



LIETUVOS
AGRARINIŲ IR MIŠKŲ
MOKSLŲ CENTRAS



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'G. Staugaitis'.

Tvirtinu: G. Staugaitis

Džiovinto granuluoto nuotekų dumblo ir biomasės pelenų kokybės vertinimo

ATASKAITA

Kaunas, 2023-09-30

Projektas:

NutriBiomass4LIFE
LIFE17 ENV17/LT/000310

Projekto partneris:

Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro
Žemdirbystės instituto
Agrocheminių tyrimų laboratorija

Projekto C1 veikla:

**Projekto koordinatorė
LAMMC ŽI ATL:**

Agrocheminių tyrimų skyriaus vedėja mokslo darbuotoja dr. Lina Žičkienė, tel. +370 686 44569, el. paštas: lina.zickiene@lammc.lt, LAMMC ŽI Agrocheminių tyrimų laboratorijos Agrocheminių tyrimų skyriaus vedėja, mokslo darbuotoja

Projekto ataskaitą parengė:

Dr. Lina Žičkienė, LAMMC ŽI Agrocheminių tyrimų laboratorijos Agrocheminių tyrimų skyriaus vedėja, mokslo darbuotoja

TURINYS

SANTRAUKA.....	4
SUMMARY.....	6
ĮVADAS.....	8
1.TYRIMŲ METODIKA.....	10
2. TYRIMŲ REZULTATAI.....	12
2.1. Granuliuoto džiovinoto nuotekų dumblo kokybės parametrai.....	12
2.2. Biomasės pelenų parametrai	24
IŠVADOS.....	30
REKOMENDACIJOS.....	32
LITERATŪRA.....	34

SANTRAUKA

Tinkamai apdorotas ir atitinkantis reikalavimus nuotekų dumblas gali būti naudingas ne tik augalų mitybai bet ir pagerinti dirvožemio savybes ir jo būklę. Tai pat ir biomasės kuro pelenai gali būti augalams maistinių medžiagų šaltinis ir priemonė dirvožemio rūgštumo mažinti. Tačiau be naudingų medžiagų esančių tiek dumble, tiek biokuro pelenuose, kyla grėsmė dėl sunkiųjų metalų taršos. Todėl šio projekto veiklos tikslas: buvo įvertinti nuotekų dumblo kokybės parametrus, kuriuo tręšiami trumpos rotacijos želdiniai (hibridinės tuopos ir hibridinės drebulės) ir įvertinti pelenų kokybę, gautą iš biokurui panaudotų želdinių.

Tyrimo objektai buvo granuliuotas džiovinamas nuotekų dumblas ir biomasės kuro pelenai. Nuotekų dumblo kokybės tyrimai buvo iš „UAB Vilniaus vandenys“ (VV), UAB „Aukštaitijos vandenys“ (AV), UAB „Kėdainių vandenys“ (KV) ir UAB „Kauno vandenys“ (KNV). Specialios monitoringo aikštelės buvo tręšiamos UAB „Vilniaus vandenys“ granuliuotu džiovinuotu nuotekų dumblu. Tręšiant šias tyrimų aikšteles buvo atliktas platesnis analizių spektras, todėl šio nuotekų dumblo kokybė vertinta atskirai (VVL). Biomasės kuro pelenų tyrimai buvo iš UAB „Karlų katilinė“ (KK) ir UAB „Kirtimų katilinė“ (KA).

Atlikus tyrimus dėl naudingų medžiagų dirvožemiui ir augalams nustatyta, kad džiovinoto granuliuoto nuotekų dumblo sausoji medžiaga sudarė: VV – 97,7 %, AV – 96,5 %, KV – 89,3 %, KNV – 91,3 % ir VVL – 89,7 %, tai atitiko LAND 20–2005 nurodymą, kad terminiu būdu apdorotas nuotekų dumblas, kuriame sausoji medžiaga sudaro daugiau kaip 85 proc. Organinės medžiagos AV džiovinamam nuotekų dumble nustatyta 66,9 %, o VV tik – 55,4 %. Mažiau organinės medžiagos džiovinamam granuliuotam nuotekų dumble VV yra dėl to, kad VV perdirbimo įrenginyje biodujų gamyba yra žymiai didesnė, kur gamybos procesui naudojama daugiau anglies iš nuotekų dumblo. Vidutinė kalio (K) koncentracija buvo ženkliai didesnė VV įmonės džiovinamame granuliuotame nuotekų dumble – 3267 mg/kg, nei Kėdainių vandenų nuotekų dumble (1890 mg/kg). Bendros sieros VV vidutiniškai nustatyta 7332 mg/kg tai dvigubai didesnis kiekis nei bendrojo kalio, todėl nuotekų dumblas nors dalinai gali papildyti dirvožemyje sieros kiekius, kurie būtini augalams. Tirtose vandenvalyse įmonėse dumblo pH svyravo nuo 6,3 iki 7,4, taigi vertinant pH, rizikos dėl didesnio sunkiųjų metalų mobilumo ir augalams jų prieinamumo iš nuotekų dumblu neturėtų būti. Bendras chloridų kiekis VV džiovinamam granuliuotam nuotekų dumble nustatytas 314 mg/kg. Mikroelementų, tokių kaip kalcis (Ca) ir magnis (Mg) ir koncentracijos džiovinamam granuliuotam nuotekų dumble buvo didelės, atitinkamai – 55000 ir 11267 mg/kg, o tai naudinga tiek dirvožemiui, tiek augalams.

Tiriant kenksmingas medžiagas – sunkiuosius metalus nustatyta, kad jų koncentracijos VV granuliuotam nuotekų dumble neviršijo nustatytos DLK ir buvo nuo 1,5 iki 3 kartų mažesnės už LAND 20–2005 nurodytas DLK. Džiovinoto granuliuoto nuotekų dumblo užterštumas beveik visais sunkiaisiais metalais VV metams bėgant mažėjo. Nuo 2018 iki 2023 metų švino (Pb) sumažėjo 40 proc., kadmio (Cd) – 33 proc., vario (Cu) – 21 proc., nikelio (Ni) – 17 proc., cinko (Zn) – 4 proc. Ne visi sunkieji metalai buvo linkę mažėti: chromas (Cr) padidėjo 12 proc., ir

gyvsidabris (Hg) – 21 proc., tačiau Cr buvo 2,5 o Hg 1,3–1,9 kartus nustatyta koncentracija mažesnė už leistiną DLK nurodytą LAND 20–2005.

Atlikus tyrimus dėl organinės taršos, kad visuose tirtuose ėminiuose polichlorintų bifenilų (PCB) koncentracijos buvo žemiau nustatymo ribos (<0,005 mg/kg), o policiklinių aromatinių angliavandenilių (PAA) nustatyta nuo 0,05 iki 0,16 mg/kg. Pagal leistinas ribas nustatyta labai nedidelės šių organinių teršalų koncentracijos. Tręšimui naudotas granuluotas džiovintas nuotekų dumblas atitiko A klasę. Fekalinė žarnyno lazdelė (*Escherichia coli*) nustatyta nuo 10 iki 40 ksv/g, o anaerobinės klostridijos (*Clostridium perfringens*) nustatyta nuo 40 ir 190 ksv/g. Helmintų kiaušinėliai ir lervų bei patogeninių enterobakterijos nustatyta nebuvo.

Atlikus biomasės pelenų įvertinimą KK ir KA biokuro katilinėse nustatyta, kad cheminėje sudėtyje vyravo makroelementai Ca, K, P, Mg ir S, o tai rodo galimybę juos naudoti žemės ūkyje. Daugiausia buvo pelenuose buvo Ca: KK – 69533 mg/kg ir KA – 67211 mg/kg. Taip pat nustatytos ir didelės magnio (Mg) koncentracijos – 8843 mg/kg (KK) ir 7090 mg/kg (KA). Šių elementų įsisavinimui įtakos turi pH, kuris pelenuose buvo 12,5 (KK) ir 12,7 mg/kg (KA). Anglies koncentracija pelenų biomasėje sudarė 1,5 % (KK). KA biokuro katilinėje vidutine organinės anglies koncentracija buvo didesnė – 3,5 %. Efektyviu biomasės sudegimu laikoma, kai organinė anglis neviršija 10 %.

Nustačius pagrindinius, augalų mitybai būtinus makroelementus, biomasės pelenuose vidutinė kalio (K) koncentracija nustatyta 21497 mg/kg (KK) ir 20571 mg/kg (KA). Didelės buvo ir bendrojo fosforo (P) koncentracijos, kuri KK sudarė 10012 mg/kg ir KA – 9040 mg/kg. Daug mažesnės nustatytos sieros (S) ir azoto (N) koncentracijos. KK biokuro pelenuose S buvo tik 2151 mg/kg, o N – 905 mg/kg. Esančios N ir S koncentracijos biokuro pelenuose optimaliai augalų mitybai nepakaks.

Sunkiųjų metalų koncentracijos biomasės pelenuose buvo nuo 1 net iki 17 kartų mažesnės, nei nurodoma „Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklės“. Lietuvos miškų medienos užterštumas ¹³⁷Cs radionuklidu nedidelis. Mūsų atliktais tyrimais, nustatyta, kad savitasis aktyvumas biomasės pelenuose buvo gerokai mažesnis už leistiną (<1,00 Bq/g) ir svyravo nuo 0,074 iki 0,710 Bq/g. Organinių teršalų cheminė analizė biokuro pelenuose parodė, kad PCB ir PAA koncentracijos buvo žemiau nustatymo ribos atitinkamai <0,005 ir <0,01 mg/kg.

Raktiniai žodžiai: granuluotas džiovintas nuotekų dumblas, pelenai, makroelementai, sunkieji metalai, tarša, didžiausia leistina koncentracija

SUMMARY

Properly treated and legally compliant sewage sludge can be beneficial not only for plant nutrition but also for improving soil properties and its conditions. Biomass ashes can also be a source of plant nutrients and a mean of reducing soil acidity. However, besides to the beneficial substances present in both sludge and biofuel ash, heavy metals and other contaminants may pose certain risks. Therefore, the objective of this project was to assess the quality parameters of sewage sludge used to fertilize biomass plantations (hybrid poplars and hybrid aspens) and to assess the quality of ashes obtained from biomass plantations used for biofuel.

The objects of the study were granular dried sewage sludge and biomass ashes. Sewage sludge quality analysis were based from dried granulated municipal waste-water treatment sludge digestate of UAB "Vilniaus vandenys" (VV), UAB "Aukštaitijos vandenys" (AV), UAB "Kėdainių vandenys" (KV) and UAB "Kauno vandenys" (KNV). Special monitoring sites were fertilized with granulated dried sewage sludge digestate from UAB "Vilniaus vandenys". During the fertilization of these research sites, a wider range of analyses was performed, so the quality of this sewage sludge was assessed separately (VVL). Biomass ashes analysis were based from biomass ashes of UAB "Karlų katilinė" (KK) and UAB "Kirtimų katilinė" (KA).

As a result of research on beneficial substances for soil and plants, it was found that the dry matter of the dried granular sewage sludge consisted of VV – 97.7 %, AV – 96.5 %, KV – 89.3 %, KNV – 91.3 %, and VVL – 89.7 %, which was in line with the LAND 20–2005 directive that thermally treated sewage sludge should have a dry matter content of more than 85 %. The highest value of the organic matter in dried sewage sludge in AV was 66.9 %, while in VV it was only 55.4 %. The lower organic matter in the dried granular sewage sludge in VV is due to the significantly higher biogas production in the VV processing plant, where more carbon from the sewage sludge is used in the biogas production process. The average potassium (K) concentration was significantly higher in the dried granular sewage sludge of VV company – 3267 mg/kg, than in the sewage sludge of Kėdainiai waters (1890 mg/kg). The average value of total sulphur is 7332 mg/kg, which is twice the amount of total potassium concentration, so sewage sludge can partially replenish the amount of sulphur in the soil, which is necessary for plants. In the water treatment companies, the pH of the sludge varied from 6.3 to 7.4, so when evaluating the pH, there should be no risk to accelerate the higher mobility of heavy metals and their availability to plants from sewage sludge. The total chloride content in VV dried granular sewage sludge was determined to be 314 mg/kg. Concentrations of micronutrients such as calcium (Ca) and magnesium (Mg) in dried granular sewage sludge were high, 55000 and 11267 mg/kg, respectively, which are beneficial for both soil and plants.

During the study of harmful substances - heavy metals, it was found that their concentrations in VV granulated sewage sludge did not exceed the established limit values (LV) and were 1.5 to 3 times lower than the LV specified in LAND 20–2005. The contamination of dried granular sewage sludge with almost all heavy metals decreased over the years. From 2018 to 2023, lead

(Pb) decreased by 40 %, cadmium (Cd) by 33 %, copper (Cu) by 21 %, nickel (Ni) by 17 %, and zinc (Zn) by 4 %. Not all heavy metals tended to decrease: chromium (Cr) increased by 12 % and mercury (Hg) by 21 %, but Cr was 2.5 and Hg 1.3–1.9 times lower than the permissible LV in LAND 20–2005.

The organic pollutant tests showed that all tested samples had concentrations of polychlorinated biphenyls (PCB) below the limit of detection (<0.005 mg/kg) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) between 0.05 and 0.16 mg/kg. Very small concentrations of these organic pollutants have been determined according to the permissible limits. The granulated dried sewage sludge used for fertilization corresponded to class A. *Escherichia coli* was determined between 10 and 40 ksv/g, and *Clostridium perfringens* was determined between 40 and 190 ksv/g. Helminth eggs and larvae and pathogenic enterobacteria were not detected.

After evaluation of biomass ashes in KK and KA biomass boiler houses, it was found that macroelements Ca, K, P, Mg and S prevailed in the chemical composition, which indicates the possibility of their use in agriculture. Ca was the most present in the ash: KK – 69533 mg/kg and KA – 67211 mg/kg. High concentrations of magnesium (Mg) were also determined – 8843 mg/kg (KK) and 7090 mg/kg (KA). The uptake of these elements is influenced by pH, which was 12.5 (KK) and 12.7 mg/kg (KA) in the ash. Carbon concentration in ash biomass was 1.5% (KK). The average concentration of organic carbon was higher in the KA biofuel boiler room – 3.5%. Efficient combustion of biomass is considered when organic carbon does not exceed 10%.

After determining the main macronutrients necessary for plant nutrition, the average concentration of potassium (K) in biomass ash was determined to be 21497 mg/kg (KK) and 20571 mg/kg (KA). There were also high concentrations of total phosphorus (P) – 10012 mg/kg in KK and 9040 mg/kg in KA. Much lower concentrations of sulphur (S) and nitrogen (N) were detected. In KK biofuel ash, S was only 2151 mg/kg and N was 905 mg/kg. The concentration of N and S in biofuel ash will not be sufficient for optimal plant nutrition.

Concentrations of heavy metals in biomass ash were from 1 to 17 times lower than specified in the "Rules for handling and use of wood fuel ash". Wood contamination of Lithuanian forests with ¹³⁷Cs radionuclide is small. According to our research, it was found that the specific activity in biomass ash was significantly lower than the permissible level (<1.00 Bq/g) and ranged from 0.074 to 0.710 Bq/g. Chemical analysis of organic contaminants in biofuel ash showed that PCB and PAH concentrations were below the detection limit of <0.005 and <0.01 mg/kg, respectively.

Keywords: granular dried sewage sludge, ashes, macronutrients, heavy metals, pollution, limit values

IVADAS

Nuotekų dumblas yra įprastas kiekvienoje šalyje susidarantis šalutinis produktas. Jis susidaro iš gyvenamosios ar pramoninės veiklos. Nuotekų dumble yra vertingų organinių ir mineralinių medžiagų, kurias galima panaudoti pakartotinai kaip organines trąšas augalų tręšimui (Pikaar ir kt., 2022). Organinės ir mineralinės maisto medžiagos, esančios nuotekų dumble yra naudingos ypač augalams, todėl dumblas yra vertinga organinė trąša. Todėl dumblo panaudojimas žemės ūkyje yra viena iš populiariausių ir plačiausiai naudojamų būdų. Tačiau iš kitos pusės be naudingų medžiagų nuotekų dumble taip pat gali būti ir patogenų, sunkiųjų metalų, organinių ir neorganinių teršalų, toksiškų junginių: policiklinių aromatinių angliavandenilių (PAA), polichlorintų bifenilų (PCB), dioksinų ir kt. (Fijalkowski ir kt., 2017). Nuotekų dumble esantys teršalai gali kelti pavojų žmonių sveikatai ir ekosistemoms, o taip pat galimas ir ilgalaikis neigiamas poveikis žemės ūkyje, kur susikaupę teršalai gali pakenkti jo funkcijoms ir našumui. (Fijalkowski ir kt., 2017; Taheran ir kt., 2018). Todėl nuotekų dumblo apdorojimui turi būti skirtas didelis dėmesys, kad jo kokybė būtų kuo geresnė ir būtų saugu jį naudoti. Tinkamai apdorotas ir atitinkantis reikalavimus nuotekų dumblas gali būti naudingas ne tik augalų mitybai bet ir pagerinti dirvožemio savybes ir jo būklę (Sharma, 2017).

Nuolat ieškoma efektyvesnių būdų nuotekų dumblo apdorojimui. Efektyviausias dumblo panaudojimo būdas laikomas, kai gaunama energetinė, ekonominė ir ekologinė nauda (Ofverstrom ir kt., 2010). Vienas iš būdų atgauti energiją iš dumblo yra jo džiovinimas. Džiovinimo metu vyksta ir energijos atgavimas iš dumblo, kuri gali būti pakaitinių energijos šaltinių poreikio ir technologijų plėtros (Tarybos direktyva 86/278/EEB...,1986) bei perspektyvaus alternatyvaus dumblo regeneravimo būdo. Anaerobinio pūdymo metu gaunamos biodujos gali būti tiekiamos šildymui ir elektros gamybai. Taip buvo tvarkomas dalis Vilniaus vandenų nuotekų dumblo. Iš biodujų gauta dalis energijos buvo naudojama nuotekų dumblo džiovinimui. Nuotekų dumblo maistinių medžiagų ar energijos atgavimo galimybės yra naudingi sprendimai ir daug žadančios žiedinės ekonomikos perspektyvos, nors reglamentai ir sąnaudos ne visada tam palankios.

Pasaulyje nėra vieningos nuotekų dėl dumblo tvarkymo praktikos. Vienose šalys nuotekų dumblas deginamas, kitur sandėliuojamas sąvartynuose, kompostuojamas, naudojamas pažeistų teritorijų rekultivavimui, žemės ūkyje ar energinėms kultūroms tręšti. Kad ir koks pasirinktas būdas dumblo tvarkymui, tačiau yra labai svarbu jo kokybė, kuri yra viena iš būtinos informacijos, galinti padėti priimti sprendimus tolimesniam efektyvesniam jo tvarkymui ar panaudojimui. Todėl prieš naudojant nuotekų dumblą, reikia iširti ir įvertinti jo kokybę. Paprastai kokybė vertinama pasitelkiant fizinius ir cheminius analizės būdus nurodytus teisės aktuose, kurių pagrindinis tikslas nustatyti kiek yra vienos ar kitos toksiškos medžiagos nuotekų dumble.

Kad užtikrinti saugumą ir, kad nuotekų dumblas nepatektų į maisto grandinę, dažnai nuotekų dumblo pasirenkama tręšti energetinius augalus. Kadangi medžiai atlieka fitoremediacijos procesą, tad labai svarbu kiek sunkiųjų metalų bus sukaupta medienoje ir vėl jų grįš į dirvožemį kaip kalkinimo priemonė. Biomasės pelenai naudojami žemės ūkyje dirvų kalkinimui, nes turi tokį

pat arba labai panašų poveikį kaip ir kalkės. Tačiau tokių pelenų panaudojimas kelia grėsmę dėl sunkiųjų metalų. Sunkieji metalai gali sukelti dirvožemio ir gruntinio vandens taršą bei pakenkti gyviems organizmams.

Tad šios projekto veiklos tikslas: buvo įvertinti nuotekų dumblo kokybės parametrus, kuriuo tręšiami trumpos rotacijos želdiniai (hibridinės tuopos ir hibridinės drebulės) ir įvertinti pelenų kokybę, gautą iš biokurui panaudotų želdinių.

Projekto veiklos **uždaviniai:**

- įvertinti dumblo kokybės parametrus, pagal teisės aktuose nurodytus atitikimą naudojamam nuotekų dumblui želdinių tręšimui bei šių rodiklių kaitą;
- iširti biokuro pelenus ir palyginti jų kokybinius rodiklius su Lietuvos normatyviniais dokumentais;
- pagal gautus tyrimus rezultatus parengti rekomendacijas susijusias su teisės aktuose nustatytais normomis ir kiekiais bei reikalavimais dumblo ir pelenų naudojimui.

1. TYRIMŲ METODIK

Tyrimų objektas. Pirmas tyrimo objektas – nuotekų dumblas. Laukų tręšimui buvo naudojamas nuotekų dumblas iš „UAB Vilniaus vandenys“, UAB „Aukštaitijos vandenys“, UAB „Kėdainių vandenys“ ir UAB „Kauno vandenys“. Kitas tyrimų objektas buvo biomasės degimo proceso metu susidarę pelenai biokuro katilinėse. Biomasė deginta dvejose biokuro katilinėse – UAB „Karlų katilinė“ ir UAB „Kirtimų katilinė“.

Ėminių paėmimas. Vandenvalos įmonė ir biokuro katilinės dumblo ir biomasės ėminius ėmė teisės aktuose numatyta tvarka, vadovaujantis 2001 m. birželio 29 d. Nr. 349 LAND 20-2001 „Dumblo naudojimo tręšimui reikalavimai“ ir 2011 m. sausio 5 d. įsakymu Nr. D1-14 „Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklės“ nurodyta tvarka.

Cheminės analizės nuotekų dumble ir pelenuose: Išdžiovintame granuliuotame dumble buvo nustatomi šie kokybiniai rodikliai:

- sausų medžiagų kiekis (%);
- organinių medžiagų kiekis (%);
- azoto (N) ir fosforo (P) bendras kiekis (mg/kg sausųjų medžiagų);
- sunkiųjų metalų Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg kiekis (mg/kg sausųjų medžiagų);
- mikrobiologiniai-parazitologinius rodikliai;
- dumblo pH.

Teisės aktuose LAND 20-2001 „Dumblo naudojimo tręšimui reikalavimai“ nurodyta, kad džiovinamas nuotekų dumblą 100 °C ir aukštesnei temperatūrai nereikia atlikti mikrobiologinių-parazitologinių rodiklių, todėl šie parametrai buvo įvertinti, tik džiovintame granuliuotame nuotekų dumble, kuris buvo naudojamas monitoringo aikštelių tręšimui (12 aikštelių), kur buvo tyrimai atliekami plačiau, vertinant jų pasiskirstymą dirvožemyje ir vandenyje. Taip pat platesniems tyrimams buvo nustatyta ir bendras chloras (Cl), bendra sierra (S), bendras kalis (K) amoniakinis azotas (N-NH₄), nitratinis azotas (N-NO₃), kalcis (Ca), magnis (Mg), manganas (Mn), boras (B), arsenas (As), organiniai junginiai ir teršalai: polichlorinti bifenilai (PCB) ir policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAA).

Remiantis „Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklės“ nurodyta tvarka, biomasės pelenuose buvo nustatomi šie pelenų cheminių medžiagų rodikliai:

- organinės anglies kiekis (% sausosios masės);
- fosforo (P), kalio (K), kalcio (Ca), magnio (Mg) koncentracijos (mg/kg sausosios masės);
- boro (B), vanadžio (V), švino (Pb), kadmio (Cd), chromo (Cr), vario (Cu), nikelio (Ni), cinko (Zn), gyvsidabrio (Hg), arseno (As) koncentracijos (mg/kg sausosios masės);
- benz(a)pireno koncentracija (μg/kg sausosios masės);
- pelenų pH.

Biomasės pelenų įtaka dirvožemiui buvo pasirinkta papildomai nustatyti: bendrą organinę anglį (C), bendrą azotą (N), amoniakinį azotą (N-NH₄), nitratinį azotą (N-NO₃), manganą (Mn), bendrą chlorą (Cl), bendrą sierą (S), bendrą kalį (K).

Duomenų vertinimas. Iš UAB „Vilniaus vandenys“ tyrimų rezultatus sudarė džiovinto granulioto nuotekų dumblo kokybės analizės sertifikatai, iš UAB „Kauno vandenys“ – 3, UAB „Aukštaitijos vandenys“ ir UAB „Kėdainių vandenys“ po vieną kokybės analizės sertifikatai. Nustatyti cheminiai rodikliai nuotekų dumblo buvo vertinimai pagal Lietuvos normatyvinius dokumentus, leidžiančius panaudoti miestų ir miestelių nuotekų dumblą dirvožemių tręšimui:

1. Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimai LAND 20–2005;
2. Lietuvos higienos norma HN 60:2015 „Pavojingų cheminių medžiagų didžiausios leidžiamos koncentracijos dirvožemyje“.
3. Tai pat buvo atsižvelgta į Europos Tarybos direktyva (86/278/EEC) dėl nuotekų dumblo panaudojimo žemės ūkyje ES teisės akta, kuriame reglamentuojama dumblo panaudojimas.
4. Biologiškai skaidžių atliekų kompostavimo, anaerobinio apdorojimo aplinkosauginiai reikalavimai

Biomasės pelenų kokybės analizės vertinimą sudarė UAB „Karlų katilinė“ (KA) 8 kokybės analizės sertifikatai ir UAB „Kirtimų katilinė“ (KK)– 3 kokybės analizės sertifikatai. Pelenuose cheminiai rodikliai įvertinti pagal:

1. Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklės;
2. Lietuvos higienos norma HN 60:2004 „Pavojingų cheminių medžiagų didžiausios leidžiamos koncentracijos dirvožemyje“.

2. TYRIMŲ REZULTATAI

2.1. Granuliuoto džiovinto nuotekų dumblo kokybės parametrai

Reikalavimai nuotekų dumbliui, kuris naudojamas energetinių augalų tręšimui, yra ne tokie griežti, kaip dumbliui, naudojamam maistingųjų kultūrų tręšimui. Tačiau ir, kai tręšiami energetiniai augalai yra nurodyti rodikliai, kurių viršyti negalima, kad nebūtų daromas neigiamas poveikis dirvožemiui, augmenijai, gyvūnams ir žmonėms. Leidžiamas sunkiųjų metalų koncentracijas nuotekų dumblo ir dirvožemyje prieš ir po tręšimo reglamentuojama LAND 20–2005 „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimai“, patvirtintas aplinkos ministro 2001 m. birželio 29 d. įsakymu Nr. 349 (Žin., 2001, Nr. 61–2196; 2005, Nr. 142–5135). Teisės akte aprašoma ne tik bendri reikalavimai tręšimui nuotekų dumblo, tačiau ir specialūs reikalavimai dumblo naudojimui energinių augalų tręšimui.

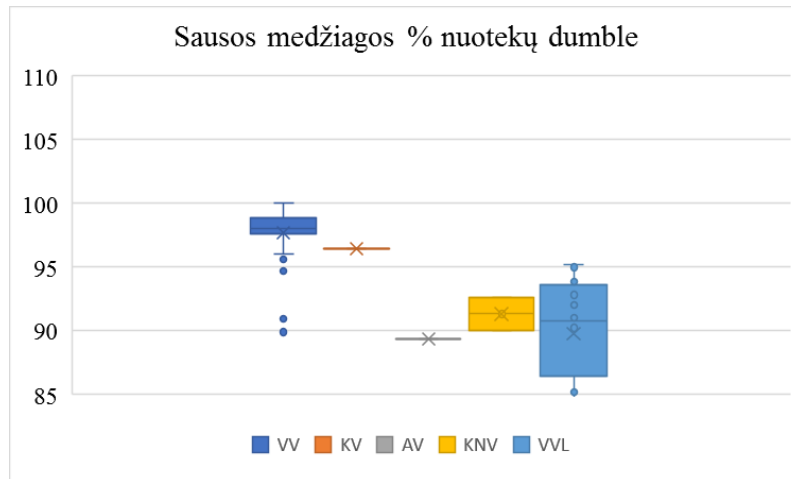
Auginant energinius augalus, per metus gali būti paskleidžiama (įterpiama ar pan.) 33 t/ha, tačiau nuo 2021 m. šis kiekis yra pakeistas į 11 t/ha, dumblo sausoje medžiagoje. Patręstos teritorijos dirvožemio užterštumas sunkiaisiais metalais negali viršyti didžiausių leistinų koncentracijų, o jei žemės ūkio paskirties sklypuose, kuriuose auginamų energinių augalų tręšimui buvo naudojamas apdorotas dumblas, žemės ūkio kultūros, naudojamos žmonių ir gyvulių maistui, gali būti auginamos, tik tokiu atveju jei sunkiųjų metalų koncentracija dirvožemyje neviršija didžiausiųjų leidžiamųjų sunkiųjų metalų koncentracijų dirvožemyje.

Nuotekų dumblo naudojimas gali padidinti organinių medžiagų kiekį, pagerinti dirvožemio struktūrinės savybės, taip pat dirvožemio drėgmės sulaikymą. Ši, nuotekų dumblo teigiama nauda labiau pastebima, kai nuotekų dumblas naudojamas žemės ūkyje. Nustatytos nuotekų dumblo tam tikrų medžiagų ribinės vertės, naudojamos siekiant geresnės dirvožemio kokybės ir apsaugai dėl galimos taršos. Taigi nustatytų reikalavimų nuotekų dumblo panaudojimui yra dvejopas: užkertamas kelias dirvožemio užteršimui ir papildyti dirvožemį maisto medžiagomis bei gerinti jo kokybę.

Pagrindiniai Lietuvos normatyviniai dokumentai, leidžiantys panaudoti miestų ir miestelių nuotekų dumblą dirvožemių tręšimui, taip pat rekultivacijai, yra jau minėtas LAND 20–2005 ir Lietuvos higienos norma HN 60:2004 „Pavojingų cheminių medžiagų didžiausios leidžiamos koncentracijos dirvožemyje“.

Nuotekų dumblo kokybės įvertimui buvo panaudoti „UAB Vilniaus vandenys“ (VV), UAB „Aukštaitijos vandenys“ (AV), UAB „Kėdainių vandenys“ (KV) ir UAB „Kauno vandenys“ (KNV) dumblo tyrimų duomenys ir „UAB Vilniaus vandenys“ tyrimai, kurie buvo naudoti specialiųjų monitoringų aikštelių tręšimui (VVL).

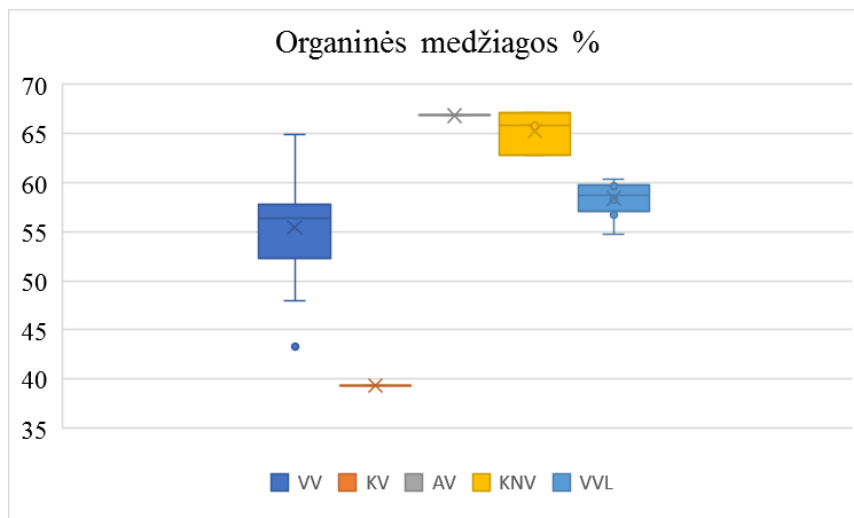
Visose vandenvals įmonėse nuotekų dumblas buvo džiovinamas. Kaip nurodo LAND 20–2005 džiovinamas nuotekų dumblas – terminiu būdu apdorotas dumblas, kuriame sausoji medžiaga sudaro daugiau kaip 85 proc. Iš tyrimų rezultatų nustatyta, kad VV sausoji medžiaga sudarė – 97,7 %, AV – 96,5 %, KV – 89,3 %, KNV – 91,3 % ir VVL – 89,7 % (2.1.1 pav.).



2.1.1 pav. Sausos medžiagos % džiovinam granuliuotam nuotekų dumble sausoje medžiagoje

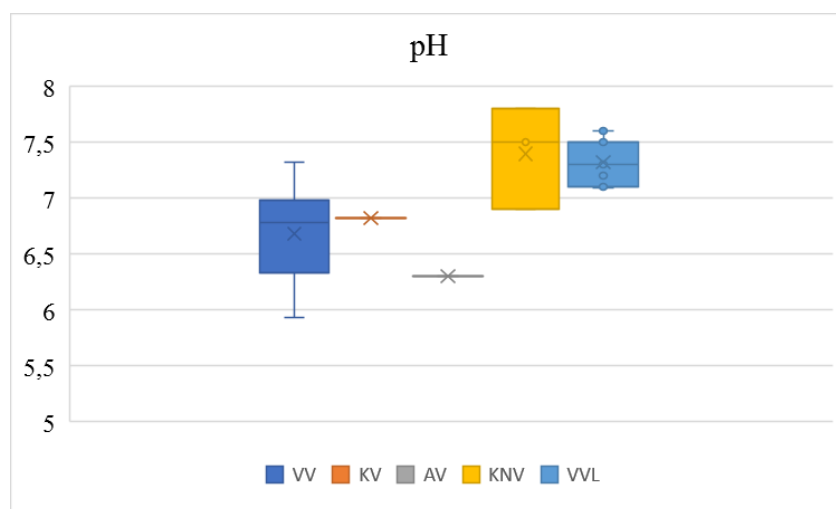
Nuotekų dumblo naudojimas žemės ūkio paskirties žemėje gali padėti palaikyti organines medžiagas dirvožemyje. Neigiami aspektai dumblo naudojimo atžvilgiu yra visuomenės suvokimas apie riziką, susijusią su nuotekų dumblo, taip pat toksinių medžiagų patekimas. Tačiau intensyviai dirbamame dirvožemyje vyksta organinių medžiagų mažėjimas ir praradimas, ko pasekoje sumažėja dirvožemio derlingumas ir galiausiai sumažėja jo produktyvumas. Todėl reikia rūpintis organinių medžiagų palaikymu ir jų papildymų žemės ūkio dirvožemiuose. Nuotekų dumble esančios organinės medžiagos leidžia sumažinti dirvožemio degradaciją. Todėl naudojant nuotekų dumblą galima padidėti organinių medžiagų dirvožemyje, pagerėti jo kokybę bei vandens sulaikymą, dirvožemio struktūrinės savybės bei dirvožemio ir auginamų augalų produktyvumą.

Vertinant organines medžiagas skirtingose vandenviros įmonėse susidariusiame dumble, jų kiekis skyrėsi. Bendras organinių medžiagų kiekis VV (55,4 %) ir KV (39,3 %) yra mažesnis, lyginant su kitomis komunalinių nuotekų valymo įmonėmis. VV turi pažangesnę dumblo apdorojimo technologiją, kurioje naudojama terminė hidrolizė ir tai didelis technologijos patobulinimas, kadangi pagamintos biodujos naudojamos kaip atsinaujinanti energija. Dėl to VV perdirbimo įrenginyje biodujų gamyba yra žymiai didesnė, kur gamybos procesui naudojama daugiau anglies iš nuotekų dumblo. Tai parodo ir tyrimų rezultatai. Jei organinės medžiagos AV džiovinam nuotekų dumble nustatyta 66,9 %, tai VV tik – 55,4 % (2.1.2 pav.).



2.1.2 pav. Organinės medžiagos % džiovintam granuliuotam nuotekų dumblo sausoje medžiagoje

Dumblas turi būti naudojamas taip, kad būtų atsižvelgta į augalų maistinių medžiagų poreikius ir saugoma dirvožemio ir paviršinio bei požeminio vandens kokybė. Kai dirvožemio pH yra mažesnis nei 6, turi būti atsižvelgiama, kad yra didesnis sunkiųjų metalų mobilumas ir prieinamumas augalams. Tirtose vandenvals įmonėse dumblo pH svyravo nuo 6,3 iki 7,4 (2.1.3 pav.). Taigi vertinant pH, rizikos dėl didesnio sunkiųjų metalų mobilumo ir augalams jų prieinamumo iš nuotekų dumblo neturėtų būti.

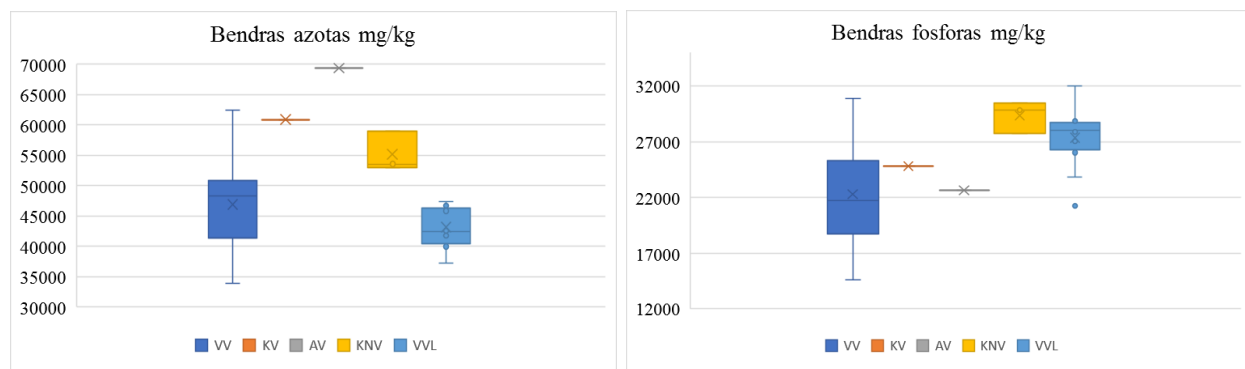


2.1.3 pav. Džiovinoto granuliuoto nuotekų dumblo pH sausoje medžiagoje

Dumblo naudojimas gali turėti pakaitinę trąšų vertę, kuriame yra dideli N ir P kiekiai, o taip pat papildyti dirvožemį organinėmis medžiagomis. Azoto prieinamumas labiausiai priklauso nuo dumblo apdorojimo proceso, o P prieinamumas labai priklauso nuo Fe kiekio dumblo. Nors N ir P turi didelę reikšmę augalams, tačiau per dideli šių makroelementų kiekiai gali būti kenksmingi

aplinkai ir augalams. Taip pat svarbu apsaugoti dirvožemį ir paviršinius bei gruntinius vandenis nuo taršos, galimas iš tręšimo nuotekų dumblo. Azoto tarša yra pavojingiausias dėl nitratų, o didelis fosforo kiekis gali sukelti vandens telkiniuose eutrofikacijos procesus. Todėl yra reikalaujama subalansuoto trąšų naudojimo. Todėl naudojant nuotekų dumblą tręšimui yra numatomi dumblo ir dirvožemio tyrimai, kuriuose vienos iš kontroliuojamų medžiagų yra azotas ir fosforas. Lietuvoje LAND 20–2005 nurodo, kad maksimali tręšimo apdorotu dumblo norma turi užtikrinti, kad į dirvožemį nepatektų: azoto – daugiau kaip 170 kg/ha per metus, fosforo – 40 kg/ha arba fosforo (V) oksido (P_2O_5) – 90 kg/ha per metus.

Europos šalyse atlikta studija parodė, kad azoto kiekis 2007–2018 m. buvo maždaug 40000–45000 mg/kg sausoje medžiagoje, o fosforo koncentracija 20000–25000 mg/kg sausoje medžiagoje (Support to the evaluation...EU, 2022). Mūsų atlikti granulioto džiovinoto nuotekų dumblo kokybės tyrimai parodė labai panašius N ir P kiekius. Vidutinė bendrojo azoto (N_b) koncentracija VV buvo 46911 mg/kg ir 43122 mg/kg VVL. Vidutinė N_b koncentracija VV buvo 20–30 % mažesnės, palyginti su kitomis nuotekų valymo įmonėmis (KNV – 55169 mg/kg, KV – 60900 mg/kg ir AV – 69408 mg/kg) (2.1.4 pav.).



2.1.4 pav. Bendras azotas (N_b) ir bendras fosforas (P_b) džiovinamam granuliuotam nuotekų dumblo sausoje medžiagoje

Fosforas yra būtina maistinė medžiaga visiems gyviems organizmams. Šiuo metu trąšose ir gyvūnų pašaruose naudojamas P daugiausia išgaunamas iš neatsinaujinančių fosfatų uolienų, kurių atsargos senka. Europos Sąjunga (ES) ir fosforą ir fosfatinę uolieną laiko svarbiausiomis žaliavomis dėl jų strateginės svarbos ir ekonominės priklausomybės nuo riboto skaičiaus tiekėjų ne ES. Granuluotas džiovinotas nuotekų dumblas yra viena iš maistinių medžiagų turtingų atliekų rūšių, kuriose yra didelė fosforo (P) koncentracija. Todėl jis laikomas labai svarbiu alternatyviu P šaltiniu, kuris gali pakeisti fosforo uolienas, kuri yra baigtinis išteklius. Šiuo atžvilgiu svarbu atgauti P iš alternatyvių šaltinių, skatinant žiedinę ekonomiką. Biomasės atliekų srautuose, tokiuose kaip nuotekų dumblas, susidarantis valant nuotekas, gyvūnų mėšlas, šalutiniai gyvūniniai produktai ir maisto atliekos, yra daug P. Atlikti tyrimai rodo, kad vidutinė P_b koncentracija džiovinamam granuliuotam nuotekų dumblo buvo VV – 22290 mg/kg ir VVL – 27375 mg/kg.

Vidutinės bendrojo fosforo koncentracijos buvo panašios kaip ir kitose vandenvalos įmonėse (KNV – 29363 mg/kg, KV – 24800 mg/kg ir AV – 22659 mg/kg) (2.1.4 pav.).

Nepaisant gausių maistinių medžiagų, esančių nuotekų dumble, jo panaudojimą žemės ūkyje ar miškininkystėje riboja ir kelia tam tikrą pavojų sunkiųjų metalų, organinių teršalais, mikroplastų ir kt. medžiagos esančios jo sudėtyje. Sunkiųjų metalų kaupimasis dirvožemyje yra ypač pavojingas, nes labai įtakoja pagrindinių augalų mitybai reikalingų elementų įsisavinimą (Siuta J., 2002). Kitas labai svarbus dalykas, tai sunkiųjų metalų galimas šaltinis žmonėms ir gyvūnams yra iš žemės ūkio produkcijos, todėl sunkiųjų metalų patekimas į dirvožemį kelia didelę grėsmę žemės ūkio pasėlių kokybei, ekosistemoms ir žmogaus organizmui. Augalai, kurie yra pagrindiniai mineralinių maistinių medžiagų iš dirvožemio ir vandens, įskaitant sunkiuosius metalus, gavėjai, kartu yra ir pagrindinis jų šaltinis žmonių ir gyvūnų maiste. Be to, teršalų su sunkiaisiais metalais išplovimas iš dirvožemio gali žymiai pabloginti vandens aplinkos būklę (Alexakis D., ir kt., 2021).

Sunkiųjų metalų koncentracijos ribas nuotekų dumblio reglamentuoja ES (ES dumblo direktyva 86/278/EEB) ir nacionalinė dumblo direktyva (LAND 20–2001). Nacionalinė dumblo direktyva nustato daug griežtesnes reglamentuojamų sunkiųjų metalų koncentraciją ribines vertes, palyginti su ES dumblo direktyva 86/278/EEB (2.1.1 lentelė).

Nuotekų dumble esančių sunkiųjų metalų koncentracijos, skirtingų miestų vandenvalos įmonėse, pateiktos 2.1.1 lentelėje. Analizuojant sunkiųjų metalų koncentracijas džiovinamam granuliuotam nuotekų dumble, galima daryti išvadą, kad dominuojantys sunkieji metalai, kurie yra arčiausiai nustatytų ribinių verčių yra cinkas ir nikelis, tuo tarpu statistiškai mažiausią riziką kaupiantis dirvožemyje kelia gyvsidabris (2.1.1 lentelė). Atlikti nuotekų kokybės tyrimai rodo, kad Vilniaus mieste daugiausiai užteršto vandens ūteka iš gyventojų ir pramonės šakų, nes sunkiųjų metalų koncentracijos granuliuotam džiovinamam nuotekų dumble čia nustatytos didžiausios (2.1.1 lentelė).

Literatūros duomenimis, tam tikrų sunkiųjų metalų koncentracijas nuotekų dumble galima suskirstyti taip: Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > Cd (Shrivastava S. K.; Banerjee D. K., 2004). Vertinant mūsų tyrimų duomenis pagal VV, kadangi juose nustatyta sunkiųjų metalų koncentracijos buvo didžiausios, tai nustatyta sunkiųjų metalų koncentracijų tendencija buvo tokia, kad Ni koncentracija buvo didžiausia, o Hg – mažiausia. Jei palygintume EU 86/278/EEB direktyva ir LAND 20–2005, matome, kad Ni koncentracija tarp šių direktyvų yra labai skiriasi. Nuo 2021 metų LAND 20–2005 buvo pakeistos daugelio sunkiųjų metalų koncentracijų ribinės vertės. Pavyzdžiui nikelio koncentracija buvo 51–300, o dabartiniame LAND 20–2005 jo koncentracija ženkliai sumažinta (70 mg/kg). Todėl jei vertintume sunkiųjų metalų koncentracijos ribines vertes atsižvelgdami į EU 86/278/EEB direktyvą, tai didžiausia sunkiųjų metalų koncentracija kelianti riziką yra cinko.

Didžiausia vidutinė Zn koncentracija džiovinamam granuliuotam nuotekų dumble buvo VV – 1707 mg/kg ir VVL – 1476 mg/kg. Nustatyta Zn koncentracija buvo 2 kartus didesnė nei kituose

komunalinių nuotekų valymo įmonėse – KNV – 874 mg/kg, AN – 444 mg/kg ir KV – 600 mg/kg (2.1.1 lentelė).

Vidutinė Cu koncentracija džiovinam granuliuotam nuotekų dumble nustatyta VV – 305 mg/kg ir VVL – 286 mg/kg, ir buvo daugiau nei 1,5 karto didesnė lyginant su kitais komunalinių nuotekų valymo įmonėse nustatytu kiekiu (KNV – 202mg/kg, KV – 180 mg/kg ir AV – 83 mg/kg), tačiau, net ir nustatyti didžiausia Cu koncentracija VV ir VVL dumble buvo 3,3 karto mažesnė už didžiausią leistiną LAND 20–2005 Cu koncentraciją (2.1.1 lentelė).

2.1.1 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracija džiovinam granuliuotam nuotekų dumble mg/kg

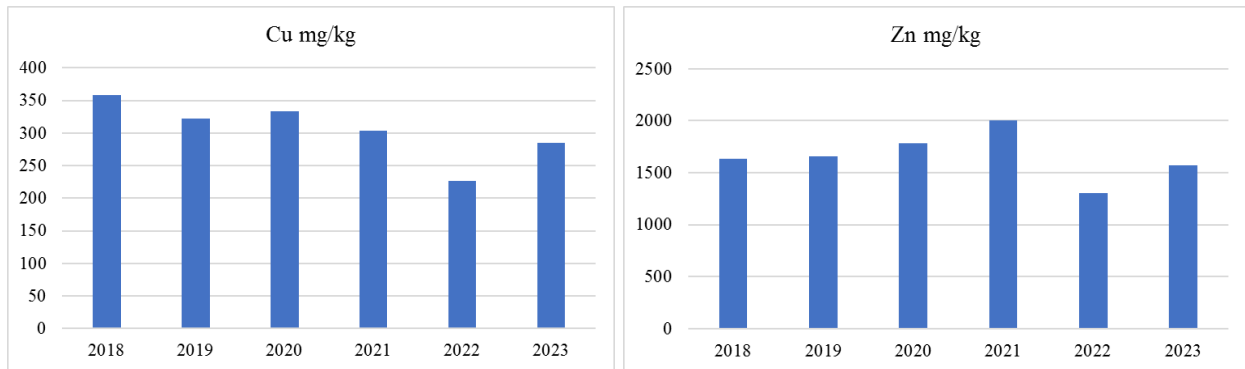
Pavadinimas	EU 86/278/EEB direktyva	LAND 20–2005 II kategorija	VV	VVL	KNV	AV	KV
Varis (Cu)	1000–1750	1000	305	286	202	83	180
Švinas (Pb)	750–1200	150	44	43	35	27	6
Cinkas (Zn)	2500–4000	2500	1707	1476	874	444	600
Nikelis (Ni)	300–400	70	50	54	34	14	23
Chromas (Cr)	–	170	68	54	65	17	65
Kadmis (Cd)	20–40	5	1,8	2,7	2,7	0,9	0,8
Gyvsidabris (Hg)	16–25	1–1,5	0,55	0,47	0,02	0,02	0,02

Vidutinė didžiausia švino koncentracija nuotekų dumble taip pat nustatyta VV – 44 mg/kg ir VVL – 43 mg/kg 12 VV. Kitose vandenvalos įmonėse Pb kiekiai buvo mažesni (KNV – 35 mg/kg, KV – 27 mg/kg ir AV – 6 mg/kg), tačiau net didžiausi kiekiai nustatyti Vilniaus vandenyse buvo 3,5 karto mažesnė už didžiausią leistiną koncentraciją nurodytą LAND 20–2005 (2.1.1 lentelė).

Kitų nustatytų sunkiųjų metalų koncentracijos (Ni, Cr, Cd ir Hg) buvo taip pat didžiausios Vilniaus vandenų įmonėje, tačiau nustatytų didžiausių leistinų koncentracijų neviršijo ir buvo nuo 1,5 iki 3 kartų mažesnės už LAND 20–2005 nurodytas koncentracijas (2.1.1 lentelė).

Atlikus sunkiųjų metalų tyrimus granuliuotam džiovinam nuotekų dumble, visų tirtų sunkiųjų metalų didžiausios koncentracijos nustatytos Vilniaus vandenų įmonėje (VV). Todėl toliau grafikuose (2.1.5–2.1.7 pav.) apžvelgsime kaip keitėsi jų kiekiai nuo 2018 iki 2023 metų. Iš pateiktų duomenų nustatyta, kad dumblo užterštumas sunkiaisiais metalais metams bėgant mažėjo. Galima daryti prielaidą, kad teršiančios sunkiosios pramonės įmonės arba uždarė savo veiklą, arba perėjo prie daug švaresnių technologijų ar įrengė vietinius vandens valymo įrenginius.

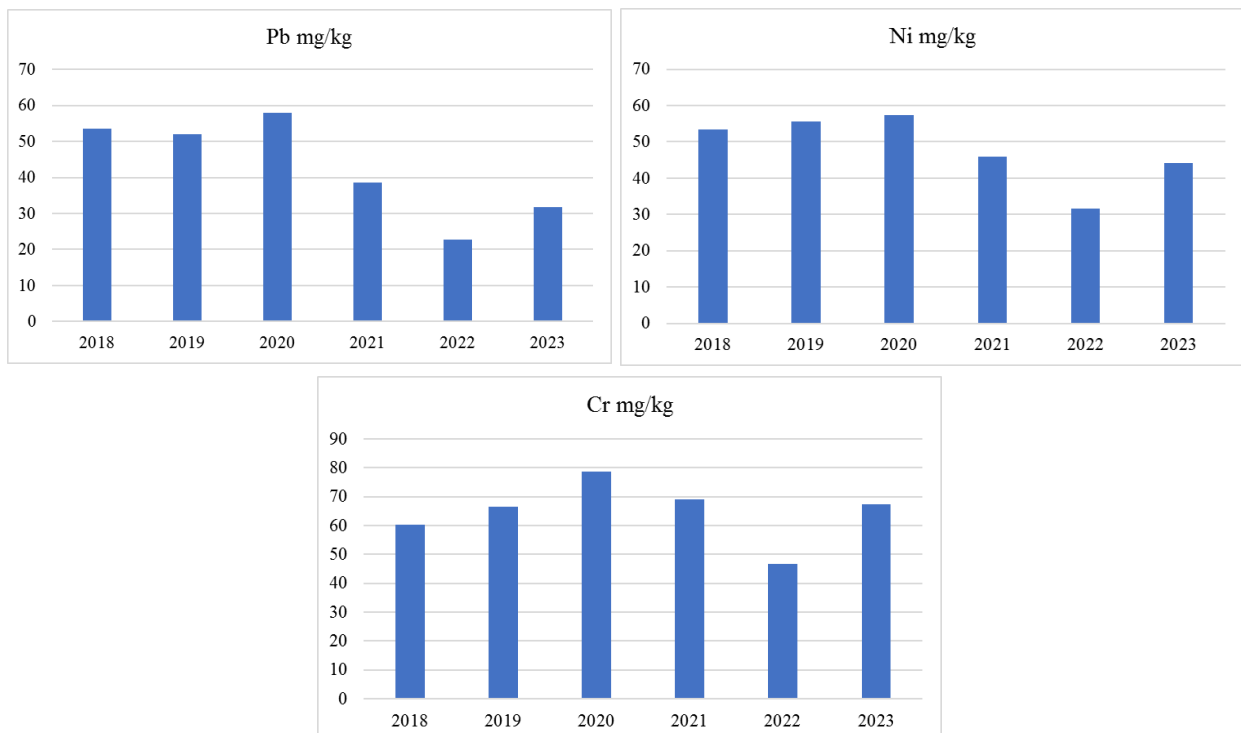
Iš atliktų tyrimų matyti, kad didžiausias sumažėjimas sunkiųjų metalų buvo 2022 metais. Tačiau minėtais metais nuotekų dumblu buvo tręšiama nedaug, todėl džiovinto granulioto nuotekų dumblo kokybės parametrai buvo nustatyti tik keltą mėnesių per metus. Todėl šių metų duomenų kaip metalų sumažėjimo vertinti negalime (2.1.5–2.1.7 pav.).



2.1.5 pav. Vario ir cinko koncentracija džiovintam granuliotam nuotekų dumble sausoje medžiagoje

Didžiausia vario koncentracija, džiovintam granuliotam nuotekų dumble, nustatyta 2018 ir 2020 metais atitinkamai – 358 ir 335 mg/kg. Nuo 2021 Cu koncentracija dar labiau mažėjo ir 2023 ji buvo 284 mg/kg. Nuo tyrimų pradžios vario koncentracija džiovintam granuliotam nuotekų dumble sumažėjo 21 proc. (2.1.5 pav.).

Cinko koncentracijos nustatytos kitokios tendencijos. Nuo 2018 iki 2021 metų Zn koncentracija didėjo ir 2021 metais ji nustatyta 2006 mg/kg. Vėliau Zn koncentracija mažėjo ir 2023 metais ji buvo 1570 mg/kg. Nuo tyrimų pradžios Zn koncentracija džiovintam granuliotam nuotekų dumble sumažėjo 4 proc. (2.1.5 pav.).

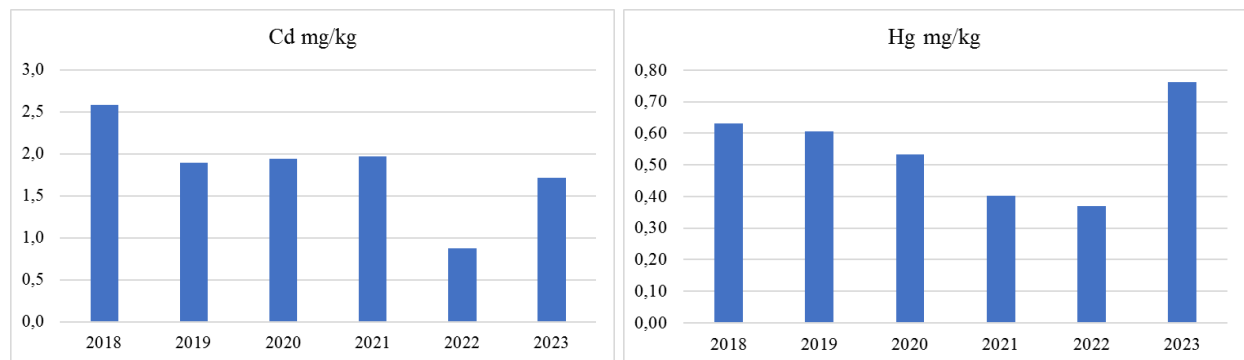


2.1.6 pav. Vario, cinko ir chromo koncentracija džiovintam granuliotam nuotekų dumble sausoje medžiagoje

Tiriant sunkiuosius metalus švino sumažėjimas, džiovinam granuliuotam nuotekų dumble, nustatytas didžiausias. Jei jo 2018 metais nustatyta 53,7 mg/kg, tai 2023 m. tik 31,8 mg/kg. Taigi Pb sumažėjo net 40 proc. (2.1.6 pav.).

Vidutinės nikelio koncentraciją, džiovinam granuliuotam nuotekų dumble, buvo 50 mg/kg. Didžiausia ji nustatyta 2020 metais – 57,3 mg/kg. Vėliau Ni buvo linkęs mažėti ir 2023 metais jo nustatyta tik 44,1 mg/kg. Nuo tyrimų pradžios jo sumažėjo 17 proc. (2.1.6 pav.).

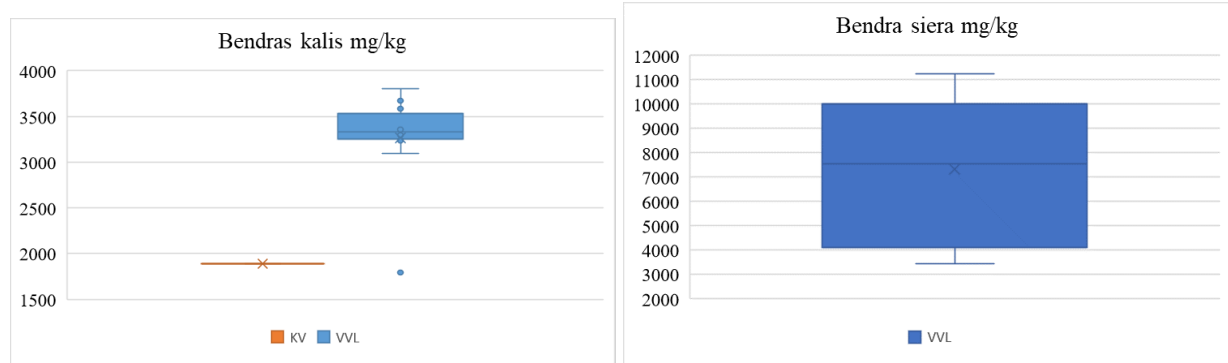
Kadmis yra vienas pavojingiausių žmogaus sveikatai sunkiųjų metalų, todėl jo koncentracijos griežtai reglamentuojama. Bėgant metams Cd koncentracijos Vilniaus vandenių komunalinių nuotekų valymo įmonėje labai sumažėjo. Tyrimų pradžioje 2018 metais Cd koncentracija buvo didžiausia ir siekė 2,6 mg/kg, o 2023 metais – 1,7 mg/kg. Taigi šio sunkiojo metalais džiovinam granuliuotam nuotekų dumble sumažėjo net 33 proc. (2.1.7 pav.).



2.1.7 pav. Kadmio ir gyvsidabrio koncentracija džiovinam granuliuotam nuotekų dumble sausoje medžiagoje

Ne visi sunkieji metalai buvo linkę mažėti džiovinam granuliuotam nuotekų dumble. Nuo tyrimų pradžios nustatyta gyvsidabrio ir chromo padidėjimas. Cr padidėjo 12 proc., o Hg – 21 proc. Nors šių metalų koncentracijos didėjo džiovinam granuliuotam nuotekų dumble, tačiau Cr buvo 2,5 o Hg 1,3–1,9 kartus mažesnė už leistiną didžiausią koncentraciją nurodytą LAND 20–2005 (2.1.6 pav. ir 2.1.7 pav.).

Džiovinamas granuliuotas nuotekų dumblas buvo naudojamas ne tik želdinių tręšimui, bet specialiose tyrimų aikštelėse. Nuotekų dumblu buvo tręšiamos 12 tyrimų aikštelių, kuriuose buvo plačiau stebimas dumblo poveikis dirvožemiui ir vandeniui, bei želdinių biomasei. Todėl tyrimams dumble buvo pasirinkta platesnis rodiklių skaičius. Be rodiklių nurodytų LAND20–2005, papildomai buvo nustatyta bendras chloras (Cl), bendra siera (S), bendras kalis (K) amoniakinis azotas (N-NH₄), nitratinis azotas (N-NO₃), kalcis (Ca), magnis (Mg), manganas (Mn), boras (B), arsenas (As), organiniai junginiai ir teršalai: polichlorinti bifenilai (PCB) ir policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAA).

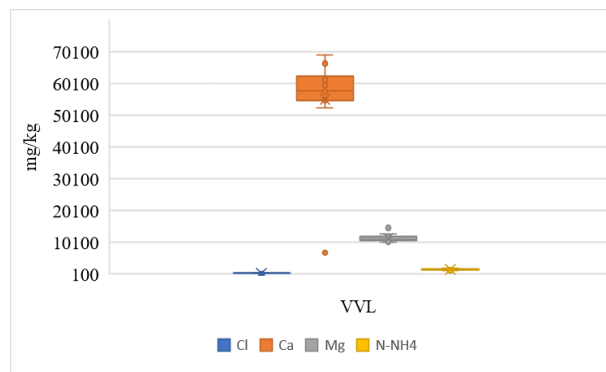


2.1.8 pav. Bendro kalio ir bendros sieros koncentracija džiovintam granuliuotam nuotekų dumble sausoje medžiagoje

Kalis svarbus augalų mitybai. Jo trūkumas trikdo medžių mitybą, taip pat jis yra būtinas medžiams pasiruošti žiemojimui. Džiovinatas granuliuotas nuotekų dumblas nepasižymėjo didele kalio koncentracija. Nustatyta jo koncentracija Kėdainių vandenyse ir Vilniaus vandenyse parodė, kad ženkliai didesnė vidutinė buvo Vilniaus vandenų įmonės džiovinatame granuliuotame nuotekų dumble – 3267 mg/kg, o Kėdainių vandenų nuotekų dumble tik 1890 mg/kg. Džiovinatas granuliuotas nuotekų dumblas nėra turtingas kaliu, todėl mažai turi įtakos greitai augančioms medžių rūšims, ypač dirvožemiuose, kuriuose yra kalio trūkumas (2.1.8 pav.).

Per pastaruosius 30 metų daugelyje Europos šalių sieros trūkumas dirvožemyje tampa aktuali problema. Tačiau ji yra būtina augalų fotosintezei, kvėpavimui, azoto ir anglies apykaitai, chlorofilo gamybai, vitaminų ir fermentų susidarymui. Ji gerina maisto medžiagų pasisavinimą augaluose ir dalyvauja dirvožemio biologiniuose bei cheminiuose procesuose. Mineralinės sieros dirvožemyje yra nedaug ir todėl, kad didžioji dauguma nejudrios sieros atsargų yra organinėje medžiagoje ir dalis fiksuota molio mineraluose. Todėl svarbu dirvožemį papildyti organinėmis trąšomis, kuriuose būtų ir sieros. Džiovinatam granuliuotam nuotekų dumble bendros sieros vidutiniškai nustatyta 7332 mg/kg (2.1.8 pav.). Tai dvigubai didesnis kiekis nei bendrojo kalio, todėl nuotekų dumblas nors dalinai gali papildyti dirvožemyje sieros kiekius, kurie būtini augalams.

Mikroelementai, kaip ir makroelementai yra būtini elementai augalams, kurių reikia mažais kiekiais. Nepaisant mažo mikroelementų poreikio, jie yra gyvybiškai svarbūs augalų augimui ir vystymuisi, todėl tai daro įtaką derliui, taip pat jo kokybei (Laviola B. G ir kt., 2007). Chloridai nedideliais kiekiais yra naudingi augalams, tačiau dėl daugelio priešasčių jie priskiriami teršalų kategorijai. Chlorido jonai (Cl⁻) yra labai mobilūs, neigiamo krūvio elementai, kurie lengvai migruoja ir gali tapti vandens taršos priežastimi ir taip pakenkti vandens gyviems organizmams ir augalams, jų kvėpavimui bei vandens kokybei. Bendras chloridų kiekis džiovintam granuliuotam nuotekų dumble nustatytas 314 mg/kg. Mikroelementų, tokių kaip Ca ir Mg ir koncentracijos džiovintam granuliuotam nuotekų dumble buvo didelės, atitinkamai – 55000 ir 11267 mg/kg, o tai naudinga tiek dirvožemiui, tiek augalams.



2.1.9 pav. VVL elementų koncentracija džiovintam granuliuotam nuotekų dumble sausoje medžiagoje

Augalų mitybai labai svarbus dirvožemyje esantis mineralinio azoto kiekis, kurį sudaro amoniakinis ir nitratinis azotas. Amoniakinio ir nitratinio azoto kiekis dirvožemyje dėl dirvos mikroorganizmų veiklos, aplinkos temperatūros, dirvožemio drėgmės, organinių medžiagų kiekio, tręšimo technologijų ir kitų veiksnių nuolat kinta. Augalų augimui ir vystymuisi reikia tiek amoniakinio, tiek nitratinio azoto. Tačiau mineralinis azotas, ypač nitratinė jo forma, gali būti išplautas iš dirvožemio į gilesnius jo sluoksnius ir taip tapti gruntinių vandenų taršos priežastimi. Todėl jo koncentracija yra reglamentuojama (2.1.2 lentelė). Kad išvengti taršos nitratais augalų tręšimas turi būti subalansuotas ir turi būti užtikrinamas kitų mineralinių medžiagų prieinamumas augalams. Kad augalai galėtų įsisavinti amoniakinį azotą, jiems turi pakakti kalcio, magnio ir kalio, o nitratinium azotu – fosforo ir molibdeno. Mūsų tirtame VVL granuliuotam nuotekų dumble nitratai nustatyti ribinių verčių pagal HN 60:2015 neviršijo, o amoniakinio azoto koncentracija nustatyta 1427 mg/kg. Kitų elementų koncentracijos esančios granuliuotam džiovintam nuotekų dumble gali pagerinti įsisavinti mineralinio azotą, todėl nuotekų dumblas gali praturtinti augalų mitybą (2.1.9 pav. ir 2.1.2 lentelė).

Dideliais kiekiais cheminės medžiagos gali būti pavojingos. Jų didelė koncentracija gali kelti pavojų tiek žmogaus organizmui, tiek aplinkai. Todėl nemažai cheminių medžiagų yra reglamentuojama teisinių dokumentų ir nurodomos jų ribinės vertės ar didžiausios leidžiamos koncentracijos. Džioviname granuliuotame nuotekų dumble nustatytos arseno, mangano ir boro koncentracijos ir palyginamos pagal HN 60:2015 ribines vertes (2.1.2 lentelė). Nors ši higienos norma reglamentuoja kiekius dirvožemyje, tačiau mūsų tirtame nuotekų dumble buvo nustatytos medžiagų koncentracijos ženkliai mažesnės nei nurodoma šiame dokumente. Todėl nustatyti mažesni kiekiai dumble nei leidžiama dirvožemyje nekelia pavojaus.

2.1.2 lentelė. Pavojingų cheminių medžiagų didžiausios leidžiamos koncentracijos ir jų foniniai kiekiai dirvožemyje pagal HN 60:2015

Pavadinimas	Cheminės medžiagos ribinė vertė (RV), mg/kg sausosios medžiagos	VVL dumble nustatyta koncentracija, mg/kg
Arsenas	20	0,35
Nitratinis azotas	130	59
Manganas	1500	295
Boras	50	7

Prie organinių teršalų priskiriami policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAA) ir polichlorinti bifenilai (PCB). PAA ir PCB yra patvarūs gamtos ir mikroorganizmų poveikiui, todėl dirvožemyje išlieka net ir tada, kai organinės trąšos, kuriuose jų yra, visiškai suyra. Naudojant nuotekų dumblą tręšimui gali kilti grėsmė dėl patvarių organinių junginių taršos. Šie junginiai blogai tirpsta vandenyje, tačiau gerai tirpsta organiniuose tirpikliuose ir riebaluose ar turi savybę kauptis gyvuosiuose organizmuose. Dėl šios priežasties tręšiant laukus džiovintu granuliuotu nuotekų dumblu, turinčiu patvarių organinių teršalų, iškyla grėsmė, kad dirvožemyje jie kaupsis ir kels dirvožemiui ir augalams neigiamą ir negrįžtamą poveikį.

Nuotekų dumble pagal LAND 20–2005 PCB ir PAA koncentracijos neregamentuojamos. Tačiau jų leistina riba yra nurodyta kompostuose ir anaerobiniuose rauguose (2.1.3 lentelė). Todėl buvo svarbu nustatyti ar džiovintas granuliuotas dumblas kelia grėsmę dėl šių organinių teršalų dirvožemiui ir aplinkai. Tyrimais nustatyta kad visuose tirtuose ėminiuose PCB koncentracijos buvo žemiau nustatymo ribos (<0,005 mg/kg), o PAA nustatyta nuo 0,05 iki 0,16 mg/kg. Pagal leistinas ribas nustatyta labai nedidelės šių organinių teršalų koncentracijos.

2.1.3 lentelė. Organinių teršalų leistinos ribos (mg/kg SM) kompostuose, anaerobiniuose rauguose mg/kg SM (Biologiškai skaidžių....2007)

Organiniai teršalai	Leistina riba
PCB	<0,2
PAA	<4

Patogeniniai mikroorganizmai yra organizmai, kurie gali sukelti ligas. Dažniausiai nuotekų dumble randamos šios organizmų rūšys: bakterijos, virusai, pirmuonys ir kirmėlės, o dažniausiai paplitusių mikroorganizmų iš nuotekų dumblo yra *Salmonella*. Ji gali sukelti ligas tiek žmonėms, tiek ir gyvūnams (Environmental... 2003). Patogeniniai mikroorganizmai, esantys nuotekų dumble gali lengvai daugintis žmogaus organizme, todėl tai yra dar vienas dumblą panaudoti stabdančių veiksmų. Kad išvengtų šių užsikrėtimų, dumblą galima naudoti, jei jis yra tik tam tikros klasės pagal mikrobiologinius-parazitologinius parametrus (2.1.4 lentelė).

2.1.4 lentelė. Apdoroto dumblo skirstymas į klases pagal mikrobiologinius–parazitologinius parametrus (LAND 20–2005)

Dumblo klasė	Fekalinė žarnyno lazdelė (<i>Escherichia coli</i>), ksv/g	Anaerobinės klostridijos (<i>Clostridium perfringens</i>), ksv/g	Helmintų kiaušinėliai ir lervos, vnt./kg	Patogeninės enterobakterijos, ksv/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

Nuotekų dumble esančių mikroorganizmų lygis priklauso nuo susidariusio nuotekų dumblo kokybės ir nuo naudojamos nuotekų valymo technologijos. Taip pat naudojami nuotekų valymo procesai gali sumažinti patogeninių mikroorganizmų kiekį nuotekų dumble, kurdami nepalankias sąlygas patogeninių organizmų išlikimui (Environmental... 2003).

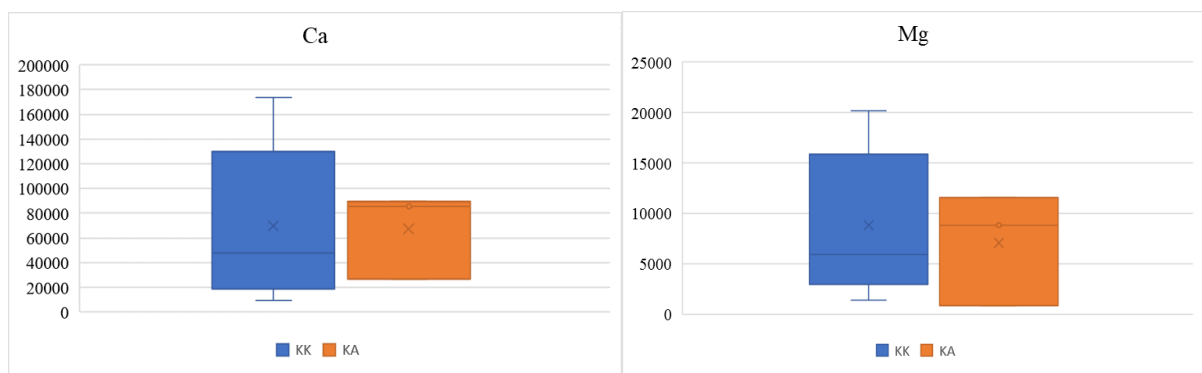
Mūsų atlikti džiovinoto granulioto nuotekų dumblo tyrimai atitiko LAND 20–2005 reikalavimus, kuriame nurodoma, kad terminiu būdu apdorotas dumblas, kuriame sausoji medžiaga sudaro daugiau kaip 85 proc. ir tokiam dumblui netaikomi mikrobiologiniai–parazitologiniai rodiklių nustatymai. Tačiau buvo svarbu įsitikinti ar nėra galimos taršos ir užsikrėtimo pavojaus, ir ar džiovinimo technologija užkerta kelią mikrobiologinei–parazitologinei taršai tręšiant šiuo nuotekų dumblu. Tręšimui naudotas granuluotas džiovinatas nuotekų dumblas atitiko A klasę. Fekalinė žarnyno lazdelė (*Escherichia coli*) nustatyta nuo 10 iki 40 ksv/g, o anaerobinės klostridijos (*Clostridium perfringens*), ksv/g nustatyta nuo 40 ir 190 ksv/g. Helmintų kiaušinėliai ir lervų bei patogeninių enterobakterijos nustatyta nebuvo.

2.2. Biomasės pelenų kokybės parametrai

Biomasė – viena iš didžiausių energijos potencialą turinčių atsinaujinančio kuro rūšių, kurios deginimo proceso metu susidaro pramoninis šalutinis produktas biomasės pelenai – neorganinių ir organinių medžiagų likutis. Įprastai medienos kuro pelenus sudaro silicis (Si), kalcis (Ca), magnis (Mg), kalis (K), fosforas (P), manganas (Mn), geležis (Fe), cinkas (Zn), natris (Na) ir boras (B) (Pärn, 2010; Vesterinen, 2003), tačiau šių elementų kiekis biomasės pelenuose gali skirtis. Pelenų maistinę sudėtį ir kitas jų savybes įtakoja įvairūs veiksniai. Deginamos biomasės rūšis turi įtakos pelenų kokybei ir maistinėms vertėms ir skirtingas elementų kaupimasis atitinkamose medžio dalyse.

Biomasės pelenų kokybei būdingas teigiamas maistinių medžiagų ir kitų dirvožemio gerinimo elementų poveikis. Teigiamą biomasės pelenų panaudojimo dirvožemyje poveikį daro kalcis (Ca), kalis (K), fosforas (P) ir įvairūs mikroelementai. Pelenai pasižymi aukšta Ca koncentracija, todėl gali būti naudojami dirvožemio rūgštingumui mažinti, siekiant pagerinti bendrą dirvožemio maistinių medžiagų balansą, nes turi tokį pat arba labai panašų poveikį kaip ir kalkės. Todėl biomasės pelenų pakartotinis panaudojimas žemės ūkyje yra svarbus klausimas kuriant maistinių medžiagų ciklus ir taupant mineralines trąšas. Taip pat didėjant bioenergijos gamybai, pelenų perdirbimas žemės ūkyje gali išspręsti pelenų šalinimo problemą ir sumažinti komercinių trąšų naudojimo poreikį.

Tirtuose biomasės pelenuose buvo nustatyti keturi makroelementai, kurie priklauso pagrindinių augalų maisto elementų grupei – kalcis (Ca), magnis (Mg), fosforas (P) ir kalis (K). Kartu su makroelementais buvo nustatyta ir organinė anglis.



2.2.1 pav. Ca ir Mg koncentracija biomasės pelenuose sausoje medžiagoje

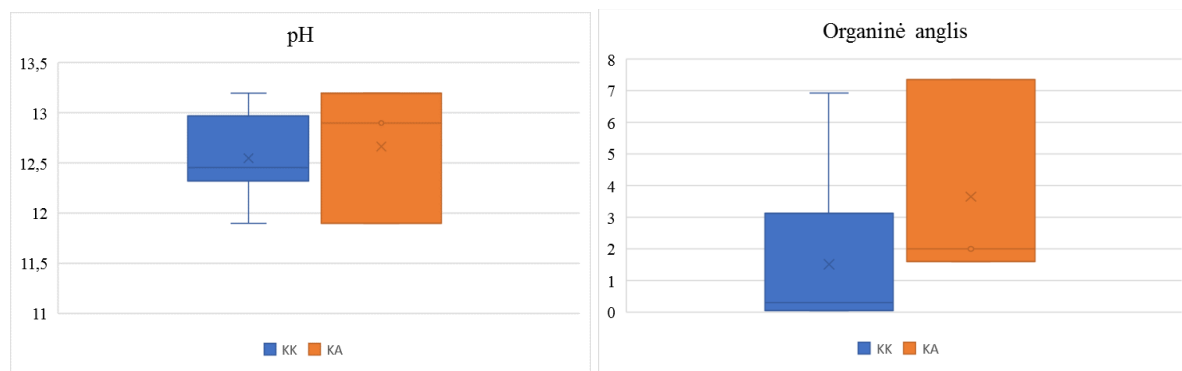
Biomasės pelenų įvertinimui buvo atlikta 11 kokybės analizių KK ir KA biokuro katilinėse. Nepriklausomai nuo augalo rūšies, biomasės pelenuose daugiausia yra Ca (Skuodienė, 2005). Skirtingose biokuro katilinėse pelenuose Ca koncentracija pateikta 2.2.1 paveiksle. Vidutinė kalcio (Ca) koncentracija pakartotinai panauduotuose biomasės pelenuose buvo 69533 mg/kg (KK) ir 67211 mg/kg (KA), nors KK Ca koncentracija svyravo nuo 173750 mg/kg iki 9530 mg/kg. Toks

didelis Ca koncentracijų kitimas priklausė nuo naudojamų analizės metodų, kurie keitėsi, todėl lyginamajai analizei turi būti naudojami tie patys analizės metodai (2.2.1 pav.).

Kalcis, o taip pat ir magnis mažina sunkiųjų metalų prieinamumą augalams, todėl augalams toksiškus metalus sunkiau įsisavinti. Pelenuose, kurių sudėtyje yra didelis kiekis kalcio ir magnio tikslinga naudoti sunkiaisiais metalais užterštuose dirvožemiuose, kaip jų remediacijos priemonę. Mūsų atliktuose biomasės pelenų tyrimuose nustatyta, kad pelenai taip pat turėjo dideles Mg koncentracijas, kur vidutinė Mg koncentracija biomasės pelenuose buvo 8843 mg/kg (KK) ir 7090 mg/kg (KA) (2.2.1 pav.).

Dirvožemyje vykstantys pokyčiai naudojant pelenus, priklauso nuo dirvožemio pH taip pat nuo maisto medžiagų kiekio. Rūgštingumas yra vienas iš svarbiausių dirvožemio kokybę nusakančių parametrų. Nuo dirvožemio pH priklauso daugelis dirvožemyje vykstančių cheminių procesų, taip pat ir mikroelementų tirpumas, judrumas ir prieinamumas. Rūgščiame dirvožemyje sumažėja makroelementų (Ca, Mg, K, P, N, S), ir mikroelementų (Mo, B) įsisavinimas. Tuo tarpu, Fe, Mn, Zn, Cu ar Co judrumas ir prieinamumas gali padidėti net iki toksiško lygio.

Biomasės degimo procese susidaro tirpūs Ca, Mg, K ir Na junginiai (oksidai, hidroksidai, karbonatai, bikarbonatai), o tai savo ruožtu lemia pH padidėjimą. Vassilev teigimu, pH vertė svyruoja nuo 4,5 iki 13,4 ir priklauso nuo K, Cl, Ca ir Mg, kiekio (Vassilev ir kt., 2013). Pelenų šarmingumas mažėja didėjant degimo temperatūrai ir laikymo trukmei (Vassilev ir kt., 2014). Vidutinis pH biomasės pelenuose buvo 12,5 (KK) ir 12,7 mg/kg (KA) ir svyravo nuo maksimalios 11,9 iki minimalios 13,2 (2.2.2 pav.)



2.2.2 pav. pH ir organinės anglies koncentracija biomasės pelenuose sausoje medžiagoje

Vienas iš pelenų kokybę nusakantis rodiklių yra organinės anglies koncentracija. Jei pelenuose organinės anglies koncentracija didesnė nei 10 %, tai rodo prastą biomasės sudegimą ir degimas katilinėje laikomas neefektyviu (Champbell, 1990). Efektyviausiu kuro sudegimu laikoma, kai pelenuose organinės anglies kiekis yra 1–2 %. Kai tuo tarpu, kurui sudegus neefektyviai organinės anglies koncentracija gali siekti net iki 70 %. Pelenų elementų analizė parodė, kad biomasė KK biokuro katilinėje buvo deginama efektyviai, o organinės anglies kiekis pelenų mėginiuose buvo mažesnis nei 2 %. Vidutinė organinės anglies koncentracija biomasės

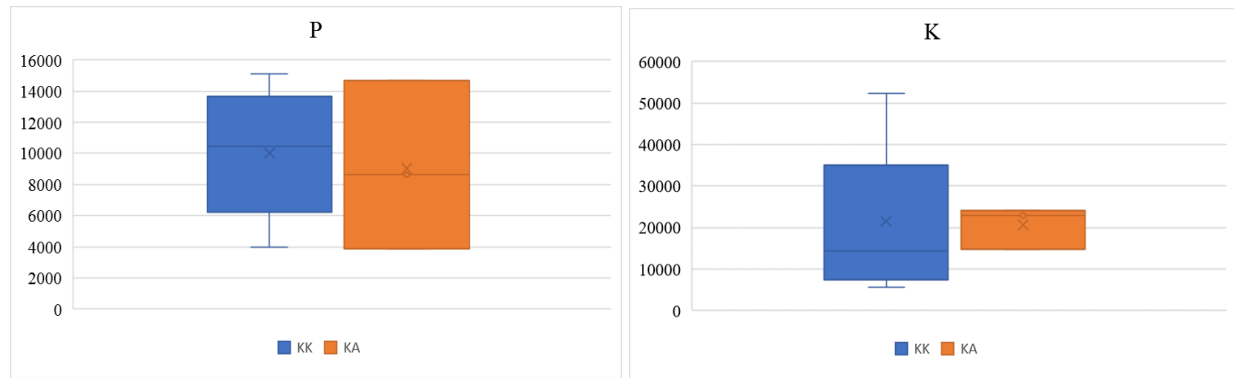
pelenuose buvo 1,5 % (KK). Tačiau KA biokuro katilinėje vidutine organinės anglies koncentracija sudarė 3,5 % (2.2.2 pav.).

Deginant biomasę susidaro pelenai, kuriuose yra įvairių naudingų junginių, įskaitant ir kalį. Lietuvos Respublikos normatyviniuose dokumentuose K (kaip ir kitiems makroelementams) minimali rekomenduojama vertė nenurodoma. Biomasės pelenai, kaip maistinių medžiagų šaltinis, taip pat svarbūs dėl kalio (K) koncentracijos. Vidutinė kalio (K) koncentracija pakartotinai panauduotuose biomasės pelenuose buvo 21497 mg/kg (KK) ir 20571 mg/kg (KA) ir svyravo nuo maksimalios 52281 mg/kg iki minimalios 5580 mg/kg. Biomasės pelenų kaip kalio (K) turtingos trąšos naudojimas yra naudingas greitai augančioms medžių rūšims, ypač dirvožemiuose, kuriuose yra daug organinių medžiagų, nes tokiuose dirvožemiuose augalai susiduria su kalio (K) trūkumu, kuris yra būtinas medžiams pasiruošti žiemos šalčiams (2.2.3 pav.).

Didžiausias fosforo (P) kiekis pasaulyje sunaudojamas trąšoms, tačiau P ištekliai yra riboti, todėl P perdirbimo sprendimai ir pakartotinis medžiagų panaudojimas iš jų išgaunant P, tampa vis svarbesni siekiant išsaugoti pasaulines P atsargas. Pelenai, susidarę deginant biomasę, yra seniausios mineralinės trąšos pasaulyje. Pelenų naudojimas gali paskatinti mikrobu veiklą ir mineralizacijos procesus dirvožemyje, pagerindamas chemines ir fizines savybes (Demeyer ir kt., 2001). Tačiau pelenuose esančių maistinių medžiagų kiekis gali skirtis. Taip pat esančių medžiagų kiekis biomasės pelenuose ne visada vienodai prieinamas augalams.

Mūsų atliktuose biomasės pelenų tyrimuose nustatyta, kad pelenai taip pat turėjo dideles bendrojo fosforo (P) koncentracijas, kur vidutinė P koncentracija pakartotinai panauduotuose biomasės pelenuose buvo 10012 mg/kg (KK) ir 9040 mg/kg (KA), kur ji svyravo nuo maksimalios – 15101 mg/kg iki minimalios – 5878 mg/kg (2.2.3 pav.).

Biomasės pelenų panaudojimas, kaip fosforu (P) turtingas trąšos, turi vieną didelį neigiamą aspektą, tai jo prieinamumas augalams. Nepaisant gana didelės bendrojo fosforo koncentracijos biomasės pelenuose, ne visą bendrą fosforą sudaro augalų augimui ir vystymuisi reikiamas judrus fosforas (P_2O_5). Deginant medienos biomasę labai aukštoje temperatūroje, dalis P susijungia į netirpius junginius ir augalams tampa prieinama tik po daugelio metų. Atliktais Ohno ir Erich (1990) tyrimais tai pat nustatyta, kad tik nedidelė P dalis, pridėta su medžio pelenais, buvo prieinama augalams. Blogą P tirpumą biomasės pelenuose taip pat aprašė Pels ir kt. (2005). Todėl mažas P prieinamumas trukdo tiesiogiai juos naudoti kaip P trąšas žemės ūkyje. Tačiau miškininkystėje ar auginant trumpos rotacijos želdinius yra labai prasminga naudoti biokuro pelenus, kaip P trąšos šaltinį. Skirtingai nei žemės ūkio augalai, trumpos rotacijos želdiniai auginami ne vienerius metus ir jie P iš biokuro pelenų gali pasisavinti palaiptinui per kelerius metus.



2.2.3 pav. P ir K koncentracija biomasės pelenuose sausoje medžiagoje

Maistinių medžiagų tokių kaip azoto, sieros ir kt. (2.2.2 lentelė), kokybės tyrimai buvo atlikti tik dvejuose pelenų biomasės ėminiuose. Bendro azoto, nitratinio ir amoniakinio KK biomasės pelenuose nebuvo dideli kiekiai atitinkamai – 905, 21,4 ir 2,0 mg/kg. Dėl itin aukštos degimo temperatūros azoto junginiai degimo proceso metu oksiduojasi ir sudaro dujinius atmosferos teršalus, todėl azoto kiekis pelenuose būna minimalus (Smith, 1993). Be to, pageidautina, kad biomasėje būtų mažai azoto ir sieros, nes dėl to didėja aplinkos tarša. Nors mediena yra mažai sieros turintis kuras, mažesnis procentas visada yra pageidaujami, taip išvengiant susidarymo ir sieros dujų išmetimas į atmosferą. Taip pat kyla problema dėl aktyviosios korozija degimo biomasės proceso metu, kurioje gausu kalio, chloro ir sieros. Tad palyginus biomasės pelenuose nustatytas sieros koncentracijas su fosforo ir kalio, jos KK biokuro pelenuose buvo tik 2151 mg/kg, o chloro 576 mg/kg (2.2.2 lentelė). Galima teigti, kad biokuro deginimo metu minėtų rizikų dėl per didelio elementų kiekio išvengta, tačiau tikėtis pakankamos N ir S koncentracijos biokurų pelenuose augalų mitybą užtikrinimui, nereikėtų.

2.2.2 lentelė. Vidutinės maistinių medžiagų koncentracijos mg/kg KK biomasės pelenuose

Pavadinimas	Koncentracija mg/kg
Bendras azotas (N)	905
Amoniakinis azotas (N-NH ₄)	2,0
Nitratinis azotas (N-NO ₃)	21,4
Manganas (Mn)	2866
Bendras chloras (Cl)	576
Bendra siera (S)	2151

Augalų mitybai taip pat svarbu mikroelementai. Jų augalams reikia nedideliais kiekiais. Biokuro KK pelenuose Mn buvo nustatyta 2866 mg/kg (2.2.2 lentelė). Kaip mikroelemento, tai labai nemaža koncentracija. Todėl pelenų panaudojimas kaip Mn šaltinis augalams puikiai tinka.

Biomasės pelenų naudojimas žemės ūkyje prie teigiamų savybių, turi ir neigiamą pusę, tai sunkieji metalai. Net ir nedideli jų kiekiai gali sukelti dirvožemio ir gruntinio vandens taršą

(Nieminen et al., 2005). Kai kurie sunkieji metalai pasižymi kancerogeniniu ir mutageniniu poveikiu. Todėl jų naudojimas žemės ūkyje kelia susirūpinimą dėl galimo jų poveikio žmonių sveikatai ir aplinkai. Pelenuose esantis sunkiųjų metalų kiekis priklauso nuo augalų augimo vietos ir augimvietės atstumo nuo taršos šaltinių (pramonės įmonių, greitkelių, sąvartynų ir kt.). Todėl siekiant apsaugoti aplinką, taip pat užtikrinti pakankamą švarų orą ir dirvožemį, sunkiųjų metalų kiekis turėtų būti saugus ir reglamentuojamas. Tai yra pagrindinė priežastis, kodėl tyrimai turėtų būti atliekami remiantis sunkiųjų metalų kiekio pelenais analize.

Lietuvoje sunkiųjų metalų kiekis medžio pelenuose yra reglamentuojamas pagal „Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklės“ 2011 m. sausio 5 d. įsakymu Nr. D1–14. Taisyklėse nurodoma, kad sunkiųjų metalų ir aromatinių medžiagų koncentracijos neturi viršyti tam tikrų ribinių verčių, prieš jas taikant žemės ūkyje ar miškininkystėje (2.2.3 lentelė).

2.2.3 lentelė. Didžiausiosios leidžiamosios cheminių medžiagų koncentracijos pelenuose, naudojamuose žemės ūkyje, pažeistų teritorijų rekultivavimui ir biomasės pelenuose mg/kg sausoje masėje

Pavadinimas	Žemės ūkyje/pažeistų teritorijų rekultivavimui	Kirtimų katilinė	Karlių katilinė
Boras (B)	250	55	51
Vanadis (V)	150	11	9
Nikelis (Ni)	30	9	8
Chromas (Cr)	30	28	17
Kadmis (Cd)	5	2	1
Švinas (Pb)	50	9	5
Varis (Cu)	200	87	57
Cinkas (Zn)	1500	445	287
Arsenas (As)	3	1,2	1,5
Gyvsidabris (Hg)	0,2	0,037	0,030
Benz(a)pirenas, µg/kg	0,5	<0,44	<0,50

Atlikus sunkiųjų metalų tyrimus iš gautų duomenų matyti, kad jei pirminė mediena deginama nemaišant su užteršta antrine mediena, nėra rizikos viršyti sunkiųjų metalų ir aromatinių medžiagų ribines koncentracijas vertės. Sunkiųjų metalų koncentracijos biomasės pelenuose buvo nuo 1 net iki 17 kartų mažesnės, nei nurodoma taisyklėse. Chromo koncentracijos buvo artima nurodytai DLK, benz(a)pireno koncentracijos buvo mažiau nustatymo ribos (2.2.3 lentelė).

Įvežtinėje medienoje aptinkamas cezis (¹³⁷Cs) primena apie 1986 metais įvykusio Černobylio atominės elektrinės avariją, kurios metu į aplinkos orą buvo išmesti dideli kiekiai radioaktyvių medžiagų, ir ši tarša pasklido po Europą, tarp jų ir ¹³⁷Cezio izotopas (Yablakov et al.,

2009). Todėl šį elementą galima aptikti biokuro pelenuose, naudojant deginimui atvežtinę medieną iš trečiųjų šalių: Baltarusijos, Ukrainos, Rusijos. Lietuviškos medienos radiologiniai tyrimai atliekami nuo 1998 m. Lietuvos miškų medienos užterštumas ^{137}Cs radionuklidu nedidelis. Mūsų atliktais tyrimais, taip pat nustatyta, kad nustatytas savitasis aktyvumas biomasės pelenuose buvo gerokai mažesnis už leistiną (2.2.3 lentelė).

2.2.3 lentelė. Radionuklido ^{137}Cs savitasis aktyvumas Bq/g biomasės pelenuose

Pavadinimas	Leistinas savitasis aktyvumas sausuose pelenuose Bq/g	KK	KK	KK	KK	KA	KA
^{137}Cs	<1,00	0,074	0,710	0,080	0,280	0,560	0,140

Biokuro pelenuose PCB ir PAA koncentracijos neregamentuojamos. Tačiau mums buvo svarbu nustatyti ar biomasės pelenai kelia grėsmę dėl šių organinių teršalų dirvožemiui ir aplinkai. Tyrimais nustatyta kad visuose tirtuose ėminiuose PCB ir PAA koncentracijos buvo žemiau nustatymo ribos atitinkamai <0,005 ir <0,01 mg/kg).

IŠVADOS

1. Džiovinamam granuliuotam nuotekų dumblo sausoji medžiaga sudarė: VV – 97,7 %, AV – 96,5 %, KV – 89,3 %, KNV – 91,3 % ir VVL – 89,7 %, tai atitiko LAND 20–2005 nurodymą, kad terminiu būdu apdorotas nuotekų dumblas, kuriame sausoji medžiaga sudaro daugiau kaip 85 proc.
2. Organinės medžiagos AV džiovinamam nuotekų dumblo nustatyta 66,9 %, o VV tik – 55,4 %. Mažiau organinės medžiagos džiovinamam granuliuotam nuotekų dumblo VV yra dėl to, kad VV perdirbimo įrenginyje biodujų gamyba yra žymiai didesnė, kur gamybos procesui naudojama daugiau anglies iš nuotekų dumblo.
3. Vidutinė K koncentracija buvo ženkliai didesnė VV įmonės džioviname granuliuotame nuotekų dumblo – 3267 mg/kg, nei Kėdainių vandenų nuotekų dumblo (1890 mg/kg). Bendros sieros VV vidutiniškai nustatyta 7332 mg/kg tai dvigubai didesnis kiekis nei bendrojo kalio, todėl nuotekų dumblas nors dalinai gali papildyti dirvožemyje sieros kiekius, kurie būtini augalams.
4. Tirtose vandenvals įmonėse dumblo pH svyravo nuo 6,3 iki 7,4, taigi vertinant pH, rizikos dėl didesnio sunkiųjų metalų mobilumo ir augalams jų prieinamumo iš nuotekų dumblo neturėtų būti. Bendras chloridų kiekis VV džiovinamam granuliuotam nuotekų dumblo nustatytas 314 mg/kg. Mikroelementų, tokių kaip Ca ir Mg ir koncentracijos džiovinamam granuliuotam nuotekų dumblo buvo didelės, atitinkamai – 55000 ir 11267 mg/kg, o tai naudinga tiek dirvožemiui, tiek augalams.
5. Tirtų sunkiųjų metalų koncentracijos VV granuliuotam nuotekų dumblo neviršijo nustatytos DLK ir buvo nuo 1,5 iki 3 kartų mažesnės už LAND 20–2005 nurodytas DLK.
6. Džiovinimo granuliuoto nuotekų dumblo užterštumas beveik visais sunkiaisiais metalais VV metams bėgant mažėjo. Nuo 2018 iki 2023 metų Pb sumažėjo 40 proc., Cd – 33 proc., Cu – 21 proc., Ni – 17 proc., Zn – 4 proc. Ne visi sunkieji metalai buvo linkę mažėti: Cr padidėjo 12 proc., ir Hg – 21 proc., tačiau Cr buvo 2,5 o Hg 1,3–1,9 kartus nustatyta koncentracija mažesnė už leistiną DLK nurodytą LAND 20–2005.
7. Tyrimais nustatyta kad visuose tirtuose ėminiuose PCB koncentracijos buvo žemiau nustatymo ribos (<0,005 mg/kg), o PAA nustatyta nuo 0,05 iki 0,16 mg/kg. Pagal leistas ribas nustatyta labai nedidelės šių organinių teršalų koncentracijos.
8. Trešimui naudotas granuliuotas džiovinamas nuotekų dumblas atitiko A klasę. Fekalinė žarnyno lazdelė (*Escherichia coli*) nustatyta nuo 10 iki 40 ksv/g, o anaerobinės klostridijos (*Clostridium perfringens*) nustatyta nuo 40 ir 190 ksv/g. Helmintų kiaušinėliai ir lervų bei patogeninių enterobakterijos nustatyta nebuvo.
9. Atlikus biomasės pelenų įvertinimą KK ir KA biokuro katilinėse nustatyta, kad cheminėje sudėtyje vyravo makroelementai Ca, K, P, Mg ir S, o tai rodo galimybę juos naudoti žemės ūkyje.

10. Daugiausia buvo juose buvo Ca: KK – 69533 mg/kg ir KA – 67211 mg/kg. Taip pat nustatytos ir didelės Mg koncentracijos – 8843 mg/kg (KK) ir 7090 mg/kg (KA). Šių elementų įsisavinimui įtakos turi pH, kuris pelenuose buvo 12,5 (KK) ir 12,7 mg/kg (KA).
11. Anglies koncentracija pelenų biomasėje sudarė 1,5 % (KK). KA biokuro katilinėje vidutine organinės anglies koncentracija buvo didesnė – 3,5 %. Efektyviu biomasės sudegimu laikoma, kai organinė anglis neviršija 10 %.
12. Nustačius pagrindinius, augalų mitybai būtinus makroelementus, biomasės pelenuose vidutinė kalio (K) koncentracija nustatyta 21497 mg/kg (KK) ir 20571 mg/kg (KA). Didelės buvo ir bendrojo fosforo (P) koncentracijos, kuri KK sudarė 10012 mg/kg ir KA – 9040 mg/kg. Daug mažesnės koncentracijos nustatytos S ir N. KK biokuro pelenuose S buvo tik 2151 mg/kg, o N – 905 mg/kg. Esančios N ir S koncentracijos biokuro pelenuose optimaliai augalų mitybai nepakaks.
13. Sunkiųjų metalų koncentracijos biomasės pelenuose buvo nuo 1 net iki 17 kartų mažesnės, nei nurodoma „Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklės“. Chromo koncentracijos buvo artima nurodytai DLK, benz(a)pireno koncentracijos buvo mažiau nustatymo ribos
14. Lietuvos miškų medienos užterštumas ¹³⁷Cs radionuklidu nedidelis. Mūsų atliktais tyrimais, nustatyta, kad savitasis aktyvumas biomasės pelenuose buvo gerokai mažesnis už leistiną (<1,00 Bq/g) ir svyravo nuo 0,074 iki 0,710 Bq/g.
15. Organinių teršalų cheminė analizė biokuro pelenuose parodė, kad PCB ir PAA koncentracijos buvo žemiau nustatymo ribos atitinkamai <0,005 ir <0,01 mg/kg.

REKOMENDACIJOS

Europos Tarybos direktyva (86/278/EEC) dėl nuotekų dumblo panaudojimo žemės ūkyje yra pagrindinis ES teisės aktas, reglamentuojantis dumblo panaudojimą. Lietuvoje nuotekų dumblo naudojimą reglamentuoja „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimai“ (LAND 20–2005). Tiek 86/278/EEC, tiek LAND 20–2005 visų pirma nustatomos sunkiųjų metalų vertės dirvožemyje ir dumble, kurias viršijus nuotekų dumblą griežtai draudžiama naudoti (1 lentelė). Taip pat dumblo valymo būdai, dumblo naudojimo žemės ūkyje sąlygos, dirvožemio ir dumblo mėginių ėmimas tyrimams, dokumentacijos, susijusios su nuotekų susidarymu ir jų naudojimu žemės ūkyje bei tvarkymu.

1 lentelė. Apdoroto dumblo skirstymas į kategorijas pagal sunkiųjų metalų koncentraciją mg/kg

Pavadinimas	EU 86/278/EEB direktyva	LAND 20–2005 I kategorija	LAND 20–2005 II kategorija
Varis (Cu)	1000–1750	<300	300–1000
Švinas (Pb)	750–1200	<140	140–150
Cinkas (Zn)	2500–4000	<800	800–2500
Nikelis (Ni)	300–400	<50	50–70
Chromas (Cr)	–	<140	140–170
Kadmis (Cd)	20–40	<1,5	1,5–5
Gyvsidabris (Hg)	16–25	<1,0	1–1,5

Žemės ūkyje gali būti naudojamas I ir II kategorijos apdorotas dumblas. Iširtas nuotekų dumblas dėl sunkiųjų metalų Zn, Cu ir Ni pateko į antrą kategoriją, tačiau atitinka nustatytas II kategorijos sunkiųjų metalų DLK, o tai yra vienas iš pagrindinių kriterijų, lemiančių jį naudoti gamtiniams ar žemės ūkio tikslams. Granuliuotas džiovinatas nuotekų dumblą reglamentuojamas ir priskiriamas prie atliekų, o ne prie tręšiamųjų produktų. Įvertinus, kad nėra organinės taršos ir reglamentuojant tam tikras sunkiųjų metalų DLK gal būtų tikslinga juos įtraukti.

Paskleidus pelenus dirvožemiai tampa šarmingesni, praturtinami augalams reikalingomis maisto medžiagomis Ca, K, P ir S Mg, bei nedideliais mikroelementų kiekiais, o tai dar labiau padidina jų trąšų panaudojimo galimybes.

Kartu su maisto medžiagomis į dirvožemį patenka ir sunkieji metalai, todėl kaip ir nuotekų dumblas, taip ir biomasės pelenų naudojimas žemės ūkyje ribojamas dėl sunkiųjų metalų koncentracijų. Jų kiekius reglamentuoja „Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklės“ (2 lentelė). Todėl galimas pelenų panaudojimas iš kiekvienos biomasės rūšies jų cheminės sudėties aspektu turėtų būti vertinamas individualiai, nepaisant skirstymo į grupes pagal biomasės kilmę.

2 lentelė. Didžiausiosios leidžiamosios cheminių medžiagų koncentracijos pelenuose, mg/kg sausoje masėje

Pavadinimas	Žemės ūkyje/pažeistų teritorijų rekultivavimui
Boras (B)	250
Vanadis (V)	150
Nikelis (Ni)	30
Chromas (Cr)	30
Kadmis (Cd)	5
Švinas (Pb)	50
Varis (Cu)	200
Cinkas (Zn)	1500
Arsenas (As)	3
Gyvsidabris (Hg)	0,2
Benz(a)pirenas, µg/kg	0,5

Gautos analizuojamų metalų koncentracijos vertės pelenuose yra mažesnės už teisės akte nurodytą DLK. Sunkiųjų metalų koncentracijos biomasės pelenuose buvo nuo 1 net iki 17 kartų mažesnės, nei nurodoma (2 lentelė). Todėl pelenų įterpimas į dirvožemį rekomenduojamas siekiant pagerinti chemines, fizines ir biologines jo savybes.

LITERATŪRA

1. Aukštuolytė R. 2015. Jau kitą žiemą du trečdaliai šilumos bus iš vietinio kuro. Verslo žinios 2015.
2. Campbell A. G. 1990. Recycling and disposing of wood ash. *Tappi Journal*, 73(9), 141-146.
3. Pärn, H., Mandre, M., Ots, K., Klõšeiko, J., Lukjanova, A., Kuznetsova, T. 2010. Use of biofuel ashes in forestry. *Forestry Studies/Metsanduslikud Uurimused*, 52, 40-59.
4. Pikaar I., Guest J., Ganigué R., Jensen P., Rabaey K., Seviour T., Trimmer J., Van der Kolk O., Vaneckhaute C., Verstraete W. Resource Recovery from Water: Principles and Application; Pikaar I., Guest J., Ganigué R., Paul J., Eds.; IWA Publishing: London, UK, 2022
5. Fijalkowski K., Rorat A., Grobelak A., Kacprzak M. J. 2017. The presence of contaminations in sewage sludge—The current situation. *J. Environ. Manag.*, 203, 1126–1136.
6. Erich M. S, Ohno T. (1992) Phosphorus availability to corn from wood ash amended soils. *Water Air Soil Pollut* 64:475–485
7. Pels J. R., De Nie D. S., Kiel J. H. A. (2005) Utilization of ashes from biomass combustion and gasification. 14th European Biomass Conference & Exhibition, Paris, France, 17–21 October 2005, ECN-RX-05-182
8. Demeyer A., Nkana J. C. V. and Verloo N. G. 2001. Characteristics of Wood Ash and Influence on Soil Properties and Nutrient Uptake: An Overview. *Bioresource Technology*, 77, 287-295.
9. Taheran M., Naghdi M., Brar S. K., Verma M., Surampalli R. Y. 2018. Emerging contaminants: Here today, there tomorrow! *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.*, 10, 122–126.
10. Haarr A (2005) The reuse of phosphorus. *Eureau position paper EU2-04-SL09*, 2005
11. Sharma B.; Sarkar A.; Singh P.; Singh R. P. 2017. Agricultural utilization of biosolids: A review on potential effects on soil and plant grown. *Waste Manag.* 64, 117–132.
12. Council of the European Union. Council Directive of 12 June 1986 on the Protection of the Environment, and in Particular of the Soil, When Sewage Sludge is Used in Agriculture (86/278/EEC). *Off. J. Eur. Communities* 1986, 181, 6–12
13. Ofverstrom S., Sapkaitė I., Dauknys R. 2010. Pirminio – perteklinio dumblo mišinio anaerobinio pūdyimo tyrimai. 13-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ 2010 metų teminės konferencijos „Pastatų inžinerinės sistemos“ straipsnių rinkinys. Vilnius. 72–75.
14. Yablokov A. V, Nesterenko V. B, Nesterenko A. V. 2009. Consequences of the Chernobyl catastrophe for public health and the environment 23 years later. *Ann N Y Acad Sci. Nov.*; 1181:318-26.
15. European Commission, Directorate-General for Environment, *Support to the evaluation of the Sewage Sludge Directive – Final study report*, Publications Office of the European Union, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2779/57629>

16. Siuta J. *Przyrodnicze Użytkowanie Odpadów*; Instytut Ochrony Środowiska: Warsaw, Poland, 2002.
17. European Commission. Council Directive of 12 June 1986 on the Protection of the Environment, and in Particular of the Soil, When Sewage Sludge Is Used in Agriculture (86/278/EEC); European Commission: Brussels, Belgium, 1986.
18. Alexakis D., Bathrellos G., Skilodimou H., Gamvroula D. 2021. Spatial Distribution and Evaluation of Arsenic and Zinc Content in the Soil of a Karst Landscape. *Sustainability*. 13, 6976.
19. Shrivastava S. K.; Banerjee D. K. Speciation of metals in sewage sludge and sludge—Amended soils. *Water, Air, Soil, Pollut.* 2004, 152, 219–232.
20. Laviola B. G., Martinez H. E. P., Souza R. B. & Venegas V. H. A. (2006) Dynamics of N and K in leaves, flowers and fruits of arabic coffee (*Coffea arabica* L.) using three manuring levels. *Bioscience Journal*, 22:33–47.
21. Lietuvos higienos norma HN 60:2015 Pavojingų cheminių medžiagų ribinės vertės dirvožemyje. Prieiga per internetą <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.228693/asr>
22. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas Dėl Biologiškai skaidžių atliekų kompostavimo, anaerobinio apdorojimo aplinkosauginių reikalavimų pateikimo. Įsakymo Nr. D1–57. 2007 m. sausio 25 d.
23. Nieminen Mika, Piirainen Sirpa, Moilanen Mikko. 2005. Release of mineral nutrients and heavy metals from wood and peat ash fertilizers: Field studies in Finnish forest soils. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 20: p. 146–153.
24. Environmental Regulations and Technology. *Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge*. 2003. EPA.
25. Skuodienė R., Butkuvienė E., Daugėlienė N. 2005. Medžių pelenų efektyvumas vasarinių miežių ir valgomųjų bulvių derliui bei jo kokybei. *Žemdirbystė: mokslo darbai/LŽI, LŽŪU.–Akademija* (Kėdainių r.), 90(2), 13–26.
26. Smith K. R. (1993). Fuel combustion, air pollution exposure, and health: the situation in developing countries. *Annual Review of Energy and the Environment*, 18(1), 529-566
27. Vesterinen P. 2003. Wood ash recycling state of the art in Finland and Sweden. *VTT Processes*, Jyväskylä.
28. Vassilev S.V., Baxter D., Andersen L. K., Vassileva C. G. 2013. An Overview of the Composition and Application of Biomass Ash. Part 1. Phase—Mineral and Chemical Composition and Classification. *Fuel*, 105, 40–76.
29. Vassilev S.V., Baxter D., Vassileva C. G. 2014. An Overview of the Behaviour of Biomass during Combustion: Part II. Ash Fusion and Ash Formation Mechanisms of Biomass Types. *Fuel*, 117, 152–183.
30. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2013–03–12 įsakymas Nr. V-250 „Dėl medienos ir durpių, importuojamų iš trečiųjų valstybių į Lietuvos rinką, užterštumo ¹³⁷CS radionuklidų bei

medienos ir durpių kuro pelenų, užterštų ^{137}CS radionuklidų, naudojimo ir tvarkymo tvarkos aprašo patvirtinimo“ (Žin., 2013 Nr. 28–1346; TAR 2015 Nr. 11238; 2017 Nr. 1054).