus vis didesni. Jau dabar dideli dumblo kiekiai kelia nemažai aplinkosaugos problemų, tad šių kiekių didėjimo tendencijos reikalauja efektyvių sprendimų.

Dabar Lietuvoje dumblo panaudojimas daugiausia apibrėžiamas sandėliavimu aikštelėse. Nors apdorotas dumblas gali būti panaudojamas dirvožemiui tręšti, rekultivuoti, energetiniams miškams pakloti, ūkyje panaudojama tik apie 30% šių atliekų. Nuotekų dumblo sudėtyje esantys teršalai, tokie kaip sunkieji metalai, riboja dumblo panaudojimą ūkyje.

Vermikompostavimas – itin priimtinas sprendimas, norint stabilizuoti nuotekų dumblą. Šiam dumblo stabilizavimo būdai nereikia skirti daug finansinių išteklių, sudėtingos konstrukcijos įrenginių. Vermikompostuojant dumblą, yra ne tik sumažinamas sandėliuojamo dumblo problemos mastas, tačiau dar sprendžiamos kitos aplinkosaugos problemos – dirvožemio derlingumo mažėjimas, degradavusių žemių atstatymo problema.

Vermikompostavimas gali būti taikomas tiek buitinėms organinėms, tiek pramoninėms organinėms atliekoms apdoroti. Panaudojant tam tikros rūšies sliekus, sudarius optimalias sąlygas jiems veisti, galima nuotekų dumblą ar kitokias organines atliekas paversti naudingu produktu žemės ūkyje.

Vermikompostavimui yra naudojami daugybės rūšių sliekai. Moksliniai tyrimai parodė, jog sudarius tam tikros rūšies sliekui tinkamas sąlygas, gali būti pasiekiamas itin aukštas (iki 98,5%) sunkiųjų metalų koncentracijos sumažinimo laipsnis.

2. SUNKIŲJŲ METALŲ KONCENTRACIJOS KAITOS VERMIKOMPOSTUOJANT NUOTEKŲ DUMBLĄ TYRIMAS

2.1. Tyrimo objektas

Tyrimo objektas - nuotekų dumblas, jo perdirbimas į vermi kompostą – bei naudojant *Eisenia fetida* sliekus.

2.2. Tyrimo tikslas

Nustatyti ir įvertinti sunkiųjų metalų – chromo (Cr), kadmio (Cd) ir nikelio (Ni) kaitą nuotekų dumblo vermi kompostavimo proceso metu.

2.3. Tyrimo uždaviniai

- Atominės absorbcijos spektrometru (AAS) nustatyti sunkiųjų metalų (Cr, Cd, Ni) koncentracijų pokyčius apdorojant (stabilizuojant) nuotekų dumblą sliekais;
- Išmatuoti ir įvertinti sunkiųjų metalų (Cr, Cd, Ni) koncentracijas naudojamų sliekų audiniuose nuotekų dumblo vermi kompostavimo metu;
- Nustatyti kompostuojamo ir stabilizuoto nuotekų dumblo rodiklių kitimą (organinės ir neorganinės anglies kiekius, bendrąjį azotą, pH, temperatūrą, drėgnį) vermi kompostavimo proceso metu.

2.4. Tyrimo metodo esmė

Stabilizuojant komunalinių nuotekų dumblą vermikultūros pagalba, jis yra paverčiamas maistingų medžiagų turinčiu ir dirvožemiui naudingu substratu. Taip pat taikant šį metodą siekiama sumažinti sunkiųjų metalų koncentracijas dumble. Naudojami sliekai turėtų sumažinti į tiriamą nuotekų dumblą įterptų sunkiųjų metalų – chromo, nikelio ir kadmio – kieki, kurio dalis turėtų akumuliotis sliekų audiniuose.

2.5. Tyrimo atlikimo eiga

2.5.1. Tiriamo objekto paruošimas

Nuotekų dumblo kiekio parinkimas. Tyrimo metu turi būti užtikrintas pakankamas maisto kiekis sliekams gyvuoti. Atliekų tyrimų duomenimis yra žinoma, jog optimalus pašaro ir sliekų

tankumas yra 0,75 kg maisto/ kg sliekų/ dieną (Shahmansouri, 2005). Paskaičiuota, jog kilogramui sliekų per visą tyrimo laiką (3 mėnesius) užtektų 60 kg nuotekų dumblo.

Nuotekų dumblo paruošimas. Tyrimui pasirinktas Vilniaus miesto nuotekų valykloje susidarantis mechanškai nusausintas dumblas. Komunalinių nuotekų dumblas, kurio drėgnis yra 80%, patalpinamas į 70x50x60 cm matmenų plastmasinę dėžę (2.1 paveikslas).



2.1 pav. Tiriamojo dumblo talpinimo dėžė

Pasirenkama plastmasė, kad būtų išvengtas bet koks papildomas metalų kiekis tiriamuosiuose mėginiuose. Konteinerio apačioje pragražiamos skylės dumblo skysčiui nutekėti, viršuje – kad būtų užtikrinta pakankama aeracija ir deguonies kiekis. Konteinerio vidus išklojamas agroplėvele (2.2 paveikslas, a) – taip užtikrinamas drėgmės pašalinimas ir aeracija vermikultūrai pasiliekant viduje.



2.2 pav. Tiriamojo dumblo talpinimo dėžė, paruošta vermikultūros įterpimui

Į paruoštą dėžę suberiamas tiriamasis nuotekų dumblas (60 kg) su sunkiųjų metalų tirpalų mišiniu (2.2 paveikslas, b).

Sunkiųjų metalų įterpimas. Vilniaus nuotekų valyklos dumble sunkiųjų metalų koncentracijos nėra didelės – jos neviršija leistinų normų. Dėl to į tiriamąjį nuotekų dumblą įterpiama sunkiųjų metalų tirpalų. Paruošiami sunkiųjų metalų tirpalai – CdSO_4 , $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ ir $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ sumaišyti su distiliuotu vandeniu. Pasirinkti kadmio, nikelio ir chromo koncentracijų tyrimai dėl to, jog jie panašių tyrimų metu buvo tiriami rečiausiai. Įterptų į nuotekų dumblą sunkiųjų metalų tirpalų koncentracijų dydžiai pateikiami 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Metalų koncentracijos

Metalo tirpalas	Koncentracija, g/l	Molinė masė, g/mol	Molinė koncentracija, mol/l
CdSO_4	3	769,52	0,0039
$\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$	3	400,15	0,0075
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	3	290,81	0,010

Kiekvieno sunkiojo metalo tirpalo imama 0,5 l ir sumaišomi kartu – padaromas trijų sunkiųjų metalų mišinys. Mišinys yra įterpiamas į nuotekų dumblą. Tuomet matuojama pradinė šių metalų koncentracija bei įvertinami pradiniai dumblo rodikliai – drėgnis, temperatūra, pH, organinės ir neorganinės anglies kiekis.

Vermikultūros įterpimas. Į konteinerį su dumblu įvedama vermikultūra – Kalifornijos sliekai, lot. *Eisenia fetida*. Ši sliekų rūšis pasirinkta dėl lengvo įterpimo į aplinką, efektyvaus ir greito organinių atliekų perdirbimo, mažesnio jautrumo aplinkos svyravimams.

Prieš įterpiant sliekus į tiriamą nuotekų dumblą, jie turi aklimatizuotis, kad nepatirtų streso dėl terpės pakeitimo. Aklimatizacija vykdoma pagal M. Shamyaa (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 42x30x22 cm matmenų dėžėje (2.3 paveikslas, a), padalintoje 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.



2.3 pav. Kalifornijos sliekų aklimatizacijos dėžė su dviem sekcijomis

Dėžė uždengta dangčiu, kad nepatektų tiesioginių saulės spindulių. Ji laikoma tokiomis pat sąlygomis, kokios bus palaikomos viso tyrimo metu. Aklimatizacijos procesas stebimas kiekvieną dieną. Po savaitės buvo pastebėta migracija į nuotekų dumblo sekciją.



2.4 pav. Vermikompostavimui paruoštas dumblas ir jo talpinimo dėžė

Taip paruošti sliekai buvo ištraukiami iš antrosios sekcijos ir atsargiai dedami į tyrimui paruoštą nuotekų dumblą (2.4 paveikslas, a). Suleidus apie 1 kg sliekų, dėžė uždengiama dangčiu (2.4 paveikslas, b) ir laikoma vėsioje, tamsioje vietoje.

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

Mezofilinio proceso vykimui yra palaikoma $\pm 20^{\circ} - 30^{\circ}\text{C}$ dumblo temperatūra. Periodiškai termometru matuojama dumblo temperatūra ir fiksuojami jos pokyčiai. Konteineris laikomas uždengtas dangčiu, saulės neapšviestoje vietoje – dėl per didelio šviesos kiekio, tenkančio sliekų veiklos terpei, galimas produktyvumo sumažėjimas bei temperatūros kilimas.

Kad būtų vykdoma aktyvi ir naudinga sliekų veikla, terpės pH turėtų būti artimas neutraliam, tai 6,5 – 8,5. Esant per rūgščiam dumbliui, numatoma jį neutralizuoti Ca(OH)_2 tirpalu.

2.5.2. Tyrimo eiga

Naudojamos priemonės:

- Porcelianinės lėkštelės;
- Analitinės svarstyklės;
- Džiovinimo spinta;
- pH matuoklis „MultiCal 538 WTW“ su stikliniu elektrodu;
- Bendrosios anglies analizatorius *Shimadzu TOV-V*;
- Sekundometras;
- 1 mm ir 2 mm akučių sietai;
- 100 ml matavimo kolbos.

Tiek pradinio (prieš vermikultūros įterpimą), tiek galinio (po vermistabilizavimo) proceso etapo metu yra nustatomi pagrindiniai nuotekų dumblo ir vermikomposto rodikliai – sunkiųjų metalų koncentracijos, organinės ir neorganinės anglies kiekiai, pH, temperatūra bei drėgmės kiekis.

Drėgmės kiekio nustatymas. Šio rodiklio nustatymas itin svarbus tyrimo pradžioje, vertinant sliekų gyvavimo terpės palankias sąlygas. Dumblo drėgnumui nustatyti taikomas svorinis metodas. Visų pirma pasveriami tuščia porcelianinė lėkštelė. Į ją supilamas 50 ml dumblo mėginys ir vėl pasveriamas. Lėkštelė su mėginiu dedama į džiovinimo spintą ir džiovinama esant $\pm 105 \pm 2$ °C temperatūrai mažiausiai valandą. Išėmus iš džiovinimo spintos lėkštelė su mėginiu dar kartą pasveriamas analitinėmis svarstyklėmis. Drėgmės kiekis paskaičiuojamas pagal 2.1 formulę.

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

Čia:

W – nuotekų dumblo drėgnis, %;

m_1 – pirminis mėginio svoris, g;

m_2 – mėginio svoris po džiovinimo, g.

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

Tuomet yra pasveriamas 5,0 g išdžiovinto nuotekų dumblo, kurio dalelės ne didesnės kaip 2 mm. Kad aplinkos parametrai ir veiksniai nedarytų jokios įtakos pH matavimų rezultatams, išdžiovintas mėginys laikomas uždaroje talpykloje (matavimo kiuvetėje). Sausas nuotekų dumblas, pasvertas elektroninėmis svarstyklėmis 0,001 g tikslumu, supilamas į laboratorinius užsukamus indus. Į kiekvieną indą pripilama po 25 ml distiliuoto vandens. Suspensija maišoma 1 valandą. Maišoma pastoviai, nekeičiant greičio, kad suspensija maišytųsi homogeniškai. pH matuojamas iš karto pabaigus maišymą. pH-metro stiklinis elektrodas nuplaunamas distiliuotu vandeniu, nusausinamas ir įmerkiamas į paruoštą suspensiją. pH matavimas yra atliekamas esant 20 ± 2 °C aplinkos temperatūrai.

Organinės ir neorganinės anglies nustatymas. Bendram anglies kiekiui nustatyti yra naudojamas SSM-5000A kieto mėginio modulio Shimadzu TOV-V serijos bendrosios anglies analizatorius.

Mėginys šiam matavimui turi būti ruošiamas taip: visų pirma į porcelianinę lėkštutę įdedamas dumblo mėginys. Tuomet ji su mėginiu dedama į džiovavimo spintą ir džiovinama esant 105 ± 2 °C temperatūrai mažiausiai valandą. Išdžiovintus mėginį, jis turi būti homogenizuotas smulkintuvu ar grūstuvu. Kad išdžiovintas dumblas būtų kuo geriau sutrintas, naudojamas mechaninis malūnas. Išdžiovintas ir susmulkintas iki miltelių, dumblas yra paruoštas anglies kiekio analizei bendrosios anglies analizatoriumi Shimadzu TOV-V. Į porcelianinius lovelius yra įberiama 0,05g džiovinto ir susmulkinto dumblo. Anglies analizatorius pateikia rezultatus anglies kiekiu g mėginyje.

2.5.3. Sunkiųjų metalų (Cr, Cd, Ni) koncentracijos nuotekų dumble nustatymas

Naudojamos priemonės ir reagentai:

- Deginimo krosnis;
- Eksikatorius;
- Mineralizatorius;
- Atominės absorbcijos spektrometras Buck Scientific 210 VGP;
- 100 ml, 150 ml ir 1000 ml matavimo kolbos;
- Analitinės svarstyklės;
- Sekundometras;

- Stiklo filtrai;
- Dejonizuotas vanduo;
- Azoto rūgštis HNO_3 ;
- Vandenilio peroksidas rūgštis H_2S_2 ;

Mėginio paruošimas deginimas ir mineralizavimas. Tyrimui buvo paruoštas nuotekų dumblas prieš jo apdorojimą sliekais ir viso vermikompostavimo metu. Sunkiųjų metalų nustatymui nuotekų dumble jis turi būti sudeginamas, kad pasišalintų drėgmė bei organinė dumblo dalis. Visų pirma, į porcelianinę lėkštutę yra įdedamas nuotekų dumblo mėginys ir elektrinėje krosnyje deginamas apie 3 valandas 450°C temperatūroje. Sudegęs mėginys yra ruošiamas mineralizavimui.

Yra pasveriamas 0,5g sudeginto dumblo ir beriamas 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 yra mineralizuojami mineralizatoriuje (200°C temperatūroje) vieną valandą.

Sunkiųjų metalų koncentracijos matavimas. Po mineralizavimo indelis su mėginiu atvėsinaamas iki $50 - 70^\circ\text{C}$. Tada tirpalas iš indelio filtruojamas per stiklo filtrą į 50 ml kolbutę. Nufiltravus iki žymės kolbutėje skiedžiama dejonizuotu vandeniu. Po to yra matuojamos metalų koncentracijos spektrometru Buck Scientific 210 VGP su oro-acetileno liepsna.

Atominės absorbcijos spektrometras (2.5 paveikslas) veikia dujinės būsenos atomų optinės spinduliuotės absorbcijos principu. Veikimas yra pagrįstas elektromagnetinės spinduliuotės srauto atrankine absorbcija analizuojamosios medžiagos nesužadintaisiais atomais. Elektromagnetinės spinduliuotės kvanto absorbcijos metu valentinis atomo elektronas sužadinas ir peršoka iš pagrindinio energijos lygmens į artimiausią leistinąjį energijos lygmenį. Rezonansinė spinduliuotė, einanti per plazmą, susilpnėja.

Šis analizės metodas tinka tik tiems elementams nustatyti, kurie plazmoje gali egzistuoti kaip laisvi atomai. Atomizacija vyksta apie $2000 - 3000^\circ\text{C}$ temperatūroje.

Atliekant analizę registruojama tam tikro bangos ilgio elektromagnetinės spinduliuotės optinio tankio A priklausomybė nuo nustatomojo elemento koncentracijos c . Tiesinė priklausomybė tarp A ir c galioja tik esant mažai nustatomojo elemento koncentracijai. Todėl įprastinei analizei atlikti visuomet sudaromi gradavimo grafikai. Pavienei analizei, taip pat nežinomos sudėties tirpalams analizuoti naudojamas priedo metodas (www.asu.lt).



2.5 pav. Atominės absorbcijos spektrometras (AAS) Buck Scientific 210 VGP

Kad matavimai būtų tikslūs, reikia nustatyti tinkamas matavimų AAS sąlygas. Jos pateikiamos 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė. Pagrindinės sąlygos atominei absorbcinei spektroskopijai

Cheminis elementas	Bangos ilgis, nm	Liepsnos tipas	Foninė koncentracija
Chromas	357,9	Redukuojanti oro/acetileno	Tuščiavidurio katodo lempa
Kadmis	228,8	Oksiduojanti oro/acetileno	Deuterio lempa
Nikelis	232,0	Oksiduojanti oro/acetileno	Deuterio lempa

Sunkiųjų metalų koncentracijoms nustatyti naudojamos kalibracinės kreivės, paruoštos kiekvienam sunkiajam metalui atskirai. Kreivės sudarymui naudojami tiriamų sunkiųjų metalų (chromo, nikelio, kadmio) tirpalai, ruošiami iš standartinių metalų tirpalų (3000 mg/l metalo, 2 % HNO_3).

Koncentracijos skaičiavimas. Tiriamo elemento koncentracija pelenuose apskaičiuojama pagal formulę:

$$C = \frac{C_{Me} \cdot f \cdot V}{m}, \text{mg/kg} \quad (2.2)$$

Čia:

C – metalo koncentracija mėginyje, mg/kg;

C_{Me} – metalo koncentracija tirpale, mg/l;

f – skiedimo faktorius;

V – tūris, l, paimtas analizei;

m – mėginio masė, kg, perskaičiuota į sauso mėginio masę.

2.5.4. Sunkųjų metalų koncentracijos matavimas sliekų audiniuose

Naudojamos priemonės ir reagentai:

- Deginimo krosnis;
- Eksikatorius;
- Mineralizatorius;
- Atominių absorbcijos spektrometras Buck Scientific 210 VGP;
- Smulkintuvas;
- 20 ml, 100 ml, ir 1000 ml matavimo kolbos;
- Analitinės svarstyklės;
- Sekundometras;
- Stiklo filtrai;
- Dejonizuotas vanduo;
- Azoto rūgštis HNO_3 ;
- Vandenilio peroksidas rūgštis H_2S_2 .

Mėginių paruošimas. Atsitiktine tvarka yra pasirenkami 10 sliekų – pirmąją jų įterpimo į nuotekų dumblo dieną ir kas 10 dienų viso vermikompostavimo proceso metu. Jie nuplaunami distiliuotu vandeniu, kad būtų panaikinti komposto pėdsakai bei gleivės, ir pasveriami. Mėginiai sudedami į lėkšteles ir paliekami 24 valandoms 15 °C temperatūroje, kad iš jų organizmo pasišalintų dumblo neorganinės frakcijos liekanos. Po to patalpinami į žemos temperatūros aplinką (į šaldytuvą, kuriame temperatūra mažiau už 0 °C), kad organizmai žūtų. Tuomet nagrinėjamas mėginys yra sumalamas.

Mėginio deginimas ir mineralizavimas. Sumaltas mėginys yra deginamas aukštoje (450 °C) temperatūroje iki pelenų. Yra pasveriami 0,5g sudegintų sliekų mėginio ir beriami į mineralizavimo indelius. Tuomet į tą patį indelį su paruoštu mėginiu pilama 12 ml koncentruotos HNO_3 rūgšties ir 2 ml vandenilio peroksido H_2S_2 rūgšties. Indeliai sandariai uždaromi eksikatoriuje. Tuomet mėginiai yra mineralizuojami mineralizatoriuje (200 °C temperatūroje) vieną valandą.

Sunkiųjų metalų koncentracijos matavimas. 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 kolbutėje skiedžiama su dejonizuotu vandeniu. Po to matuojamos metalų koncentracijos spektrometru Buck Scientific 210 VGP su oro-acetilenų liepsna.

2.5.4. Mėginių ėmimo ir tyrimo tvarka

Pradiniams parametrų nustatyti pirmąją tyrimo dieną yra paimama 50 g nuotekų dumblo bei apie 10 g sliekų. Nuotekų dumblo mėginiai semiami plastmasiniu semtuvėliu ir beriami į polietileninį sandarų maišelį. Sliekai imami rankomis atsargiai nukratant komposto likučius ir patalpinami į sandarų polietileninį maišelį. Mėginiai imami ir tiriami kas 10 dienų.

3. REZULTATAI

3.1. Eksperimentinių tyrimų statistinis įvertinimas

Norint tinkamai atlikti tyrimo rezultatų analizę ir gauti matematiškai patikimas analitinės priklausomybes, turi būti tenkinamos tam tikros sąlygos. Pirmoji sąlyga yra tyrimo rezultatų stochastinis (statistinis) nepriklausomumas. Antroji sąlyga yra tyrimo rezultatų pasiskirstymas pagal normalųjį dėsnį. Jei ši hipotezė nepriimama, būtina nustatyti, pagal kokį dėsnį yra pasiskirstę tyrimo rezultatai, ir, jei tai įmanoma, pertvarkyti gautą pasiskirstymą į normalųjį. Šių sąlygų tenkinimas leidžia taikyti matematinės statistikos metodus uždaviniams spręsti ir garantuoja koreliacinės regresinės analizės metodų teorinį pagrįstumą.

Dėl eksperimentinio tyrimo rezultatų tikslumo, kiekvieno mėginio ruošimo metu buvo imta po 3 bandinius. Kiekviename mėginyje buvo nustatytos visų tiriamų sunkiųjų metalų (Cd, Cr, Ni) koncentracijos, drėgmė, pH, bendrosios anglies kiekis. Vedami gautų rezultatų vidurkiai, kurie priimami kaip matuojamo dydžio gautosios vertės. Šių dydžių tikslumas yra įvertinamas statistiniais paklaidų skaičiavimo metodais.

Išmatuotų dydžių paklaidoms nustatyti skaičiuojami statistiniai parametrai: vidutinė parametro vertė, standartinė paklaida, mediana, standartinis nuokrypis, dispersija, asimetrijos koeficientas, reikšmių sklaidos plotis, minimali ir maksimali koncentracijos. Kaip artimiausias tikrajai parametro vertei, yra vertinamas visų matavimo duomenų aritmetinis vidurkis:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Čia: x_i – i-tojo matavimo rezultatas,

n – matavimų skaičius.

Eksperimentinio matavimo duomenų aritmetinio vidurkio standartinis nuokrypis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

Matavimo duomenų aritmetinio vidurkio standartinė paklaida apskaičiuojamas pagal formulę:

$$S = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Tikroji matuojamo dydžio reikšmė įvertinama pagal formulę:

$$X = \bar{x} \pm S \cdot t$$

Čia: t – Stjudento koeficientas, nustatomas pagal 1 priede pateiktą lentelę. Stjudento koeficiento dydis priklauso nuo atliktų matavimų skaičiaus ir patikimumo lygio.

3.1 lentelė. Statistinių parametų dydžių skaičiavimo pavyzdys

Išmatuota Cd koncentracija mėginyje x_i	Koncentracijos aritmetinis vidurkis, $\bar{x}$	Aritmetinio vidurkio nuokrypis, s	Aritmetinio vidurkio standartinė paklaida, S	Stjudento koeficientas, t	Tikroji matuoto dydžio reikšmė, X
178,76	181,55	1,39	0,8	2,35	$181,55 \pm 1,79$
183,14					
182,74					

Taip pat statistiškai yra įvertinami visi pamatuoti eksperimento dydžiai ir įvertintos jų paklaidos.

3.2. Eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė

Eksperimentiniai tyrimai truko 120 parų, kurių metu buvo imti dumblo, sliekų mėginiai ir stebėti pagrindiniai parametrai: temperatūra, pH, drėgmė, sunkiųjų metalų koncentracijos, anglies kiekis. Pagal antrame skyriuje pateiktą metodiką vermikompostavus nuotekų dumblą kas 10 parų buvo imami nuotekų dumblo ir sliekų mėginiai. Juose buvo nustatytos sunkiųjų metalų – kadmio (Cd), nikelio (Ni) ir chromo (Cr) – koncentracijos. Pateikti viso proceso metu stebimų ir nustatytų parametų – temperatūros, drėgmės, pH, bendrosios anglies kiekio – dydžiai.

Nuotekų dumblas buvo paimtas iš Vilniaus miesto nuotekų valyklos, nustatytos pradinės sunkiųjų metalų koncentracijos. Geresniam sunkiųjų metalų bioakumuliacijos proceso iliustravimui buvo padidintos sunkiųjų metalų koncentracijos nuotekų dumble, jį laistant sunkiųjų metalų druskų vandeniniu tirpalu.

3.2 lentelėje pateikti pradinės sunkiųjų metalų koncentracijos tiriamajame nuotekų dumble, prieš įterpiant į jį sunkiųjų metalų vandeninius tirpalus.

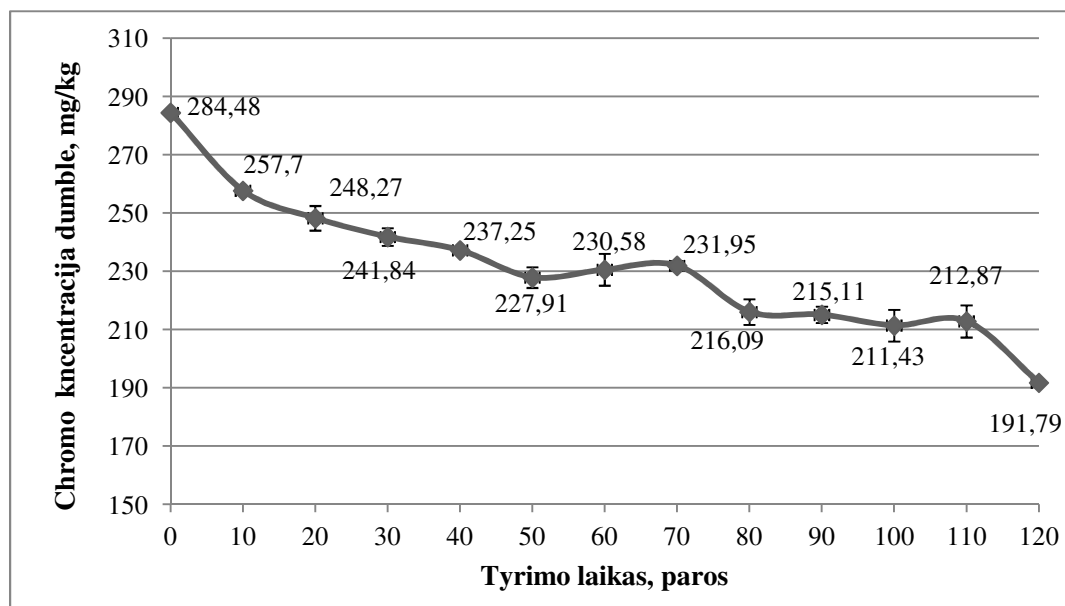
3.2 lentelė. Pradinės sunkiųjų metalų koncentracijos nuotekų dumble

	Koncentracija prieš įterpimą, mg/kg	Koncentracija po įterpimo, mg/kg
Kadmis	50,11	181,55
Chromas	134,1	284,48
Nikelis	67,94	140,39

Atsižvelgiant į pradinės dumblo koncentracijas, jis priskiriamas II kategorijai (LAND 20-2005).

Pagal gautus tyrimų rezultatus, grafiškai vaizduojamos sunkiųjų metalų koncentracijų kaitos. 3.1–3.2 paveiksluose yra pavaizduoti sunkiųjų metalų koncentracijų pokyčiai vermikompostuojant nuotekų dumblą.

Kaip matyti iš 3.1 paveikslo chromo kiekis nuotekų dumble vermikompostavimo metu mažėjo bėgant laikui. Šio sunkiojo metalo koncentracija per 120 proceso dienų sumažėjo daugiau nei tris kartus. Nuo pradinės koncentracijos, kuri buvo 284,48 mg/kg chromo nuotekų dumble sumažėjo 92,62 mg/kg – iki 191,79 mg/kg. Matoma žymi koncentracijos mažėjimo tendencija.



3.1 pav. Chromo (Cr) koncentracijos kaita vermikompostuojant nuotekų dumblą

Didžiausias koncentracijos kritimas stebimas 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 koncentracijų kritimai buvo panašūs, atitinkamai 9,43 mg/kg, 6,43 mg/kg, 11,59 mg/kg ir 9,43 mg/kg. Paskutinėmis eksperimentinio tyrimo paromis koncentracijų kritimas nebuvo žymus, nors mažėjimo tendencija išliko. Per dešimt parų nuo 80–90 ir 90–100, 100–110 tyrimo dienų koncentracijų sumažėjimas atitinkamai buvo 0,98 mg/kg, 3,68 mg/kg ir 1,44 mg/kg. Per eksperimento paskutines 10 parų koncentracijos kritimas padidėjo – per šį laikotarpį buvo pašalinta 21,08 mg iš 1 kg nuotekų dumblo.

Atsižvelgus į bendrą chromo metalo koncentracijų mažėjimo grafiką, galima teigti, jog per visą proceso laiką chromo metalo koncentracijų dydžiai mažėjo beveik tolygiai, t.y. beveik tiesine regresine priklausomybe, kurios koreliacijos koeficientas R yra 0,943 (stipri koreliacija).

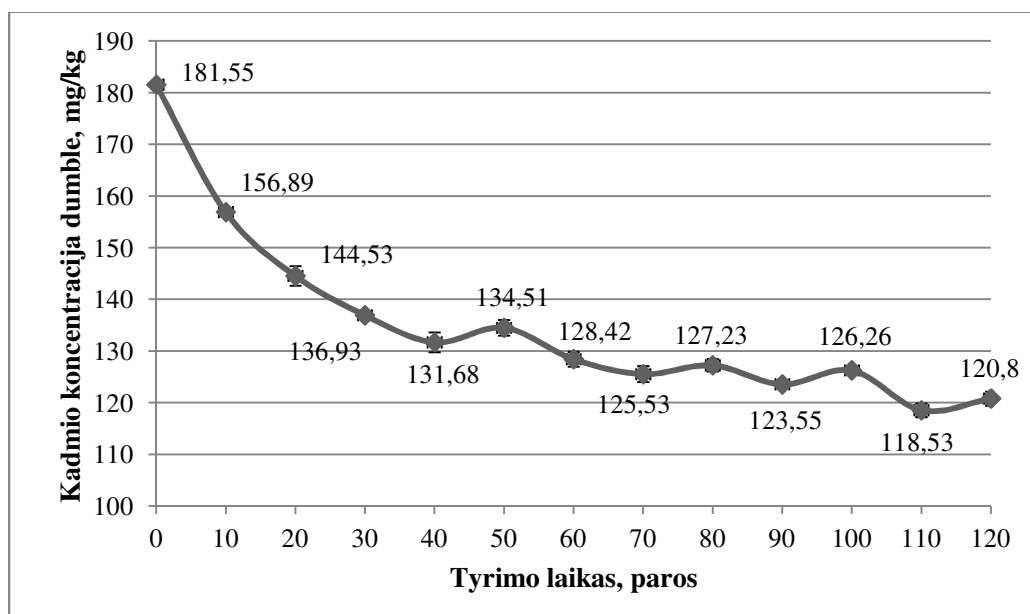
Kaip matyti 3.1 paveiksle vaizduojamame grafike, per 60 ir 70, bei 110 tyrimo dienas stebimas metalo koncentracijos nežymus didėjimas. Atsižvelgiant į bendrą chromo koncentracijos kaitos tendenciją, galima teigti, jog šie duomenų nukrypimai atsirado dėl atsitiktinių ar sisteminių paklaidų mėginių ruošimo, parametrų matavimo metu.

M.R. Shahmansouri (2005) atlikto tyrimo metu, kai buvo stebimi nuotekų dumble esančio chromo koncentracijų pokyčiai vermikompostavimo metu, nustatyta, jog po 60 proceso parų

dumble chromo metalo koncentracija sumažėjo 64,81 mg/kg. Pagal 3.1 paveikslo grafike pateiktus mano tyrimo duomenis, po 60 parų nuotekų dumble chromo metalo buvo sumažėję per 53,9 mg/kg.

A. Begum (2010) eksperimentiniais tyrimais nustatė, jog iš nuotekų dumblo (kartu su vandnes hiacintomis) per 60 parų (gruodis – sausis) vermikompostavimui naudojant Kalifornijos sliekus buvo pašalinta 69,9 procento chromo kiekio, lyginant su pradine (112 mg/kg) koncentracija.

Kadmio pašalinimą iš nuotekų dumblo tyrė ir R.K. Sinha (2009). Tyrimo metu nustatė, jog po 12 savaitių vermikompostavimo kadmio metalo kiekis nuotekų dumble sumažėjo nuo 2,6 mg/kg iki 2.1, t.y. 19,23%. Mano atlikto tyrimo metu per tokį pat laiką (12 savaitių) nuotekų dumble kadmio koncentracija sumažėjo nuo 284,48 mg/kg iki 216,09 mg/kg, t.y. sumažėjo 24%. Didesnis rezultatas buvo pasiektas todėl, kad pradinė koncentracija nuotekų dumble buvo didesnė, nei R.K. Sinha tyrimo metu.



3.2 pav. Kadmio (Cd) koncentracijos kaita vermikompostuojant nuotekų dumblą

3.2 paveiksle vaizduojamas grafikas rodo, kaip kito kadmio metalo koncentracija nuotekų dumble per visą vermikompostavimo proceso laiką. Nustatyta, kad kadmio koncentracija nuotekų dumble per 120 parų sumažėjo 1,5 karto.

Iš grafiko matyti, kad, kaip ir chromo metalo, kadmio koncentracija nuotekų dumble labiausiai sumažėjo per pirmąsias 10 vermikompostavimo parų. Per šį laikotarpį koncentracija sumažėjo 24,66 mg/kg. Per kitas dešimt parų koncentracija sumažėjo dar 12,36 mg/kg. Per kitus du laikotarpius nuo 20 iki 30 ir nuo 30 iki 40 parų koncentracija mažėjo panašiai – atitinkamai 7,6 mg/kg ir 5,25 mg/kg. Likusį proceso laiką kadmio kiekio mažėjimas vyko 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.

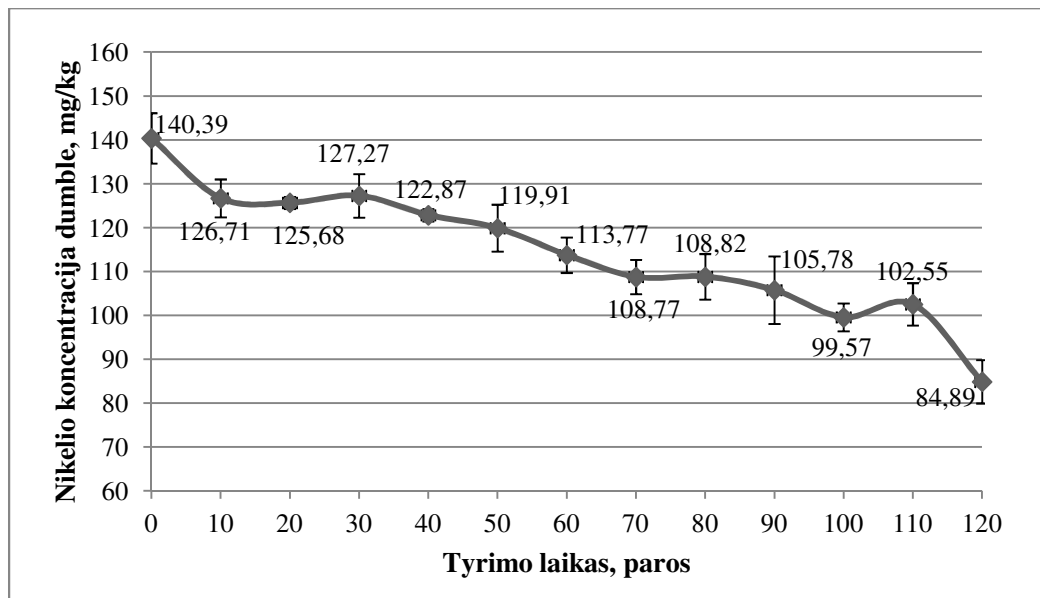
Kadmio koncentracijos mažėjimas intensyviausiai vyko pirmas 40 tyrimo parų. Pradinė metalo koncentracija nuotekų dumble nuo 181,55 mg/kg per 40 parų sumažėjo iki 131,68 mg/kg, t.y. koncentracijos kritimas lygus 49,87 mg/kg. Per likusį vermikompostavimo proceso laiką, t.y. per 80 parų, koncentracija dar sumažėjo iki 120,8 mg/kg, tai reiškia, jog koncentracija sumažėjo per 10,88 mg/kg.

Ties 50, 80 ir 100 paromis kadmio koncentracijos šiek tiek padidėja. Atsižvelgiant į bendrą kadmio koncentracijos kaitos nuotekų dumble tendenciją, galima teigti, jog nežymūs koncentracijų dumble (esant 50, 80 ir 100 dienoms) padidėjimai galėjo būti paklaidos mėginių ėmimo, ruošimo ar rodiklių matavimo metu ir kt.

Minėtas mokslininkas M.R. Shahmansouri (2005) to paties tyrimo metu stebėjo ir kadmio metalo šalinimą. Jis nustatė, jog per 60 parų dumble kadmio sumažėjo beveik perpus – 50,57 mg/kg. Po tokio pat laikotarpio mano atlikto tyrimo metu kadmio metalo iš nuotekų dumblo buvo pašalinta šiek tiek daugiau – 53,13 mg/kg.

3.3 paveiksle vaizduojamame grafike yra pateikiami nikelio metalo koncentracijos nuotekų dumble matavimų rezultatai. Nustatyta, jog nikelio koncentracija tiriamajame dumble praėjus 120 vermikompostavimo proceso parų sumažėjo per 55,5 mg/kg – nuo 140,39 mg/kg iki 84,89 mg/kg. Metalų koncentracija sumažėjo daugiau nei pusantro karto – 1,65.

Kaip matyti iš 3.3 paveikslo, koncentracijos mažėjimas viso tyrimo metu koncentracijos mažėjimas mažėjo panašiu intensyvumu. Didžiausi nikelio koncentracijų nuotekų dumble šuoliai pastebimi, kaip ir chromo bei kadmio metalų, per pirmąsias 10 parų. Taip pat per paskutiniąsias eksperimentinio tyrimo paras – nuo 110 paros iki 120 paros. Per pirmąsias dešimt parų nuotekų dumble sumažėjo 13,68 mg/kg nikelio koncentracijos. Antruoju laikotarpiu koncentracijos kitimas dar didesnis – nikelio sumažėjo 17,66 mg/kg. Toliau koncentracija skirtingais laikotarpiais kito labai panašiai. Per 10–20, 30–40, 40–50, 80–90 paras nikelio kiekio atitinkamai sumažėjo 1,03 mg/kg, 4,4 mg/kg, 2,96 mg/kg ir 3,04 mg/kg nuotekų dumblo. Didesni pokyčiai stebimi 50–60, 60–70 ir 90–100 parų laikotarpiais. Tuomet nikelio koncentracija sumažėjo atitinkamai per 6,14 mg/kg, 5,0 mg/kg bei 6,21 mg/kg.



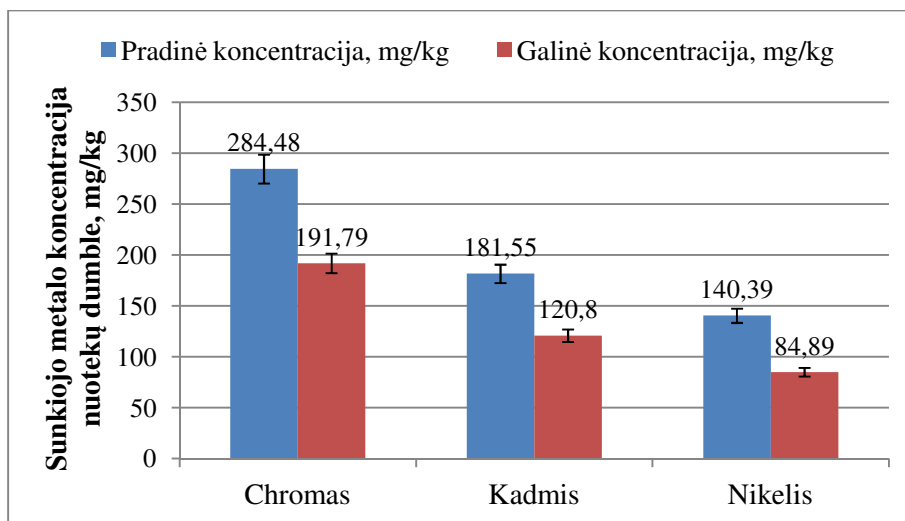
3.3 pav. Nikelio (Ni) koncentracijos kaita vermicompostuojant nuotekų dumblą

Grafike pavaizduota nikelio koncentracijos viso proceso metu kinta beveik tiesine priklausomybe. Nustačius, jog tokiai koncentracijų kaitai galima taikyti tiesinę regresinę lygtį, buvo apskaičiuotas ir kintamųjų priklausomybės koreliacijos koeficientas, kuris lygus 0,964, tai parodo stiprią koreliaciją tarp nikelio koncentracijų kaitos ir laiko.

Iš pateikiamo grafiko matyti, jog 30, 80 ir 100 proceso paromis nikelio koncentracija šiek tiek padidėjo. Palyginus su bendra koncentracijos kaitos tendencija, galima manyti, jog matavimo rezultatai galėjo nežymiai pakisti (koncentracija padidėjo) dėl paklaidų, atsiradusių imant, ruošiant mėginius ir matuojant rodiklius.

M.Shaymaa ir kt. (2010) atliko tyrimą, kurio metu stebėjo nikelio koncentracijų kaitą dumble. Jų tyrimas truko 28 paras. Jo metu nustatė, jog per šį laikotarpį nikelio koncentracija sumažėjo 87,8%, t.y. nuo pradinės 839,6 mg/kg koncentracijos sumažėjo iki 102,4 mg/kg. Mano tyrimo rezultatai parodė, jog iš nuotekų dumblo jį vermicompostuojant buvo pašalinta 9,35% nikelio metalo. Nuo 140,39 mg/kg nikelio koncentracija sumažėjo iki 127,27 mg/kg.

3.4 paveiksle yra pateikiami sunkiųjų metalų pašalinimo iš nuotekų dumblo jį vermicompostuojant rezultatai. Diagramoje pavaizduotos pradinės visų tirtų metalų koncentracijos nuotekų dumble ir koncentracijos po 120 parų vermicompostavimo. Matyti, jog visų tirtų sunkiųjų metalų koncentracijos nuotekų dumble sumažėjo.



3.4 pav. Sunkiųjų metalų koncentracijų pokyčiai nuotekų dumble lyginant su pradinėmis vertėmis

Didžiausias koncentracijos pokytis nustatytas chromo metalo. Jo koncentracija per 120 parų sumažėjo per 92,69 mg/kg. Kadmio koncentracija nuotekų dumble sumažėjo per 60,75 mg/kg. Kiekybiškai mažiausias koncentracijos pokytis nustatytas nikelio metalo. Jo iš dumblo buvo pašalinta 55,5 mg/kg. Iš pateiktų rezultatų galima matyti, jog chromo metalo, kurio buvo pašalinta daugiausiai, pradinė koncentracija dumble irgi buvo didžiausia iš visų tirtų metalų. Atitinkamai nikelio metalo – mažiausia pradinė koncentracija nuotekų dumble ir mažiausias šio metalo pašalinimas.

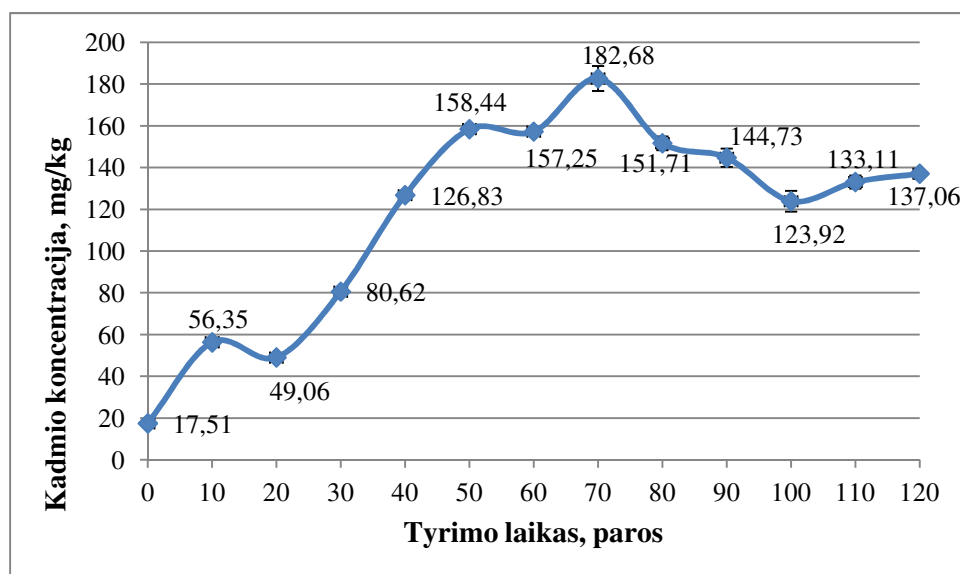
Tyrinėdamas nuotekų dumble esančius sunkiuosius metalus, A. B. Azizi (2012) nustatė, jog vermikompostuojant nuotekų dumblą (maišant jį su panaudotų grybų kompostu, prieš įterpiant vermikultūrą nuotekų dumblas buvo kompostuojamas 21 dieną) po 10 savaičių nuo tyrimo pradžios chromo ir kadmio koncentracijos lyginant su pradine nuotekų dumble sumažėjo 90-98,0%.

3.5–3.7 paveiksluose pavaizduotos tiriamų sunkiųjų metalų koncentracijos kaitos sliekuose vermikompostuojant nuotekų dumblą.

Sunkiojo metalo – kadmio – koncentracijos kaita sliekų audiniuose pavaizduota 3.5 paveiksle. Kaip matyti iš grafiko, per pirmąsias 70 vermikompostavimo parų kadmio sliekų audiniuose intensyviai daugėjo. Nuo 17,51 mg/kg sliekuose kadmio padidėjo kiek daugiau nei 10 kartų – iki 182,68 mg/kg.

Daugiausia sliekai kadmio metalo bioakumulavo per pirmąsias 10 parų, per 20–30, 30–40, 40–50 ir 60–70 parų laikotarpius. Nustatyti kadmio koncentracijų padidėjimai atitinkamai buvo 38,84 mg/kg, 31,56 mg/kg, 46,21 mg/kg, 31,61 mg/kg ir 25,43 mg/kg.

Grafike matyti, kad per pirmųjų 70 parų vermikompostavimo laikotarpį 20 ir 60 parų rezultatai nežymiai išsiskiria iš bendros koncentracijos didėjimo sliekų audiniuose tendencijos. Toks rezultatas galėjo būti dėl pasitaikiusių paklaidų eksperimento metu.

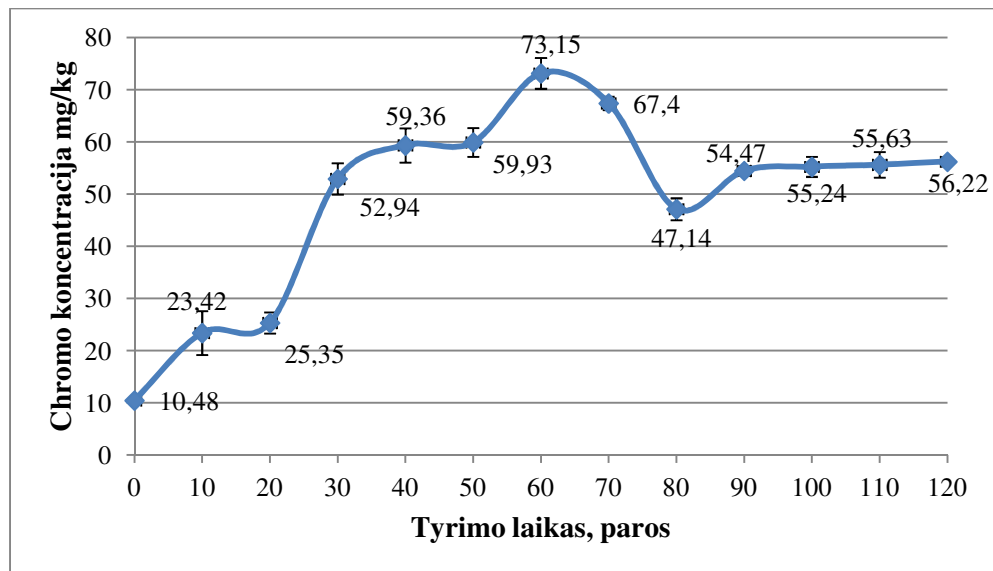


3.5 pav. Kadmio (Cd) koncentracijos sliekų audiniuose kaita

Koncentracijos mažėjimas po 70 vermikompostavimo paros galėjo įvykti dėl naujų Kalifornijos sliekų išsiritimo. Jau pirmąją vermikompostavimo savaitę pastebėtas naujos sliekų populiacijos atsiradimas. Yra nustatyta, jog sliekai užauga ir subręsta per maždaug 10 savaičių, tad sunkiųjų metalų koncentracijų pokyčiai sliekų audiniuose, pasireiškę nuo 60 dienos, yra naujų sliekų, nespėjusių bioakumuliuoti tiek pat metalų, kaip senosios populiacijos sliekai, įtaka. Padidėjus sliekų kiekiui (naujai išsiritusių) galėjo kristi bendras koncentracijos sliekų audiniuose lygis. Bandymams buvo renkami atsitiktiniai suaugę ir subrendę sliekai, tad galima teigti, jog tyrimams atlikti buvo paimti ir tie, kurie savo audiniuose neturėjo sugertų didelių sunkiųjų metalų kiekių. Dėl to, 3.5 paveikslė grafike nuo 70 paros kadmio koncentracija sliekų audiniuose palaipsniui mažėja. Per 30 parų kadmio bioakumuliacija naujos populiacijos sliekų audiniuose tapo panaši į senos populiacijos sliekų. Nuo 100 paros koncentracija didėja, naujos populiacijos sliekai kaupė vis daugiau sunkiojo metalo.

Dar 1980 metais buvo nustatyta (Hartenstein *et. al.* 1980) kadmio bioakumuliacija Kalifornijos sliekuose esant skirtingoms dumblo koncentracijoms, atitinkamai 10, 50 ir 100 mg/kg. Nustatyta, jog sliekuose šio metalo koncentracijos po kelių mėnesių pradines dumblo koncentracijas viršijo atitinkamai 3,90, 2,04 ir 1,44 kartais.

3.6 paveiksle yra pavaizduotas chromo metalo koncentracijos kitimo sliekų audiniuose kitimas per visą nuotekų dumblo vermikompostavimo laikotarpį.



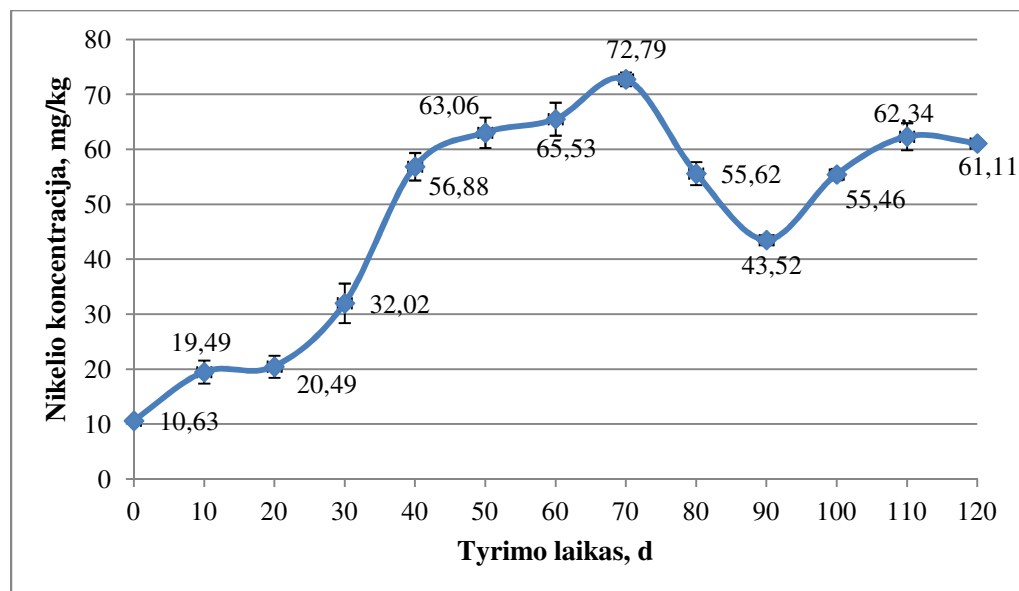
3.6 pav. Chromo (Cr) koncentracijos sliekų audiniuose kaita

Chromo koncentracijos didėjimas stebimas iki 60 nuotekų dumblo vermikompostavimo paros. Per pirmąsias tyrimo 60 parų chromo koncentracija sliekų audiniuose nuo 10,48 mg/kg padidėjo iki 73,15 – beveik 7 kartus, lyginant su nustatyta pradine chromo metalo koncentracija sliekų audiniuose. Intensyviausia chromo metalo bioakumuliacija vyko per pirmąsias 10 parų, 20–30 bei 50–60 parų laikotarpius. Jų metu atitinkamai buvo bioakumuliuota 12,94 mg/kg, 27,59 mg/kg ir 13,22 mg/kg chromo metalo.

Toliau per kitas 20 parų matomas koncentracijos nežymus mažėjimas iki 47,14 mg kilogramui sliekų. Koncentracijos kritimas nustatytas dėl anksčiau išvardintų priežasčių – subrendusios naujos populiacijos sliekų patekimo į bandinius matuojant sunkiųjų metalų koncentracijas juose. Po 80 proceso parų chromo kiekis sliekų, paimtų bandymams, audiniuose vėl didėja. 80–90 parų laikotarpiu kiek intensyviau – per dešimt parų bioakumuliuota 7,33 mg/kg. Kitais laikotarpiais akumuliacijos procesas kiek lėtesnis: 90–100, 100–110 ir 110–120 parų laikotarpiais atitinkamai chromo koncentracija sliekų audiniuose padidėjo per 0,77 mg/kg, 0,39 mg/kg bei 0,59 mg/kg. Taigi 120 parą chromo metalo koncentracija sliekų audiniuose siekė 56,22 mg/kg.

N. M. Aleagha (2011) eksperimentiniais tyrimais nustatė, jog *Eisenia fetida* jau pirmąsias dvi savaites intensyviai akumuliuoja sunkiuosius metalus. Savo atlikto tyrimo metu mokslininkas nustatė, jog per pirmąsias 14 parų chromo kiekis sliekuose pasikeitė nedaug, nors – 0,0098 mg/kg. Mano atlikto tyrimo metu per tokį pat laiką sliekuose buvo sukaupta 12,94 mg/kg chromo metalo.

3.7 paveiksle pateikiamas grafikas su nikelio metalo koncentracijos kaita vermikompostuojant nuotekų dumblą.



3.7 pav. Nikelio (Ni) koncentracijos sliekų audiniuose kaita

Kaip matyti iš grafiko, pateikto 3.7 paveiksle, nikelio koncentracijos sliekų audiniuose kaita viso proceso metu turi panašią tendenciją, kaip ir kitų matuotų metalų. Proceso pradžioje iki 70 tyrimo paros yra matomas intensyvus sunkiojo metalo koncentracijos augimas – nuo 10,63 mg/kg sliekuose nikelio padidėjo apie 7 kartus, t.y. iki 72,79 mg/kg.

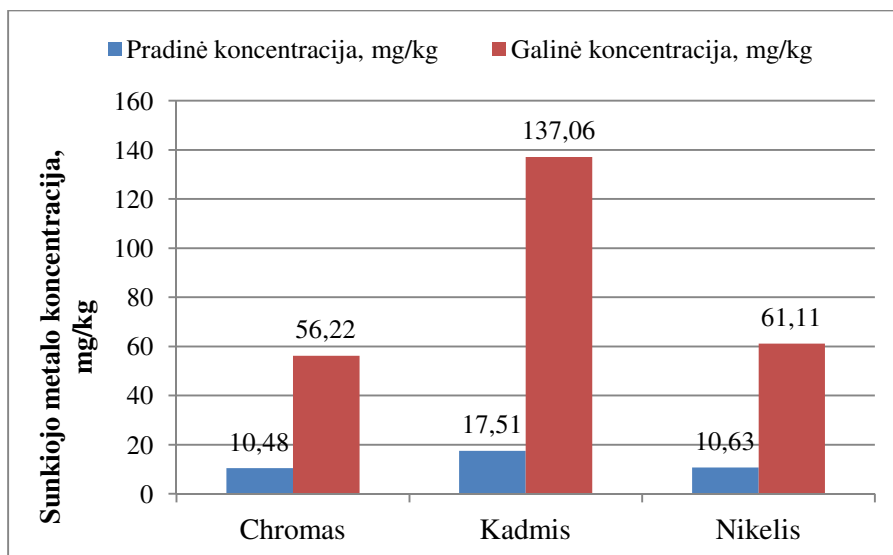
Intensyviausia bioakumuliacija vyko 20–50 parų laikotarpiu. Jau nuo 20 paros per dešimt parų nikelio koncentracija sliekų audiniuose padidėjo per 11,53 mg/kg. Kitas 10 parų vyko intensyviausia bioakumuliacija per visą procesą. 30–40 parų laikotarpiu koncentracija sliekų audiniuose padidėjo per 24,86 mg/kg.

Per kitas 20 parų nikelio kiekis sliekuose nukrito iki 43,52 mg/kg. Galima šio koncentracijos kritimo priežastis – minėtas naujai atsiradusių sliekų audiniuose sukauptas mažesnis metalo kiekis.

M. Shaymaa (2010) tirdamas elektronikos pramonės nuotekų dumblo vermikompostavimą, nustatė, jog per 28 dumblo vermikompostavimo paras sliekai bioakumulavo 48,87 mg/kg nikelio. Kaip matyti iš 3.7 paveiksle pateikto grafiko, mano atlikto tyrimo metu buvo nustatyta, jog per tą patį laikotarpį sliekai audiniuose bioakumulavo 21,39 mg/kg nikelio metalo.

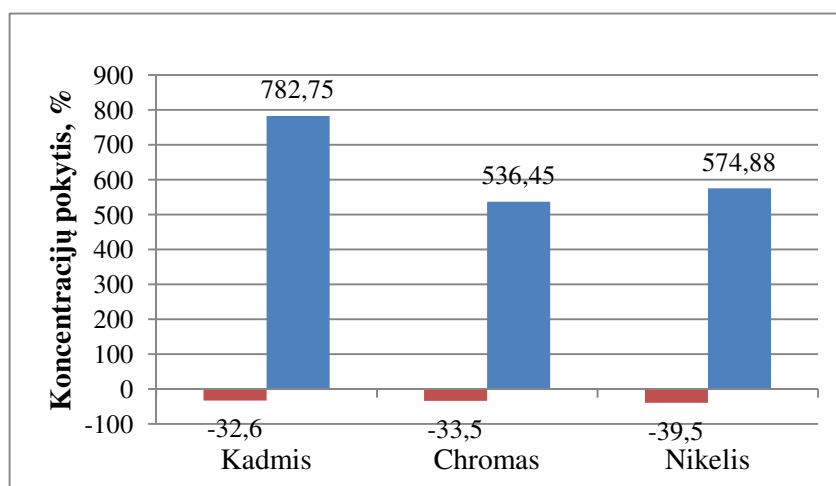
3.8 paveiksle pateikti sunkiųjų metalų kiekiai sliekų audiniuose pradinę (jų įterpimo į nuotekų dumblą) dieną ir praėjus 120 parų po vermikompostavimo.

Matyti žymūs sunkiųjų metalų koncentracijų padidėjimai, tad galima teigti, jog vyko intensyvi bioakumuliacija. Vidutiniai sliekų bioakumuluojamų sunkiųjų metalų kiekiai per parą yra: chromo – 0,352 mg/kg/parą, kadmio – 0,919 mg/kg/parą, o nikelio bioakumuliacija vidutiniškai vyko 0,388 mg/kg/parą. Intensyviausiai vyko kadmio bioakumuliacija. Šio metalo buvo sukaupta 119,55 mg/kg sliekų. Tai 2,6 karto didesnis kiekis nei sukaupto chromo metalo (45,74 mg/kg) ir 2,4 karto daugiau už sukaupto nikelio metalo (50,48 mg/kg).



3.8 pav. Sunkiųjų metalų koncentracijų pokyčiai (mg/kg) sliekų audiniuose lyginant su pradinėmis vertėmis

Grafike, vaizduojamame 3.9 paveiksle yra pavaizduoti procentiniai koncentracijų pokyčiai nuotekų dumble ir sliekuose lyginant su pradinėmis šio parametro reikšmėmis. Nuotekų dumble ji vermicompostuojant didžiausias koncentracijos kritimas – nikelio. Jo sumažėjo 39,5 procento nuo pradinio kiekio. Chromo koncentracijos pokytis panašus – 33,5 procento kritimas. Kadmio kiekis nuotekų dumble sumažėjo 32,6 procentais.



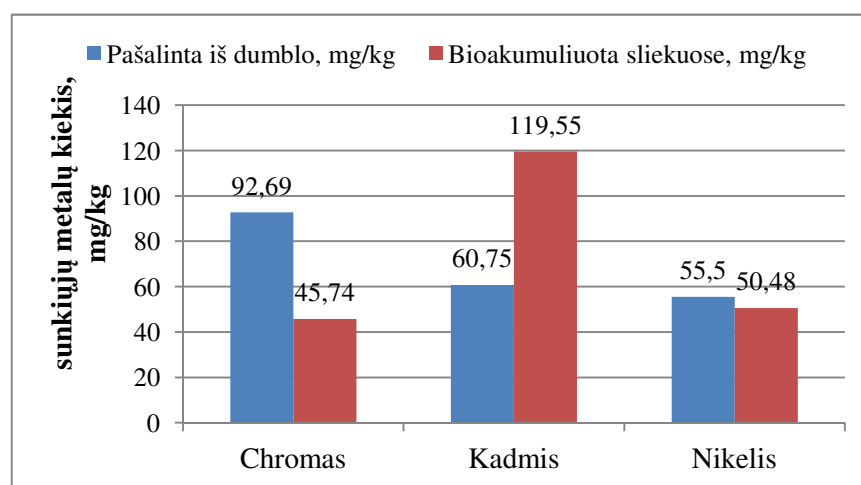
3.9 pav. Sunkiųjų metalų koncentracijų pokyčiai nuotekų dumble bei sliekų audiniuose lyginant su pradinėmis vertėmis, %

Kaip matyti iš grafiko, sliekuose daugiausia bioakumuliuota chromo metalų – palyginus su pradine šio metalo koncentracija tyrimo pabaigoje ji buvo 782,75 procentais didesnė, t.y. apie 8 kartus didesnė. Chromo ir nikelio koncentracijų padidėjimas panašus. Chromo kiekis padidėjo apie penkis kartus (536,45 procento), o nikelio kiekis išaugo 574,88 procento.

Diagramoje pateikti rezultatai rodo, kad didžiausia pradinė koncentracija tiek vermikompostuojamame nuotekų dumble, tiek sliekuose buvo kadmio metalo, būtent šio metalo buvo didžiausia bioakumuliacija sliekų audiniuose, bei daugiausia jo pašalinta iš dumblo.

Chromo ir nikelio metalų kiekiai nuotekų dumble ir sliekuose buvo panašūs, nežymiai skiriasi jų bioakumuliacija sliekų audiniuose ir pašalinimas iš dumblo.

Kaip matyti iš 3.10 paveiksle pavaizduotų diagramų, iš 1 kg nuotekų dumblo per 120 parų buvo pašalinta 92,69 mg chromo metalo. Sliekuose per tą patį laiką sukaupta 45,74 mg. Kadmio bioakumuliuota 119,55 mg/kg sliekų. Iš dumblo kadmio buvo pašalinta 60,75 mg/kg. Nikelio per 120 eksperimento parų sliekuose bioakumuliuota 50,48 mg/kg, o iš 1 kilogramo dumblo pašalinta 55,5 mg.

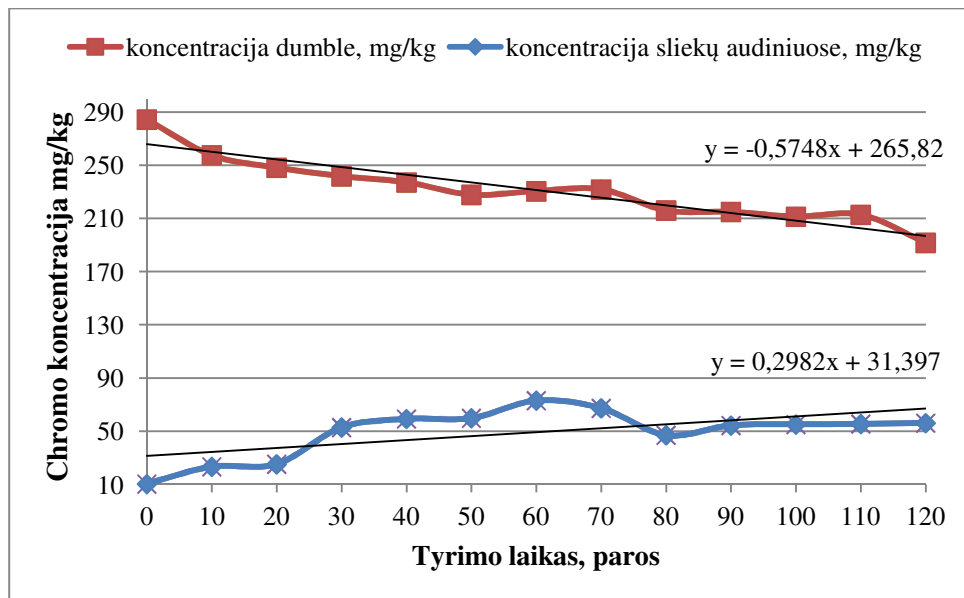


3.10 pav. Sunkiųjų metalų koncentracijų pokyčiai nuotekų dumble bei sliekų audiniuose lyginant su pradinėmis vertėmis, mg/kg

Diagrama rodo, jog tiek chromo, tiek nikelio metalo koncentracija nuotekų dumble sumažėjo daugiau, nei didėjo sliekų audiniuose. Kadmio metalo – sliekų audiniuose koncentracijos padidėjimas daug didesnis, nei pašalinimas iš nuotekų dumblo. Įvairių tyrimų metu (Aleagha 2011, Shahmansouri 2005, Shuo 2009) nustatyta, jog kadmio akumuliacija sliekų audiniuose daugeliu atveju pralenkia fonines terpių koncentracijas dėl kadmiui tolerantiškos šių organizmų būsenos ir minimalaus neigiamo poveikio jiems.

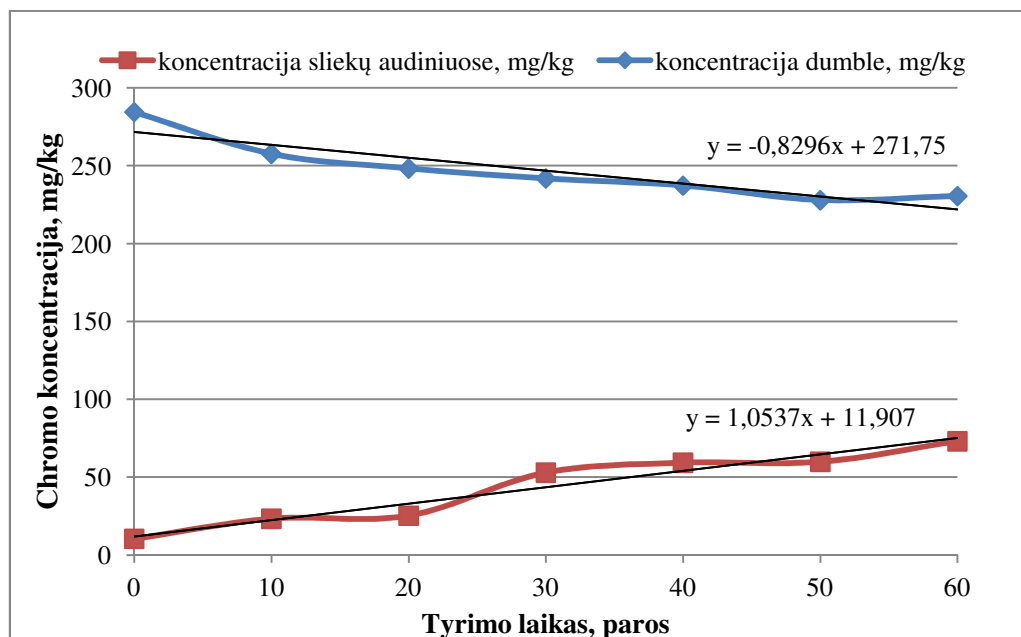
3.11 – 3.13 paveiksluose yra grafiškai vaizduojami sunkiųjų metalų koncentracijos pokyčiai nuotekų dumble bei akumuliacija sliekų audiniuose bei šių parametrų pokyčių krypties linijos.

Kaip matyti iš 3.11 paveiksle pateikto palyginimo grafiko, mažėjant sunkiojo metalo kiekiui nuotekų dumble, koncentracija sliekų audiniuose didėjo. Chromo koncentracija nuotekų dumble mažėjo beveik dvigubai didesniu greičiu, nei vyko šio metalo bioakumuliacija sliekų audiniuose (tai sprendžiama pagal krypčių linijų lygčių koeficientą prie kintamojo 'x').



3.11 pav. Chromo koncentracijų nuotekų dumble ir sliekuose kaitos spartos palyginimas

N. M. Aleagha (2011) eksperimentiniais tyrimais nustatė, jog *Eisenia fetida* jau pirmąsias dvi savaites intensyviausiai akumuliuoja sunkiuosius metalus. Šio tyrimo metu nustatyta, jog kadmio kiekis per pirmąsias 14 parų sliekuose padidėjo per 0,193 mg/kg. Keičiantis sunkiojo metalo koncentracijai dirvožemyje, bioakumuliuoto chromo kiekis didėjo: kai dirvožemyje kadmio kiekis – 0,79 mg/kg, pirmosiomis 14 parų bioakumuliuota 0,17 mg/kg, kuomet kadmio kiekis dirvožemyje 1,4 mg/kg – bioakumuliuota 0,22 mg/kg. Tad galima teigti, kad esant didesnei kadmio koncentracijai sliekų veiklos terpėje, jų bioakumuliacija yra didesnė.



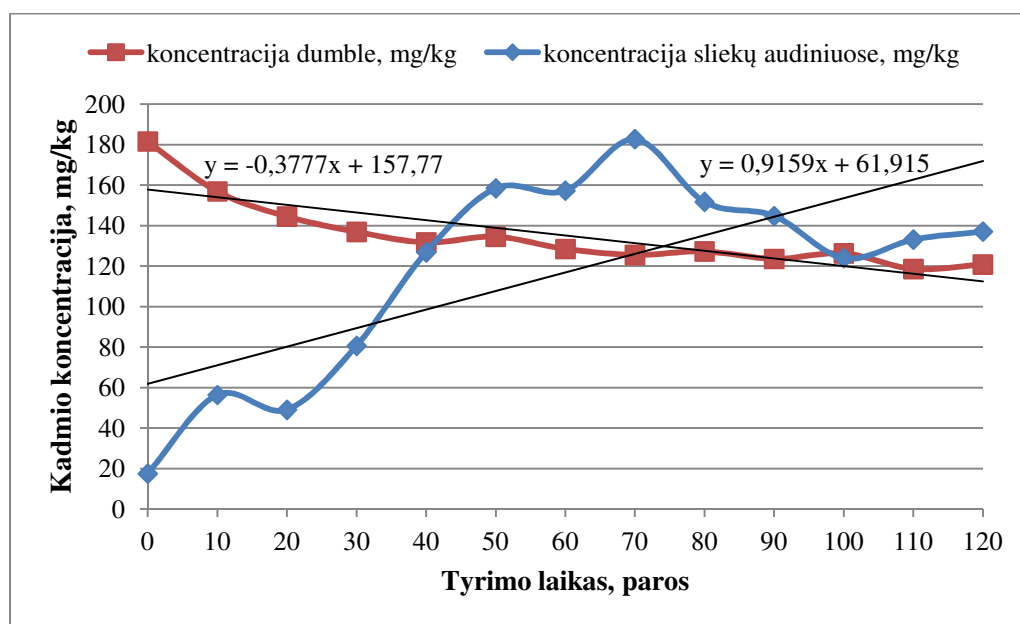
3.11 a pav. Chromo nuotekų dumble ir sliekuose koncentracijų kaitos per pirmąsias 60 tyrimo paras palyginimas

Darant prielaidą, jog bendras koncentracijos sliekų audiniuose lygis padaugėjus sliekų kiekiui (naujai išsiritusių) galėjo kristi, 3.11 a paveiksle pavaizduotas koncentracijų kaitos dumblyje ir sliekuose palyginimas iki tyrimo 60 paros.

Matyti, kad per pirmąsias 60 eksperimento paros chromo bioakumuliacija sliekų audiniuose vyko tiesine priklausomybe – sugeneruotos funkcijos ir eksperimentinių duomenų koreliacijos koeficientas lygus 0,919. Koncentracijos pokytis kas dešimt parų buvo beveik pastovus (krypties koeficientas prie lygties kintamojo 'x' yra 1,053). Metalų šalinimas iš nuoteko dumblo vyko šiek tiek mažesne sparta. Nuotekų dumblyje chromo koncentracija mažėja taip pat stipria tiesine priklausomybe – koreliacijos koeficientas lygus 0,969.

Analizuojant 3.11a paveiksle pateiktus duomenis, galima matyti, jog koncentracijos mažėjimas yra susijęs su jos didėjimu sliekų audiniuose. Per šešiasdešimt parų chromo koncentracija nuotekų dumblyje padidėjo per 53,9 mg/kg. Sliekų audiniuose per tą patį laikotarpį metalo koncentracija padidėjo per 67,62 mg/kg.

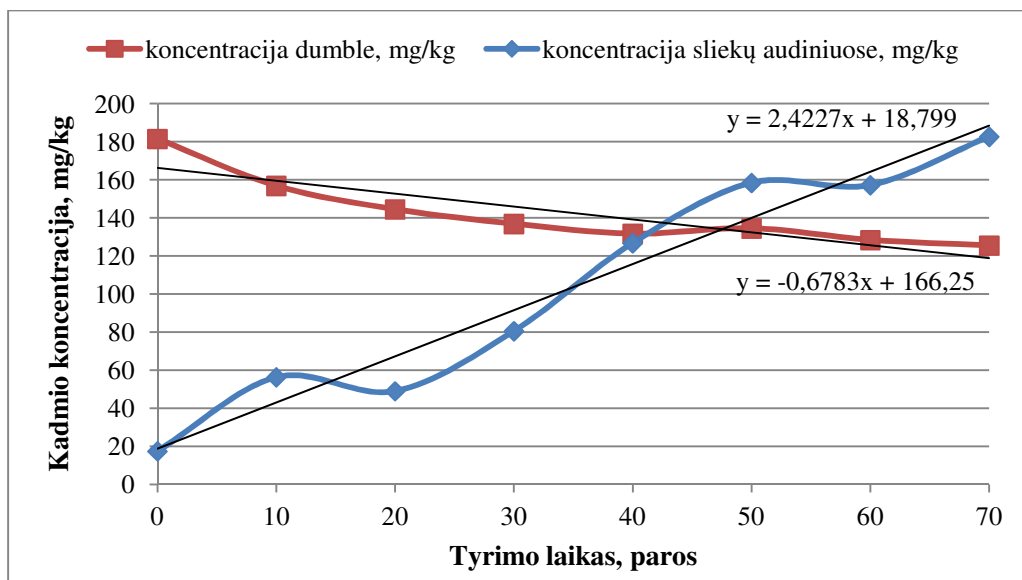
3.12 paveiksle pateikiamas kadmio koncentracijos kaitos palyginimas. Krypčių linijos rodo, kad didėjant kadmio koncentracijai sliekuose, nuotekų dumblyje metalo kiekis mažėja.



3.12 pav. Kadmio nuotekų dumblyje ir sliekuose koncentracijų kaitos spartos palyginimas

Pagal 3.12 paveiksle pateikto palyginimo grafiką koncentracija nuotekų dumblyje mažėja žymiai mažesniu greičiu, nei vyko šio metalo bioakumuliacija sliekų audiniuose (tai sprendžiama pagal krypčių linijų lygčių koeficientą prie kintamojo 'x').

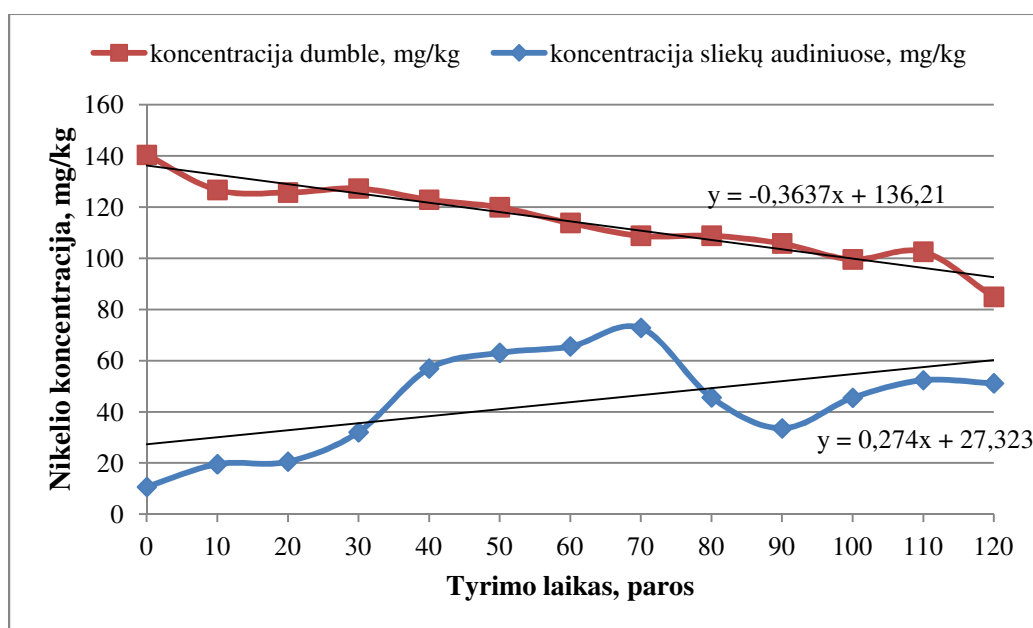
Matyti, jog kadmio bioakumuliacija palyginus su pašalinimu iš dumblo išsiskiria iš kitų metalų. Tai, kad jau po 40 parų kadmio koncentracija sliekuose pralenkia koncentraciją nuotekų dumblyje, rodo intensyvų kadmio kaupimąsi sliekų audiniuose.



3.12 a pav. Kadmio nuotekų dumble ir sliekuose koncentracijų kaitos per pirmąsias 70 tyrimo parų palyginimas

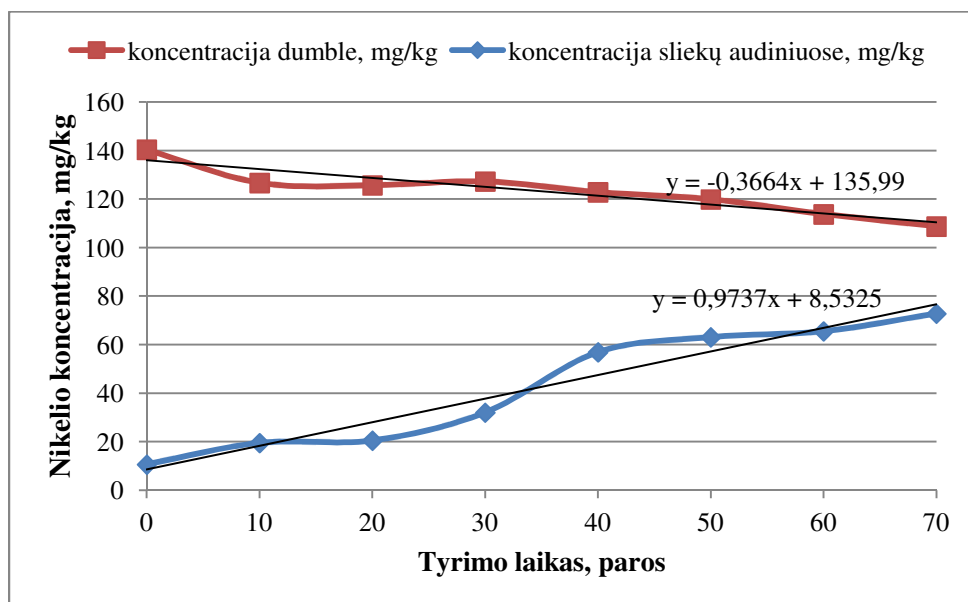
Darant prielaidą, jog bendras koncentracijos sliekų audiniuose lygis padaugėjus sliekų kiekiui (naujai išsiritusių) galėjo kristi, 3.12 a paveiksle pavaizduotas koncentracijų kaitos dumble ir sliekuose palyginimas iki tyrimo 70 paros. Iš šio grafiko galima spręsti, jog pirmąsias 70 parų kadmio bioakumuliacija sliekuose vyko intensyviai.

Krypties koeficientas (2,4227) prie sugeneruotos funkcijos kintamojo rodo, jog kadmio buvo kaupiamas sliekų audiniuose itin intensyviai ir galima sakyti, kas dešimt parų bioakumuliuoto kadmio kiekis buvo daugiau nei dvigubai didesnis nei ankstesnio 10 parų laikotarpio. Palyginus su metalo pašalinimo iš nuotekų dumblo matyti, jog bioakumuliacija vyko apie 3,5 karto greičiau, nei pašalinimas iš nuotekų dumblo.



3.13 pav. Nikelio nuotekų dumble ir sliekuose koncentracijų kaitos spartos palyginimas

Nikelio šalinimas iš nuotekų dumblo ir jo bioakumuliacija sliekuose pavaizduota 3.13 grafike. Kaip matyti iš grafiko, per dumblo vermikompostavimo laikotarpį nikelio šalinimas iš nuotekų dumblo vyko greičiau, nei bioakumuliacija, nors skirtumas nėra itin žymus –nikelio bioakumuliacijos sliekų audiniuose ir pašalinimo iš nuotekų dumblo krypties koeficientai yra panašūs (atitinkamai -0.3637 ir 0,274).



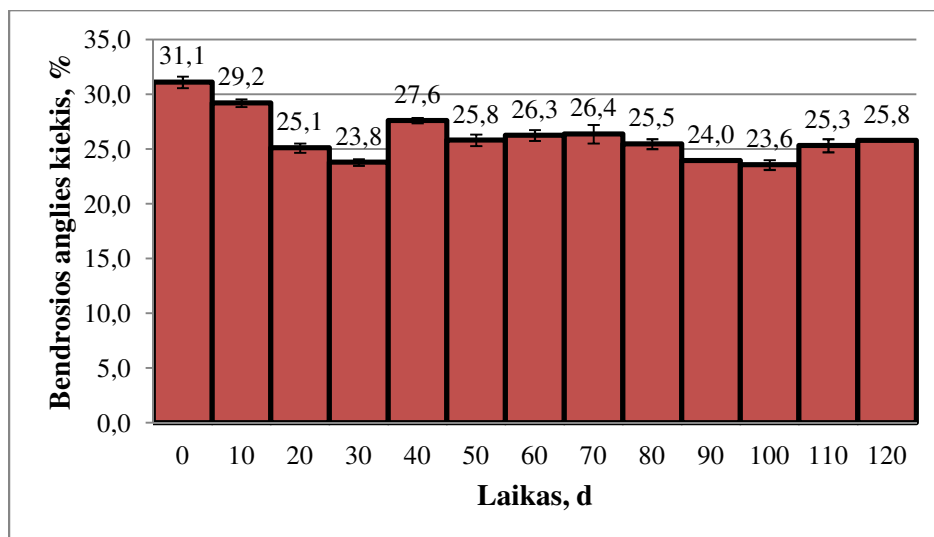
3.13 a pav. Nikelio nuotekų dumble ir sliekuose koncentracijų kaitos per pirmąsias 70 eksperimento parų palyginimas

Tačiau per pirmąsias 70 eksperimento parų (3.13 a paveikslas), šie rodikliai skiriasi. Sprendžiant iš kryptčių linijų lygčių koeficientų, nikelio bioakumuliacija sliekuose vyko sparčiau beveik 2,5 karto. Nikelio kaupimasis per nagrinėjamą laikotarpį vyko beveik tolygiai, t.y. per kiekvienas dešimt parų nikelis vidutiniškai bioakumuliuotas beveik vienodais dydžiais (tiesinės krypties koeficientas artimas vienetui – 0,9737).

3.2.1. Dumblo stabilizavimo rodikliai

Dumblo stabilizavimo rodikliai yra svarbūs dėl jo panaudojimo galimybių. Viso vermikompostavimo proceso metu buvo palaikomos optimalios sąlygos sliekams veikti, t.y. optimali temperatūra, pH, drėgmės kiekis. Šie parametrai svarbūs siekiant užtikrinti Kalifornijos sliekų veiklos efektyvumą.

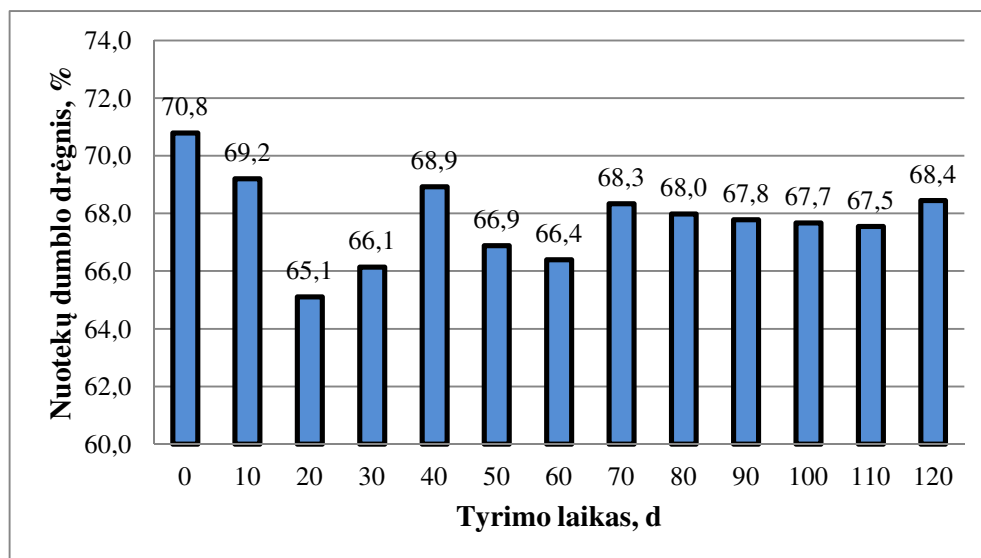
Tiriamąjį nuotekų dumblo bendrosios anglies kiekiai procentais viso eksperimento metu pavaizduoti 3.14 paveiksle.



3.14 pav. Bendrosios anglies kiekis nuotekų dumble

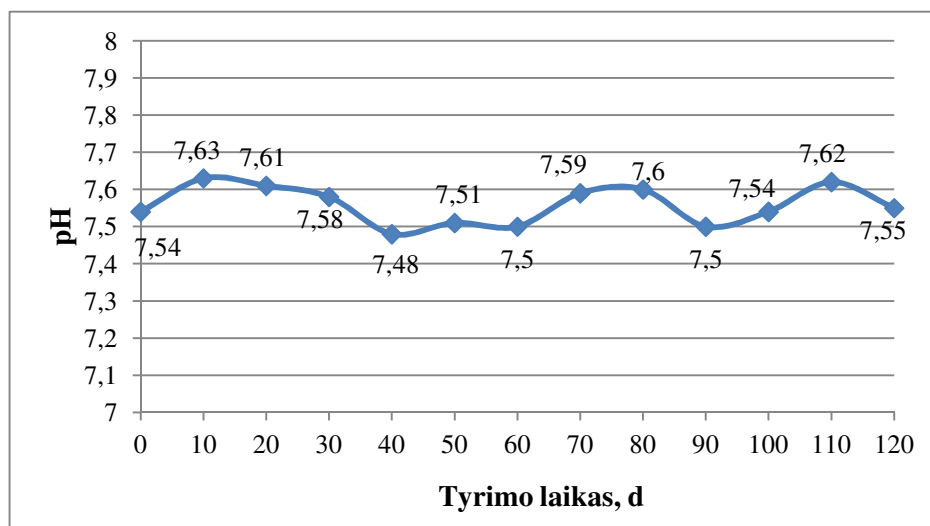
Kaip matyti iš grafiko, bendrosios anglies kiekis tiriamuose mėginiuose skyrėsi nežymiai – nuo 23,6% iki 31,1%. Vidutinis nustatytas bendrosios anglies yra kiekis 26,1%. Po vermicompostavimo bendrosios anglies kiekis nuotekų dumble pakito per 5,3%.

Analizuodamas nuotekų dumblo stabilizavimo procesą vermicompostavimo metu, R. K. Sinha (2009) nustatė, jog vidutiniškai viso proceso metu buvo bendrasis anglies kiekis nuotekų dumble buvo 33%. Panašūs rezultatai buvo gauti ir mano atliktų eksperimentinių tyrimų metu.



3.15 pav. Nuotekų dumblo drėgmės kiekis, %

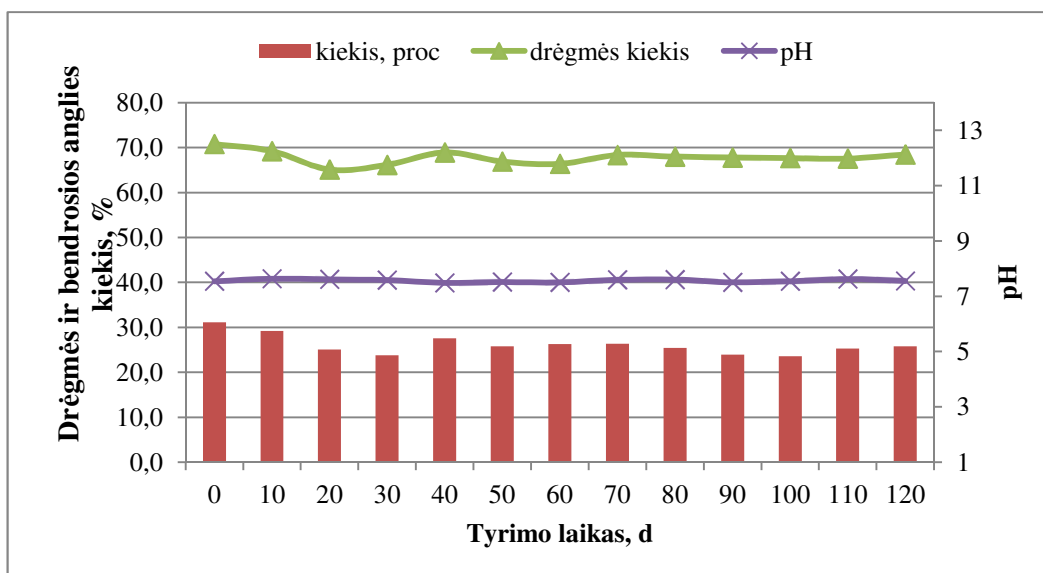
Drėgmės kiekis labai svarbus efektyviai sliekų veiklai užtikrinti. Vermikompostuojant rekomenduojama drėgmė yra 60 – 80%. Kaip matyti 3.15 paveiksle, viso eksperimento metu buvo palaikoma optimali nuotekų dumblo drėgmė. Mažiausia šio parametro reikšmė buvo 65,1%, didžiausia reikšmė – 70,8% – buvo pradiniu vermicompostavimo momentu.



3.16 pav. Nuotekų dumblo pH vertės proceso metu

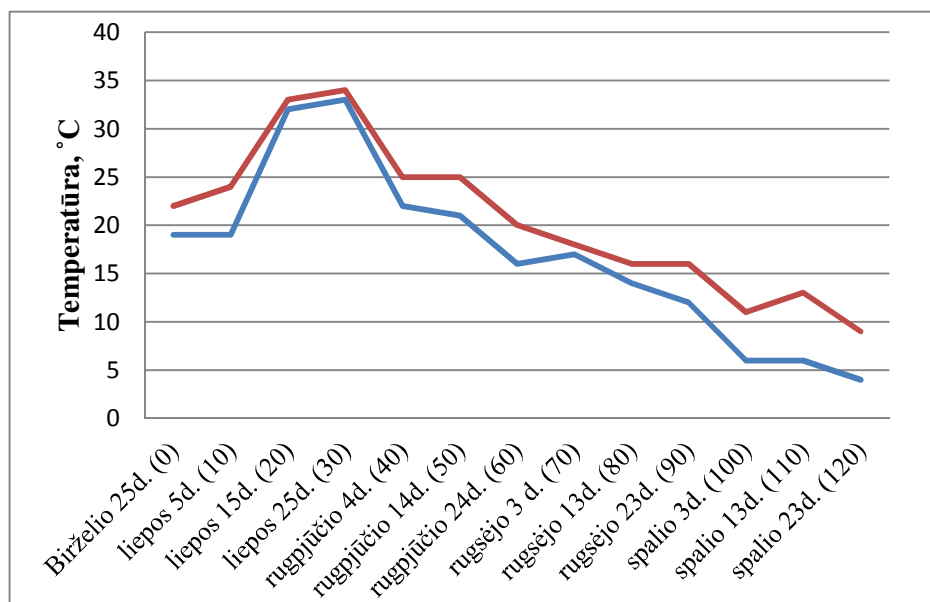
pH rodiklis yra labai svarbus efektyviai sliekų veiklai užtikrinti. Rekomenduojamas pH dydis viso proceso metu yra neutralus – 7,5. Kaip matyti 3.16 paveiksle, viso eksperimento metu pH keitėsi nežymiai. Mažiausia šio parametro reikšmė buvo 7,48, didžiausia reikšmė – 7,63.

Buvo žinoma, jog Kalifornijos sliekų terpės pH neturėtų būti rūgštinis (pH mažesnis kaip 6,0) ar per daug šarminis (pH didesnis kaip 8,0). Eksperimento metu stebėtas pH kito nežymiai, tad galima teigti, jog nuotekų dumblo terpė buvo palanki sliekams veikti.



3.17 pav. Bendrosios anglies kiekio, drėgmės kiekio ir pH reikšmių viso proceso metu palyginimas

Galima teigti, jog bendrosios anglies kiekis vermikompostavimo metu, palaikant pastovų pH dydį, priklausė nuo drėgmės kiekio. Kaip rodo matavimų rezultatai, pateikti 3.17 paveiksle, mažėjant drėgmei, bendrosios anglies kiekis mažėja, kuomet pH beveik nekito.



3.18 pav. Aplinkos ir nuotekų dumblo temperatūra proceso metu

Viso eksperimento metu buvo stebima tiek aplinkos, tiek vermikompostuojamo nuotekų dumblo temperatūra. Iš 3.12 grafiko matyti, jog dumblo temperatūros dydis itin priklauso nuo aplinkos temperatūros. Auščiausia nuotekų dumblo temperatūra buvo pasiekta liepos 25 d. (30 eksperimento dieną).

3.3. Skyriaus išvados

1. Atlikus eksperimentinius tyrimus nustatyta, kad sunkieji metalai (Cr, Cd ir Ni) iš nuotekų dumblo yra bioakumuliuojami sliekų audiniuose, dėl to šių metalų koncentracija nuotekų dumble mažėja.
2. Atlikus tyrimų analizę nustatyta, kad didžiausias pašalintas kiekis iš nuotekų dumblo – chromo metalo. Nuotekų dumble chromo koncentracija sumažėjo nuo 284,48 mg/kg iki 191,79 mg/kg. Chromo kiekio pokytis – 92,62 mg/kg. Palyginus su pradine chromo koncentracija nuotekų dumble ji sumažėjo 33,5 procento.
3. Procentiškai, lyginant koncentraciją pirmąją eksperimento dieną ir paskutinę, daugiausiai pašalinta nikelio metalo. Jo koncentracija tiriamajame nuotekų dumble sumažėjo 39,5 procento. Iš nuotekų dumblo jo buvo pašalinta 55,5 mg/kg.
4. Kadmio koncentracija nuotekų dumble eksperimento pabaigoje buvo mažesnė 32,6 procentais, šio metalo pašalinta 60,75 mg/kg.
5. Atlikus tyrimų analizę nustatyta, kad sliekuose daugiausia buvo bioakumuliuota kadmio. Eksperimento pabaigoje sliekuose buvo išmatuota beveik aštuonis kartus (7,8 kartus) didesnė kadmio koncentracija palyginus su pradine. Per 120 vermikopostavimo dienų nuo 17,51 mg/kg kadmio koncentracija organizmuose padidėjo iki 137,06 mg/kg.

6. Mažiausia bioakumuliacija sliekuose buvo nustatyta chromo metalo. Jo sliekuose susikaupė kiek daugiau nei penkis kartus (536 procentų) palyginus su pradiniu kiekiu. Sliekuose buvo sukaupta 45,74 mg/kg.

7. Buvo nustatyta, jog nikelio sliekų audiniuose bioakumuliuota 50,48 mg/kg. Šio metalo kiekis sliekuose padidėjo 575 procentais.

8. Lyginant su pradinėmis tiriamojo dumblo sunkiųjų metalų koncentracijomis (prieš sunkiųjų metalų įterpimą), vermikompostavimo metu pašalintas sunkiųjų metalų kiekis yra pakankamas, kad nuotekų dumblas gali būti naudojamas žemės ūkyje. Pagal chromo ir nikelio koncentracijas dumblas eksperimento pradžioje priskiriamas II kategorijai. Po 120 dienų vermikompostavimo, jei būtų vermikompostuojamas dumblas su pradinėmis koncentracijomis (be įterptų sunkiųjų metalų tirpalų), dumblas būtų priskiriamas I kategorijai.

4. SUNKIŲJŲ METALŲ (Cr, Cd, Ni) BIOAKUMULIACIJOS KALIFORNIJOS SLIEKUOSE VERMIKOMPOSTUOJANT NUOTEKŲ DUMBLĄ MATEMATINIS MODELIAVIMAS

Analizuojant eksperimentinių tyrimų rezultatus buvo pastebėta, jog Kalifornijos sliekai bioakumuluoja nuotekų dumble esančius sunkiuosius metalus, taip juos šalindami iš nuotekų dumblo. Tyrimas parodė, jog didėjant sunkiųjų metalų koncentracijai sliekų audiniuose, nuotekų dumble teršalo mažėja.

Matematinio modeliavimo tikslai:

1. Taikant mažiausių kvadratų metodą nustatyti sunkiųjų metalų bioakumuliacijos proceso empirinę lygtį, pagal kurią
2. Nustatyti sunkiųjų metalų bioakumuliacijos dydžius, esant skirtingoms sunkiųjų metalų koncentracijoms nuotekų dumble.

4.1 lentelė. duomenys, naudojami matematiniam modeliavimui

Vermikompostavimo parų skaičius	Koncentracija sliekų audiniuose, mg/kg			Koncentracija nuotekų dumblė, mg/kg			BAF		
	Cr	Ni	Cd	Cr	Ni	Cd	Cr	Ni	Cd
1	10,48	10,63	17,51	284,48	140,39	181,55	0,037	0,076	0,096
10	21,47	19,49	56,35	257,7	126,71	156,89	0,091	0,154	0,359
20	25,35	20,49	49,06	248,27	125,68	144,53	0,102	0,163	0,339
30	52,94	32,02	80,62	241,84	127,27	136,93	0,219	0,252	0,59
40	59,36	56,88	126,83	237,25	122,87	131,68	0,246	0,463	0,963
50	59,93	63,06	158,44	227,91	119,91	134,51	0,263	0,526	1,18
60	73,15	65,53	157,25	230,58	113,77	128,42	0,317	0,576	1,22

Matematiniam modeliavimui yra naudojami parametrai, pateikti 4.1 lentelėje.

4.1. Matematinio modelio tyrimo eiga taikant mažiausių kvadratų metodą

Eksperimentiniai tyrimai atlikti norint nustatyti optimalias nuotekų dumblo vermikompostavimo sąlygas, optimalią trukmę, per kurią nuotekų dumblas pagal sunkiųjų metalų koncentracijų dydžius pereitų į aukštesnę kategoriją, kuri nustatyta LAND 20-2001 dokumente.

Optimizuojant vermikompostavimo procesą siekiama nustatyti tam tikro dydžio y priklausomybę nuo kito dydžio x_i , kuris turi tam tikrą baigtinį skaičių reikšmių. Atlikus matematinį modeliavimą gaunama y_i reikšmių kreivė. Pačią funkciją galima išreikšti empirine forma:

$$y = f(x_1, x_2 \dots x_n, a_1, a_2, a_3 \dots a_n) \quad (4.1)$$

Tokio modeliavimo esmė yra nustatyti tokias koeficientų reikšmes, kad matematinis modelis geriausiai atitiktų eksperimentą – t.y. kad eksperimentiškai nustatytų dydžių reikšmės maksimaliai sutaptų su empirinės formulės nustatytomis reikšmėmis. Skirtumai tarp šių reikšmių turėtų būti minimalūs, tad patogu taikyti mažiausių kvadratų metodą.

4.1 formulėje $x_1, x_2 \dots x_n$ – kintamieji, kurie priklauso nuo tyrimo rezultatų, juos galima parinkti eksperimento metu, o a_1, a_2, a_n – tai nežinomieji, kuriuos taikant matematinį modeliavimą reikia įvertinti. Svarbiausia sąlyga modeliuojant mažiausių kvadratų metodu yra:

$$S = \sum_{i=1}^n y_i - \left(f(x_i^1, x_i^2, \dots x_i^n, a_1, a_2, \dots a_n) \right)^2 \rightarrow \min \quad (4.2)$$

Mažiausių kvadratų metodas taikomas tada, kai norima parinkti modelį su mažiausia paklaida. Tokiame modelyje yra pabrėžiama y priklausomybė nuo x, bet y gali priklausyti ir nuo kitų neįvardintų kintamųjų. Pabrėžtina tai, kad renkantis šį modelį, tik pasirenkamas priklausomybės tipas su nežinomais koeficientais a_n . Tikrinant, ar modelis tinka, kartu randami ir šių koeficientų įverčiai. Modelio lygtis parodo, kodėl esant tai pačiai reikšmei x_i galima gauti skirtingas y reikšmes y_i .

4.2. Matematinis modeliavimas mažiausių kvadratų metodu

Chromo bioakumuliacijos proceso modeliavimas

Matematinis modeliavimas atliekamas MathCad matematinio programavimo ir skaičiavimo programa.

Sudarytai eksperimentų duomenų, kurie pateikti 4.1 lentelėje, lygčių sistemai supaprastinti yra naudojama matrica (4.3).

$$B := \begin{pmatrix} 1 & 284.48 & 10.48 & 0.037 \\ 10 & 257.7 & 21.47 & 0.091 \\ 20 & 248.27 & 25.35 & 0.102 \\ 30 & 241.84 & 52.94 & 0.219 \\ 40 & 237.25 & 59.36 & 0.250 \\ 50 & 227.91 & 59.93 & 0.263 \\ 60 & 226.58 & 73.15 & 0.317 \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

Matricoje pateikiami eksperimentinio tyrimo rezultatai. Pirmasis sudarytos matricos stulpelis $B_{i,0}$ yra proceso parų skaičius. Antrajame $B_{i,1}$ yra pateikiami chromo koncentracijų

nuotekų dumble dydžiai, mg/kg, trečiajame $B_{i,2}$ – chromo koncentracijos sliekų audiniuose, mg/kg, o paskutiniame stulpelyje $B_{i,3}$ pateikiami BAF – bioakumuliacijos faktoriai.

Bioakumuliacijos procesui aprašyti yra taikomas kinematinės bioakumuliacijos dėsnis, išreiškiamas tokia formule:

$$S(a, b, n, T, D) := b \cdot D \cdot (1 - e^{-a \cdot T})^n \quad (4.4)$$

Čia:

a – empirinis koeficientas, nusakantis kinematinę bioakumuliacijos greitį,

n – empirinis koeficientas, nusakantis maisto pasisavinimo ir pašalinimo santykį (užsibuvimo organizme trukmę),

D – sunkiojo metalo koncentracija nuotekų dumble, mg/kg,

T – proceso trukmė, paromis,

b – bioakumuliacijos faktorius, BAF, nurodo santykį tarp teršalo (sunkiojo metalo) koncentracijos sliekų organizme ir koncentracijos terpėje.

Kad būtų tenkinama mažiausių kvadratų metodo sąlyga, yra nurodoma mažiausių paklaidų funkcija empirinių koeficientų reikšmėms surasti:

$$F(a, b, n) := \sum_{i=0}^6 (B_{i,3} - S(a, b, n, B_{i,2}, B_{i,0}, B_{i,1}))^2 \quad (4.5)$$

Pasirinkus atsitiktines ieškomų koeficientų reikšmes yra surandama užduotos funkcijos reikšmė:

$$a := 0.5 \quad b := 0.2 \quad n := 0.1$$

$$F(a, b, n) = 5.524 \quad (4.6)$$

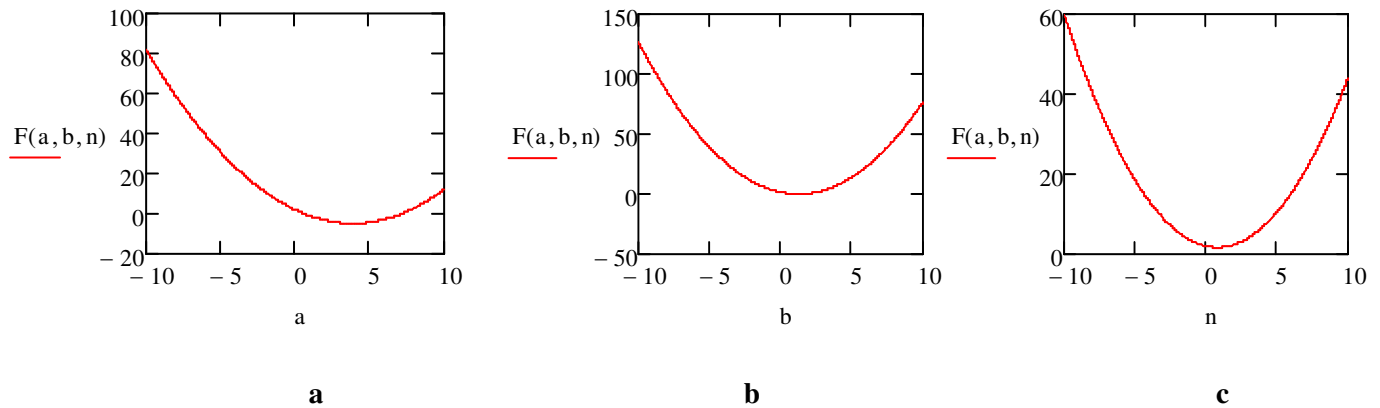
Toliau vykdomas kvadratinės paklaidos minimizavimas (4.7):

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ n \end{pmatrix} = \text{Minimize}(f, a, b, n) \quad (4.7)$$

Ir gaunami ieškomi empirinių koeficientų dydžiai:

$$a = 4 \quad b = 0.977 \quad n = 1.369$$

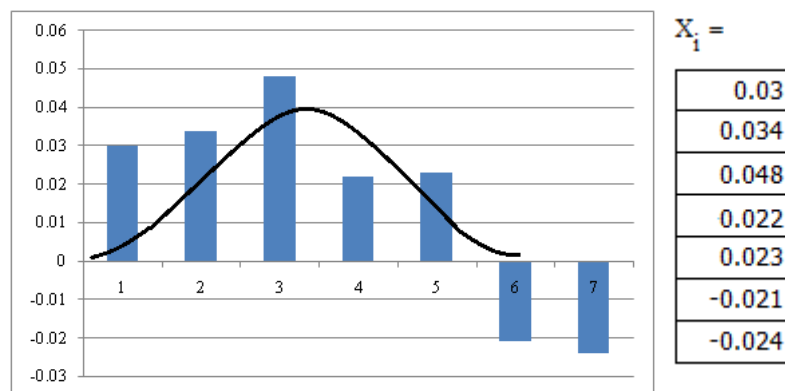
Šie koeficientai nustatyti mažiausių kvadratų metodu, koeficientų reikšmės grafiškai surandamos pagal 4.1 paveiksle pavaizduotus grafikus a,b ir c.



4.1 pav. Koeficientų reikšmių grafikai

Gaunama paklaida:

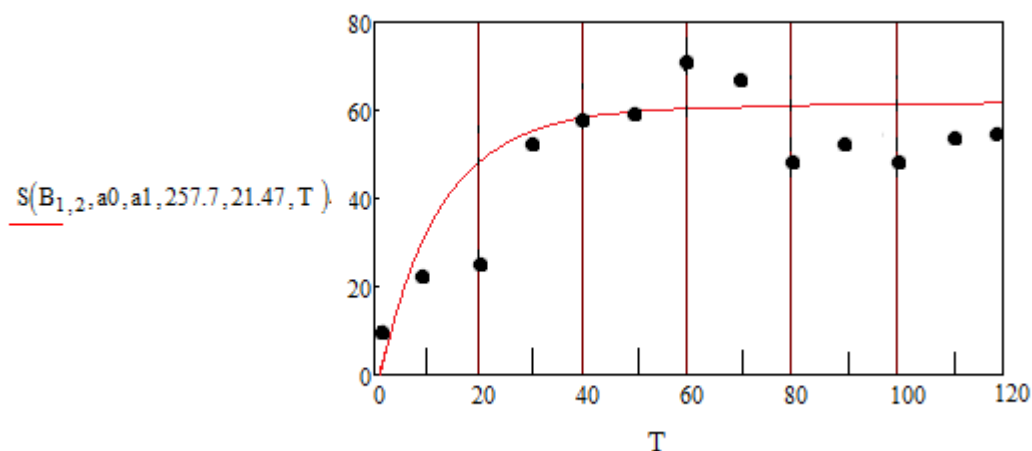
$$\sqrt{\frac{F(a, b, n)}{7}} = 0.499$$



Kadangi paklaidos nėra didelės ir jos pasiskirsto pagal normalųjį dėsnį, vadinasi mažiausių kvadratų metodas gali būti sėkmingai pritaikytas modeliui sudaryti. 4.9 formulė yra bendroji nikelio bioakumuliacijos priklausomybė nuo kitų parametų – metalo koncentracijos nuotekų dumble, proceso laiko trukmės, bioakumuliacijos faktoriaus ir empirinių koeficientų, nustatytų mažiausių kvadratų metodu.

$$S(a, b, n, T, D) = 0.97D \cdot (1 - e^{-4 \cdot T}) \cdot n \quad (4.9)$$

Apibrėžus užsiduotą imtį $i := 0..6$, gali būti kuriamas modelis ir nustatoma nagrinėjamų dydžių priklausomybė tarp pasirinktų dydžių.



4.2 pav. Chromo bioakumuliacijos modelis ir eksperimento metu išmatuotos reikšmės

Grafikas parodo, kaip vyko bioakumuliacijos procesas laikui bėgant. Sąlygos buvo parinktos atsižvelgus į tai, kada eksperimentiškai buvo nustatytas aukščiausias BAF (t.y. ties 60 para).

Grafike pažymėtos (juodais taškais) eksperimento metu nustatytos chromo koncentracijos. Palyginus su MathCad programa sugeneruotu modeliu, galima pastebėti, jog tyrimo rezultatai atitinka teoriškai nustatytas reikšmes su 10,13% paklaida.

Nikelio bioakumuliacijos proceso modeliavimas

Sudarytai eksperimentų duomenų, kurie pateikti 4.1 lentelėje, lygčių sistemai supaprastinti yra naudojama matrica (4.10).

$$B := \begin{pmatrix} 140.39 & 1 & 0.076 & 10.63 \\ 126.71 & 10 & 0.154 & 19.49 \\ 125.68 & 20 & 0.163 & 20.49 \\ 127.27 & 30 & 0.252 & 32.02 \\ 122.87 & 40 & 0.463 & 56.88 \\ 119.91 & 50 & 0.526 & 63.06 \\ 113.77 & 60 & 0.576 & 65.53 \end{pmatrix} \quad (4.10)$$

Matricoje pateikiami eksperimentinio tyrimo rezultatai. Pirmasis sudarytos matricos stulpelis $B_{i,0}$ yra proceso parų skaičius. Antrajame $B_{i,1}$ yra pateikiami nikelio koncentracijų nuotekų dumble dydžiai, mg/kg, trečiajame $B_{i,2}$ – nikelio koncentracijos sliekų audiniuose, mg/kg, o paskutiniame stulpelyje $B_{i,3}$ pateikiami BAF – bioakumuliacijos faktoriai.

Bioakumuliacijos procesui aprašyti yra taikomas kinematinės bioakumuliacijos dėsnis, išreiškiamas tokia formule:

$$S(a, b, n, T, D) := b \cdot D \cdot (1 - e^{-a \cdot T})^n$$

Čia:

a – empirinis koeficientas, nusakantis kinematinę bioakumuliacijos greitį,

n – empirinis koeficientas, nusakantis maisto pasisavinimo ir pašalinimo santykį (užsibuvimo organizme trukmę),

D – sunkiojo metalo koncentracija nuotekų dumble, mg/kg,

T – proceso trukmė, paromis,

b – bioakumuliacijos faktorius, BAF, nurodo santykį tarp teršalo (sunkiojo metalo) koncentracijos sliekų organizme ir koncentracijos terpėje.

Kad būtų tenkinama mažiausių kvadratų metodo sąlyga, yra nurodoma mažiausių paklaidų funkcija empirinių koeficientų reikšmėms surasti:

$$F(a, b, n) := \sum_{i=0}^6 \left(B_{i,3} - S(a, b, n, B_{i,2}, B_{i,0}, B_{i,1}) \right)^2$$

Pasirinkus koeficientų atsitiktines reikšmes yra surandama užduotos funkcijos reikšmė (4.11):

$$a := 4.2 \quad b := 1.2 \quad n := 1$$

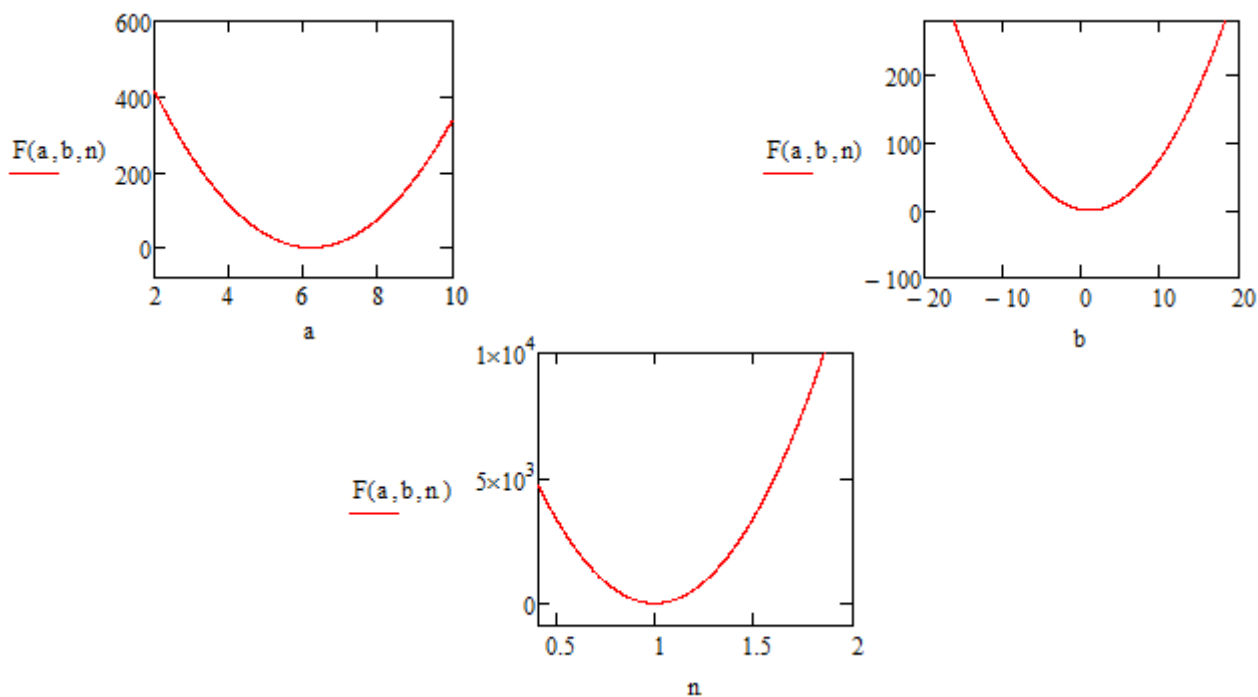
$$F(a, b, n) = 1.42 \quad (4.11)$$

Suradus koeficientų nustatymo mažiausių kvadratų funkcijos reikšmę, jai programa taikoma minimizavimo funkcija (4.12).

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ n \end{pmatrix} := \text{Minimize}(F, a, b, n) \quad (4.12)$$

Atlikus minimizavimo veiksmą, galima surasti empirinių koeficientų, reikalingų nustatyti bioakumuliacijos proceso modeliui. Koeficientų reikšmės tokios:

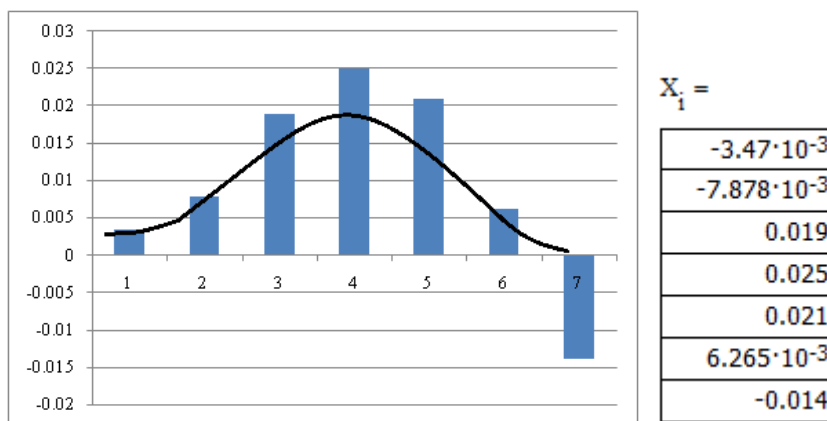
$$a = 6.388 \quad b = 1.005 \quad n = 0.991$$



4.2 pav. Koeficientų reikšmių grafikai

Gauta paklaida:

$$\sqrt{\frac{F(a, b, n)}{7}} = 0.016 \quad (4.13)$$

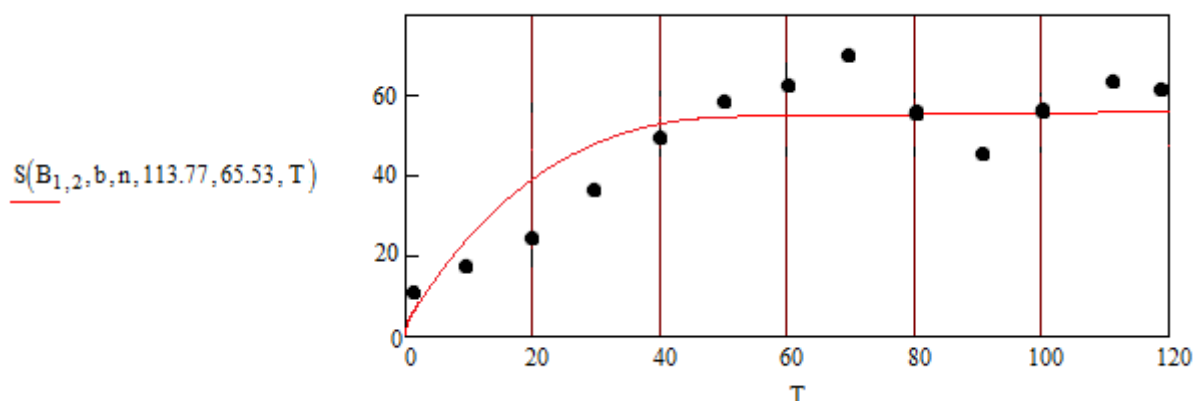


4.4 pav. Nikelio bioakumuliacijos proceso modelio paklaidų pasiskirstymas

4.13 formulė yra bendroji nikelio bioakumuliacijos priklausomybė nuo kitų parametrų – metalo koncentracijos nuotekų dumble, proseo laiko trukmės, bioakumuliacijos faktoriaus ir empirinių koeficientų, nustatytų mažiausių kvadratų metodu.

$$S(a, b, n, T, D) = 1.005D \cdot (1 - e^{-6.39 \cdot T}) \cdot n \quad (4.14)$$

Apibrėžus imtį $i := 0..6$ gali būti kuriamas modelis ir nustatoma nagrinėjamų dydžių priklausomybė tarp pasirinktų dydžių.



4.5 pav. Nikelio bioakumuliacijos modelis ir eksperimento metu išmatuotos reikšmės

Grafikas parodo, kaip vyko nikelio bioakumuliacijos procesas laikui bėgant. Sąlygos buvo parinktos atsižvelgus į tai, kada eksperimentiškai buvo nustatytas aukščiausias BAF (t.y. ties 60 para). Grafike pažymėtos (juodais taškais) eksperimento metu nustatytos nikelio koncentracijos.

Grafike pažymėtos (juodais taškais) eksperimento metu nustatytos chromo koncentracijos. Palyginus su MathCad programa sugeneruotu modeliu, galima pastebėti, jog tyrimo rezultatai atitinka teoriškai nustatytas reikšmes su 18,75% paklaida.

Kadmio bioakumuliacijos proceso modeliavimas

Sudarytai eksperimentų duomenų, kurie pateikti 4.1 lentelėje, lygčių sistemai supaprastinti yra naudojama matrica.

$$B := \begin{pmatrix} 181.55 & 1 & 0.096 & 17.51 \\ 156.89 & 10 & 0.359 & 56.35 \\ 144.53 & 20 & 0.339 & 49.06 \\ 136.93 & 30 & 0.59 & 80.62 \\ 131.68 & 40 & 0.963 & 126.83 \\ 134.51 & 50 & 1.18 & 158.44 \\ 128.42 & 60 & 1.22 & 157.25 \end{pmatrix} \quad (4.15)$$

Matricoje pateikiami eksperimentinio tyrimo rezultatai. Pirmasis sudarytos matricos stulpelis $B_{i,0}$ yra proceso parų skaičius. Antrajame $B_{i,1}$ yra pateikiami nikelio koncentracijų nuotekų dumble dydžiai, mg/kg, trečiajame $B_{i,2}$ – nikelio koncentracijos sliekų audiniuose, mg/kg, o paskutiniame stulpelyje $B_{i,3}$ pateikiami BAF – bioakumuliacijos faktoriai.

Bioakumuliacijos procesui aprašyti yra taikomas kinematinės bioakumuliacijos dėsnis, išreiškiamas tokia formule:

$$S(a, b, n, T, D) := b \cdot D \cdot (1 - e^{-a \cdot T})^n$$

Čia:

a – empirinis koeficientas, nusakantis kinematinį bioakumuliacijos greitį,

n – empirinis koeficientas, nusakantis maisto pasisavinimo ir pašalinimo santykį (užsibuvimo organizme trukmę),

D – sunkiojo metalo koncentracija nuotekų dumble, mg/kg,

T – proceso trukmė, paromis,

b – bioakumuliacijos faktorius, BAF, nurodo santykį tarp teršalo (sunkiojo metalo) koncentracijos sliėkų organizme ir koncentracijos terpėje.

Kad būtų tenkinama mažiausių kvadratų metodo sąlyga, yra nurodoma mažiausių paklaidų funkcija empirinių koeficientų reikšmėms surasti:

$$F(a, b, n) := \sum_{i=0}^6 (B_{i,3} - S(a, b, n, B_{i,2}, B_{i,0}, B_{i,1}))^2$$

Pasirinkus koeficientų atsitiktines reikšmes yra surandama užduotos funkcijos reikšmė (4.16):

$$a := 0.25 \quad b := 0.22 \quad n := 0.5$$

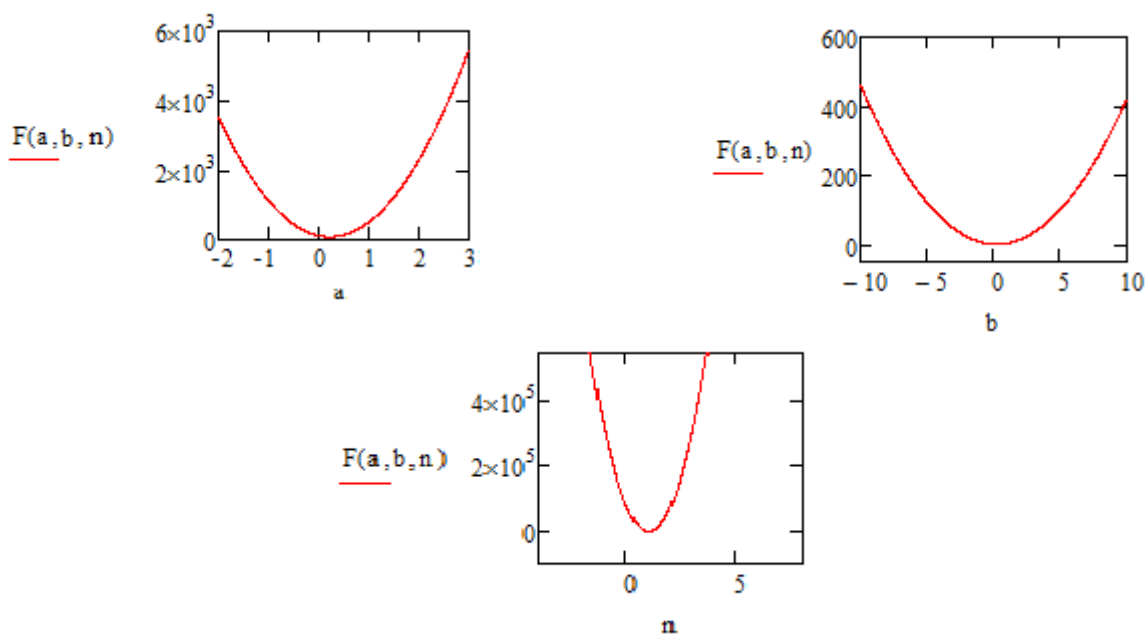
$$F(a, b, n) = 6.16$$

Suradus koeficientų nustatymo mažiausių kvadratų funkcijos reikšmę, jai programa taikoma minimizavimo funkcija (4.17).

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ n \end{pmatrix} := \text{Minimiz}(F, a, b, n) \quad (4.17)$$

Atlikus minimizavimo veiksmą, galima surasti empirinių koeficientų, reikalingų nustatyti bioakumuliacijos proceso modeliui. Koeficientų reikšmės tokios:

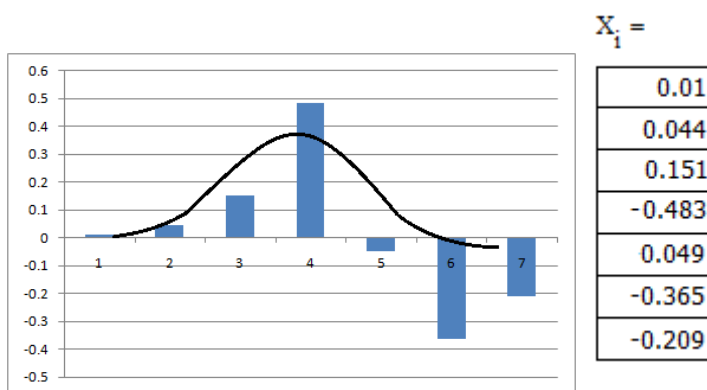
$$b = 0.227 \quad n = 0.999 \quad a = 0.956$$



4.6 pav. Koeficientų reikšmių grafikai

Gaunama paklaida:

$$\sqrt{\frac{F(a, b, n)}{7}} = 0.25 \quad (4.18)$$

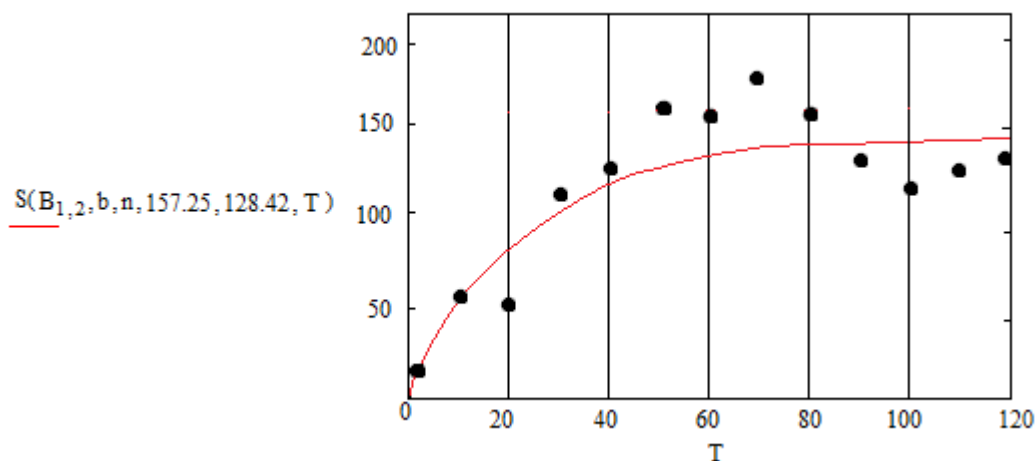


4.7 pav. Kadmio bioakumuliacijos proceso modelio paklaidų pasiskirstymas

4.19 formulė yra bendroji kadmio bioakumuliacijos priklausomybė nuo kitų parametų – metalo koncentracijos nuotekų dumble, proseo laiko trukmės, bioakumuliacijos faktoriaus ir empirinių koeficientų, nustatytų mažiausių kvadratų metodu.

$$S(a, b, n, T, D) := 0.999T \cdot (1 - e^{-0.956 \cdot T})_n \quad (4.19)$$

Apibrėžus imtį ($i := 0..6$), gali būti kuriamas modelis ir nustatoma nagrinėjamų dydžių priklausomybė tarp pasirinktų dydžių.



4.5 pav. Kadmio bioakumuliacijos modelis ir eksperimento metu išmatuotos reikšmės

Grafikas parodo, kaip vyko nikelio bioakumuliacijos procesas laikui bėgant. Sąlygos buvo parinktos atsižvelgus į tai, kada eksperimentiškai buvo nustatytas aukščiausias BAF (t.y. ties 60 para). Grafike pažymėtos (juodais taškais) eksperimento metu nustatytos metalo koncentracijos.

Grafike pažymėtos (juodais taškais) eksperimento metu nustatytos chromo koncentracijos. Palyginus su MathCad programa sugeneruotu modeliu, galima pastebėti, jog tyrimo rezultatai atitinka teoriškai nustatytas reikšmes su 24,04% paklaida.

4.3. Didžiausios pašalinamos koncentracijos modeliavimas

Teršalų bioakumuliacija gali būti įvertinama naudojant bioakumuliacijos faktorius (BAF). Šis dydis parodo teršalo koncentracijos sliekų audiniuose ir jų veiklos terpėje (nuotekų dumble) santykį. BAF paprastai naudojami vertinant teršalų bioakumuliacijos procesus.

Bioakumuliacijos faktorius yra apskaičiuojamas kaip metalo koncentracijos organizmo (sliekų audiniuose) bei terpėje (nuotekų dumble) santykis.

$$BAF = \frac{C_{org}}{C_{terp}} \quad (4.20)$$

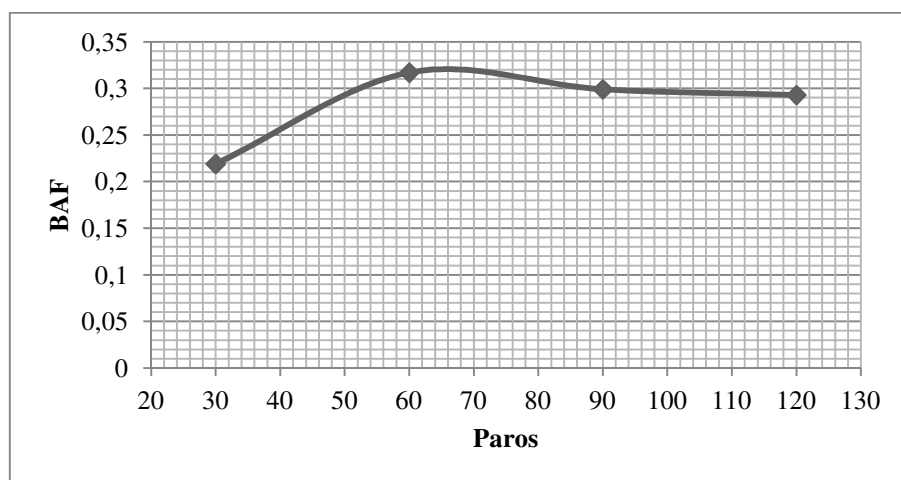
Čia:

C_{org} – sunkiojo metalo koncentracija organizme, mg/kg;

C_{terp} – sunkiojo metalo koncentracija terpėje, mg/kg

Chromo metalo bioakumuliacija

Pagal 4.1 lentelėje pateiktus duomenis, gaunamas chromo BAF priklausomybės nuo proceso parų skaičiaus grafikas.



4.6 pav. BAF chromo metalui per laiką

Iš 4.6 paveiksle pavaizduoto grafiko nustatytas optimalus vermikompostavimo parų skaičius (kuomet BAF yra didžiausias).

- Optimalus parų skaičius – 66 paros;
- $BAF_{66} = 0,32$.

Pagal parinktą didžiausią BAF_{66} yra apskaičiuojama chromo bioakumuliacija sliekų audiniuose, esant pagal sunkiuosius metalus priskiriamam **III kategorijai** nuotekų dumbliui:

$$C_{sliekų} = C_{dumblo} \cdot BAF_{66}, mg/kg$$

- $C_{dumblo} = 400 \text{ mg/kg}$
 $C_{sliekų} = 400 \cdot 0,32 = 128 \text{ (mg/kg)}$
- $C_{dumblo} = 450 \text{ mg/kg}$
 $C_{sliekų} = 450 \cdot 0,32 = 144 \text{ (mg/kg)}$
- $C_{dumblo} = 500 \text{ mg/kg}$
 $C_{sliekų} = 500 \cdot 0,32 = 160 \text{ (mg/kg)}$
- $C_{dumblo} = 600 \text{ mg/kg}$
 $C_{sliekų} = 600 \cdot 0,32 = 192 \text{ (mg/kg)}$

II kategorijai priklausančiame nuotekų dumble chromo koncentracija neturi būti didesnė nei 400 mg/kg. Vermikompostuojant nuotekų dumblą 66 paros didžiausia chromo koncentracija dumble gali būti 588,25 mg/kg, kad nuotekų dumbblas po 66 parų vermikompostavimo priklausytų II kategorijai. Šis dydis nustatomas interpoliuojant skaičiavimais nustatytus duomenis pagal 4.21 formulę.

$$y_2 = \frac{(x_2 - x_1)(y_3 - y_1)}{(x_3 - x_1)} + y_1 \quad (4.21)$$

Pagal parinktą didžiausią BAF_{66} skaičiuojama chromo bioakumuliacija sliekų audiniuose, esant pagal sunkiuosius metalus priskiriamam **II kategorijai** nuotekų dumbliui:

$$C_{sliekų} = C_{dumblo} \cdot BAF_{66}, mg/kg$$

- $C_{dumblo} = 350 \text{ mg/kg}$

$$C_{sliekų} = 350 \cdot 0,32 = 112 \text{ (mg/kg)}$$

- $C_{dumblo} = 300 \text{ mg/kg}$

$$C_{sliekų} = 300 \cdot 0,32 = 96 \text{ (mg/kg)}$$

- $C_{dumblo} = 200 \text{ mg/kg}$

$$C_{sliekų} = 200 \cdot 0,32 = 64 \text{ (mg/kg)}$$

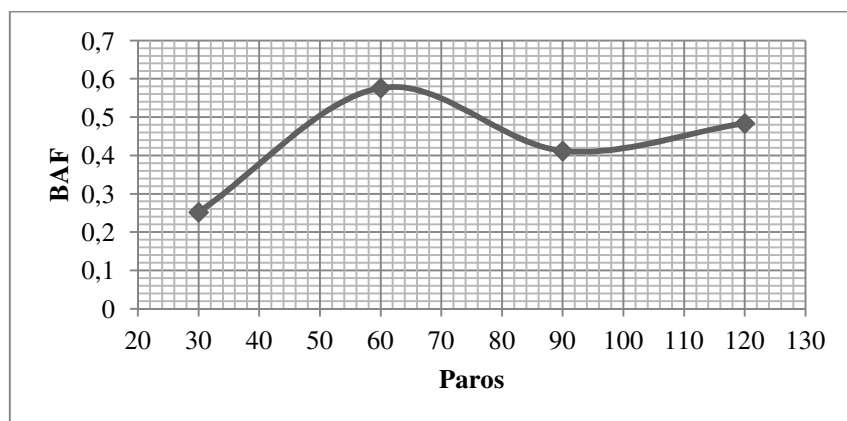
- $C_{dumblo} = 150 \text{ mg/kg}$

$$C_{sliekų} = 150 \cdot 0,32 = 48 \text{ (mg/kg)}$$

I kategorijai priklausančiame nuotekų dumble chromo koncentracija neturi būti didesnė nei 140 mg/kg. Vermikompostuojant nuotekų dumblą 66 paras didžiausia chromo koncentracija dumble gali būti 205,79 mg/kg, kad nuotekų dumblas po 66 parų vermikompostavimo priklausytų I kategorijai. Šis dydis nustatomas interpoliuojant skaičiavimais nustatytus duomenis.

Nikelio metalo bioakumuliacija

Pagal 4.1 lentelėje pateiktus duomenis, gaunamas chromo BAF priklausomybės nuo proceso parų skaičiaus grafikas.



4.7 pav. BAF nikelio metalui per laiką

Iš grafiko nustatytas optimalus vermikompostavimo parų skaičius (kuomet BAF yra didžiausias).

- Optimalus parų skaičius – 62 paros;
- $BAF_{66} = 0,580$.

Pagal parinktą didžiausią BAF_{62} skaičiuojama nikelio bioakumuliacija sliekų audiniuose, esant pagal sunkiuosius metalus priskiriamam III kategorijai nuotekų dumbliui:

$$C_{sliekų} = C_{dumblo} \cdot BAF_{62}, mg/kg$$

- $C_{dumblo} = 850 \text{ mg/kg}$
 $C_{sliekų} = 850 \cdot 0,580 = 493 (mg/kg)$
- $C_{dumblo} = 800 \text{ mg/kg}$
 $C_{sliekų} = 800 \cdot 0,580 = 464 (mg/kg)$
- $C_{dumblo} = 750 \text{ mg/kg}$
 $C_{sliekų} = 750 \cdot 0,580 = 435 (mg/kg)$
- $C_{dumblo} = 700 \text{ mg/kg}$
 $C_{sliekų} = 700 \cdot 0,580 = 406 (mg/kg)$

II kategorijai priklausančiame nuotekų dumble nikelio metalo koncentracija neturi būti didesnė nei 300 mg/kg. Vermikompostuojant III kategorijai priklausančių nuotekų dumblą 62 paros didžiausia nikelio koncentracija dumble gali būti 714,29 mg/kg, kad nuotekų dumbblas po 62 parų vermikompostavimo priklausytų II kategorijai. Šis dydis nustatomas interpoliuojant skaičiavimais nustatytus duomenis.

Pagal parinktą didžiausią BAF_{62} skaičiuojama nikelio bioakumuliacija sliekų audiniuose, esant pagal sunkiuosius metalus priskiriamam II kategorijai nuotekų dumbliui:

$$C_{sliekų} = C_{dumblo} \cdot BAF_{62}, mg/kg$$

- $C_{dumblo} = 300 \text{ mg/kg}$
 $C_{sliekų} = 300 \cdot 0,580 = 174 (mg/kg)$
- $C_{dumblo} = 200 \text{ mg/kg}$
 $C_{sliekų} = 200 \cdot 0,580 = 116 (mg/kg)$

- $C_{\text{dumblo}} = 150 \text{ mg/kg}$
 $C_{\text{sliekų}} = 150 \cdot 0,580 = 87 \text{ (mg/kg)}$
- $C_{\text{dumblo}} = 100 \text{ mg/kg}$
 $C_{\text{sliekų}} = 100 \cdot 0,580 = 58 \text{ (mg/kg)}$

I kategorijai priklausančiame nuotekų dumble nikelio metalo koncentracija neturi būti didesnė nei 50 mg/kg. Vermikompostuojant II kategorijai priklausančių nuotekų dumblą 62 paras didžiausia nikelio koncentracija dumble gali būti 119,02 mg/kg, kad nuotekų dumblas po 62 parų vermikompostavimo priklausytų II kategorijai. Šis dydis nustatomas interpoliuojant skaičiavimais nustatytus duomenis.

4.4. Skyriaus apibendrinimas

1. Atlikus matematinį modeliavimą MathCAD programa eksperimentiškai gautiems parametrams nustatyti dėsningumai, pagal kuriuos kinta sunkiųjų metalų bioakumuliacija sliekuose, mažiausių kvadratų metodu nustatyti empiriniai koeficientai, reikalingi aprašyti sunkiųjų metalų kinematinei bioakumuliacijai.
2. Atlikus statistinį tyrimą, nustatyta, jog eksperimentiniai duomenys atitinka modelio reikšmes atitinkamai: chromo eksperimentiniai duomenys atitinka modelį su vidutine 10,13% paklaida, nikelio – 18,75% ir kadmio - 24,04%.
3. Atlikus optimizavimo skaičiavimus nustatyta, jog didžiausia chromo metalo bioakumuliacija (aukščiausia bioakumuliacijos faktoriaus reikšmė) sliekų audiniuose pasiekta 66 nuotekų dumblo vermikompostavimo parą – jo dydis yra 0,32. Apskaičiuota, jog esant aukščiausiam BAF, didžiausia galima chromo metalo koncentracija dumble, kad jis iš III kategorijos (pagal klasifikaciją LAND dokumente) pereitų į II nuotekų dumblo kategoriją, turėtų būti 588,25 mg/kg.

Tam, kad nuotekų dumblas vermikompostuojamas 66 paras pereitų iš II kategorijos į I, didžiausia galima koncentracija turėtų būti ne didesnė kaip 205,79 mg/kg.

4. Didžiausias nikelio metalo bioakumuliacijos faktorius nustatytas 62 proceso parą. Šiuo laikotarpiu BAF siekė 0,58. Taip pat apskaičiuota, jog vermikompostuojant III kategorijai priklausančių nuotekų dumblą 62 paras didžiausia nikelio koncentracija dumble gali būti 714,29 mg/kg, kad nuotekų dumblas po 62 parų vermikompostavimo priklausytų II kategorijai. Į I kategoriją iš II pagal nikelio metalo koncentraciją nuotekų dumble turėtų būti ne daugiau kaip 119,02 mg/kg nikelio metalo.

5. Kadmio metalo bioakumuliacijos faktorius aukščiausią reikšmę įgijo 68 vermikompostavimo parą. Baf nustatytas 1,26. Nustatyta, kad jau po 68 parų Kalifornijos sliekai

sukauptų pakankamai metalo, kad nuotekų dumblas, priklausantis III kategorijai (pagal kadmio metalą) pereitų į I kategoriją.

IŠVADOS

1. Atlikus literatūros šaltinių analizę nustatyta, kad vis dar vienas populiariausių nuotekų dumblo tvarkymo būdų išlieka jo sandėliavimas aikštelėse. Nors apdorotas dumblas gali būti panaudojamas dirvožemiui tręšti, rekultivuoti, energetiniams miškams auginti, ūkyje jo panaudojama tik maža dalis - apie 30%. Tokį panaudojimą riboja nuotekų dumble esantys teršalai, o ypač - sunkieji metalai.

2. Vermikompostavimas – aplinkai palanki technologija, tinkama stabilizuoti nuotekų dumblą ir tuo pačiu pašalinti iš jo sunkiuosius metalus. Atliktais eksperimentiniais tyrimais nustatytas sunkiųjų metalų koncentracijų kitimas nuotekų dumble jį vermikompostuojant naudojant *Eisenia fetida* sliekus, ištirta koncentracijų kaita šių sliekų audiniuose.

3. Atlikus tyrimus buvo nustatyta, jog vermikompostuojant nuotekų dumblą sunkieji metalai (Cr, Cd, Ni) pašalinami iš jo bioakumuliacijos sliekų audiniuose metu. Mažėjant Cr, Cd, Ni koncentracijoms nuotekų dumble, didėja šių metalų kaupimasis sliekų audiniuose. Tyrimų rezultatai parodė, kad iš nuotekų dumblo 120 parų laikotarpyje daugiausia buvo pašalinta nikelio (39,5%), kiek mažiau chromo (33,5%), ir kadmio (32,6%). Tuo tarpu sliekuose daugiausia buvo bioakumuliuota kadmio. Lyginant pradinės eksperimento sąlygas su galutinėmis, pastebėta, kad sliekuose buvo sukaupta aštuonis kartus (7,8 kartus) didesnė kadmio koncentracija palyginus su pradine. Mažiausiai bioakumuliuosi sliekuose chromas. Jo sliekuose susikaupė kiek daugiau nei penkis kartus lyginant su pradiniu kiekiu. Nustatyta, jog nikelį sliekai bioakumulavo 5,75 karto lyginant su pradinėmis koncentracijomis.

4. Atlikus eksperimentus ir įvertinus gautus rezultatus nustatyta, kad lyginant su pradinėmis tiriamojo dumblo sunkiųjų metalų koncentracijomis (prieš sunkiųjų metalų įterpimą), vermikompostavimo proceso metu buvo pašalintas toks sunkiųjų metalų kiekis, kad vermikompostuotą dumblą jau galima naudoti žemės ūkyje. Pagal chromo ir nikelio koncentracijas dumblas eksperimento pradžioje buvo priskirtas II dumblo kategorijai. Po 120 parų vermikompostavimo, dumblą galima priskirti I dumblo kategorijai.

5. Apskaičiuota, jog esant chromo bioakumuliaciniam faktoriui 0,32 (didžiausias pagal eksperimentinį vertinimą), nuotekų dumble šio metalo pradinė koncentracija turėtų būti ne didesnė kaip 588,25 mg/kg, tam kad po kompostavimo dumbą būtų galima naudoti kaip II dumblą, ir ne didesnė kaip 205,79 mg/kg, kad po kompostavimo sunkiųjų metalų koncentracijos atitiktų I dumblo kategoriją.

6. Nustatyta, kad nikelio bioakumuliacinis faktorius yra 0,58, tuomet nuotekų dumble jo turėtų būti ne daugiau kaip 714,29 mg/kg norint III kategorijos dumblą paversti II kategorijos dumblu. Didžiausia galima nikelio koncentracija siekiant, kad jis iš II kategorijos dumblo virstų I

kategorijos, turi būti 119,02 mg/kg.

7. Kadmiui bioakumuliacijos fatorius nustatytas 1,26. Tyrimai parodė, kad praėjus 68 paroms nuotekų dumblas, priklausantis III kategorijai (pagal kadmį) būtų priskiriamas I dumblo kategorijai.

REKOMENDACIJOS

1. Lietuvoje didžioji dalis nuotekų dumblo yra sandėliuojama aikštelėse, o tai sukelia labai daug aplinkosaugos problemų, kurių sprendimui reikalingos papildomos investicijos. Rekomenduojama susidariusį nuotekų dumblą vermikompostuoti, taip ne tik sumažinant dumblo tūrį, bet ir paverčiant jį nekensksmingu, turinčiu daug vertingų žemės ūkiui medžiagų.

2. Vermikompostuotą nuotekų dumblą rekomenduojama naudoti tręšiant agrokultūros plotus, taip gerinant dirvožemio kokybę. Tokį vermikompostą rekomenduojama naudoti ir rekultivacijai ar grunto struktūros atstatymui.

3. Vermikompostavimo procesui rekomenduojama naudoti *Eisenia fetida* sliekus, kurie iš organinių atliekų (nuotekų dumblo) savo virškinamuoju traktu perdirbdami šias atliekas sugeba sukaupti savyje nemažus sunkiųjų metalų kiekius, taip mažindami gauto produkto taršą, ir sunkiųjų metalų perteklių.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Aalok, A., *et. al.* 2008. Vermicomposting: A Better Option for Organic Solid Waste Management, *Journal of Human Ecology*. 24(1): 59-64;
- Abromavičius, A. 2005. Nuotekų dumblo tvarkymas, iš *Vandetvarka*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 sausio 6 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.lvta.lt/sites/default/files/LVTA_23.pdf>;
- Aydinalp, C., Marinova, S. 2003. Distribution and Forms of Heavy Metals in Some Agricultural Soils, iš *Polish Journal of Environmental Studies*. 12(5): 629 - 633;
- Aktar, W., Sengupta, D. 2008. Sewage Sludge Disposal–Land Application–Environmental Problems–An Overview [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 sausio 5 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.shamskm.com/env/sewege-sludge-disposal-an-overview.html>>;
- Aleknavičius, P. 2007. Žemės teisė. Kaunas: Akademija. 296 psl. ISBN 978-9955-448-92-1;
- Aleksandro stulginskio universitetas. [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 sausio 6 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.asu.lt>>;
- Aleagha, M., *et. al.* Bioaccumulation of Heavy Metals by Iranian Earthworm (*Eisenia fetida*) in the Process of Vermicomposting, iš *American – Eurasian Journal of Agriculture & Environment Science*. 5(4): 480 – 484;
- Alternatyvus verslas. 2011. [interaktyvus]. [žiūrėta sausio 12 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.alternatyvusverslas.lt/lietuviski-sliekai-%E2%80%93-ir-kosmetikos-bei-farmacijos-pramonei>>;
- Aplinkos projektų valdymo agentūra. 2006 Investicinė programa dumblo tvarkymui Lietuvoje. Sutartis Nr. 05/6/ND/P/LT;
- Artuso, N., *et. al.* Assessment of Biosolids in Earthworm choice Tests with Different Species and Soils, iš *Global NEST Journal*. 3: 255-265;
- Atiyeh, R.M., Arancon, N.Q., Edwards, C.A. and Metzger, J.D. (2000). Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of green house tomatoes, iš *Bioresource Technology* 75: 175-180;
- Azizi, A. B., 2012. Vermiremoval of heavy metal in sewage sludge by utilising *Lumbricus rubellus*, iš *Ecotoxicology and Environmental Safety*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 sausio 14 d.]. Prieiga per internetą: <[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/nlmcatalog?term=%22Ecotoxicol+Environ+Saf%22\[Title+Abbreviation\]](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/nlmcatalog?term=%22Ecotoxicol+Environ+Saf%22[Title+Abbreviation])>; ISSN 0147-6513;
- Baltrėnaitė, E. 2007. Sunkiųjų metalų pernašos iš dirvožemio į medį tyrimai ir įvertinimas. *Daktaro disertacija*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika. 154 p;

- Barańkiewicz, D., Siepak, J. 2001. Slurry sampling for electrothermal atomic absorption spectrometric determination of chromium, nickel, lead and cadmium in sewage sludge, iš *Analytica Chimica Acta*. 437: 11–16;
- Begum, A. 2010. Management of Municipal sewage sludge b vermicomposting technique, iš *International Journal of ChemTech Research*. 2(3): 1521-1525, ISSN : 0974-4290;
- Biohumuso ir komposto gamyba, 2012. [interaktyvus]. [žiūrėta 2012 gruodžio 18 d.]. prieiga per internetą: < <http://www.lumbricus.lt/index.php/vermikompostavimas-ir-vermikultyvavimas>>;
- Brazauskienė, D. M., Paulauskas, V., Sabienė, N. 2008. Speciation of Zn, Cu and Pb in the soil depending on soil texture and fertilization with sewage sludge compost, iš *Journal of Soils and Sediments*. 8(3): 184 – 192;
- Camobreco, V., *et al.* 1996. Movement of Heavy Metals Through Undisturbed and Homogenized Soil Columns, in *Soil Science* 161:740-750;
- Center for Food Safety. 1999 [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 sausio 23 d.]. Prieiga per internetą: < <http://www.centerforfoodsafety.org>>;
- Chaoui, H. 2010. Vermicasting (or Vermicomposting): Processing Organic Wastes Through Earthworms. [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 m. sausio 20 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/10-009.pdf>>;
- Chaudhary, D. R., Bhandary, S. C., Shukla, L. M. 2004. Role of Vermicompost in Sustainable Agriculture – A Review, *Agriculture Review*. 25(1): 29-39;
- Composting processing technologies. 2006 [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 gegužės 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.compost.org/pdf/compost_proc_tech_eng.pdf>;
- Cornu, S., *et. al.* 2001. The environmental impact of heavy metals from sewage sludge in ferrasols, iš *Science of The Total Environment*; 273(3): 27 – 48;
- Corrondo, M. J. T., *et. al.* 1978. Analysis of Heavy Metals in Sewage Sludge. Sewages and Final Influent. *Department of the Environment for Contracts Final Report*. Imperial college, London;
- Čepanko, V. 2007. Naujų biokuro rūšių naudojimo energetikos ūkyje galimybės. Iš *Aplinkos apsaugos inžinerija: Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios 2007 kovo 29 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika.
- Delgado Arroyo, M., *et. al.* 2002. Sewage sludge compost fertilizer effect on maize yield and soil heavy metal concentration, iš *Revista interacional de contaminacion ambiental*; 18 (3): 147 – 150;
- Dominguez, J., Velando, A., Ferreira, A. 2004. Are Eisenia fetida (Savigny, 1826) and Eisenia andrei Bouche' (1972) (Oligochaeta, Lumbricidae) different biological species?, iš *Pedobiologija*. 49: 81—87;
- Dominguez, J., Edwards, C.A. 2004. Vermicomposting organic wastes: a review, iš *Soil Zoology for Sustainable Development in the 21st century*. 17: 369 – 395;

- Eitminavičiūtė, I., *et. al.* Dviejų sliekų *Eisenia fetida* populiacijų, auginamų nuotekų dumblo kompostuose, išgyvenimas ir reprodukcija. Ekologijos institutas, 11 p.;
- European Commission. 2001. Pollutants in urban waste water and sewage sludge, iš *Scientific and technical report*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2012 gruodžio 29d.]. Prieiga per internetą: <http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/sludge_pollutants.pdf>;
- European Commission. 2002. Disposal and recycling routes of sewage sludge, iš *Economic report*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 sausio 20d.]. Prieiga per internetą: <http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/sludge_disposal4.pdf>; ISBN 92-894-1801-X;
- Sruogys A., Jaskelevičius B. 2000. *Atliekos ir jų tvarkymas*. Mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 210 psl.
- European Commission. 2001. Disposal of Recycling Routes of Sewage Sludge in *Scientific and technical report*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2012 gruodžio 19d.]. Prieiga per internetą: <http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/sludge_disposal.htm>; ISBN 92-894-1800-1;
- Europos bendrijų komisija, 2006. Europos Parlamento ir tarybos direktyva, iš dalies keičianti Tarybos direktyvą 76/769/EEB, susijusią su prekybos tam tikrais gyvsidabrio turinčiais matavimo įtaisais apribojimu; COD 2006/0018;
- Fawler, J. 1999. Dewatering Sewage Sludge with Geotextile Tubes, iš *GEOTEC*. 601-636 psl;
- Fjallborg, B., Dave, G. 2003. The Phytotoxicity Changes of Sewage Sludge-Amended Soils, iš *Water, Air and Soil Pollution*. 223(8): 4937–4948;
- Garg, V. K., *et. al.* 2004. Growth and reproduction of *Eisenia Foetida* in Various Animal Wastes During Vermicomposting [pdf]. Hisar, Guru Jambheshwar University;
- Gilmour, C.M., Broadbent, F.E., Beck, S.M. 1977. Recycling of Carbon and Nitrogen Through Land Disposal of Various Wastes, iš *Soils for Management of Organic Waste Waters*; 173 – 192;
- Gupta, R., Garg, V.K. 2008. Stabilization of Primary sewage Sludge During Vermicomposting, iš *Journal of Hazardous Materials*; 153(3): 1023-1030;
- Hait, S., Tare, V. 2012. Transformation and availability of nutrients and heavy metals during integrated composting-vermicomposting of sewage sludges, iš *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 79:214-24;
- Harrison, E. Z., *et. al.* 1999. Land application of sewage sludges: an appraisal of the US regulations, iš *International Journal of Environment and Pollution*. 11(1): 1 – 36;
- Harrison E. Z., Oakes, S. R. 2002. Investigation of alledge health incidents asociated with land application of sewage sludges, iš *New Solutions*. 12(4) 387-408;
- Hartenstein, R., Neuhauser, E.F., Collier, J. 1980. Accumulation of heavy metals in the earthworm *Eisenia foetida*, iš *Journal of Environmental Quality*; 9(1): 23-26; ISSN 0047-2425;
- HN 60:2004. „Pavojingų cheminių medžiagų didžiausios leidžiamos koncentracijos dirvožemyje“, Valstybės žinios 41-1357.

- Hope, J. 1986. Sewage Sludge Disposal and Utilization Study. [interaktyvus]. [žiūrėta 2012 lapkričio 12 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.wsipp.wa.gov/rptfiles/sewage.pdf>>;
- Internetinė parduotuvė. [interaktyvus]. [žiūrėta 2012 gruodžio 18 d.]. Prieiga per internetą: <http://store.happydranch.com/Red_Wiggler_Redworms_p/rw.htm>;
- Jakubus M., Czekala J. 2001. Heavy Metal Speciation in Sewage Sludge, iš *Polish Journal of Environmental Studies*. 10(4): 245-250;
- Jamaludin, A. A., Mahmood, N. Z. 2010. Effects of Vermicomposting Duration to Macronutrient Elements and Heavy Metals Concentrations in Vermicompost, in *Sains Malaysiana* 39(5): 711–715;
- Jakelaitienė, D. 2012 balandžio 14d. Tręškime atsakingai. [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 sausio 20d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.agroakademija.lt/augalininkyste/technologijos/?sid=580>>;
- Jesikha, M. 2013. Growth of Medicinal and Economical Plants in Vermicompost for Sustainable Development, iš *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences*; 1(3): 1-6; ISSN 2320 – 6535;
- Kašėtaitė, S. 2007. Nuotekų valymo įrenginių dumblo kompostavimo patirtis užsienyje ir Lietuvoje. Iš *Aplinkos apsaugos inžinerija*: 10 – osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios 2007 kovo 29 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika.
- Kosobucki, P., Chmarzyński, A., Buszewski, B. 2000. Sewage Sludge Composting iš *Polish Journal of Environmental Studies*. 9(4): 243-248;
- Kumar, A. 2005. Vermes & vermitechnology. New Delhi: A. P. H. Publishing Corporation; ISBN 81-7648-938-7;
- Kvietkus, K. 2001. Sunkiųjų metalų ir policiklinių aromatinių angliavandenilių atmosferos iškritose tyrimai, iš *Oro ir kompleksiško ekosistemų monitoringo ataskaitos*. VMTI Fizinių ir technologijos mokslų centras, Vilnius;
- LAND 20 -2005. Nuotekų dumblo naudojimo tręšimui bei rekultyvavimui reikalavimai. *Valstybės žinios* 61 – 2196;
- Lekeshmanaswamy, M., Yasotha, 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;
- Lietuvos Respublikos Aplinkos ministro įsakymas. Dėl Aplinkos ministro 2001 m. birželio 28 d. įsakymo Nr. 349 „Dėl Lietuvos aplinkos apsaugos normatyvinio dokumento LAND 20 – 2001 „Nuotekų dumblo naudojimo tręšimui reikalavimai“ patvirtinimo pakeitimo. 2005 m. lapkričio 28 d., Vilnius;
- Maboeta, M. S., et. al. 2005. Earthworm (*Eisenia fetida*) Bioassay to Assess the Possible Effects of Platinum Tailings Disposal Facilities on the Environment Along a Gradient, iš *Applied Ecology and Environmental Research*. 6(2): 13 – 19;

- Maletz, S., et. al. 2012. In vitro characterization of the effectiveness of enhanced sewage treatment processes to eliminate endocrine activity of hospital effluents iš *Water research*. 8:21-12;
- Malik, D. S., Bharti, U. 2009. Biogas production from Sludge of Sewage Treatment Plant at Haridwar (Uttarakhand), iš *Asian Journal of Experimental Science*. 23(1): 95-98;
- Mamta, Wani, K.A., Rao, R.J. 2012. Effect of vermicompost on growth of brinjal plant (*Solanum melongena*) under field conditions, iš *Journal of New Biological Reports*; 1(1): 25 – 28; ISSN 2319 – 1104;
- Mažvila, J. 2001. *Sunkieji metalai Lietuvos dirvožemiuose ir augaluose*: monografija. Kaunas: Petro ofsetas. 195 p.
- Marchioretto, M.M. 2003. Heavy Metals Removal from Anaerobically Digested sludge. Thesis Wageningen University, ISBN: 90-5808-908-8;
- McGhee, T.J., Steel E.W. 1991. *Water supply and sewerage*. New York: Mcgraw Hill Companies, 602;
- Morera, M. T., Echeverria, J., Garrido, J. 2001. Bioavailability of heavy metals in soils amended with sewage sludge, iš *Canadian Journal of Soil Science*. 2(3): 433 – 439;
- Motuzas, A., Vaisvilavičius, R., Puišo, J. Rentgeno fotoelektronų spektroskopijos metodo taikymas dirvožemio ir jo smulkiadispersės frakcijos paviršiaus cheminiai sudėčiai nustatyti, iš *Vandens ūkio inžinerija: mokslo darbai*. Kaunas: Akademija. 22 – 27 p.;
- Munroe, G. 2010. Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture. [interaktyvus]. [žiūrėta 2012 m. gruodžio 12d.]. Prieiga per internetą: < http://oacc.info/docs/vermiculture_farmersmanual_gm.pdf>;
- Nacionalinis maisto ir veterinarijos rizikos vertinimo institutas [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 balandžio 18 d.]. Prieiga per internetą: < <http://www.nmvrvi.lt/lt/naujienos/251/>>;
- Naddafi, K., et. al. 2006. Effect of Stocking density on vermistabilization of Waste Activated Sludge, iš *Pakistan Journal of Biological Sciences*; 9(1): 119 – 122; ISSN 1028 – 8880;
- Nair, J., Mathew, K, G., et.al. 2007. Earthworms and composting worms – Basics towards composting applications, iš *Water for All Life – A Decentralised Infrastructure for a Sustainable Future* konferencijos, įvykusios 2007 m. kovo 12 – 14 d., Marriott Waterfront, USA;
- Nagavallemma K. P., et. al. 2004. Vermicomposting: Recycling Wastes into Valuable Organic Fertilizer, iš *Global Theme on Agrecosystems Report no. 8*. 17 psl.;
- Narkhede, S.D., Attarde, S.B., Ingle, S.T. 2011. Study on Effect of Chemical Fertilizer And Vermicompost on Growth of Chilli Pepper Plant, iš *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*; 6(3): 327 – 332;
- Naylor, L.M., Loehr, R.C. 1981. Increase in Dietary Cadmium as a Result of Application of sewage Sludge to Agricultural Land, iš *Environmental Science and Technologies*. 15: 881 – 886;

- Navas, A., Silbergeld, E., Guallar, E. 2005. Peripheral Arterial Disease and Metals, iš *Academic journal article from Environmental Health Perspectives*. 113(8): 402 - 408;
- O'Riordan, E. G., et. al. 1987. Fertilizer Value of Sewage Sludge, iš *Irish Journal of Agricultural Research*. 26(1): 45 – 51;
- Organic agriculture. [interaktyvus]. [žiūrėta 2012 gruodžio 29d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.pcaarrd.dost.gov.ph>>;
- Ottaviani, M., Santarsiero, A., de Fulvio, S. 1989. Heavy Metals in Sewage Sludge Utilized in Agriculture, iš *Institution Super Sanita*. 25(3): 525 – 530;
- Oziazici, M.A. 2013. Effects of sewage sludge on the yield of plants in the rotation system of wheat-white head cabbage-tomato, iš *Eurasian Journal of Soil Science*. 2: 35-44, ISSN: 2147-4249;
- Palsania, J., et. al. 2008. Effect of Moisture Content Variation over Kinetic Reaction Rate During Vermicomposting Process, iš *Applied Ecology and environmental Research*. 6(2): 49-61;
- Pattnaik, S., Reddy, W. 2011. Heavy metals remediation from urban wastes using three species of earthworm (*Eudrilus eugeniae*, *Eisenia fetida* and *Perionyx excavatus*), iš *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*. 3(14): 345-356;
- Perez – Losada, M., et. al. 2004. Phylogenetic species delimitation of the earthworms *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) and *Eisenia andrei* Bouche', 1972 (Oligochaeta, Lumbricidae) based on mitochondrial and nuclear DNA sequences, iš *Pedobiologia*. 49: 317—324;
- Petrošiūtė, J. (a). 2010. Sliekus auginti pelningiau nei karves. [inetraktyvus]. [žiūrėta 2012 gruodžio 29 d.]. Prieiga per internetą: < <http://www.manoukis.lt/naujienos/gyvenimas-toks/10940-sliekus-auginti-pelningiau-negu-karves>>;
- Petrošiūtė, J. (b). 2010. Nuotekų dumblas žemės ūkyje: galimybė ar grėsmė? [inetraktyvus]. [žiūrėta 2012 gruodžio 29 d.]. Prieiga per internetą: < <http://www.manoukis.lt/mano-ukis-zurnalas/aplinkosauga/2533-nuoteku-dumblas-zemes-ukyje-galimybe-ar-gresme->>;
- Podgaiskyte, V. 2008. Nuotekų dumblo tvarkymo technologijų analizė. Iš *Aplinkos apsaugos inžinerija: Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios 2009 balandžio 2 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika;
- Pranaitis, M. 2009. *Sunkiųjų metalų šalinimas iš nuotekų dumblo mažamolekulinėmis organinėmis rūgštimis*. Lietuvos žemės ūkio akademija: Akademija, 51 psl;
- Radžiūtė, M., Matusevičiūtė, A. 2010. Nuotekų dumblo kompostu tręštų dirvožemių fizikinė – cheminė charakteristika. Iš *Aplinkos apsaugos inžinerija: Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios 2010 kovo 25 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika.
- Repšienė, R., Skuodienė, R. 2012. Vermikomposto reikšmė augalų auginimo optimizavime, iš *Miestų želdynų formavimas*; 1(9): 162 – 168;
- Rulkens, W.H. 2008. Sewage Sludge as a Biomass Resource for the Production of Energy: Overview and Assessment of the Various Options, iš *Energy & Fuels*. 22: 9–15;

- Rulkens, W.H. 2003. Sustainable sludge management – what are the challenges for the future?, iš *Water science and Technology*; 49(10): 11 – 9;
- Sapkaitė, I. 2011. *Metų poveikis anaerobiniam dumblo apdorojimo procesui* [Effect of Metals on Anaerobic Sludge Treatment Process]. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius, 73 psl;
- Schovanek, D., et. al. 2004. Probabilistic risk assessment for linear alkylbenzene sulfonate (LAS) in sewage sludge used on agricultural soil, iš *Regulatory toxicology and pharmacology*. 49(3):245-59;
- Sekmokienė, D., et. al., 2010. Sunkiųjų metalų ir radionuklidų likučių dinamika gyvūninėse maisto žaliavose, iš *Maisto chemija ir technologija*. 44(2): 69 – 73; ISSN 1392-0227;
- Selden, P., et. al. Small – Scale Vermicomposting, iš *Home garden*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 sausio 14 d.]. Prieiga per internetą: < <http://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/HG-45.pdf>>;
- Shaymaa, M., et. al. Removal of Aluminium, Lead and Nickel from Industrial Sludge via Vermicomposting Process, iš *World Applied Science Journal*. 10(11): 1296 – 1305. ISSN 1818 – 4952;
- Sinha, R. K., et. al. 2009a. Vermistabilization of sewage sludge (biosolids) by earthworms: converting a potential biohazard destined for landfill disposal into a pathogen – free, nutritive and safe biofertilizer for farms, iš *Waste management and research*. (10):872-81;
- Sinha, R.K., et. al. 2009b. Earthworms Vermicompost: A Powerful Crop Nutrient over the Conventional Compost & Protective Soil Conditioner against the Destructive Chemical Fertilizers for Food Safety and Security, iš *American – Eurasian Journal of Agricultural And Environmental Science*; 5: 14- 22; ISSN 1818-6769
- Singh, N. B., et. al. 2004. Optimum Moisture Requirement during Vermicomposting Using *Perionyx excavatus*, in *Applied ecology and environmental research* 2(1): 53 – 62;
- Sludge News [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 sausio 20 d.]. Prieiga per internetą: < <http://www.sludgenews.org>>;
- Stehouwer, R. 1999. Land application of sewage sludge in Pennsylvania. What is sewage sludge and what can be done with it? Iš *Environmental Issues*. The Pennsylvania State University: Publications Distribution Center;
- 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;
- Thornton, I., et. al. 2001. Pollutants in Urban Waste Water, iš *European Commission final report*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2012 gruodžio 19d.]. Prieiga per internetą: < http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/sludge_pollutants.pdf>; ISBN 92-894-1735-8;
- Tray, B., 1995. *Environmental engineering*. Michigan: PWS. 496 psl; ISBN 0534206522;
- United States Environmental Protection Agency, 2005. Sewage sludge incinerating, iš *Solid Waste disposal*; 53;

- Urbienė, S., Kemežienė, K. 2011a. Sunkieji metalai: švino ir kadmio toksiškumas. [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 sausio 7 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.manoukis.lt/print_forms/print_st_z.php?s=2509&z=111>;
- Urbienė, S., Kemežienė, K. 2011b. Sunkieji gyvsidabris ir jo toksiškumas. [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 balandžio 18 d.]. Prieiga per internetą: < http://www.manoukis.lt/print_forms/print_st_z.php?s=2534&z=112>;
- Vaisiūnaitė, R. 2011. *Dirvų tręšimui naudojamo nuotekų dumblo poveikio aplinkai vertinimas taikant aukštesniųjų augalų ir gyvūnų biotestus*. Vytauto didžiojo universitetas, Kaunas. 68 psl;
- Vanmathi, J.S., Selvakumari M.N. 2012. The influence of vermicompost on the growth and yield of *Hibiscus esculentus*, iš *Applied Botany*; 44: 7416 – 7419;
- Vargova, M., et. al. 2005. Heavy Metals in Sewage Sludge and Pig Slurry Solids and the Health and Environmental Risk Associated with their Application to Agricultural Soil, iš *Folia Veterinaria*. 49(3): 28 – 30;
- Waste – water treatment technologies: a general review. 2003. New York: United Nations Publications; 122 psl, ISBN 03-0695;
- Wiessman, W., Hammer M.J. 1993. *Water Supply and Pollution Control*. 5. Virginia: Harper Collins College Publishers. 860 psl; ISBN 9780065000580;
- Zuokaitė, E., Zigmonitienė, A. 2009. Amoniako ir metano dujų, išsiskiriančių kompostuojant nuotekų dumblą, tyrimai. Iš *Aplinkos apsaugos inžinerija: Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios 2009 balandžio 2 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika.

PRIEDAI

Publikuoti ir atiduoti spaudai straipsniai

1. Zigmontienė, A., Liberytė, I. **Sunkiųjų metalų (Cr, Ni, Cd) koncentracijų kaita nuotekų dumblo vermikompostavimo proceso metu.** Aplinkos apsaugos inžinerija. 17-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“. Vilnius, Technika, 2014
2. Zigmontienė, A., Liberytė I. **Heavy metals (Cr, Ni, Cd) concentrations in sewage sludge and bioaccumulation by Californian earthworms in the process of vermicomposting.** „Environmental Engineering“, 2014.

Skaityti pranešimai

1. Zigmontienė, A., Liberytė I. **Organinių atliekų vermikompostavimo proceso analizė.** Aplinkos apsaugos inžinerija, 16 – oje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“, vykusioje Vilniuje, 2013 metų balandžio 11 dieną.
2. Zigmontienė, A., Liberytė I. **Sunkiųjų metalų (Cr, Ni, Cd) koncentracijų kaita nuotekų dumblo vermikompostavimo proceso metu.** Aplinkos apsaugos inžinerija, 17 – oje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“, vykusioje Vilniuje, 2014 metų balandžio 10 dieną.
3. Zigmontienė, A., Liberytė I. **Heavy metals (Cr, Ni, Cd) concentrations in sewage sludge and bioaccumulation by Californian earthworms in the process of vermicomposting.** 9 – oje Tarptautinėje konferencijoje „Environmental Engineering“, vykusioje Vilniuje, 2014 metų gegužės 23 dieną.