



LIETUVOS
AGRARINIŲ IR MIŠKŲ
MOKSLŲ CENTRAS



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

Tvirtinu: G. Staugaitis

Poveikio biomasei 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 C4 veikla:

**Projekto koordinatore
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

Biomasės ėminius surinko ir jų paruošimą cheminėms analizėms atliko:

Dr. Lina Žičkienė, LAMMC ŽI Agrocheminių tyrimų laboratorijos Agrocheminių tyrimų skyriaus vedėja, mokslo darbuotoja
Dr. Audrius Gradeckas, UAB „Pageldynių plantacija“

Biomasės chemines analizes atliko:

LAMMC ŽI Agrocheminių tyrimų laboratorijos Analitinio skyriaus darbuotojos

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.....	15
2.1. Granuliuoto džiovinoto nuotekų dumblo įtaka makro ir mikroelementų pasiskirstymui želdinių biomasėje ir lapuose	15
2.2. Granuliuoto džiovinoto nuotekų dumblo įtaka sunkiųjų metalų pasiskirstymui želdinių biomasėje ir lapuose	20
IŠVADOS.....	25
REKOMENDACIJOS.....	26
LITERATŪRA.....	27
PRIEDAI	30

SANTRAUKA

Nuotekų dumblas gali būti naudojamas kaip organinė trąša, savo sudėtyje turinti daug makroelementų, kurie būtini augalų augimui ir vystymuisi. Kita vertus nuotekų dumblo naudojimas kelia pavojų dėl didelės sunkiųjų metalų ir organinių teršalų koncentracijos, kurios gali turėti neigiamą poveikį augalams. Todėl svarbu žinoti kokią įtaką jie turi biomasės kokybei ir kaip pasiskirsto skirtingose medžių dalyse. Todėl šios projekto veiklos tikslas buvo įvertinti daug maistinių medžiagų turinčių atliekų įtaką biomasės kokybės parametrams ir stebėti teršalų srautus į įvairias biomasės formas.

Biomasės kokybės monitoringo tyrimai buvo atlikti Rytų Lietuvoje – Trakų, Vilniaus ir Anykščių savivaldybių rajonuose – trumpos rotacijos (iki 20 metų) plantacijomis (*Populus spp.* – hibridinėmis tuopomis ir hibridinėmis drebulėmis) apželdintuose, nenašiuose ir mažiau žemės ūkiui tinkamuose plotuose. Poveikio biomasės kokybės stebėjimui ir įvertinimui įrengtos 24 tyrimų aikštelės. Sunkiųjų metalų bei maistinių elementų tyrimai buvo atliekami tuopų bei hibridinių drebulių biomasėje (šaknyse, medienoje ir žievėje) ir lapuose. Biomasės ir lapų tyrimai buvo atlikti du kartus – 2020 ir 2022 metais.

Tuopų tręšimas granuliuotu džiovintu nuotekų dumbliu padidino N koncentraciją tuopų lapuose, medienoje, žievėje ir šaknyse, tačiau daugumos kitos maistinių medžiagų koncentracijos, lyginant su netręštu variantu, sumažėjo arba buvo artimos netręštam. Maistinių medžiagų koncentracija lapuose buvo pasiskirsčiusi mažėjančiai: $N > Ca > K > Mg > P$, medienoje, žievėje ir šaknyse atitinkamai – $K > N > P$. Drebulių biomasėje ir lapuose nustatytos kitokios makroelementų tendencijos. Čia N koncentracija mažai skyrėsi nuo netręšto varianto. Mažiau azotas galėjo įtakoti spartesnis drebulių augimas, kuriam jis ir buvo naudojamas. Daugiausiai P kaupėsi drebulių lapuose, o biomasėje šis elementas buvo pasiskirstęs didėjančia tvarka: požeminėje medžio dalyje – šaknyse ir antžeminėje – žievėje ir stiebo medienoje. Stebint kalio dinamiką jo tendencija nustatyta tokia pati kaip N ir P.

Želdinių lapai buvo linkę labiau kaupti kalcį nei magnį. Daugiausiai Ca susikaupė drebulių lapuose praėjus metams po patręšimo, kur džiovintas granuliuotas nuotekų dumblas buvo panaudotas du kartus ir čia jo sukauptas ženkliai daugiau, nei kur buvo tręšiama vieną kartą (tuopų lapuose). Mg kaupėsi tuopų lapuose praėjus dviem metams po patręšimo, o drebulių lapuose Mg buvo daugiau po pirmų tręšimo metų.

Mikroelementų kaupimasis tai pat buvo nustatytas nevienodas. Tuopų lapuose visų tirtų mikroelementų koncentracijos nustatytos ženkliai mažesnės nei drebulių lapuose, tačiau jų pasiskirstymas buvo vienodas ir sekė didėjančia tvarka – $B > Fe > Mn$. Organinės anglies kaupimasis medžių biomasėje ir lapuose buvo labai nevienodas, kurį galėjo įtakoti medžių amžius ir jų skirtingas tręšimas.

Sunkiųjų metalų tyrimai parodė, kad lapai daugiau kaupė Cd, Ni ir Cu. Pb kaupėsi lapuose, kur buvo du kartus tręšti drebulių želdiniai ir abiejų tirtų želdinių žievėje ir šaknyse. Cr daugiau

nustatyta, tiek tuopų, tiek drebulių antžeminėje medžių dalyje – medienoje, tiek požeminėje – šaknyse. Pb didesnė koncentracija, be minėtų drebulių lapų, taip pat tuopų buvo medienoje ir žievėje bei du kartus tręštų drebulių medienoje ir šaknyse. Zn daugiausiai nustatyti želdinių žievėje. Ni kaupėsi labai netendencingai ir 2022 m. daugiausiai jo nustatyta tuopų medienoje, o 2020 m. – drebulių lapuose.

Džiovinto granuliuoto nuotekų dumblo naudojimas, 2016 m – 21 t ha⁻¹ ir 2019 m. – 19,09 t ha⁻¹, hibridinėms tuopoms ir drebulėms, suteikia būtinų maistinių medžiagų jų augimui ir sumažina aplinkosauginius bei ekonominius veiksnius, ribojančius nuotekų dumblo šalinimui ar deginimui. Taip pat želdiniai puikiai tinka fitoremediacijai.

Parinkant tręšimo granuliuotu džiovinu nuotekų dumblo normą, reikia atsižvelgti į jame esančių maisto medžiagų – azoto, fosforo ir sunkiųjų metalų kiekį. Todėl siekiant išlaikyti aukštą trumpos rotacijos želdinių ir dirvožemio produktyvumo lygį ir nenusižengti gamtosauginiams reikalavimams, rekomenduojama prieš naudojant nuotekų dumblą tręšimui įvertinti dirvožemio ir nuotekų dumblo maistines medžiagas bei sunkiųjų metalų kiekius, taip pat auginamų augalų rūšis.

Raktiniai žodžiai: granuliuotas džiovinas nuotekų dumblas, biomasė, makroelementai, sunkieji metalai, tuopa, drebulė

SUMMARY

Sewage sludge can be used as an organic fertilizer, containing many macronutrients, which are necessary for the growth and development of plants. On the other hand, the use of sewage sludge poses a risk due to the high concentration of heavy metals and organic pollutants, which can have a negative effect on plants. Therefore, it is important to know what influence they have on biomass quality and how they are distributed in different parts of trees. Therefore, this project activity aimed to evaluate the influence of nutrient-rich waste processing on biomass quality parameters and to trace the flows of pollutants into various forms of biomass.

Biomass quality monitoring studies were carried out in Eastern Lithuania – in Trakai, Vilnius and Anykščiai municipal districts – in areas planted with biomass (up to 20 years rotation) plantations (*Populus spp.* – hybrid poplars and hybrid aspens), established on unproductive and less suitable for agriculture lands. 24 research sites have been installed for monitoring and evaluating the quality of the affected biomass. Studies of heavy metals and nutrients flows were carried out in poplar and hybrid aspen biomass (roots, wood and bark) and leaves. Biomass and leaf studies were conducted twice – in 2020 and 2022.

Fertilization of poplars with granulated dried sewage sludge digestate increased N concentration in poplar leaves, wood, bark and roots, but most other nutrient concentrations decreased or were close to non-fertilized compared to the unfertilized variant. The concentration of nutrients in leaves was distributed in decreasing order: N>Ca>K>Mg>P, in wood, bark, and roots – K>N>P, respectively. Different macronutrient trends were found in aspen biomass and leaves. Here, the N concentration was a little different from the unfertilized variant. Less nitrogen concentration may have influenced the faster growth of aspen, for which it was used. The most P was accumulated in aspen leaves, and in the biomass, this element was distributed in increasing order: in the underground part of the tree – in the roots and above ground – in the bark and stem wood. When observing the dynamics of potassium, its trend was found to be the same as that of N and P.

Plant leaves tended to accumulate more calcium than magnesium. The most Ca accumulated in aspen leaves one year after fertilization, where the dried granular sewage sludge was applied twice and here it accumulated significantly more than where it was fertilized once (in poplar leaves). Mg accumulated in poplar leaves two years after fertilization, while aspen leaves contained more Mg after the first year of fertilization.

Accumulation of trace elements was also found different. In poplar leaves, the concentrations of all investigated trace elements were found to be significantly lower than in aspen leaves, but their distribution was the same and followed the increasing order – B>Fe>Mn. The accumulation of organic carbon in tree biomass and leaves was different, which could be influenced by the age of the trees and their different fertilization.

Heavy metal studies showed that leaves accumulated more Cd, Ni and Cu. Pb accumulated in the leaves of twice-fertilized aspen plants and the bark and roots of both tested plants. Cr was found more in the above-ground part of the trees – wood, and underground – in the roots of both poplars and aspens. A higher concentration of Pb was present in the wood and bark of poplar, in addition to the aforementioned aspen leaves, and the wood and roots of twice-fertilized aspen. Zn is mostly determined in the bark of plants. Ni accumulated very differently. In 2022 it was mostly found in poplar wood, and in 2020 – in aspen leaves.

Use of dried granular sewage sludge, 21 t ha⁻¹ in 2016 and 19 t ha⁻¹ in 2019, for hybrid poplars and aspens, provides necessary nutrients for their growth and reduces environmental and economic factors limiting sewage sludge disposal or incineration. Plants are also perfect for phytoremediation.

When choosing the rate of fertilization with granular dried sewage sludge, it is necessary to take into account the amount of nutrients in it – nitrogen, phosphorus and heavy metals. Therefore, to maintain a high level of short-rotation vegetation and soil productivity and not to violate environmental protection requirements, it is recommended to evaluate the nutrients and heavy metal content of the soil and sewage sludge, as well as the types of cultivated plants, before using sewage sludge for fertilization.

Keywords: granular dried sewage sludge, biomass, macronutrients, heavy metals, poplar, aspen

Acknowledgment: For the implementation of the NutriBiomass4LIFE project, a subsidy is awarded from the EU LIFE program, the EU's funding instrument for environment and climate action. The funding of the project also comes from the Swedish Energy Agency and Ministry of Environment of the Republic of Lithuania.

Disclaimer: The sole responsibility for the content of this publication lies with the authors. The European Commission and other funding authorities are not responsible for any use that may be made of the information contained therein.

IVADAS

Sunkieji metalai gali būti natūrali sudedamoji dalis (žemės pluta) bei dalyvauti geologiniuose procesuose. Be geologinių pirminės medžiagos procesų, žmogaus veikla gali labai įtakoti sunkiųjų metalų kiekius bei jų pusiausvyrą, sukeldama gerai žinomas žemės ūkio, pramonės ir miestų taršos problemas. Todėl dirvožemio tarša iš žemės ūkio šiai dienai yra pasaulinė problema. (Järup L., 2003; Sharma R. K., et al., 2008; Hasnine M. T., et al., 2017).

Žemės ūkio paskirties dirvožemis yra svarbus gamtos išteklius. Dėl natūralių priežasčių ir antropogeninės veiklos jis gali būti užterštas toksiškais elementais, tokiais kaip Cd, Pb, Cr, As, Hg, Cu, Ni, Zn, Al ir kt. Ar visada tas pats elementas gali būti tik kenksmingas? Tikrai ne. Esant santykinai mažoms koncentracijoms elementai tokie kaip: Cu, Zn, Fe, Mn, Mo, Ni, Mg, Ca ir B yra būtinos mineralinės maistinės medžiagos augalų funkcionavimui, augimui, vystymuisi ir jų produktyvumui (Shahid M., et al., 2015; Tiwari S., et al., 2018; Bashir K., et al., 2016). Tačiau kai kaupiasi šių elementų didesnės nei optimalios koncentracijos, tie patys esminiai elementai gali neigiamai paveikti augalų augimą, vystymąsi ir dauginimąsi bei tapti dirvožemio taršos dalimi (Maksymiec W. 2007; Shahid M., et al., 2015).

Cheminės trąšos yra labai svarbus dalykas žemės ūkyje, tačiau su šiomis trąšomis, ypač fosforo patenka didžiausi sunkiųjų metalų kiekiai. Superfosfatinėse trąšose kaip teršalų gali būti Cd, Co, Cu, Pb, Zn, Cr ir Ni (Thomas E.Y. et al., 2012). Organinių trąšų naudojimas, siekiant iš dalies pakeisti neorganines trąšas, yra viena iš priemonių blogai dirvožemio kokybei keisti ir jo derlingumui didinti. Taigi naudojant nuotekų dumblą tręšimui, galima sumažinti naudojamų mineralinių trąšų kiekį, perdirbti biogenines medžiagas ir sumažinti energetinių augalų auginimo išlaidas.

Kita vertus, dideliuose miestuose kasdien susidaro dideli kiekiai nuotekų dumblo, kurį reikia tvarkyti ir šalinti. Todėl nuotekų dumblo šalinimas tapo rimtu iššūkiu dėl didžiulio susidarančio dumblo kiekio ir jame esančių medžiagų, tokių kaip sunkieji metalai. Nuotekų dumblo naudojimas žemėje yra populiarėjanti jo tvarkymo būdas ir dirvožemio gerinimo priemonė, kuri yra organinių medžiagų ir maistinių medžiagų šaltinis žemės ūkio dirvožemiams (Mo Ch., 2000). Dėl didelio organinių ir maistinių medžiagų bei gausaus makro ir mikroelementų kiekių gali būti kaip trąša ir tuo pačiu papildyti dirvožemį maisto medžiagomis bei įgyvendinti žiedinę ekonomiką ir gali turėti teigiamą poveikį dirvožemio savybėms ir derlingumui gerinti (Bai J., et al., 2022; Abreu-Junior C. H., et al., 2019; Alvarenga P., et al. 2015; Mañas P., et al., 2014; Arif M. S., et al., 2018; Melo, T. M., et al., 2018). Be to, nuotekų dumblo naudojimas žemės ūkyje yra pigesnis nei kiti dumblo šalinimo būdai, pavyzdžiui, deginimas (Bai Y., et al., 2017).

Kita vertus nuotekų dumblo naudojimas kelia pavojų dėl didelės sunkiųjų metalų ir organinių teršalų koncentracijos, kurios gali turėti neigiamą poveikį augalams ir dėl patekimo į maisto grandinę (Rastetter N., ir Gerhardt A., 2017). Todėl pastaruoju metu žemės ūkio paskirties žemėje, ypač nenašiose, ar užterštuose plotuose auginami greitai augančios medžių rūšys dar

vadinamais trumpos rotacijos plantacijomis (TRP), kurios gali pagerinti aplinkos ir dirvožemio kokybę ir auginant jas panaudoti nuotekų dumblą (Shepard J. P., Tolbert V. R., 1996). Atliktais tyrimais nustatyta, kad tuopos yra tinkamos sunkiaisiais metalais užterštų dirvožemių fitoremediacija, tačiau įvairiose medžių dalyse nevienodai kaupiasi teršalai (daugiausia sunkieji metalai). Todėl svarbu žinoti kokią įtaką turi jie biomasės kokybei ir kaip pasiskirsto skirtingose medžių dalyse.

Šios projekto veiklos **tikslas**: įvertinti daug maistinių medžiagų turinčių atliekų įtaką biomasės kokybės parametrams ir stebėti teršalų srautus į įvairias biomasės formas.

Projekto veiklos **uždaviniai**:

- įvertinti padidėjusio sunkiųjų metalų (jei tokių yra) kaupimosi biomasėje riziką, kuri gali būti sudeginta ir dėl to biomasės pelenuose padidėjusių sunkiųjų metalų koncentracijos;
- atlikti biomasės kokybės analizę, siekiant sekti teršalų srautus, iš kurių daug maistinių medžiagų patenka į įvairias biomasės formas.
- parengti rekomendacijas susijusias su džiovinto nuotekų dumblo ir biomasės pelenų naudojimo biomasės auginimui, susijusių su biomasės užteršimo rizika (jei tokia yra).

1. TYRIMŲ METODIKA

Tyrimų vieta. Biomasės kokybės monitoringo tyrimai buvo atlikti Rytų Lietuvoje – Trakų, Vilniaus ir Anykščių savivaldybių rajonuose – trumpos rotacijos (iki 20 metų) plantacijomis (*Populus spp.* – hibridinėmis tuopomis ir hibridinėmis drebulėmis) apželdintuose, nenašiuose ir mažiau žemės ūkiui tinkamuose plotuose. Visų tirtų laukų dirvožemiai priklausė Baltijos ir Ašmenos aukštumų dirvožemio rajonui. Poveikio biomasės kokybės stebėjimui ir įvertinimui įrengtos 24 tyrimų aikštelės. Tyrimų laukai ir vietos pateiktos prieduose (1–9 priedai).

Tyrimų (monitoringo) aikštelių charakteristika. Biomasės monitoringui vykdyti aikštelės buvo parinktos atlikus vyraujančių dirvožemio tipų ir granulimetrinės sudėties analizę. Pagal tai buvo išskirta keli dirvožemio tipai ir granulimetrinė sudėtis ir įrengtos monitoringo aikštelės (1.1.1 lentelė). Tyrimų aikštelės plotas – 6x40 m². Tyrimų aikštelės buvo kontrolinės (netręšiamos granuliuotu džiovinu nuotekų dumbliu) ir tręšiamos (granuliuotu džiovinu nuotekų dumbliu). Aikštelių charakteristika pateikta 1.1.1 lentelėje, o naudoto tręšimui džiovinu granuliuoto nuotekų dumblo parametrai ir tręšiamų monitoringo aikštelių numeriai – 1.1.2 lentelėje.

Augalai, jų auginimo technologija ir tręšimas. Parinktuose tyrimų aikštelėse augo hibridinės tuopos ir hibridinės drebulės: 1–16 tyrimų aikštelėse augo hibridinės tuopos 4–5 metų, o 17–24 tyrimų aikštelėse – hibridinės drebulės 6–7 metų. Tyrimų aikštelės (1–16), kur augo trumpos rotacijos želdiniai tręšta 2019 metais 19 t ha⁻¹ granuliuoto džiovinu nuotekų dumblo norma (sausomis medžiagomis), o tyrimų aikštelės 17–24 buvo tręštos 2 kartus: pirmą kartą (2016 m.) – po ketvirtų augimo metų, antrą (2019 m.) – po 7 augimo metų. Tręšimo nuotekų dumbliu norma 2016 m. buvo 21 t ha⁻¹ apdoroto dumblo (sausomis medžiagomis), 2019 m. – 19,09 t ha⁻¹. Tręšimo granuliuoto džiovinu nuotekų dumblo norma apskaičiuota taip, kad sunkiųjų metalų koncentracijos numatomame per metus panaudoti apdorotame dumble neviršytų didžiausiojo leidžiamojo sunkiųjų metalų koncentracijos, kuris per metus gali patekti į dirvožemį (Dumblo LAND, 2021). Konkrečiu atveju limituojantis elementas buvo cinkas, pagal kurio koncentraciją ir buvo apskaičiuota dumblo norma. Dumblo cheminė sudėtis pateikta 1.1.2 lentelėje. Lauke paskleistas nuotekų dumblas į dirvožemį įterptas lėkštiniais padargais 0–10 cm gyliu, ir ne vėliau kaip per 2 kalendorines dienas nuo jų paskleidimo.

1.1.1 lentelė. Tyrimų aikštelių charakteristika

Tyrimų aikštelės Nr.	Dirvožemio tipas	Granulimetrinė sudėtis (inicialas)	Želdinių tipas	Želdinių įvesimo metai	Informacija apie tręšimą
1	Durpžemis	Durpė (d/d)	Tuopos	2015	Tręšta
2					Netręšta
3	Balkšvažemis	Priesmėlis (ps/ps)	Tuopos	2015	Netręšta
4					Tręšta
5	Balkšvažemis	smėlingas lengvas priemolis (sp/sp)	Tuopos	2015	Netręšta
6					Tręšta
7	Smėlžemis	Priesmėlis ant smėlio (ps/s)	Tuopos	2016	Netręšta
8					Tręšta
9	Išplautžemis	Priemolis ant sunkus priemolio (p/p ₂)	Tuopos	2016	Netręšta
10					Tręšta
11	Šlynžemis	Puvėna ant vidutinio sunkumo priemolio (pv/p ₁)	Tuopos	2015	Netręšta
12					Tręšta
13	Palvažemis	Priesmėlis ant smėlio ant smėlingo lengvo priemolio (ps/s/sp)	Tuopos	2016	Netręšta
14					Tręšta
15	Smėlžemis	Rišlus smėlis ant smėlio (s ₁ /s)	Tuopos	2015	Tręšta
16					Netręšta
17	Balkšvažemis	priesmėlis/vidutinio sunkumo priemolio (ps/p ₁)	Drebulės	2011	Netręšta
18					Tręšta
19	Išplautžemis	priesmėlis/smėlingas sunkus priemolis (ps/sp ₂)	Drebulės	2011	Netręšta
20					Tręšta
21	Šlynžemis	smėlingas lengvas priemolis/vidutinio sunkumo priemolio (sp ₁ /p ₁)	Drebulės	2011	Netręšta
22					Tręšta
23	Smėlžemis	priesmėlis/smėlio (ps/s)	Drebulės	2013	Tręšta
24					Netręšt

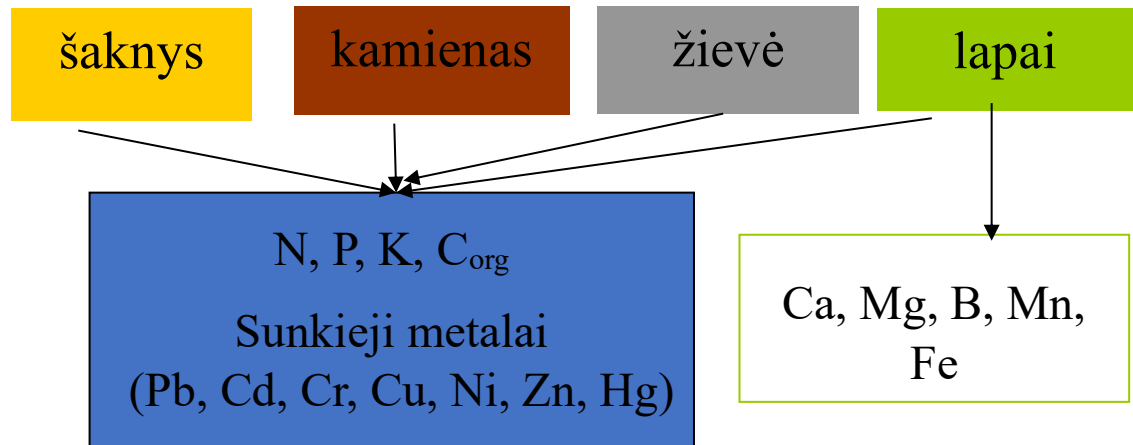
Ėminių paėmimas. Sunkiųjų metalų bei maistinių elementų kaupimosi tyrimai buvo atliekami tuopų bei hibridinių drebulių biomasėje ir lapuose. Biomasės ėminiai paimti skirtingose želdinių dalyse – žievėje, kamiene ir šaknyse bei želdinių lapai. Tyrimo mėginių paėmimui visuose tuopų ir hibridinių drebulių tręšimo bandymuose tręštame ir netręštame variante pagal želdinių biometrinius rodiklius buvo atrinkta po tris vidutinius medžius. Kiekvienos biomasės mėginį sudarė bendras, paimtas lygiomis dalimis iš visų trijų medžių, mėginys, kurio svoris sudarė apie 400 g. Lapai buvo paimti juos nubraukiant ranka nuo apatinių medžio lajos šakų. Kamieno ir žievės biomasės ėminiai buvo paimta aštriu kirviu iškertant išilginę stiebo juostą maždaug trečdalyje stiebo perimetro apie 1,0–1,5 m aukštyje nuo žemės. Biomasės šaknų mėginiai buvo paimti jas iškasant ir atkertant nuo stiebo kastuvu. Biomasės ir lapų tyrimai buvo atlikti du kartus per projekto laikotarpį – 2020 ir 2022 metais. Biomasėje ir želdinių lapuose nustatomi cheminiai rodikliai pareikiami 1.1.1 paveiksle.

1.1.2 lentelė. Granuliuoto džiovinto nuotekų dumble cheminiai rodikliai ir tręšiamos monitoringo aikštelės

Cheminiai rodikliai	Tręšiamos aikštelės numeris											
	1	4	6	8	10	12	14	15	18	20	22	23
pH	7,3	7,1	7,2	7,5	7,5	7,6	7,5	7,6	7,1	7,1	7,09	7,3
Organinė medžiaga %	59,64	58,31	58,63	60,35	58,85	59,96	59,76	58,8	56,74	56,74	58,58	54,76
Bendra siera mg/kg	9158	3510	5237	8238	11231	10108	9794	10088	3437	6611	3713	6855
Bendras azotas (N) mg/kg	42141	41716	46026	45812	46659	47411	46292	42581	39982	41747	39930	37163
Amoniakinis azotas mg/kg	1113	1360	1616	1297	2136	1436	1374	1173	1281	1686	1255	1391
Nitratinis azotas mg/kg	17	66,8	180,2	17	806	1849	146	136	2,83	6,17	9,40	7,11
Bendras fosforas mg/kg	27893	28896	31995	29154	28039	28039	28266	28093	21219	27046	23820	26040
Bendras kalis mg/kg	3098	1795	3669	3343	3294	3313	3357	3395	3318	3239	3805	3583
Kalcis mg/kg	54792	54750	57500	59500	62667	66667	52417	57542	57750	68917	61167	66333
Magnis mg/kg	10000	10833	10750	10542	11583	11792	10042	11042	10708	14500	10917	12500
Manganas mg/kg	294	302	316	294	304	310	309	294	273	278	281	290
Boras mg/kg	<4,1	4,37	<4,1	<4,1	<4,1	<4,1	<4,1	<4,1	8,87	5,77	11,2	3,73
Organinė anglis %	22,29	22,72	23,60	20,22	22,23	20,35	19,67	17,01	20,21	27,3	22,4	28,7
Kadmis mg/kg	2,46	4,81	2,76	3,29	2,85	2,49	2,82	2,84	1,74	2,33	2,55	1,98
Arsenas mg/kg	0,38	0,48	0,48	0,33	0,22	0,16	0,13	0,17	<1,5	0,43	<1,5	0,69
Chromas mg/kg	51,6	48,9	48,8	48,0	56,60	54,8	53,1	56,5	54,2	57,4	55,3	60,9
Nikelis mg/kg	61,0	54,3	54,7	56,7	56,7	58,7	57,3	64,2	43,7	45,3	44,5	54,0
Švinas mg/kg	42,0	41,5	39,9	44,3	44,3	45,8	44,6	44,1	39,4	40,7	39,8	48,3
Varis mg/kg	300	297	305	287	293	301	295	287	256	254	275	276
Cinkas mg/kg	1547	1533	1520	1537	1487	1510	1560	1380	1223	1413	1287	1710
Gyvsidabris mg/kg	0,046	<0,02	<0,02	<0,02	0,036	0,023	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,005	<0,02

Duomenų grupavimas ir vertinimas. Biomasės tyrimams parinktos 24 tyrimų aikštelės. 12 tyrimų aikštelių buvo kaip kontrolė (netręštos džiovintu granuliuotu nuotekų dumblu) ir 12 tyrimų aikštelių tręštos džiovintu granuliuotu nuotekų dumblu. Aikštelių grupavimas ir skirstymas atliktas pagal augusius želdinius ir jų tręšimą. Duomenų grupavimui buvo išskirtos nuo 1 iki 16 tyrimų aikštelės, kur augo hibridinės tuopos ir tręštos vieną kartą, ir nuo 17 iki 24 tyrimų aikštelės, kur augo hibridinės drebulės ir tręštos du kartus. Tirtų elementų vertinimui tyrimų aikštelės buvo sugrupuotos: 1; 4; 6; 8; 10; 12 ;14 ;15 – hibridinės tuopos tręštos granuliuotu džiovintu nuotekų dumblu, 2; 3; 5; 7; 9; 11; 13; 16 – hibridinės tuopos netręštos granuliuotu džiovintu nuotekų

dumblu (kontrolė) ir 18; 20; 22; 23 – hibridinės drebulės tręštos granuliuotu džiovinu nuotekų dumblu, 17; 19; 21; 24 – hibridinės drebulės netręštos granuliuotu džiovinu nuotekų dumblu. Duomenys buvo grupuojami pagal ėminių laikotarpi ir kiekvieno elemento (1.1.1 pav.) buvo vedamas vidurkis.



1.1.1 pav. Želdinių biomaseje ir lapuose nustatomi cheminiai parametrai

Cheminių analizių metodai želdinių biomaseje: šaknyse, medienoje ir žievėje, sunkieji metalai (Cd, Pb, Ni, Cr, Cu, Zn, Hg) bei fosforas (P) ir kalis (K) nustatomas iš tuo pačiu cheminiu metodu paruoštos ištraukos. Šaknų, medienos, žievės, ar šakų mėginys sudeginamas iki pelenų prie 550 °C temperatūros. Homogenizuoto pelenų mėginio atsveriamą 0,05 g masės, sumaišoma su 3 ml HNO_3 (65 %) ir 2 ml H_2O_2 (30 %) ir 2,0 ml HF (40 %), supilama į mineralizavimo indelius. Prieš uždarant indelius palaukiama 5 min. ir įdedama į mineralizatorių, kuriame mineralizuojame 30 min. Gauti tirpalai supilami į 50 ml talpos kolbas ir praskiedžiami dejonizuotu vandeniu iki 50 ml žymos. Paruošta ištrauka analizuojama atominės absorbcijos spektrometru. Sunkieji metalai (Cd, Pb, Ni, Cr, Cu, Zn) matuojami atominės absorbcijos spektrometriniu metodu, Hg – šaltų garų atominės absorbcijos spektrometriniu metodu, fosforas (P) – spektrofotometriniu metodu, kalis (K) – liepsnos fotometriniu metodu. Organinė anglis (C_{org}) – pasveriamą iki 100 mg paruošto mėginio (išdžiovinoto ir sumalto) ir matuojama infraraudonųjų spindulių spektrometriniu metodu po sauso deginimo. Bendras azotas (N) – Kjeldalio metodu. Pasveriamą 1 g grynos medžiagos į Kjeldalio kolbą. Po to dedama katalizatoriaus ($CuSO_4$) ir 15 ml sieros rūgšties (H_2SO_4) koncentruotos, mineralizuojama mineralizavimo bloke 100 min. Mineralizavimo metu azoto formos pereina į amoniakinę, kuri yra nudistiliuojama. Po mineralizavimo atvėsusi ištrauka distiliuojama NaOH 35 % ir titruojama H_2SO_4 0,05 mol/l kol tirpalo spalva iš žalios pereina į silpnai rožinę. Titravimui sunaudotas sieros rūgšties kiekis naudojamas skaičiavimuose.

Cheminių analizių metodai želdinių lapuose. Ištraukos paruošiamas sunkiųjų metalų (Cd, Pb, Ni, Cr, Cu, Zn, Hg) nustatymui: pasveriamą sumalto 1 g sauso ir gerai homogenizuoto lapų mėginio į mineralizavimo indą ir įpilama koncentruotos 6 ml HNO_3 ir koncentruotos 1 ml HCl

rūgštis. Mikrobangų mineralizatoriuje mineralizuojama 50 min. prie 170 °C. Po mineralizavimo ėminiai suplaunami distiliuotu vandeniu į 25 ml kolbutes praskiedžiama iki žymos ir paruošta ištrauka analizuojama atominės absorbcijos spektrometriniu metodu, Hg – šaltų garų atominės absorbcijos spektrometriniu metodu. Makro mikro elementams (K, P, Ca, Mg, Fe, B, Mn) ištrauka ruošama pasveriant 1 g sauso ir sumalto lapų mėginio, kuris mufelyje deginamas prie 300 °C 1 val. po to temperatūra pakeliama iki 550 °C ir deginama 8 val. Po deginimo ant pelenų užpilama 2 ml koncentruotos HNO₃ rūgštis ir kaitinama ant plytelės traukos spintoje iki sauso likučio. Po to vėl deginama mufelyje 1 h prie 550 °C ir vėl kaitinama ant plytelės užpylus 5ml 20 % HCl rūgštis. Atvėسę mėginiai suplaunami analizės vandeniu į kolbą ir praskiedžiama iki 50 ml žymos. Prieš matuojant Ca ir Mg iš pagrindinės ištraukos paimama atitinkamas kiekis tirpalo, įpilama 2 ml stroncio chlorido tirpalo (SrCl₂) ir praskiedžiama analizė vandeniu iki žymos 100 ml. Paruošta ištrauka (P, K, Ca, Mg, Fe, B, Mn) nustatymui matuojama atominės absorbcijos spektrometriniu metodu. K – matuojamas liepsnos fotometriniu metodu. Organinė anglis – pasveriamą iki 100 mg paruošto mėginio (išdžiovinto ir sumalto) ir matuojama infraraudonųjų spindulių spektrometriniu metodu po sauso deginimo. Bendras azotas nustatymas Kjeldalio metodu. Pasveriamą 0,7 g grynos medžiagos į Kjeldalio kolbą. Po to dedama katalizatoriaus (CuSO₄; KSO₄; Se) ir 10 ml koncentruotos sieros rūgštis (H₂SO₄), mineralizuojama mineralizavimo bloke 100 min. prie 380 °C. Mineralizavimo metu azoto formos pereina į amoniakinę, kuri yra nudistiliuojama. Po mineralizavimo atvėsusi ištrauka distiliuojama NaOH 35 % ir titruojama H₂SO₄ 0,05 mol/l kol tirpalo spalva iš žalios pereina į silpnai rožinę. Titravimui sunaudotas sieros rūgštis kiekis naudojamas skaičiavimuose.

2. TYRIMŲ REZULTATAI

2.1. Granuliuoto džiovinto nuotekų dumblo įtaka makro ir mikroelementų pasiskirstymui želdinių biomasėje ir lapuose

Nuotekų dumble yra daug vertingų maistinių medžiagų, kurias galima panaudoti auginant energetinius augalus ir dirvožemio derlingumo gerinimui. Taip pat nuotekų dumblas, kuriame gausu fosforo, azoto ir organinių medžiagų, gali paskatinti medžių augimą nenašiuose dirvožemiuose. Taigi nuotekų dumblo panaudojimas dirvožemyje taikomas visame pasaulyje ir daugelis tyrimų parodė jo teigiamą naudą dirvožemiui ir augalams, įskaitant maistinių ir organinių medžiagų kiekių padidėjimą dirvožemyje (Wang H. T et al., 2011). Tačiau mažai žinoma apie tai, kaip tręšiant nuotekų dumblu pasikeis dirvožemio cheminės savybės ir kiek ilgai maistinės medžiagos užtikrins medžių produktyvumą ir jų mitybą.

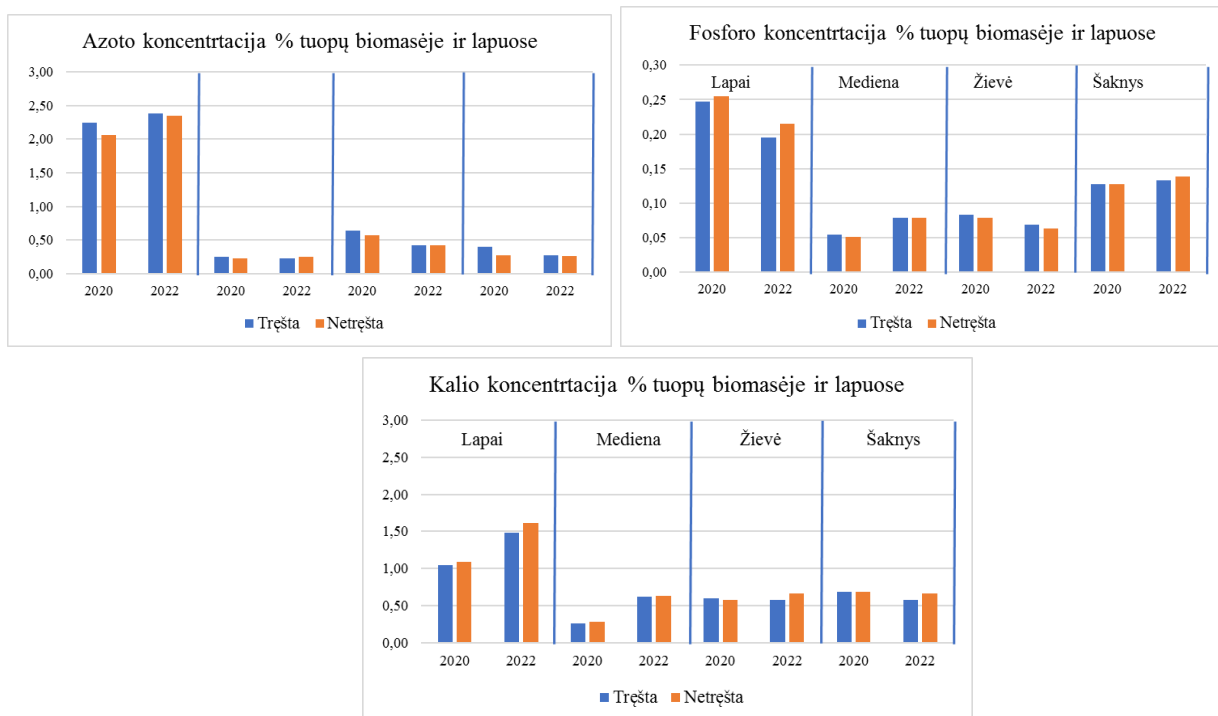
Šiame biomasės tyrime buvo palygintos dvi trumpos rotacijos medžių rūšys: tuopos (kurios tręštos vieną kartą džiovintu granuliuotu nuotekų dumblu) ir drebulės (tręštos du kartus džiovintu granuliuotu nuotekų dumblu), pagal makroelementų koncentracijas lapuose ir stiebo medienos (toliau vadinama – mediena) žievės ir šaknų biomasėje. Maistinių medžiagų koncentracijos abiejų rūšių želdiniuose priklausė nuo tręšimo ir atskirų medžių vietų gebėjimo kaupti skirtingus makroelementus ir skirtingas jų koncentracijas. Buvo pastebėti skirtumai maistinių medžiagų koncentracijų abiejų medžių rūšių medienoje ir lapuose (2.1.1 ir 2.1.2 pav.).

Tuopų tręšimas granuliuotu džiovintu nuotekų dumblu padidino azoto (N) koncentraciją tuopų lapuose, medienoje, žievėje ir šaknyse. Dumblo įterpimas į dirvožemį padidino N koncentraciją visuose tirtuose tuopų želdinių dalyse, tačiau dauguma kitų maistinių medžiagų, lyginant su netręštu variantu, sumažėjo arba buvo artimos netręštam. Maistinių medžiagų koncentracija lapuose buvo pasiskirsčiusi mažėjančiai: $N > Ca > K > Mg > P$ (2.1.1 ir 2.1.3 pav.), o medienoje, žievėje ir šaknyse atitinkamai – $K > N > P$ (2.1.1 pav.).

Analizuojant makroelementų pasiskirstymą N, P, K didžiausios koncentracijos nustatytos lapuose ir mažiausias visų tirtų makroelementų – medienoje. Mūsų tyrimų rezultatai parodė, kad praėjus metams po tręšimo (2020 m.) N, P, K, koncentracijos buvo mažesnės medienoje nei kitose tuopų dalyse. Praėjus dviem metams po patręšimo (2022 m.) N, P, K koncentracijos buvo didžiausios taip pat tuopų lapuose ir mažiausi N – sumedėjusiame audinyje, o P ir K – žievėje. Tręšimas nuotekų dumblu padidino N koncentraciją lapuose, tačiau daugumos kitų maistinių medžiagų koncentracija sumažėjo arba buvo artima netręštam variantui, nepaisant padidėjusio makroelementų pasisavinimo (2.1.1 pav.).

Atlikus tyrimus, praėjus vieneriems ir dviem metams po dumblo įterpimo į dirvožemį, matome, kad tręšimas turėjo įtakos azotui visuose tirtuose medžio dalyse bei lapuose. Bet taip pat nustatyta, kad tręšimas neturėjo reikšmingos įtakos daugumos kitų aptartų elementų

koncentracijoms augalų biomasėje. Tarp visų komponentų stiebo mediena parodė mažesnę maistinių medžiagų susikaupimą, o lapai – didžiausią (2.1.1 pav.).



2.1.1 pav. Makroelementų koncentracija tuopų biomasėje ir lapuose sausoje medžiagoje

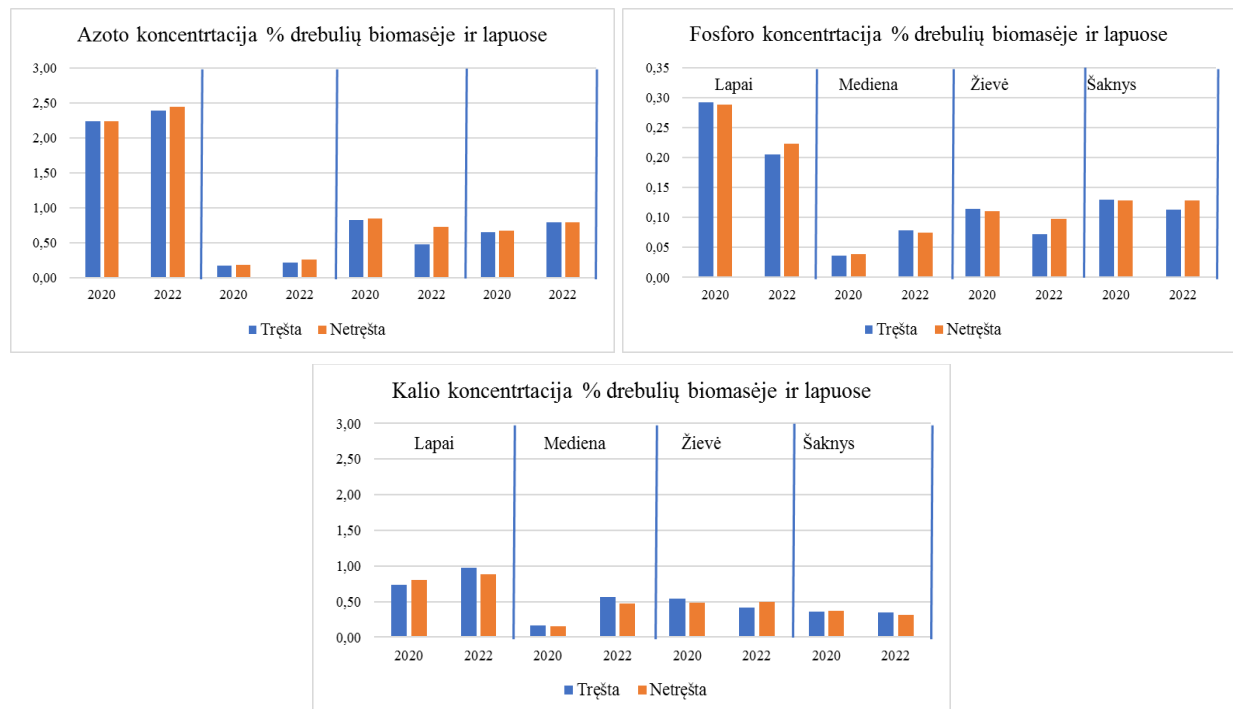
Džiovinto granuliuoto nuotekų dumblo panaudojimas drebulių tręšimui parodė kitokias maistinių medžiagų tendencijas nei tuopose. N nustatyta mažiau arba labai panašiai, visuose medžio dalyse bei lapuose, kaip netręštuose variantuose. Galimai mažesnes azoto koncentracijas lėmė spartesnis drebulių augimas, kuriam jis ir buvo naudojamas. Mažiausiai azoto nustatyta drebulių medienoje, o daugiausiai – lapuose (2.1.2 pav.).

Vertinant drebulių šaknis, medieną ir žievę, P koncentracija buvo pasiskirsčiusi sekančiai: požeminėje medžio dalyje – šaknyse jos buvo nustatyta daugiausiai, po to antžeminėje – žievėje ir stiebo medienoje. Tik reikėtų paminėti, kad fosforą žievė labiau kaupė praėjus metams po patręšimo, o mediena praėjus dviem metams. Visgi daugiausiai P nustatyta drebulių lapuose ir jo čia susikaupė 2020 metais 80 proc. daugiau nei drebulių medienoje (2.1.2 pav.).

Stebint kalio dinamiką jo tendencija nustatyta tokia pati kaip N ir P. Daugiausia jo buvo drebulių lapuose. Tik mažiausiai jo buvo medienoje praėjus metams po drebulių tręšimo. Toliau K medienoje, žievėje ir šaknyse buvo pasiskirstę panašiai ir nelabai skyrėsi nuo tręšto ir netręšto varianto (2.1.2 pav.).

Drebulių plantacijose tręštuose variantuose daugiau buvo N ir P lapuose, medienoje žievėje N ir P, o šaknyse N nei tuopų plantacijose (2.1.1 ir 2.1.2 pav.), tai rodo, kad tuopose išlaikoma kai kurių maistinių medžiagų mažiau nei drebulėse. Maistinių medžiagų mažesnę koncentraciją skirtingose medžių dalyse taip pat galėjo įtakoti, kad drebulės buvo tręšiamos granuliuotu

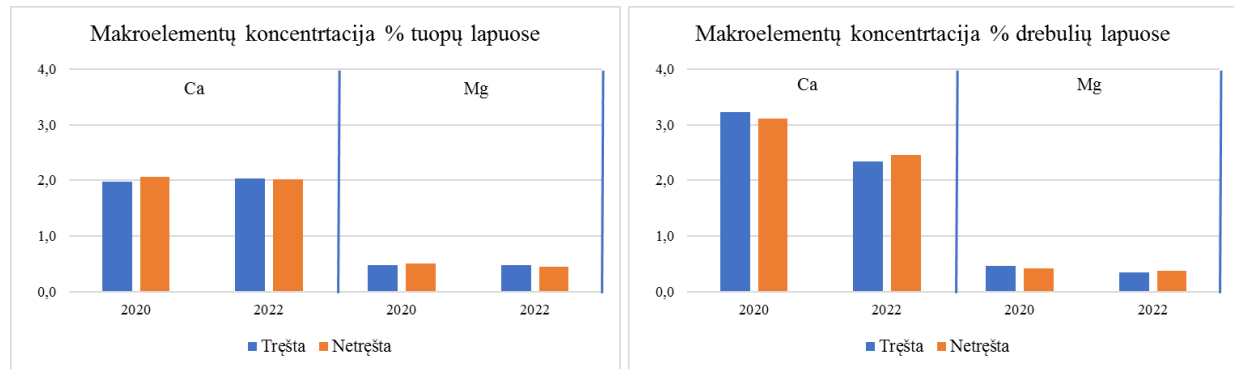
džiovintu nuotekų dumbliu du kartus ir kai kuriuos mikroelementus želdiniai naudojo spartesniam augimui, o tai galėjo įtakoti mažesnę jų koncentraciją drebulių biomasėje. Kai kurie moksliniai tyrimai rodo, kad maistinių medžiagų ciklo koeficientai didėja palaipsniui ir su želdinių amžiumi.



2.1.2 pav. Makroelementų koncentracijos drebulių biomasėje ir lapuose sausoje medžiagoje

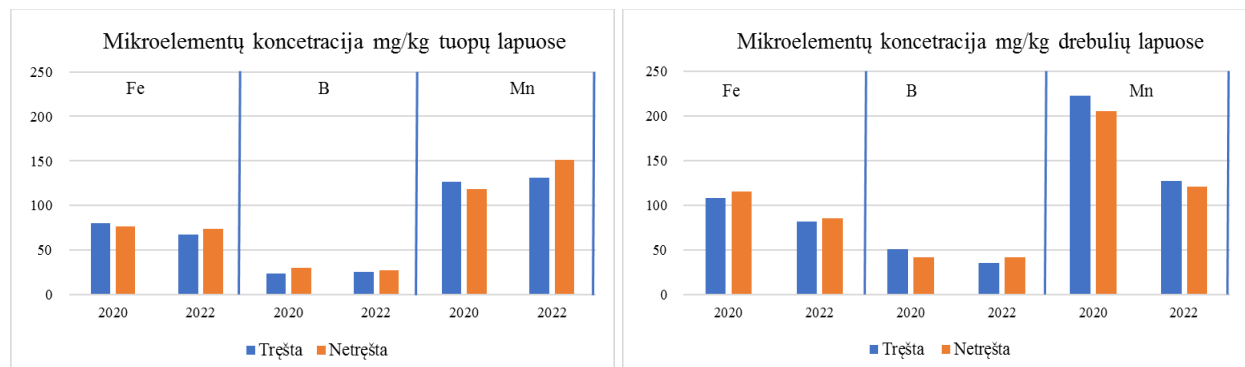
Augalų augimui ir vystymuisi yra labai svarbūs makroelementai kalcis (Ca) ir magnis (Mg) bei kiti mikroelementai, kad būtų užtikrintas tinkamas jų augimas ir vystymasis. Kartu su kitais makroelementais juos iš dirvožemio tirpalo paima šaknys, kur vėliau pernešami į ūglį ir kitas medžio dalis (White P. J., 2011). Patekę į ūglį jų pasiskirstymas į atskiras dalis labai skiriasi tiek kiekiu, tiek laiko atžvilgiu, atsižvelgiant į medžiagų apykaitos poreikius ir pasisavinimą (Conn S. J. ir Gilliam M., ir kt., 2010). Kalcis Ca, kaip esminis augalų elementas, dalyvauja fotosintezėje ir maistinių medžiagų įsisavinimo procese, bei turi įtakos augalų augimui.

Iš atliktų tyrimų nustatyta, kad tuopų ir drebulių lapai buvo linkę labiau kaupti kalcį nei magnį. Praėjus metams po patręšimo Ca koncentracija tuopų lapuose sumažėjo, tačiau parėjus dviem metams po tręšimo, tuopų lapai buvo linkę jį labiau įsisavinti ir jo koncentracija buvo nustatyta šiek tiek didesnis nei netręštų tuopų lapuose. Kad Ca linkęs labiau kauptis lapuose patvirtina ir jo nustatytos koncentracijos drebulių lapuose. Tręšiant granuliuotu džiovintu nuotekų dumbliu du kartus Ca drebulių lapuose buvo sukauptas ženkliai daugiau, nei tuopų lapuose, kur buvo tręšiama vieną kartą (2.1.3 pav.).



2.1.3 pav. Makroelementų koncentracijos tuopų ir drebulių lapuose sausoje medžiagoje

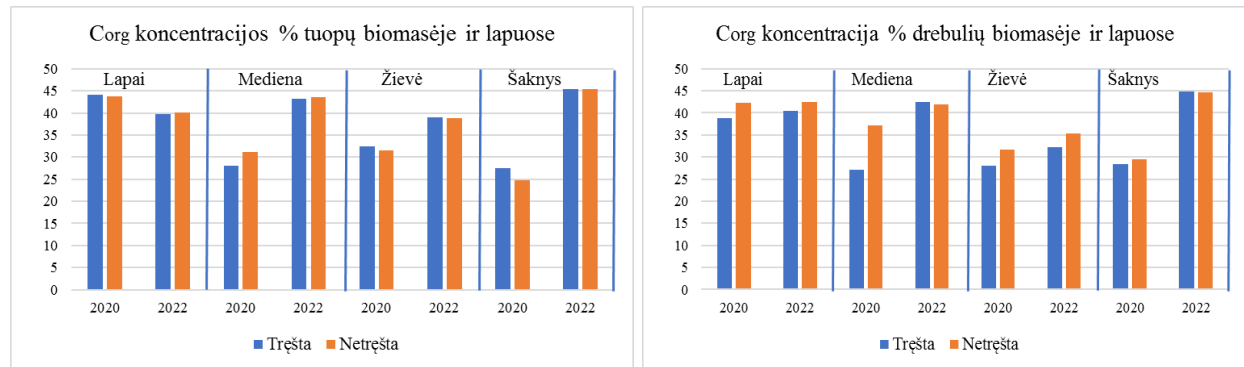
Magnio koncentracija tuopų lapuose, praėjus metams po patręšimo buvo panaši, kaip netręštuose variantuose, tačiau praėjus dviem metams po patręšimo Mg buvo linkęs labiau kauptis, kur buvo naudojamas granuliuotas džiovintas nuotekų dumblas. Tačiau drebulių lapuose Mg įsisavinimo nustatytos kitokios tendencijos. Čia Mg daugiau buvo po pirmų tręšimo metų, o 2022 metais jis linkęs mažėti ir jo nustatytas mažiau nei netręštame variante. Tai galėjo įtakoti, kad magnis buvo naudojamas spartesniam drebulių augimui (2.1.3 pav.).



2.1.4 pav. Mikroelementų koncentracija tuopų ir drebulių lapuose sausoje medžiagoje

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). Visų tirtų mikroelementų koncentracija drebulių ir tuopų lapuose labai skyrėsi ir išryškėjo tręšimas granuliuotu džiovintu nuotekų dumblu (2.1.4 pav.).

Mikroelementų koncentracijos abiejų želdinių lapuose buvo išsidėstę didėjančia tvarka – B>Fe>Mn. Tuopų lapuose visų tirtų mikroelementų koncentracijos nustatyti ženkliai mažesnės, nei drebulių. Boro skirtumai tarp šių želdinių lapų nustatyti mažiausi, o Mn didžiausi. Visų tirtų mikroelementų didesnei koncentracijai drebulių lapuose galėjo turėti įtakos dviejų kartų tręšimas.



2.1.5 pav. Organinės anglies koncentracijos tuopų ir drebulių lapuose sausose medžiagoje

Anglies sekvestracija medžių biomasėje ir po to ilgalaikis jos užrakinimas yra laikomas vienu iš perspektyvių būdų sumažinti atmosferos anglies kiekį auginant trumpos rotacijos, greitai augančias medžių rūšis (Chauhan S. K., ir kt., 2016). Svarbu žinoti, kad svarbiausias tuopų sodinimo pranašumas yra didelis tuopos gebėjimas sugerti CO₂ ir kaupti C atsargas, o tai turi lemiamą vaidmenį fitoremediacijoje ir C fiksavime. Vienas tuopomis apšodintas hektaras gali sugerti iki 25 tonų CO₂ per metus (Popp M., ir kt., 2011). Bet kurios augmenijos sistemos produktyvumas daugiausia priklauso nuo biomasės gamybos ir anglies kaupimo potencialo skirtinguose jų komponentuose kuriuos veikia augalo prigimtis ir amžius, klimatiniai bei kiti veiksniai.

Greitai augantys medžiai, kaip tuopos ir drebulės yra potenciali priemonė C kaupimui savo biomasėje. Biomasės anglies koncentracija įvairiose medžio dalyse (lapai, mediena, žievė ir šaknys) pateikta 2.1.5 pav. Mūsų tyrimų rezultatai rodo, kad anglies kaupimo biomasėje skyrėsi. Šiuos skirtumus galėjo įtakoti medžių amžius ir iš dalies tręšimas. Po tuopų patręšimo praėjus vieneriems metams ženkliai didesnė organinės anglies (C_{org.}) koncentracija nustatyta tuopų lapuose, tačiau nedaug skyrėsi nuo netręšto varianto. C_{org.} pasiskirstymas kituose biomasės elementuose sekė didėjančia tvarka: šaknys>mediena>žievė. Praėjus dviem metams po patręšimo C_{org.} koncentracijos, tuopų biomasėje, nustatytos kitokios tendencijos. C_{org.} koncentracijos pasiskirstymas biomasės elementuose sekė didėjančia tvarka žievė>lapai>mediena>šaknys. Ir čia tręštas ir netręštas variantas taip pat neturėjo įtakos C_{org.} koncentracijai (2.1.5 pav.).

Nors skyrėsi želdinių amžius ir jų tręšimas, tačiau drebulių želdinių biomasėje nustatyti labai panašiai C_{org.}, kaip ir tuopų želdinių biomasėje. Praėjus metams po atėjo drebulių patręšimo daugiausiai C_{org.} susikaupė buvo želdinių lapuose. C_{org.} pasiskirstymas kituose biomasės elementuose sekė didėjančia tvarka šaknys>žievė>mediena. Ir čia reikėtų pažymėti, kad C_{org.} koncentracija buvo didesnė netręštuose variantuose. Praėjus dviem metams po patręšimo, C_{org.} koncentracijos drebulių biomasėje, nustatytos kitokios tendencijos. C_{org.} pasiskirstymas biomasės elementuose sekė didėjančia tvarka šaknys>mediena>lapai>žievė. Tyrimai rodo, kad medžių šaknys gali atlikti svarbų vaidmenį C_{org.} saugykloje, ypač didėjant želdinių amžiui ir naudojant organines medžiagas tręšimui (2.1.5 pav.).

2.2. Granuliuoto džiovinoto nuotekų dumblo įtaka sunkiųjų metalų pasiskirstymui želdinių biomasėje ir lapuose

Sunkieji metalai, viena iš pagrindinių kliūčių, trukdančių naudoti nuotekų dumblą žemės ūkyje, kadangi jie gali kauptis augaluose, kuriuos pasisavina iš dirvožemio ir taip patenka į maisto grandinę bei žmogaus organizmą (Wuana R. A., et al., 2011). Sunkieji metalai į augalus gali patekti, kai metalų katijonai sudarydami tirpius junginius su dirvožemio tirpalo anijonais, arba kai sunkieji metalai pereina į dirvožemio tirpalą, pakeisdami kitus elementus, kaip Ca, Mg, K, Na, P. Taip augalai įsisavina ne tik reikiamus mikro- ar makroelementus, bet ir dirvožemio tirpale esančius sunkiuosius metalus (Wuana R. A., ir Okieimen F. E., 2011). Sunkiųjų metalų įsisavinimas pagrįdė vyksta medžių lapuose ir šaknyse ir priklauso nuo rūšies savybių, metalo koncentracijos, taip pat metalų tirpumo ir biologinio prieinamumo (Tomasevic M., et al., 2004). Todėl yra svarbu žinoti maistinių medžiagų ir teršalų absorbciją, pasiskirstymą ir įsisavinimą augaluose, auginamuose dirvožemiuose, kur tręšimui buvo naudojamas nuotekų dumblas.

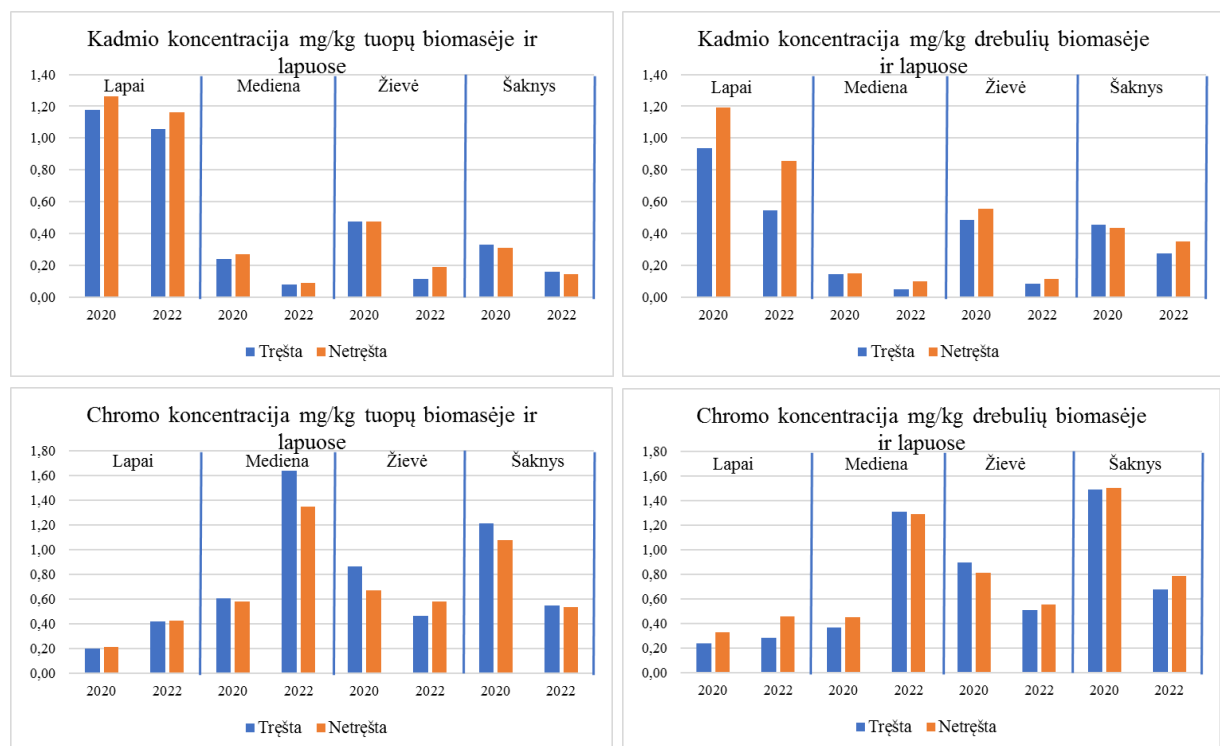
Nuotekų dumblo naudojamas ne žemės ūkio augalams, o trumpos rotacijos želdiniams, pvz., tuopoms, išvengia galimų sunkiųjų metalų patekimo į maisto grandinę. Todėl dirvožemio gerinimas ir medžių mitybos užtikrinimas yra svarbūs aspektai nustatant nuotekų dumblo naudojimo galimybes dirvožemyje. Tuopos pasižymi dideliu teršalų pasisavinimu iš dirvožemio (Hauptvogel M., et al., 2020), todėl šiais tyrimais siekėme nustatyti kaip tręšiant džiovinotu granuliuotu nuotekų dumblo vyksta sunkiųjų metalų migracija, kaupimasis ir jų pasiskirstymas skirtingose medžio dalyse bei lapuose. Biomasės ir lapų tyrime buvo tiriami septyni sunkieji metalai: švinas (Pb), kadmio (Cd), chromas (Cr), varis (Cu), nikelis (Ni), cinkas (Zn), gyvsidabris (Hg). Hg tyrimų rezultatai visuose tirtose biomasės dalyse ir lapuose buvo žemiau nustatyto ribos, todėl jo pasiskirstymo ir kaupimosi nepateiksime.

Sunkieji metalai į medį patenka iš dirvožemio terpės per medžio šaknis į antžemines medžio dalis. Želdinių augimo vietose, paskleistame nuotekų dumble buvo didesnės Zn, Cu, Ni koncentracijos. Dažnai šie sunkieji metalai yra judrūs, todėl svarbu įvertinti jų migraciją ir kaupimąsi skirtingose medžio dalyse. Taip pat daugelis sunkiųjų metalų, o ypač Cu ir Ni trukdo maistinių medžiagų patekimui į augalus.

Želdiniai augantys dirvožemyje, kuriame yra sunkiųjų metalų, kaupia juos skirtingose dalyse ir skirtinga būna jų koncentracija. Mūsų tyrimai parodė, kad lapai daugiau kaupė Cd, Ni ir Cu. Šviną lapuose daugiau kaupė du kartus tręšti drebulių želdiniai. Chromo daugiau nustatyta, tiek tuopų, tiek drebulių antžeminėje medžių dalyje – medienoje, tiek požeminėje – šaknyse. Švino didesnė koncentracija, be minėtų drebulių lapų, taip pat buvo abiejų tirtų želdinių žievėje ir šaknyse. Cinko didžiausia koncentracija nustatyti želdinių žievėje (2.2.1, 2.2.2 ir 2.2.3 pav.). Yra nemažai tyrimų, kuriuose nurodoma ir apie kitokį metalų kaupimąsi atitinkamose medžių dalyse, nei mūsų gautos tendencijos. Tokie skirtingi tyrimų rezultatai gali būti sudėtingų biocheminių metalų įsisavinimo ir transportavimo į įvairias augalų dalis procesų rezultatas (Zhang Z., et al.,

2020), kuriems įtakos turi dirvožemio maistingųjų medžiagų ir taršos sąlygos, augalų rūšys ir klimatas. Be to, augalai gali sukurti apsauginius mechanizmus, užkertančius kelią sunkiųjų metalų absorbcijai esant perteklinei sunkiųjų metalų koncentracijai dirvožemyje (Chandra R., ir Kumar V., 2017).

Mūsų atlikti tyrimai neparodė, kad būtų didesnis Cd kaupimasis, želdinių lapuose ir biomasėje, džiovintu granuliuotu dumblu tręštuose variantuose. Ženkliai daugiau Cd, nei kitose biomasės dalyse, buvo susikaupę želdinių lapuose. Lapuose daugiausiai Cd kaupėsi praėjus metams po želdinių tręšimo, tačiau jo buvo daugiau netręštam variante. Todėl galime manyti, kad čia įtakos Cd kaupimuisi neturėjo įtakos tręšimas. Mažiausiai Cd nustatyta želdinių medienoje. Tyrimai rodo, kad praėjus dviem metams po tręšimo abiejų želdinių biomasėje ir lapuose Cd buvo linkęs mažėti. (2.2.1 pav.).



2.2.1 pav. Kadmio ir chromo koncentracija tuopų ir drebulių biomasėje ir lapuose sausoje medžiagoje

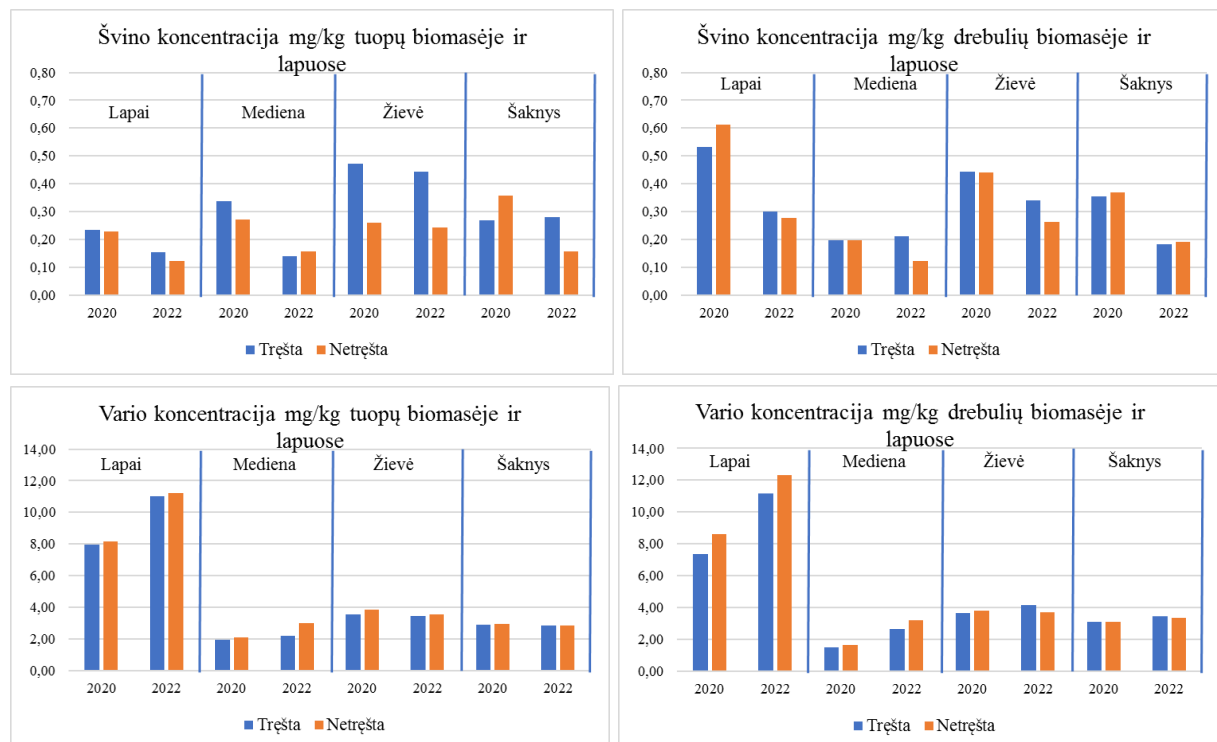
Beveik visuose tuopos biomasės dalyse Cr koncentracija dumblu patręštame dirvožemyje (išskyrus tuopų žievę praėjus dviem metams po tręšimo (2022 m.) buvo didesnė nei kontrolinių medžių. Didžiausia Cr koncentracija nustatyta praėjus dviem metams po tręšimo tuopų medienoje ir čia jo susikaupė beveik dvigubai daugiau nei 2020 metais. Lygiai tokios pat tendencijos buvo ir drebulių medienoje, todėl manome, kad panaudojus nuotekų dumblą medžių žievė linkusi labiausiai kaupti Cr praėjus dviem metams po tręšimo. Mažiausiai Cr nustatyta abiejų želdinių

lapuose. Galima pažymėti, tik kad drebulių biomasėje ir lapuose, skirtingai nuo tuopų, čia daugiau Cd kaupėsi netręštuose variantuose (2.2.1 pav.).

Daugeliu atvejų Pb koncentracija dumblu patręštame dirvožemyje augusių medžių dalyse (išskyrus tuopų lapus ir šaknis praėjus metams po tręšimo (2020 m.) ir drebulių lapus bei šaknis praėjus metams po tręšimo (2020 metai) ir medieną (praėjus dviem metams po patręšimo (2022 metai)) buvo didesnė nei kontrolinių medžių (2.2.2 pav.).

Daugiausiai Pb buvo susikaupę tuopos žievėje 2020 ir 2022 metais (atitinkamai 0,47 mg/kg ir 0,44 mg/kg). Ir čia nustatyta Pb koncentracija beveik buvo dvigubai didesnė, nei netręštame variante. Todėl galime daryti išvadą, kad panaudojus nuotekų dumblą vieną kartą, medžių žievė linkusi labiausiai kaupti Pb. Mažiausios Pb koncentracijos aptiktos dumblu patręštame dirvožemyje augusių tuopų lapuose ir medienoje praėjus dviem metams po patręšimo (atitinkamai 0,15 mg/kg ir 0,14 mg/kg) (2.2.2 pav.).

Kitokios Pb kaupimosi tendencijos buvo nustatytos drebulių biomasėje ir lapuose, kur granuliuotas džiovintas nuotekų dumblas buvo panaudotas du kartus. Praėjus metams po patręšimo Pb sankaupos buvo mažesnės arba labai panašios kaip netręštuose variantuose. Daugiausiai pirmais tyrimų metais Pb kaupė drebulių lapai, o mažiausiai – mediena. Daugiau Pb susikaupė praėjus dviem metams po patręšimo, drebulių lapuose, medienoje ir žievėje, nei netręštame variante, o mažiausiai Pb akumuliuo – šaknys (2.2.2 pav.).

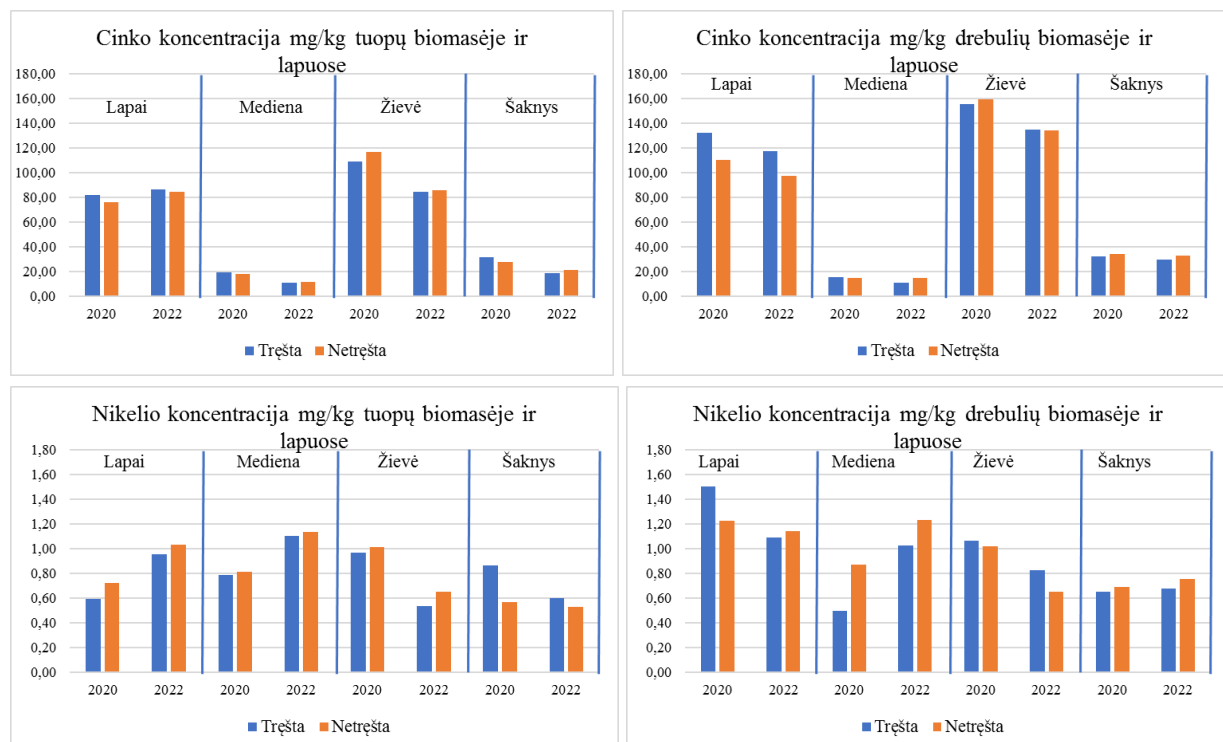


2.2.2 pav. Kadmio ir chromo koncentracija tuopų ir drebulių biomasėje ir lapuose sausoje medžiagoje

Varis ir cinkas ir laikomi mikroelementais, kurie yra svarbūs augalų augime, tačiau esant didelėms koncentracijoms gali tapti toksiški. Atlikti tyrimai kaip ir Cd, taip ir Cu neparodė, kad būtų didesnis Cu kaupimasis džiovintu granuliuotu dumbliu tręštuose variantuose. Ženkliai didesni Cu buvo susikaupę želdinių lapuose. Tuopų lapuose sukaupto Cu buvo daugiau praėjus dviem metams po patręšimo, tačiau jis buvo artimas netręštam variantui. Didžiausios Cu koncentracijos buvo praėjus dviem metams po tręšimo drebulių lapuose, kur tręšta du kartus. Mažiausiai vario kaupėsi abiejų želdinių medienoje (2.2.2 pav.).

Zn koncentracija medžių biomasėje ir lapuose buvo didesnė už jo koncentraciją medžių biomasėje ir lapuose, kurie nebuvo tręšti granuliuotu džiovintu nuotekų dumbliu, išskyrus medžių žievę, medžių šaknis ir medieną, praėjus po tręšimo dviem metams (2.2.3 pav.). Didžiausios, granuliuotu džiovintu nuotekų dumbliu patręštame dirvožemyje augusiuose medžiuose, Zn koncentracijos pastebėtos tuopų ir drebulių žievėje atitinkamai – 108,9 ir 155,3 mg/kg. Zn koncentracijos praėjus metams po patręšimo medžių žievėje buvo šiek tiek didesnės netręštame variante. Tačiau praėjus dviem metams – žievė cinką labiau kaupė, kur buvo tręštas dirvožemis ir jo koncentracija buvo ženkliai didesnė, kur granuliuotas džiovintas nuotekų dumblas naudotas du kartus t. y. drebulių žievėje.

Nemažai cinko kaupė ir medžių lapai. Tuopų lapuose susikaupė Zn daugiau nei netręštame variante, dar didesnė jo koncentracija nustatyta tręštame variante drebulių lapuose, kur nuotekų dumblas buvo naudotas du kartus. Mažiausiai Zn kaupėsi medžių medienoje (2.2.3 pav.).



2.2.3 pav. Cinko ir nikelio koncentracija tuopų ir drebulių biomasėje ir lapuose sausoje medžiagoje

Daugeliu atvejų Ni koncentracija medžių dalyse (išskyrus tuopų šaknis, drebulių žievę ir lapus (2020 metai) buvo didesnė kontrolinių medžių variantuose (2.2.3 pav.).

Praėjus metams po tręšimo Ni labiau kaupė tuopų žievė ir šaknys, o praėjus dviem metams – mediena ir lapai. Skirtingai nuo kitų anksčiau aptartų sunkiųjų metalų Ni kaupimasis biomasėje priklausė nuo tręšimo laiko. Mažiausios Ni koncentracijos aptiktos dumblu patręštame dirvožemyje augusių tuopų medienoje ir lapuose praėjus metams po patręšimo, o žievėje ir šaknyse praėjus dviem metams po patręšimo (2.2.3 pav.).

Kitokios Ni kaupimosi tendencijos buvo nustatytos drebulių biomasėje ir lapuose, kur granuliuotas džiovintas nuotekų dumblas buvo panaudotas du kartus. Daugiausiai pirmais metais po patręšimo Ni kaupė drebulių lapai ir žievė, o mažiausiai – mediena. Praėjus dviem metams po tręšimo Daugiau Ni susikaupė drebulių lapuose ir medienoje, o mažiau šaknyse ir žievėje. (2.2.3 pav.).

IŠVADOS

1. Tuopų tręšimas granuliuotu džiovintu nuotekų dumblu padidino azoto (N) koncentraciją tuopų lapuose, medienoje, žievėje ir šaknyse, tačiau daugumos kitų maistinių medžiagų koncentracijos, lyginant su netręštu variantu, sumažėjo arba buvo artimos netręštam. Maistinių medžiagų koncentracija lapuose buvo pasiskirsčiusi mažėjančiai: $N > Ca > K > Mg > P$, medienoje, žievėje ir šaknyse atitinkamai – $K > N > P$.
2. Drebulių biomasėje ir lapuose N koncentracija mažai skyrėsi nuo netręšto varianto. Mažiau susikaupusio azotas galėjo įtakoti spartesnis drebulių augimas, kuriam jis ir buvo naudojamas. Didžiausios P koncentracijos nustatytos drebulių lapuose, o biomasėje šis elementas buvo pasiskirstęs didėjančia tvarka: požeminėje medžio dalyje – šaknyse ir antžeminėje – žievėje ir stiebo medienoje. Stebint kalio dinamiką jo tendencija nustatyta tokia pati kaip N ir P.
3. Želdinių lapai buvo linkę labiau kaupti kalcį nei magnį. Daugiausiai Ca susikaupė drebulių lapuose praėjus metams po patręšimo, kur džiovintas granuliuotas nuotekų dumblas buvo panaudotas du kartus ir čia jo sukauptas ženkliai daugiau, nei kur buvo tręšiama vieną kartą (tuopų lapuose). Mg kaupėsi tuopų lapuose praėjus dviem metams po patręšimo, o drebulių lapuose Mg buvo daugiau po pirmų tręšimo metų.
4. Tuopų lapuose visų tirtų mikroelementų nustatyta ženkliai mažiau, nei drebulių lapuose, tačiau jų pasiskirstymas buvo vienodas ir sekė didėjančia tvarka – $B > Fe > Mn$. Organinės anglies kaupimasis medžių biomasėje ir lapuose buvo labai nevienodas, kuriuos galėjo įtakoti medžių amžius ir jų skirtingas tręšimas.
5. Sunkiųjų metalų tyrimai parodė, kad lapai daugiau kaupė Cd, Ni ir Cu. Pb kaupėsi lapuose, kur buvo du kartus tręšti drebulių želdiniai, ir abiejų tirtų želdinių žievėje ir šaknyse. Cr daugiau nustatyta, tiek tuopų, tiek drebulių antžeminėje medžių dalyje – medienoje, tiek požeminėje – šaknyse. Pb didesnė koncentracija, be minėtų drebulių lapų, taip pat tuopų buvo medienoje ir žievėje bei du kartus tręštų drebulių medienoje ir šaknyse. Zn daugiausiai nustatyti želdinių žievėje. Ni kaupėsi labai netendencingai ir 2022 m. daugiausiai jo nustatyta tuopų medienoje, o 2020 m. – drebulių lapuose.

REKOMENDACIJOS

Džiovinto granuliuoto nuotekų dumblo naudojimas, 2016 m – 21 t ha⁻¹ ir 2019 m. – 19 t ha⁻¹, hibridinėms tuopoms ir drebulėms, suteikia būtinų maistinių medžiagų jų augimui ir sumažina aplinkosauginius bei ekonominius veiksnius, ribojančius nuotekų dumblo šalinimui ar deginimui. Taip pat želdiniai puikiai tinka fitoremediacijai.

Parenkant tręšimo granuliuotu džiovinu nuotekų dumbliu normą, reikia atsižvelgti į jame esančių maisto medžiagų – azoto, fosforo ir sunkiųjų metalų kiekį. Todėl siekiant išlaikyti aukštą trumpos rotacijos želdinių ir dirvožemio produktyvumo lygį ir nenusižengti gamtosauginiams reikalavimams, rekomenduojama prieš naudojant nuotekų dumblą tręšimui įvertinti dirvožemio ir nuotekų dumblo maistines medžiagas bei sunkiųjų metalų kiekius, taip pat auginamų augalų rūšis.

LITERATŪRA

1. Abreu-Junior C. H., de Lima Brossi M. J., Monteiro R. T., Cardoso P. H. S., da Silva Mandu T., Nogueira T. A. R., Ganga A., Filzmoser P., de Oliveira F. C., Firme L. P., He Z., & Capra G. F. (2019). Effects of sewage sludge application on unfertile tropical soils evaluated by multiple approaches: A field experiment in a commercial Eucalyptus plantation. *Science of The Total Environment*, 655, 1457–1467.
2. Alvarenga P., Mourinha C., Farto M., Santos T., Palma P., Sengo J., Morais M., & Cunha-Queda C. (2015). Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors. *Waste Management*, 40, 44–52.
3. Arif M. S., Riaz M., Shahzad S. M., Yasmeen T., Ashraf M., Siddique M., Mubarik M. S., Bragazza L., & Buttler A. (2018). Fresh and composted industrial sludge restore soil functions in surface soil of degraded agricultural land. *Science of The Total Environment*, 619-620, 517–527.
4. Bai J., Sun X., Xu C., Ma X., Huang Y., Fan Z., & Cao X. (2022). Effects of Sewage Sludge Application on Plant Growth and Soil Characteristics at a *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Plantation in Horqin Sandy Land. *Forests*, 13(7), p. 984.
5. Bai Y., Zang C., Gu M., Gu C., Shao H., Guan Y., Wang X., Zhou X., Shan Y., & Feng K. (2017). Sewage sludge as an initial fertility driver for rapid improvement of mudflat salt-soils. *Science of The Total Environment*, 578, 47–55.
6. Bashir K.; Rasheed S.; Kobayashi T.; Seki M.; Nishizawa, N. K. 2016. Regulating Subcellular Metal Homeostasis: The Key to Crop Improvement. *Front. Plant Sci.* 7, p. 1192.
7. Chandra R., Kumar V. Phytoextraction of heavy metals by potential native plants and their microscopic observation of root growing on stabilised distillery sludge as a prospective tool for in situ phytoremediation of industrial waste. *Environ Sci Pollut Res* 24, 2605–2619 (2017).
8. Chauhan S. K., Sharma R., Panwar P., and Chander J. 2016. Short rotation forestry: a path for economic and environmental prosperity. In: K.T. Parthiban and R. Seenivasan (eds.). *Forestry Technologies- A Complete Value Chain Approach*, Vol. 1. Scientific Publishers, Jodhpur. P. 260–288.
9. Conn S. J., Gilliam M., Athman A., et al. 2011. Cell-specific vacuolar calcium storage mediated by CAX1 regulates apoplastic calcium concentration, gas exchange, and plant productivity in *Arabidopsis*. *The Plant Cell* 23, 240–257.
10. Hasnine M.T., Huda M. E., Khatun R., Saadat A. H. M., Ahasan M., Akter S., Uddin M. F., Monika A. N., Rahman, M. A., Ohiduzzaman M. Heavy Metal Contamination in Agricultural Soil at DEPZA, Bangladesh. *Environ. Ecol. Res.* 2017, 5, 510–516.
11. Hauptvogel M., Kotrla M., Prčík M., Pauková Ž., Kováčik M., and Lošák, T. (2020). Phytoremediation Potential of Fast-Growing Energy Plants: Challenges and Perspectives – a Review. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(1), p. 505–516.

12. Heavy Metal Stress and Crop Productivity. In *Crop Production and Global Environmental Issues*; Hakeem, H. R., Ed.; Springer International Publishing: Chem, Switzerland, 2015.
13. Järup L. Hazards of heavy metal contamination. *Br. Med. Bull.* 2003, 68, 167–182.
14. 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.
15. Maksymiec W. 2007. Signaling responses in plants to heavy metal stress. *Acta Physiol. Plant.* Vol. 29. P. 177–187.
16. Mañas P., Castro E., & de las Heras J. (2014). Application of treated wastewater and digested sewage sludge to obtain biomass from *Cynara cardunculus* L. *Journal of Cleaner Production*, 67, P. 72–78.
17. Melo T. M., Bottlinger M., Schulz E., Leandro W. M., Menezes de Aguiar Filho A., Wang H., Ok Y. S., & Rinklebe J. (2018). Plant and soil responses to hydrothermally converted sewage sludge (sewchar). *Chemosphere*, 206, 338–348.
18. Mo CH, Wu QT, Cai QY. 2000. Utilization of municipal sludge in agriculture and sustainable development. *Chinese J Appl Ecol.* Vol. 11. P. 157–160.
19. Popp M.; Nalley L.; Fortin C.; Smith A.; Brye K. 2011. Estimating Net Carbon Emissions and Agricultural Response to Potential Carbon Offset Policies. *Agron. J.* 103, 1132–1143.
20. Rastetter N., Gerhardt A. (2017). Toxic potential of different types of sewage sludge as fertiliser in agriculture: ecotoxicological effects on aquatic, sediment and soil indicator species. *J Soils Sediments* 17, 106–121.
21. Sharma R. K., Agrawal M., Marshall F. M. 2008. Atmospheric deposition of heavy metals (Cu, Zn, Cd and Pb) in Varanasi City, India. *Environ. Monit. Assess*, 142, 269–278
22. Shahid M., Khalid S., Abbas G., Shahid N., Nadeem M., Sabir M., Aslam M., Dumat C. Thomas E. Y., Omueti J. A. I., Ogundayomi O. 2012. The Effect of Phosphate Fertilizer on Heavy Metal in soils and *Amaranthus caudatus*. *Agric. Biol. J. N. Am.* 3, 145–149.
23. Shepard J. P., and Tolbert V. R. 1996. "The role of short-rotation woody crops in sustainable development". United States.
24. Tiwari S.; Lata C. Heavy Metal Stress, Signaling, and Tolerance Due to Plant-Associated Microbes: An Overview; CSIR-National Botanical Research Institute: Lucknow, India, 2018.
25. Tomasevic M., Rajsic S., Dorcevic D., Tasic M., Krstic J., Novakovic V. Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas. *Environ. Chem. Lett.* 2004;2:151–154.
26. Wang H. T, Yang Y., Wang Y. P., Jiang Y. Z., Wang Z. Q. 2011. Effects of exogenous phenolic acids on nitrate absorption and utilization of hydroponic cuttings of *Populus × euramericana* ‘Neva’. *Chin. J Plant Ecol.*; 35: 214–222.
27. White P. J. 2011. Long-distance transport in the xylem and phloem. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition (web)*. Elsevier, London, 49–70.

28. Wild S. R., Jones K. C. 1991. Organic contaminants in wastewaters and sewage sludges: Transfer to the environment following disposal. In: Jones KC (ed), *Organic Contaminants in the Environment – Environmental pathways & Effects*. Elsevier, London, P. 133-158.
29. Wuana R. A., Okieimen F. E. 2011. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks, and best available strategies for remediation. *Ecology*. Vol. 2011. P. 22
30. Zhang Z., Ju R., Zhou H., & Chen H. 2021. Migration characteristics of heavy metals during sludge pyrolysis. *Waste Management*, 120, 25-32.

PRIEDAI