LIETUVOS AGRARINIŲ IR MIŠKŲ MOKSLŲ CENTRAS

TVIRTINU:
G. Staugaitis

Poveikio dirvožemiui vertinimo

ATASKAITA

Kaunas, 2023-09-30

Projektas:
NutriBiomass4LIFE
LIFE17 ENV17/LT/000310

Projekto parteris:
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
Dirvožemio ėminius surinko ir jų paruošimą cheminėms analizėms atliko:	LAMMC ŽI Agrocheminių tyrimų laboratorijos Agrocheminių tyrimų skyriaus mokslo darbuotojai
Dirvožemio ėminius paruošė ir chemines analizes atliko:	LAMMC ŽI Agrocheminių tyrimų laboratorijos Analitinio skyriaus chemikės
Projekto ataskaitą parengė:	**Dr. Aistė Masevičienė**, LAMMC ŽI Agrocheminių tyrimų laboratorijos Agrocheminių tyrimų skyriaus mokslo darbuotoja

TURINYS

SANTRAUKA 5

SUMMARY 13

ĮVADAS 21

1. TYRIMŲ METODIKA 25

1.1. Pagrindinės stebėsenos tyrimų metodika 25

1.2. Ilgalaikės visapusės stebėsenos tyrimų metodika 28

1.3. Dirvožemių cheminių savybių vertinimo skalės 33

2. TYRIMŲ REZULTATAI. Pagrindinė stebėsena 38

2.1. Dirvožemių cheminių rodiklių charakteristika ir vertinimas pagrindinės stebėsenos metu 38

2.1.1. Dirvožemio pH_{KCl}, organinė anglis (C_{org}) ir mineralinis azotas (N_{min}) 38

2.1.2. Judrieji fosforas, kalis, kalcis ir magnis 42

2.1.3. Sunkieji metalai (kadmis, švinas, chromas, nikelis, varis, cinkas, gyvsidabris) 46

2.1.4. Dirvožemių našumo balas 49

IŠVADOS (2.1 skyriaus) 52

2.2. Dirvožemio tipo įtaka cheminių savybių pokyčiams dirvožemiuose, juos tręšiant apdorotu nuotekų dumblu ir biokuro medienos pelenais 54

2.2.1. Mineralinis azotas (N_{min}) 54

2.2.2. Dirvožemio pH_{KCl}, judrieji fosforas (P_2O_5), kalis (K_2O), kalcis (CaO) ir magnis (MgO) 56

2.2.3. Organinės anglies koncentracija (C_{org}) ir jos sankaupos dirvožemyje 62

2.2.4. Sunkieji metalai (kadmis, švinas, chromas, nikelis, varis, cinkas, gyvsidabris) 66

IŠVADOS (2.2 skyriaus) 70

2.3. Skirtingos dirvožemio granuliometrinės sudėties įtaka cheminių savybių pokyčiams dirvožemiuose, juos tręšiant apdorotu nuotekų dumblu ir biokuro medienos pelenais 73

2.3.1. Mineralinis azotas (N_{min}) 73

2.3.2. Dirvožemio pH_{KCl}, judrieji fosforas (P_2O_5), kalis (K_2O), kalcis (CaO) ir magnis (Mg) 74

2.3.3. Organinė anglis (C_{org}) ir jos sankaupos 79

2.3.4. Sunkieji metalai (kadmis, švinas, chromas, nikelis, varis, cinkas, gyvsidabris) 82

IŠVADOS (2.3 skyriaus) 86

2.4. Tręšimo nuotekų dumblu ir medienos biokuro pelenais įtaka dirvožemio cheminėms savybėms 89

2.4.1. Mineralinis azotas (N_{min}) 89
2.4.2. Dirvožemio pH_{KCl}, judrieji fosforas (P_2O_5), kalis (K_2O), kalcis (CaO) ir magnis (MgO) 91
2.4.3. Organinė anglis (C_{org}) ir jos sankaupos 97
2.4.4. Sunkieji metalai (kadmis, švinas, chromas, nikelis, varis, cinkas, gyvsidabris) 100
IŠVADOS (2.4 skyriaus) 106
3. TYRIMŲ REZULTATAI. Ilgalaikė visapusė stebėsena 108
3.1. Dirvožemių cheminių rodiklių charakteristika ir vertinimas visapusės stebėsenos metu tiek nuotekų dumblu tręštose, tiek netręštose aikštelėse 108
3.1.1. Mineralinis azotas (N_{min}), judrioji siera (S_{min}), organinė anglis (C_{org}) 108
3.1.2. Dirvožemio rūgštumas pH_{KCl}, judrusis fosforas (P_2O_5), judrusis kalis (K_2O), judrusis kalcis (CaO) ir judrusis magnis (MgO) 112
3.1.3. Mikroelementai (boras, varis, manganas, cinkas, molibdenas, geležis) 120
3.1.4. Sunkieji metalai (kadmis, švinas, chromas, nikelis, varis, cinkas, arsenas, gyvsidabris) 129
3.1.5. Bendrieji makroelementai (azotas, fosforas, kalis, siera) 139
3.1.6. Chloridai (Cl^-), elektrinis laidumas (EL) 143
3.1.7. Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAA) ir polichlorbifenilai (PCB) 145
IŠVADOS (3.1 skyriaus) 147
REKOMENDACIJOS 150
LITERATŪRA 153

SANTRAUKA

Nuotekų dumble yra gausu organinių medžiagų, makro ir mikroelementų, todėl šios organinės kilmės atliekos-trąšos gali būti plačiai naudojamos žemės ir miškų ūkio dirvožemiuose, įvairių augalų ir želdinių tręšimui. Tačiau nuotekų dumblo panaudojimas yra neatsiejamas nuo aplinkosaugos problemų, nes dažnai jo sudėtyje esantys teršalai (nitratai, sunkieji metalai, organiniai junginiai ir kiti patogenai), gali neigiamai veikti dirvožemį ir aplinką. Tręšiant augalus nuotekų dumblo (ND) prisidedama prie ekologinės miestų nuotekų dumblo utilizavimo problemos sprendimo, tačiau būtina kontroliuoti jo panaudojimą žemės ūkio paskirties žemėje, siekiant apsaugoti aplinką dėl galimos taršos. Auginant trumpos rotacijos energetinius želdinius, nuotekų dumblas ilgalaikėje perspektyvoje naudojamas kaip dirvožemio gerinimo priemonė gali būti traktuojamas, kaip trąša, papildanti dirvožemį organinėmis ir maisto medžiagomis bei galinti prisidėti įgyvendinant žiedinę ekonomiką. Be to, auginant trumpos rotacijos biomasės želdinius, jų savybė, kaupti sunkiuosius metalus, gali būti panaudota dirvožemio valymui ir remediacijai.

Vykdant Nutribiomass4Life projektą, trumpos rotacijos biomasės želdinių plantacijos aplink Vilniaus miestą buvo sutelktos 60–100 km spinduliu 1800 ha plote. Investicijos į moderniausius Vilniaus miesto komunalinės vandens nuotekų valymo įrenginius, suteikė galimybę biomasės plantacijose naudoti perdirbtą aplinkai draugiškiausią vandenvalos atliekų formą – anaerobiškai apdorotą, džiovintą, granuliuotą nuotekų dumblą. Tačiau nepaisant to, dirvožemio būklės stebėjimas būtinas norint patvirtinti Žiedinės ekonomikos demonstracinio modelio veikimo saugumą. Todėl projekto metu vykdyta dirvožemio savybių stebėsena susidėjo iš dviejų dalių: 1) pagrindinės ir 2) ilgalaikės visapusės stebėsenos. *Pagrindinės stebėsenos metu* (Vilniaus, Švenčionių, Širvintų, Molėtų, Anykščių, Trakų r.) parinktose aikštelėse (pagal vyraujantį toje vietoje dirvožemio tipą ir granuliometrinę sudėtį) dirvožemio ėminiai buvo surinkti ir tiriami dviem etapais: projekto pradžioje – dirvožemio cheminiai rodikliai ištirti visose 414 aikštelėse surinktuose ėminiuose, ir pabaigoje – pakartotinai tirti tik tie dirvožemiai (159), kuriuose želdiniai buvo tręšti vandenvalos nuotekų dumblu (ND). *Ilgalaikės visapusės stebėsenos* metu detaliose 24 stebėjimo (monitoringo) aikštelėse (Vilniaus, Anykščių, Trakų r.) ėminiai buvo imami kasmet 4 metus, tiek netręštose (kontrolinėse), tiek tręštose nuotekų dumblu tyrimo laukų aikštelėse.

Šios veiklos **pagrindinis tikslas** – nenašiuose žemės ūkio paskirties dirvožemiuose, besiskiriančiuose savo tipologija ir granuliometrine sudėtimi, auginant trumpos rotacijos želdinius bei juos tręšiant daug maistinių medžiagų turinčiomis atliekomis (granuliuotu vandenvalos nuotekų dumblu), atlikti pagrindinių dirvožemio cheminių rodiklių pokyčių dirvožemyje stebėsenas (pagrindinę bei ilgalaikę visapusę) ir vertinimą, siekiant užtikrinti tvarų dirvožemio naudojimą, skatinant žiedinės ekonomikos demonstracinio modelio perdavimą kitiems šalies regionams.

Dirvožemių cheminių rodiklių charakteristika ir vertinimas pagrindinės stebėsenos metu. Pagrindinės stebėsenos metu (Vilniaus, Švenčionių, Širvintų, Molėtų, Anykščių, Trakų r.) projekto pradžioje parinktose aikštelėse ištyrus dirvožemio cheminius rodiklius ir įvertinus vidurkių pasiskirstymą skirtinguose dirvožemiuose (mineraliniuose ir organiniuose) pagal gautų reikšmių procentinį pasiskirstymą (%) atitinkamo elemento turtingumo grupėse, nustatyta, mineralinių dirvožemių grupėje sąlygiškai rūgštūs dirvožemiai (pH_{KCl} ≤5,5) sudarė du penktadalius – 41 %, o organiniuose – 28,4 % tirto ploto. Minėtuose dirvožemiuose vyksta intensyvesni jo rūgštėjimo procesai, dėl kurių augalai prasčiau gali įsisavinti svarbiausius makroelementus – azotą, fosforą, kalį,

kalcį, magnį ir mikroelementą molibdeną. Mineraliniai dirvožemiai pasižymėjo ženkliai mažesnėmis C_{org} koncentracijomis ir N_{min} kiekiais nei organiniai dirvožemiai, ir skirtumai vidutiniškai tarp lyginamų skirtingų dirvožemio grupių gali skirtis atitinkamai nuo 4 iki 10 kartų ir nuo 4 iki 7 kartų. Organiniuose dirvožemiuose rasti ženkliai didesni N_{min} kiekiai, dėl juose esančių gausaus organinių medžiagų kiekio, kurių mineralizacijos metu atsipalaiduoja daug maisto medžiagų, ypač mineralinio azoto. Tačiau mineraliniai dirvožemiai projekto laukuose buvo kiek geriau aprūpinti judriuoju P_2O_5 ir K_2O nei organiniai dirvožemiai. Organiniuose dirvožemiuose didelės fosforo ir kalio atsargos randamos organinėse medžiagose ir augalams jos tampa prieinamos tik vykstant intensyviai jų mineralizacijai: kuo intensyvesnė, tuo daugiau atsipalaiduoja judrios mineralinės formos fosforo ir kalio junginių. Todėl fosforo kiekio sumažėjimai ar padidėjimai viršutiniame (0–20 cm) sluoksnyje dažnai yra susiję su durpės mineralizacijos intensyvumu. Judriojo kalcio (CaO) ir judriojo magnio (MgO) koncentracijos tirtų rajonų mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose pagal turtingumo grupes pasiskirstė labai panašiai ir didžiąja dalimi priklausė nuo dirvožemio pH, pasotinimo bazėmis bei jo granuliometrinės sudėties. Tiek mineralinių, tiek organinių dirvožemių grupėje, šių judriųjų elementų daugiau turėjo tie dirvožemiai, kurių pH_{KCl} vertės buvo didesnės ir artimos neutralioms ar šarmiškoms. Mineraliniuose ir organiniuose *dirvožemiuose nustatytos suminės sunkiųjų metalų (*kadmio, švino, chromo, nikelio, vario, cinko, gyvsidabrio) *koncentracijos neviršijo nurodomų* didžiausių leidžiamų sunkiųjų metalų koncentracijų pagal LAND 20-2005, ir svyravo foninio lygio ribose.

Laukai, kuriuose auginami trumpos rotacijos želdiniai (TRŽ), yra Rytų šalies zonoje, Vilniaus, Švenčionių, Širvintų, Molėtų, Anykščių ir Trakų rajonuose, kur vyrauja vieni iš prastesnių ir nederlingų dirvožemių šalyje. Todėl daugumos laukų dirvožemiai buvo prastokos (32,1–37,0 balai) bei prastos (<32,0 balai) ūkinės vertės ir bendrai sudarė 85,9 %. Nors didžiąją dalį laukų sudaro mažai derlingi ir intensyvesnei žemės ūkio veiklai netinkami dirvožemiai, tačiau jie puikiai tinkami auginti įvairius biomasės želdinius ar įveisti miškui. Be to, biomasės želdinius tręšiant apdorotu nuotekų dumblu yra reali galimybė dirvožemį praturtinti gausesniu organinių medžiagų kiekiu ne tik iš dumblo, bet ir su želdinių nuokritomis, nes ilgalaikėje perspektyvoje susidarys palankios sąlygos kauptis organinės anglies sankaupoms ir kitoms augalų maisto medžiagoms.

Dirvožemio tipo įtaka cheminių savybių pokyčiams dirvožemiuose, juos tręšiant apdorotu nuotekų dumblu ir biokuro medienos pelenais. ***Mineralinio azoto (N_{min})*** kiekiai, ***organinės anglies (C_{org}) koncentracija ir jos sankaupos*** priklausė nuo dirvožemio tipo ir jo granuliometrinės sudėties, įmirkimo ir tręšimo organinėmis trąšomis. Vertinant N_{min} bei C_{org} ir jos sankaupas skirtingų tipų dirvožemiuose, matyti, kad palankiausios sąlygos sukaupti ypatingai dideles C_{org} koncentracijas ir jos sankaupas, buvo organiniuose dirvožemiuose, iš dalies ir puveninguose organiniuose-mineraliniuose. Atsižvelgiant į nustatytas N_{min} kiekius (0–60 cm dirvožemio sluoksnyje) ir Corg (0-20 cm sluoksnyje), tręštuose projekto laukuose dirvožemiai pagal tipą, tręšiant nuotekų dumblu 1 kartą, projekto pradžioje ir pabaigoje pasiskirstė mažėjimo tvarka sekančiai: durpžemiai –> šlynžemiai –> išplautžemiai –> balkšvažemiai. Dirvožemio ***pH_{KCl}*** skirtumai skirtinguose dirvožemiuose buvo minimalūs, todėl dirvožemio tipas įtakos beveik neturėjo. *Judrusis P_2O_5* dirvožemiuose ne tik priklausė nuo dirvožemio tipo, bet ir nuo tręšimo nuotekų dumblu, ypač juo tręšiant 2 kartus. Po tręšimo ND visose dirvožemių grupėse, tiek tręšiant 1, tiek 2 kartus, judriojo P_2O_5 nustatytos didesnės koncentracijos ir organiniai bei mineraliniai dirvožemiai perėjo į aukštesnę reikšmių grupę pagal jų turtingumo vertinimą dirvožemyje. Po tręšimo ND (tręšiant tiek 1, tiek 2 kartus) *judriojo K_2O* pokyčiai dirvožemyje buvo minimalūs, kiek efektyvesnis jis buvo tik laukuose

ND tręštuose 1 kartą. Tikėtina, mineraliniuose dirvožemiuose judriojo K_2O koncentracijos daugiau priklausė nuo pačiose dirvodarinės uolienose prigimtinio kalio kiekio nei nuo dirvožemio tipo, o organiniuose dirvožemiuose – nuo kalio gebėjimo atsipalaiduoti iš organinių medžiagų mineralizacijos metu. Tiek mineralinių, tiek organinių-mineralinių ir organinių dirvožemių grupėse, ***judriojo kalcio (CaO)*** ir ***magnio (MgO)*** daugiau sukaupė tie dirvožemiai, kurių pH_{KCl} vertės buvo didesnės ir artimos neutralioms ar šarmiškoms. Tręšimas ND (tręšiant 1 ar 2 kartus) lėmė ženklius judriųjų CaO ir MgO pokyčius visuose skirtingų tipų dirvožemiuose. Sunkiųjų metalų – ***kadmio (Cd), švino (Pb), chromo (Cr), nikelio (Ni), vario (Cu), cinko (Zn) ir gyvsidabrio (Hg)*** – koncentracijos nustatytos mineraliniuose, organiniuose-mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose nei viename projekto lauke neviršijo didžiausių leistinų koncentracijų (DLK), kurias nurodo „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimų aprašas“. Dėl tręšimo ND įtakos sunkiųjų metalų koncentracijos daugumoje didėjo skirtingu intensyvumu, tačiau nustatytos minėtų sunkiųjų metalų koncentracijos viršijo tik foninio lygio ribas, želdinius tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus. Todėl minėtuose dirvožemiuose tarša sunkiaisiais metalais nepasireiškė.

Skirtingos dirvožemio granuliometrinės sudėties įtaka cheminių savybių pokyčiams dirvožemiuose, juos tręšiant apdorotu nuotekų dumblu ir biokuro medienos pelenais. Granuliometrinės sudėties įtaka ***mineralinio azoto (N_{min})*** susikaupimui dirvožemyje yra didelė, nes kuo dirvožemyje mažiau molio dalelių, t. y. kuo lengvesni dirvožemiai (smėliai, priesmėliai), tuo juose N_{min} mažiau, nes jis greičiau išsiplauna į gilesnius dirvožemio sluoksnius, o galiausiai ir į gruntinius vandenis, teršdamas aplinką. Ženkliai daugiau N_{min} susikaupė organinės kilmės dirvožemiuose – durpėse, dėl jose esančių gausaus organinių medžiagų atsargų. Dėl tręšimo ND, N_{min} taip pat tendencingai didėjo visuose skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose, tik ne vienodu intensyvumu. Taigi nustatyti N_{min} kiekiai projekto pradžioje ir pabaigoje skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose, juos tręšiant tiek 1, tiek 2 kartus, pasiskirstė didėjančiai: priesmėliai –> smėlingi priemoliai –> puvenos –> durpės. ***Organinės anglies (C_{org}) koncentracija ir jos sankaupos*** taip pat priklausė nuo dirvožemio granuliometrinės sudėties ir tręšimo nuotekų dumblu. Palankiausios sąlygos sukaupti ypatingai dideles C_{org} koncentracijas ir jos sankaupas, buvo organinės kilmės dirvožemiuose – durpėse. Smėlingi priemoliai lyginant su priesmėliais, taip pat sukaupė daugiau C_{org} ir pasitvirtino tendencijos, kad sunkėjant granuliometrinei sudėčiai, t. y. jos sudėtyje daugėjant molio dalelių, C_{org} koncentracija dirvožemyje buvo linkusi didėti. C_{org} koncentracija ir jos sankaupos nustatytos 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje, pasiskirstė didėjančiai: priesmėliai –> smėlingi priemoliai –> puvenos –> durpės. Granuliometrinės sudėties tiesioginė įtaka ***dirvožemio pH_{KCl}*** nepasireiškė, nes šis rodiklis labiau priklausė nuo karbonatingojo sluoksnio slūgsojimo gylio, dirvožemio pasotinimo bazėmis ir kokie jonai vyravo dirvožemio tirpale. Po tręšimo ND, projekto pabaigoje dirvožemio pH mažai keitėsi ir tik smėlinguose priemoliuose bei puvenose ji sumažėjo 0,1 vnt. ***Judriojo fosforo (P_2O_5)*** koncentracijos dirvožemiuose didėjo, sunkėjant granuliometrinei sudėčiai bei kuo daugiau organinių medžiagų jie turėjo (išimtis puvenas). Dėl tręšimo ND, visuose skirtinguose granuliometrinės sudėties dirvožemiuose fiksuoti teigiami judriojo P_2O_5 pokyčiai, o ryškiausi jie – smėlinguose priemoliuose ir durpėse. ***Judriojo kalcio (CaO) ir judriojo magnio (MgO)*** koncentracijos taip pat didėjo dirvožemiuose, didėjant molio dalelių kiekiui juose. Ypatingai daug judriųjų CaO ir MgO nustatyta durpėse (ND tręštose 1 ir 2 kartus). Dėl tręšimo ND, visuose skirtinguose granuliometrinės sudėties dirvožemiuose fiksuoti ženklūs judriųjų CaO ir MgO pokyčiai. ***Judriojo kalio (K_2O)*** koncentracijoms dirvožemiuose granuliometrinės sudėties įtaka buvo nežymi, nes jo pokyčius labiau lėmė prigimtinis dirvožemių turtingumas šia

maisto medžiaga arba anksčiau šiuose laukuose vykdyta ūkinė veikla. Dėl tręšimo ND, visuose skirtinguose granuliometrinės sudėties dirvožemiuose fiksuoti teigiami judriojo K_2O pokyčiai. ***Sunkiųjų metalų – kadmio (Cd), švino (Pb), chromo (Cr), nikelio (Ni), vario (Cu), cinko (Zn) ir gyvsidabrio (Hg)*** – skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose nei viename projekto lauke neviršijo didžiausių leistinų koncentracijų (DLK). Dėl tręšimo ND įtakos sunkiųjų metalų koncentracijos daugumoje dirvožemių didėjo skirtingu intensyvumu, tačiau nustatytos minėtų sunkiųjų metalų koncentracijos daugumoje viršijo tik foninio lygio ribas, želdinius tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus. Todėl skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose tarša sunkiaisiais metalais nepasireiškė.

Tręšimo nuotekų dumblu ir medienos biokuro pelenais įtaka dirvožemio cheminėms savybėms pagrindinės stebėsenos metu. Bendrai vertinant tręšimo įtaką ***mineraliniam azotui (N_{min})*** dirvožemyje, nustatyta, kad tręšimas buvo efektyvus, o ženklesnius pokyčius laukuose, tręštuose 2 kartus, lėmė sistemingas pakartotinas želdinių tręšimas daug organinių ir mineralinių medžiagų turinčiomis trąšomis ir tręšiamaisiais produktais kas 3 metus. Nuotekų dumblas buvo efektyvesnis dirvožemiuose tręštuose 1 kartą, o nuotekų dumblas derinyje su pelenais – tręštuose 2 kartus. ***Organinės anglies (C_{org}) koncentracijos ir jos sankaupų*** pokyčiai skirtingos kilmės dirvožemiuose dėl tręšimo tendencingai didėjo, išskyrus mineralinės kilmės dirvožemius, tręštus 1 kartą. Didesnes koncentracijas ir sankaupas bei jų pokyčius sukaupė dirvožemiai, tręšti 2 kartus, nes tikėtina pasireiškė liekamasis pirmojo tręšimo ND efektas. Vertinant skirtingo tręšimo įtaką, dėl tręšimo nuotekų dumblu derinyje su medienos biokuro pelenais mineraliniuose dirvožemiuose susikaupė ne tik didesnės C_{org} koncentracijos ir jų sankaupos, bet ir nustatyti pokyčiai dirvožemiuose buvo didesni nei vien tręšiant nuotekų dumblu. Šios tendencijos išryškėjo laukuose tręštuose tiek 1, tiek 2 kartus. Tiek tręšimas nuotekų dumblu, tiek nuotekų dumblu derinyje su medienos biokuro pelenais neturėjo esminės įtakos dirvožemio ***pH_{KCl}***, nes fiksuoti pokyčiai dirvožemyje minimalūs. Tręšiant tik nuotekų dumblu, dirvožemyje fiksuotas nežymus pH sumažėjimas (0,1), o tręšiant nuotekų dumblu derinyje su pelenais – dirvožemių pH išliko nepakitęs. Bendrai vertinant tręšimo *įtaką* ***judriajam fosforui (P_2O_5)*** dirvožemyje, nustatyta, kad efektyvesnis jis buvo laukuose, tręštuose 2 kartus, dėl sistemingo pakartotino tręšimo šiomis daug mineralinių ir organinių medžiagų turinčiomis trąšomis (kas 3 metus). ***Judriojo kalio (K_2O)*** pokyčiai nebuvo tokie ryškūs, tačiau bendrai tręšimo tendencijos panašios. Vertinant skirtingo tręšimo įtaką, dėl nuotekų dumblo derinyje su medienos biokuro pelenais judriojo P_2O_5 ir judriojo K_2O susikaupė dirvožemiuose (tręštuose tiek 1, tiek 2 kartus) daugiau nei vien tik tręšiant nuotekų dumblu. Didesnius pokyčius įtakojo tai, kad P ir K į dirvožemį pateko ne tik su nuotekų dumblu, bet kartu su pelenais. Todėl naudojant dumblą ir pelenus derinyje, ne tik praturtinamas dirvožemis gausesniais organinių, bet kartu ir mineralinių medžiagų kiekiais. ***Judrieji kalcis (CaO)*** *ir* ***magnis (MgO)*** dirvožemiuose dėl tręšimo taip pat tendencingai didėjo, tačiau efektyviau laukuose, tręštuose 1 kartą. Vertinant skirtingo tręšimo įtaką, nuotekų dumblas buvo efektyvesnis judriųjų CaO ir MgO susikaupimui dirvožemiuose (tręštuose tiek 1, tiek 2 kartus), nei tręšiant nuotekų dumblu derinyje su pelenais. Be to, didesnės šių judriųjų elementų koncentracijos nustatytos laukuose tręštuose 2 kartus, o pokyčiai priešingai – 1 kartą tręštuose. Sunkiųjų metalų – ***kadmio (Cd), švino (Pb), chromo (Cr), nikelio (Ni), vario (Cu), cinko (Zn) ir gyvsidabrio (Hg)*** – koncentracijos skirtingai tręštuose dirvožemiuose buvo linkusios didėti ir vertinant bendrai tręšimo įtaką, Pb, Cr, Ni, Cu, ir Zn buvo labiau linkę kauptis dirvožemiuose tręštuose 2 kartus, Hg – tręštuose 1 kartą, o Cd – pokyčiai minimalūs. Dėl tręšimo įtakos nei viename projekto lauke nustatytos sunkiųjų metalų koncentracijos neviršijo didžiausių leistinų koncentracijų (DLK), kurias nurodo „Nuotekų

dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimų aprašas“. Dėl skirtingo tręšimo įtakos sunkiųjų metalų koncentracijos daugumoje dirvožemių didėjo skirtingu intensyvumu, tačiau nustatytos minėtų sunkiųjų metalų koncentracijos daugumoje viršijo tik foninio lygio ribas (išskyrus Hg), želdinius tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus. Taigi nustatytos sunkiųjų metalų koncentracijos lyginant su DLK dirvožemyje, buvo nuo kelių iki keliolikos kartų mažesnės, todėl tarša sunkiaisiais metalais dėl skirtingo tręšimo nenustatyta.

Dirvožemių cheminių rodiklių charakteristika ir vertinimas visapusės stebėsenos metu tiek nuotekų dumblu tręštose, tiek netręštose aikštelėse. Vertinant tręšimo įtaką nuotekų dumblu ***mineralinio azoto (N_{min})*** ir ***judriosios sieros (S_{min})*** pokyčiams, didėjimo tendencijos nustatytos tik laukuose, tręštuose nuotekų dumblu 1 kartą. Priešingai laukuose tręštuose ND 2 kartus nustatyti šių judriųjų medžiagų kiekiai daugumoje buvo mažesni nei kontrolinėse aikštelėse. N_{min} ir S_{min} kiekius dirvožemyje ženkliai įtakoja aplinkos veiksniai, ypač krituliai, kurie gali paskatinti šiuos junginius migruoti į gilesnius dirvožemio sluoksnius, taip pat organinių medžiagų mineralizacijos intensyvumas. Be to, šiuose laukuose augo 6–7 metų senumo drebulės, kurių poreikis maisto medžiagoms tikėtina buvo didesnis nei 4–5 metų amžiaus tuopų, ir tai atsispindėjo dirvožemiuose. Tręšimas nuotekų dumblu tendencingai didino ***organinės anglies (C_{org})*** koncentracijas tirtuose dirvožemiuose, tik nevienodu intensyvumu. Ryškesni pokyčiai stebimi aikštelėse, kuriose želdiniai buvo tręšti ND 1 kartą. Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų kontrolinių aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose C_{org} koncentracijos buvo didesnės, tręšiant ir 1, ir 2 kartus. Netręštuose dirvožemiuose C_{org} koncentracija per tyrimų laikotarpį (2018–2022 m.) tendencingai mažėjo, nes dirvožemių nepapildant organinėmis medžiagomis, mažėja jų atsargos, tame tarpe ir C_{org}. Nuotekų dumblas neturėjo įtakos dirvožemio ***pH_{KCl}*** pokyčiams, kurie buvo nedėsningi ir minimalūs. Tręšimas nuotekų dumblu teigiamai įtakojo ***judriųjų fosforo (P_2O_5), kalio (K_2O) ir kalcio (CaO),*** iš dalies ir ***judriojo magnio (MgO)*** kaupimąsi dirvožemiuose. Po nuotekų dumblo įterpimo, sekančiais metais tiek tręštuose 1 kartą, tiek 2 kartus dirvožemiuose judriųjų junginių koncentracijos didėjo, o vėlesniais metais jau buvo linkusios mažėti, nes nemažus jų kiekius pasisavino ir patys želdiniai savo augimo funkcijoms užtikrinti. Bet kokiu atveju nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiai pasižymėjo didesnėmis judriųjų P_2O_5, K_2O, CaO ir MgO koncentracijomis nei netręštų, ir ypač ND 2 kartus tręštuose laukuose. Kaip matome, ilgalaikėje perspektyvoje nuotekų dumblas gali užtikrinti judriųjų junginių kaupimąsi dirvožemyje, ne tik organinėje formoje, bet ir augalams prieinamoje mineralinėje.

Vertinant tręšimo įtaką ***judriesiems mikroelementams (B, Cu, Zn, Fe, Mn, Mo)***, nustatyta, kad nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiai sukaupė didesnes šių elementų koncentracijas nei netręštų. Be to, didesnės, o kartais ir ženkliai (Cu, Zn, Mn, iš dalies ir Fe), jų koncentracijos susikaupė laukų dirvožemiuose, nuotekų dumblu tręštuose 2 kartus. Pamečiui analizuojant sudarytas elementų kitimo dirvožemiuose kreives, tręštose stebėsenos aikštelėse (tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus) po dumblo įterpimo sekančiais metais daugelio judriųjų mikroelementų (Cu, Fe, Mn ir Mo) koncentracijos tendencingai didėjo, tačiau paskutiniaisiais tyrimų metais vėl buvo linkę mažėti, nes želdiniai nemažus jų kiekius naudojo savo augimo funkcijos užtikrinti. Dirvožemiai tręšti nuotekų dumblu daugumoje sukaupė didesnes ***sunkiųjų metalų (Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn***, išskyrus ***Hg*** ir iš dalies ***As***) koncentracijas nei netręšti. Be to, didesnės, o kartais ir ženkliai (Cr, Ni, Cu, Zn, As), sunkiųjų metalų koncentracijos susikaupė laukų dirvožemiuose, nuotekų dumblu tręštuose 2 kartus. Tačiau sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemiuose neviršijo didžiausių lestinų koncentracijų (DLK) ir daugumoje buvo tik didesnės už jų foninį lygį (FL), nurodomą „Nuotekų dumblo tvarkymo

ir panaudojimo reikalavimų“ apraše. Nustatytos vidutinės sunkiųjų metalų koncentracijos lyginant su DLK dirvožemyje, buvo nuo kelių iki keliolikos kartų mažesnės, todėl tarša sunkiaisiais metalais dėl tręšimo nepasireiškė. ***Suminės azoto (N), fosforo (P), kalio (K)*** *bei* ***sieros (S)*** koncentracijos dirvožemiuose kito labai siaurose ribose. Praėjus metams po nuotekų dumblo įterpimo, kiek ryškesni pokyčiai išryškėjo tik suminiam N ir K, kai šių elementų dirvožemiuose nežymiai padidėjo. Suminis P ir suminė S kito paklaidų ribose. Tręšti dirvožemiai pasižymėjo didesnėmis koncentracijomis nei netręšti. Be to, netręštuose dirvožemiuose šių elementų koncentracijos taip pat buvo linkusios didėti, tikėtina dėl su želdinių nuokritomis į juos patenkančių organinių medžiagų poveikio. Tiek netręštų (kontrolinių), tiek tręštų aikštelių dirvožemiuose ***chloridų (Cl⁻)*** koncentracijos nei vienais tyrimų metais neviršijo didžiausios leistinos koncentracijos (DLK=60 mg kg^{-1}). Tiek nuotekų dumblu netręštose, tiek tręštose aikštelėse (tręšiant 1 ar 2 kartus) chloridų koncentracijos tendencingai didėjo, kiek intensyviau laukuose tręštuose ND 2 kartus. Todėl tikėtina, kad chloridų kaupimąsi įtakojo tiek natūraliai aplinkoje vykstantys procesai iš atmosferos, tiek tręšimas nuotekų dumblu, kuris šiek tiek sustiprino minėtas tendencijas. Tręšimas nuotekų dumblu neturėjo ženklios įtakos ***elektrinio laidumo*** pokyčiams dirvožemiuose. Šis rodiklis buvo kiek didesnis tręštuose dirvožemiuose, tiek tręštuose 1, tiek 2 kartus, tačiau nustatytos vertės buvo mažesnės nei 100 mS s^{-1}, o tai reiškia, kad dirvožemyje dominuoja ne druskos, o molio dalelės ir organinės medžiagos.

Laukuose želdinių tręšimui naudojant nuo 11 iki 33 t ha^{-1} džiovinto granuliuoto nuotekų dumblo normas, tarša ***organiniais teršalais*** (policiklinių aromatinių angliavandenilių (PAA) ir polichlorbifenilų (PCB) nepasireiškė. Vertinant organinių teršalų koncentracijas tiek atskirai, tiek suminę jų koncentraciją (Σ PAA ir Σ PCB) visuose dirvožemio ėminiuose nustatytos PAA ir PCB koncentracijos buvo žemiau nustatymo ribos: atitinkamai <0,01 mg kg^{-1} ir <0,005 mg kg^{-1}. Todėl tręšimas apdorotu nuotekų dumblu buvo saugus ir neturėjo neigiamo poveikiui tiek aplinkai, tiek žmonėms.

Rekomendacijos. Investicijos į moderniausius Vilniaus miesto komunalinės vandens nuotekų valymo įrenginius, suteikė galimybę biomasės plantacijose naudoti perdirbtą aplinkai draugiškiausią vandenvalos atliekų formą – anaerobiškai apdorotą, džiovintą, granuliuotą nuotekų dumblą. Tačiau nepaisant to, dirvožemio būklės stebėjimas yra būtinas norint patvirtinti Žiedinės ekonomikos demonstracinio modelio veikimo saugumą. Lietuvoje nuotekų dumblo naudojimą reglamentuoja LAND 20-2005 „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimai“, nurodantys didžiausias leistinas sunkiųjų metalų koncentracijas dirvožemyje (DLK), kurias viršijus tręšimas tokiu dumblu draudžiamas. Todėl labai svarbu ir būtina toliau laikytis šių rekomendacijų, kad išvengtume galimos taršos. Prieš naudojant šias organines atliekas tręšimui ir siekiant išlaikyti aukštą trumpos rotacijos želdinių bei padidinti dirvožemio derlingumo lygį, būtina atlikti ne tik dirvožemio (sunkiųjų metalų, pH_{KCl}), bet ir dumblo, tyrimus, ir pagal tai parinkti tręšimo normas, kurios užtikrintų ne tik želdinių maisto medžiagų poreikius, bet ir saugotų dirvožemius bei aplinką nuo galimos taršos.

Vykdant Nutribiomass4Life projektą, būtent šiuos tikslus ir pavyko pasiekti, nes termiškai apdorotu nuotekų dumblu tręšti mažesnio našumo žemės ūkio paskirties dirvožemiai, tiek pagrindinės, tiek ilgalaikės visapusės stebėsenos metu sukaupė daugiau organinės anglies, mineralinio azoto, judriųjų fosforo, kalio, kalcio ir magnio, mikroelementų. Be to, dėl tręšimo apdorotu nuotekų dumblu, dirvožemiuose nebuvo nustatyta jokio pobūdžio tarša ir taip pat nekilo vandens telkinių eutrofikacijos pavojus dėl galimo pertręšimo azoto junginiais. Taigi atlikti tyrimai įrodo, kad projekto laukuose želdinių tręšimui naudojamas, tinkamai termiškai apdorotas, nuotekų

dumblas yra kokybiška ir vertinga organinė atlieka (trąša), dirvožemius papildanti ne tik organinėmis medžiagomis bei organine anglimi, bet ir kitomis augalams labai svarbiomis maisto medžiagomis, ir kuri gali būti prilyginama tręšiamiesiems produktams, tokiems kaip medienos biokuro pelenai, iš kurių gaminamos granuliuotos mineralinės-organinės trąšos.

Šalia visų privalomų laikytis rekomendacijų, nurodomų LAND 20-2005 „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimuose“, prieš tręšiant nuotekų dumblu, labai svarbu atsižvelgti ir į pačio dirvožemio chemines ir fizikines savybes, jo tipą ir granuliometrinę sudėtį, pH, užmirkimą, nes šie veiksniai turi didelės įtakos įvairių medžiagų akumuliacijai, prieinamumui, judriųjų junginių (kaip azoto ir sieros), kurių nesorbuoja pats dirvožemis, migracijai į gilesnius dirvožemio sluoksnius, o iš jų į gruntinius vandenis. Taip pat svarbu auginamų augalų rūšis (energetiniai želdiniai ar žemės ūko augalai, pievos ganyklos), jų paskirtis ir poreikis maisto medžiagoms, nes nuo to priklauso ir tręšimo šia organine atlieka - trąša normos. Todėl tręšimas nuotekų dumblu, laikantis visų rekomendacijų, yra ne mažiau efektyvus už tręšimą kitomis organinėmis trąšomis (pvz. galvijų, paukščių mėšlą) ir nekeliantis grėsmių aplinkai. Ilgalaikėje perspektyvoje nuotekų dumblas žemės ūkyje, auginant trumpos rotacijos želdinius, rekomenduojamas naudoti kaip dirvožemio gerinimo priemonė gali būti traktuojamas, kaip trąša ar tręšiamasis produktas, papildantis dirvožemį organinėmis medžiagomis, pagerinantis dirvožemio kokybę, ypač anglies ir maisto medžiagų balansą bei galintis prisidėti įgyvendinant žiedinę ekonomiką šalyje.

Trumpos rotacijos želdiniai kartu su nuotekų dumblu buvo tręšiami ir medienos biokuro pelenais, kurie gaunami sudeginus projekto laukuose užaugintas hibridines tuopas ir drebules, ir taip buvo užbaigiamas šiame projekte diegiamas žiedinės ekonomikos modelio ciklas. Pirmiausia, biokuro medienos pelenais buvo siekiama pašarminti dirvožemių rūgštoką reakciją, tačiau kalkinimo efekto tręštuose projekto laukuose nepavyko pasiekti, nes naudotas pelenų kiekis buvo per mažas (0,5 t ha^{-1}). Todėl siekiant neutralizuoti dirvožemių rūgštoką reakciją, rekomenduotume padidinti naudojamų pelenų normą, remiantis „Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklėmis“ (Taisyklės), kuriose yra nurodomi galimi naudoti pelenų kiekiai, esant skirtingai dirvožemių pH, įvairios granuliometrinės sudėties dirvožemiuose.

Tręšiant medienos kuro pelenais kartu su nuotekų dumblu dirvožemiai praturtinami augalams reikalingais makroelementais (Ca, K, P, S ir Mg) ir mikroelementais. Tačiau kartu su šiomis maisto medžiagomis į dirvožemį gali patekti ir sunkieji metalai, kurie taip pat kaip ir nuotekų dumblo, taip ir pelenų naudojimui, yra ribojantis veiksnys, kurį kontroliuoja „Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklės“. Todėl tręšiant didesne pelenų norma ir siekiant užtikrinti saugų jų naudojimą, kuris neturėtų neigiamų padarinių aplinkai ir dirvožemiui, tektų atlikti sunkiųjų metalų koncentracijų, granuliometrinės sudėties, pH_{KCl}, judriųjų kalio (K_2O) ir fosforo (P_2O_5) kiekių dirvožemiuose tyrimus, kaip ir nurodo taisyklės.

Projekto laukų tręšimas medienos kuro pelenais kartu su nuotekų dumblu buvo efektyvus, nes dirvožemiai daugiau sukaupė mineralinio azoto, judriųjų fosforo ir kalio, organinės anglies, lyginant tik su dumblu tręštais. Sunkiųjų metalų – chromo, nikelio, vario ir cinko – taip pat nustatyta daugiau, tačiau šių metalų koncentracijos neviršijo dirvožemyje didžiausių leidžiamų koncentracijų (DLK), svyravo foninio lygio ribose ir buvo nuo kelių iki keliolikos kartų mažesnės už DLK. Todėl medienos kuro pelenų naudojimas rūgštokuose dirvožemiuose (balkšvažemiuose, išplautžemiuose) kaip kalkinimo priemonės yra ne tik tikslingas, bet naudingas ir rekomenduotinas, siekiant ne tik

neutralizuoti rūgštesnę reakciją, kurioje dažnai padidėja sunkiųjų metalų judrumas, o taip pat praturtinti dirvožemius maisto medžiagomis ir užtikrinti jų derlingumo potencialą.

Prieš tręšiant medienos biokuro pelenais, ypač didesniais kiekiais, visgi rekomenduotume atsižvelgti į želdinių amžių, nes jaunų medelių šaknys gali jautriau sureaguoti į šarminę pelenų aplinką, kuri juos gali nudeginti ir sutrikdyti tolesnį augimą bei vystymąsi arba visai sunykti. Todėl vertėtų neskubėti energetinių želdinių tręšti pelenais 1–2 jų augimo metais. Taip pat pelenai turi būti išbarstomi, želdinių šakų vainiko plote, nes būtent tokiame plote yra išsidėsčiusios jų šaknys.

Raktiniai žodžiai: nuotekų dumblas, trumpos rotacijos energetiniai želdiniai, dirvožemio cheminės savybės, dirvožemio tipas, dirvožemio granuliometrinė sudėtis, tręšimas, tarša.

SUMMARY

Sewage sludge (SS) is rich in organic substances, macro and microelements, so this waste-fertilizer of organic origin can be widely used in agricultural and forestry soils, for fertilizing various plants and plantations. However, the use of sewage sludge is inseparable from environmental problems, because often the pollutants contained in it (nitrates, heavy metals, organic compounds and other pathogens) can negatively affect the soil and the environment. Fertilizing plants with sewage sludge (SS) contributes to the ecological solution of the urban sewage sludge utilization problem, but it is necessary to control its use on agricultural land in order to protect the environment due to possible pollution. When growing short-rotation energy crops, sewage sludge can be treated in the long term as a means of improving the soil, as a fertilizer that adds organic and food substances to the soil and can contribute to the implementation of a circular economy. In addition, when growing short-rotation biomass plantations, their ability to accumulate heavy metals can be used for soil cleaning and remediation.

As part of the Nutribiosmass4Life project, short-rotation biomass plantations were concentrated around the city of Vilnius in a radius of 60-100 km in an area of 1800 ha. Investments in state-of-the-art wastewater treatment facilities of the Vilnius City Municipal Corporation have made it possible to use the most environmentally friendly recycled form of wastewater treatment waste in biomass plantations - anaerobically treated, dried, granulated sewage sludge. However, despite this, soil condition monitoring is essential to confirm the operational safety of the Circular Economy Demonstration Model. Therefore, the monitoring of soil properties during the project consisted of two parts: 1) basic (main) and 2) long-term comprehensive monitoring. During the main monitoring (Vilnius, Švenčionys, Širvintos, Molėtai, Anykščiai, Trakai districts), soil samples were collected and analysed in two stages at the selected sites (according to the prevailing soil type and granulometric composition at that location): at the beginning of the project, soil chemical indicators were examined in all 414 sites in the collected samples, and at the end, only those soils (159) where plants were fertilized with sewage sludge (ND) were re-examined. During long-term comprehensive monitoring, samples were taken every year for 4 years at detailed 24 monitoring (monitoring) sites (Vilnius, Anykščiai, Trakai districts), both unfertilized (control) and fertilized with sewage sludge research fields.

The main goal of this activity is to perform monitoring of changes in the main chemical indicators of the soil in the soil (main and long-term comprehensive) in non-productive agricultural soils, differing in their typology and granulometric composition, while growing short-rotation crops and fertilizing them with nutrient-rich waste (sewage sludge). and evaluation to ensure sustainable soil use, promoting the transfer of the circular economy demonstration model to other regions of the country.

Characterization and assessment of soil chemical indicators during the main monitoring. During the main monitoring (Vilnius, Švenčionys, Širvintos, Molėtai, Anykščiai, Trakai districts) at the sites selected at the beginning of the project, after examining the chemical indicators of the soil and evaluating the distribution of averages in different soils (mineral and organic) according to the percentage distribution of the obtained values (%) in the richness groups of the relevant element, it was found that in the group of mineral soils, conditionally acidic soils ($pH_{KCl} \leq 5.5$) accounted for two fifths - 41%, and in organic soils - 28.4% of the studied area. In the above-mentioned soils, more

intensive processes of its acidification take place, as a result of which plants are less able to absorb the most important macro elements - nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and the microelement molybdenum. Mineral soils showed significantly lower C_{org} concentrations and N_{min} levels than organic soils, and the average differences between the different soil groups compared could be 4- to 10-fold and 4- to 7-fold, respectively. Significantly higher amounts of N_{min} were found in organic soils, due to the abundant amount of organic matter in them, which releases a lot of nutrients during mineralization, especially mineral nitrogen.

However, the mineral soils in the project fields were somewhat better supplied with mobile P_2O_5 and K_2O than the organic soils. In organic soils, large reserves of phosphorus and potassium are found in organic materials and they become available to plants only when their mineralization is intense: the more intense, the more mobile mineral forms of phosphorus and potassium compounds are released. Therefore, decreases or increases in phosphorus content in the upper (0-20 cm) layer are often related to the intensity of peat mineralization. The concentrations of mobile calcium (CaO) and mobile magnesium (MgO) in the mineral and organic soils of the studied areas were distributed very similarly according to richness groups and largely depended on soil pH, saturation with bases and its granulometric composition. Both in the group of mineral and organic soils, those soils with higher pH_{KCl} values and close to neutral or alkaline had more of these mobile elements. The total concentrations of heavy metals (cadmium, lead, chromium, nickel, copper, zinc, mercury) determined in mineral and organic soils did not exceed the specified maximum permitted concentrations of heavy metals according to LAND 20-2005, and varied within the background level.

The fields where short rotation crops are grown are located in the Eastern part of the country, in Vilnius, Švenčionys, Širvintos, Molėtai, Anykščiai and Trakai districts, where some of the poorer and infertile soils in the country prevail. Therefore, the soils of most of the fields were of poor (32.1-37.0 points) and poor (<32.0 points) economic value and made up 85.9% in total. Although most of the fields consist of low-yielding and unsuitable soils for more intensive agricultural activities, they are perfectly suitable for growing various biomass plants or planting forests. In addition, fertilizing biomass plantations with treated sewage sludge is a real opportunity to enrich the soil with a greater amount of organic matter, not only from sludge, but also with plantation waste, as in the long term, favourable conditions will be created for the accumulation of organic carbon and other plant nutrients.

Influence of soil type on changes in chemical properties of soils fertilized with treated sewage sludge and biofuel wood ash. The amounts of ***mineral nitrogen (N_{min})***, *the* ***concentration of organic carbon (C_{org})*** and ***its accumulation*** depended on the type of soil and its granulometric composition, soaking and fertilizing with organic fertilizers. When evaluating N_{min} and C_{org} and its accumulations in different types of soils, it can be seen that the most favourable conditions for the accumulation of particularly high concentrations of C_{org} and its accumulations were in organic soils, partly also in rotten organic-mineral ones. Considering the determined amounts of N_{min} (in the 0-60 cm soil layer) and C_{org} (in the 0-20 cm layer), the soils in the fertilized project fields by type, with sewage sludge fertilization 1 time, were distributed in descending order at the beginning and end of the project in the following order: Histosols -> Gleysols - > Luvisols -> Retisols. Differences in ***soil pH_{KCl}*** between different soils were minimal, so soil type had almost no effect. The ***mobile P_2O_5*** in the soils depended not only on the soil type, but also on the fertilization with sewage sludge, especially when it was fertilized twice. After SS fertilization in all soil groups, both in 1 and 2 fertilizations,

higher concentrations of mobile P_2O_5 were found and organic and mineral soils moved to a higher group of values according to their richness assessment in the soil. After fertilization with SS (fertilizing both 1 and 2 times), the changes in ***mobile K_2O*** in the soil were minimal, it was somewhat more effective only in fields fertilized with SS 1 time. In mineral soils, concentrations of mobile K_2O probably depended more on the natural potassium content of the bedrock itself than on soil type, and in organic soils on the ability of potassium to be released from organic matter during mineralization. Both in mineral and organic-mineral and organic soil groups, ***mobile calcium (CaO)*** and ***magnesium (MgO)*** accumulated more in those soils with higher pH_{KCl} values and close to neutral or alkaline. Fertilization with SS (1 or 2 fertilizations) resulted in significant changes in mobile CaO and MgO in all different soil types. Concentrations of ***heavy metals - cadmium (Cd), lead (Pb), chromium (Cr), nickel (Ni), copper (Cu), zinc (Zn) and mercury (Hg)*** - were determined in mineral, organic-mineral and organic soils in none in the field of the project did not exceed the maximum permissible concentrations (MPC), which are specified in the "Description of requirements for handling and utilization of sewage sludge". Due to the influence of SS fertilization, the concentrations of heavy metals increased in most cases with different intensity, but the determined concentrations of the mentioned heavy metals exceeded only the limits of the background level, when plants were fertilized with SS both 1 time and 2 times. Therefore, heavy metal pollution did not occur in the mentioned soils.

Influence of different soil texture of soil on changes in chemical properties of soils after fertilization with treated sewage sludge and biofuel wood ash. The influence of the soil texture on the accumulation of ***mineral nitrogen (N_{min})*** in the soil is significant, because the fewer clay particles in the soil, i.e., the lighter the soils (sands, sandy loams), the less N_{min} they contain, because it washes out faster into the deeper layers of the soil, and finally into the groundwater, polluting the environment. Significantly more N_{min} accumulated in soils of organic origin - peat, due to the rich reserves of organic matter contained in them. As a result of fertilization, SS, N_{min} also tended to increase in all soils with different soil texture, but not at the same intensity. Thus, the determined amounts of N_{min} at the beginning and end of the project in soils of different soil texture, when they were fertilized both 1 and 2 times, were distributed in increasing order: sandy loam (clay < 9%) -> sandy loam (clay 9-20%) -> peaven -> peat. The concentration of ***organic carbon (C_{org})*** and its accumulation also depended on the soil texture and fertilization with sewage sludge. The most favourable conditions for the accumulation of particularly high concentrations of C_{org} and its accumulations were in soils of organic origin - peat. Sandy loams (clay 9-20%), compared to sandy loams (clay < 9%), also accumulated more C_{org} and the trends were confirmed that as the soil texture gets heavier, i.e., with increasing clay particles in its composition, the concentration of C_{org} in the soil tended to increase. The concentration of C_{org} and its accumulations were determined in the 0-20 cm soil layer, distributed in increasing order: sandy loam (clay < 9%) -> sandy loam (clay 9-20%) -> peaven -> peat. The direct influence of the soil texture on ***soil pH_{KCl}*** did not appear, because this indicator depended more on the depth of subsidence of the carbonate layer, the saturation of the soil with bases and what ions prevailed in the soil solution. After fertilization with SS, at the end of the project, soil pH changed little and only in sandy loams and rots it decreased by 0.1 units. The concentration of ***mobile P_2O_5*** in the soils increased as the soil got heavier and the more organic matter they contained (except peaven). As a result of fertilization with SS, positive changes in mobile P_2O_5

were recorded in all different soil texture soils, and they were most pronounced in sandy loams (clay 9-20%) and peats. The concentrations of ***mobile calcium (CaO)*** and ***mobile magnesium (MgO)*** also increased in the soils as the content of clay particles increased. A particularly high amount of mobile CaO and MgO was found in peat (ND fertilizers 1 and 2 times). As a result of SS fertilization, significant changes in mobile CaO and MgO were recorded in all soils with different soil texture. The influence of the granulometric composition on the concentrations of ***mobile potassium (K_2O)*** in the soils was insignificant, as its changes were more determined by the natural richness of the soils with this nutrient or by the economic activities previously carried out in these fields. As a result of fertilization with SS, positive changes in mobile K_2O were recorded in all soils of different soil texture. ***Heavy metals - cadmium (Cd), lead (Pb), chromium (Cr), nickel (Ni), copper (Cu), zinc (Zn) and mercury (Hg)*** - in soils of different soil texture did not exceed the maximum permissible concentrations in any of the project fields (MPC). Due to the influence of SS fertilization, the concentration of heavy metals in most soils increased with different intensity, but the determined concentrations of the mentioned heavy metals in most of them exceeded only the limits of the background level, when the plants were fertilized with ND both 1 time and 2 times. Therefore, heavy metal pollution did not occur in soils with different soil texture.

The influence of fertilization with sewage sludge and wood biofuel ash on soil chemical properties during the main monitoring. In the overall assessment of the influence of fertilization on ***mineral nitrogen (N_{min})*** in the soil, it was found that fertilization was effective, and more significant changes in the fields fertilized twice were caused by the systematic re-fertilization of the plantations with fertilizers and fertilization products containing a lot of organic and mineral substances every 3 years. Sewage sludge was more effective in soils fertilized 1 time, and sewage sludge in combination with wood biofuel ash - in soils fertilized 2 times. Changes in the concentration of ***organic carbon (C_{org})*** and ***its accumulations*** in soils of different origins tended to increase due to fertilization, except for soils of mineral origin that were fertilized 1 time. Higher concentrations and accumulations and their changes were accumulated by soils fertilized 2 times, because the residual SS effect of the first fertilization is likely to have occurred. Evaluating the influence of different fertilization, fertilization with sewage sludge in combination with wood biofuel ash not only resulted in higher concentrations of C_{org} and their accumulation in mineral soils, but also the identified changes in the soils were greater than with sewage sludge fertilization alone. These trends were evident in fields fertilized both 1 and 2 times. Both sewage sludge fertilization and sewage sludge in combination with wood biofuel ash had no significant effect on ***soil pH_{KCl}***, as the fixed changes in the soil were minimal. When fertilizing only with sewage sludge, a slight decrease in pH (0.1) was recorded in the soil, while when fertilizing sewage sludge in combination with ash, the soil pH remained unchanged. In general evaluation of the influence of fertilization on ***mobile phosphorus (P_2O_5)*** in the soil, it was found that it was more effective in fields fertilized twice, due to systematic re-fertilization with these fertilizers containing a lot of mineral and organic substances (every 3 years). The changes in ***mobile potassium (K_2O)*** were not so pronounced, but overall fertilization trends were similar. Evaluating the influence of different fertilization, the combination of sewage sludge with wood biofuel ash resulted in higher accumulation of mobile P_2O_5 and mobile K_2O in soils (both 1 and 2 times fertilized) than sewage sludge alone. Greater changes were influenced by the fact that P and K entered the soil not only with sewage sludge, but also with ash. Therefore, using sludge and

ash in combination not only enriches the soil with greater amounts of organic matter, but also with mineral substances. ***Mobile calcium (CaO)*** and ***magnesium (MgO)*** in the soils tended to increase due to fertilization, but more effectively in fields fertilized 1 time. Evaluating the influence of different fertilization, sewage sludge was more effective for the accumulation of mobile CaO and MgO in soils (both 1 and 2 times fertilized) than when sewage sludge was fertilized in combination with ash. In addition, higher concentrations of these mobile elements were found in the fertilized fields 2 times, and the opposite changes - 1 time in the fertilized ones. Concentrations of ***heavy metals - cadmium (Cd), lead (Pb), chromium (Cr), nickel (Ni), copper (Cu), zinc (Zn) and mercury (Hg)*** - tended to increase in the differently fertilized soils and when assessing the overall effect of fertilization, Pb, Cr, Ni, Cu, and Zn were more likely to accumulate in soils fertilized 2 times, Hg - in soils fertilized 1 time, and Cd - the changes were minimal. Due to the influence of fertilization, the concentrations of heavy metals determined in none of the project fields did not exceed the maximum permissible concentrations (MPC), which are specified in the "Description of requirements for sewage sludge management and utilization". Due to the influence of different fertilization, the concentration of heavy metals in most soils increased with different intensities, but the determined concentrations of the mentioned heavy metals in most of them only exceeded the limits of the background level (except for Hg), when plants were fertilized with SS both 1 time and 2 times. Thus, the determined concentrations of heavy metals compared to the MPC in the soil were several to ten times lower, so heavy metal pollution due to different fertilization was not detected.

Characterization and assessment of soil chemical indicators during comprehensive monitoring both in sewage sludge-fertilized and non-fertilized sites. When evaluating the influence of fertilization with sewage sludge on changes in ***mineral nitrogen (N_{min})*** and ***mobile sulphur (S_{min})***, increasing trends were determined only in fields fertilized with sewage sludge 1 time. On the contrary, the amounts of these mobile substances determined in the fields fertilized with SS 2 times were mostly lower than in the control plots. The amounts of N_{min} and S_{min} in the soil are significantly influenced by environmental factors, especially precipitation, which can induce the migration of these compounds into deeper soil layers, as well as the intensity of mineralization of organic matter. In addition, these fields contained 6–7-year-old aspens, which likely had higher nutrient requirements than 4–5-year-old poplars, and this was reflected in the soils. Fertilization with sewage sludge tended to increase ***organic carbon (C_{org})*** concentrations in the studied soils, but with varying intensity. More pronounced changes are observed in the plots where the plants were fertilized with SS 1 time. When comparing changes between fertilized and unfertilized control plots, C_{org} concentrations were higher in fertilized soils with both 1- and 2-fold fertilization in all study years after sludge application. In non-fertilized soils, the concentration of C_{org} tended to decrease during the research period (2018-2022), because without supplementing soils with organic matter, their reserves, including C_{org}, decrease. Sewage sludge did not affect changes in ***soil pH_{KCl}***, which were erratic and minimal. Fertilization with sewage sludge had a positive effect on the accumulation of ***mobile phosphorus (P_2O_5), potassium (K_2O)*** and ***calcium (CaO),*** and partly also ***mobile magnesium (MgO)*** in soils. After the introduction of sewage sludge, the concentrations of mobile compounds increased in both the 1-time and 2-time fertilized soils in the following years, and in the following years they tended to decrease, as considerable amounts were absorbed by the plants themselves to ensure their growth functions. In any case, the soils of the sewage sludge-fertilized plots showed

higher concentrations of mobile P_2O_5, K_2O, CaO and MgO than the unfertilized ones, and especially in the SS 2-times fertilized fields. As we can see, in the long term, sewage sludge can ensure the accumulation of mobile compounds in the soil, not only in organic form, but also in mineral form available to plants. Evaluating the influence of fertilization on mobile ***microelements (B, Cu, Zn, Fe, Mn, Mo)***, it was found that the soils of the sites fertilized with sewage sludge accumulated higher concentrations of these elements than those without fertilization. In addition, their concentrations were higher and sometimes significantly higher (Cu, Zn, Mn, and partly Fe) in field soils fertilized with sewage sludge 2 times. Analysing the curves of changes in elements in the soil, the concentrations of many mobile microelements (Cu, Fe, Mn and Mo) tended to increase in the following years after the sludge application in the fertilized monitoring sites (with SS fertilization both 1 time and 2 times), but in the last years of the research they tended again decrease, because the plantations used considerable amounts of them to ensure their growth function. Soils fertilized with sewage sludge accumulated higher concentrations of ***heavy metals (Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn***, except for ***Hg*** and partially ***As***) than unfertilized soils. In addition, higher, and sometimes significantly (Cr, Ni, Cu, Zn, As), concentrations of heavy metals accumulated in field soils fertilized with sewage sludge 2 times. However, the concentrations of heavy metals in the soils did not exceed the maximum permissible concentrations (MPC) and in most cases were only higher than their background level (BL), specified in the description of "Sewage sludge handling and utilization requirements". The determined average concentrations of heavy metals compared to the MPC in the soil were several to ten times lower, so heavy metal pollution did not occur due to fertilization. ***The total concentrations of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K) and sulphur (S)*** in soils are within very narrow limits. A year after sewage sludge application, slightly more pronounced changes were evident only for total N and K, when these elements increased slightly in the soils. Total P and total S within the tolerances of each other. Fertilized soils showed higher concentrations than unfertilized ones. In addition, in unfertilized soils, the concentrations of these elements also tended to increase, probably due to the effect of organic matter entering them with plantation fallout. ***Chloride (Cl-)*** concentrations in the soils of both unfertilized (control) and fertilized plots did not exceed the maximum permissible concentration (MPC=60 mg kg^{-1}) in any of the research years. Chloride concentrations tended to increase both in sites not fertilized with sewage sludge and fertilized (with fertilization 1 or 2 times), but more intensively in fields fertilized with SS 2 times. Therefore, it is likely that the accumulation of chlorides was influenced by both naturally occurring processes from the atmosphere and fertilization with sewage sludge, which somewhat strengthened the aforementioned trends. Fertilization with sewage sludge had no significant effect on changes in ***electrical conductivity*** in soils. This rate was somewhat higher in the fertilized soils, both 1 and 2 times fertilized, but the values found were below 100 mS s^{-1}, which means that the soil is not dominated by salts, but by clay particles and organic matter. In the fields, when rates of 11 to 33 t ha^{-1} of dried granular sewage sludge were used for fertilizing plantations, pollution with organic pollutants (polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and polychlorinated biphenyls (PCB) did not occur. When evaluating the concentrations of organic pollutants both individually and as a total of their concentration (Σ PAH and ΣPCB), PAH and PCB concentrations in all soil samples were below the limit of detection: <0.01 mg kg^{-1} and <0.005 mg kg^{-1}, respectively. Therefore, fertilization with treated sewage sludge was safe and had no adverse effects on both the environment and humans.

Recommendations. Investments in state-of-the-art wastewater treatment facilities of the Vilnius City Municipal Corporation have made it possible to use the most environmentally friendly recycled form of wastewater treatment waste in biomass plantations - anaerobically treated, dried, granulated sewage sludge. However, despite this, soil condition monitoring is essential to confirm the operational safety of the Circular Economy Demonstration Model. In Lithuania, the use of sewage sludge is regulated by LAND 20-2005 "Requirements for handling and use of sewage sludge", which specify the maximum permissible concentrations of heavy metals in the soil (MPC), exceeding which fertilization with such sludge is prohibited. Therefore, it is very important and necessary to continue to follow these recommendations in order to avoid possible contamination. Before using these organic wastes for fertilization and in order to maintain a high level of short-rotation plantations and soil fertility, it is necessary to carry out tests not only of the soil (heavy metals, pH_{KCl}), but also of the sludge, and accordingly select fertilization rates that ensure not only plant nutrients needs, but would also protect soils and the environment from possible pollution.

During the implementation of the Nutribiomass4Life project, it was possible to achieve precisely these goals, because the non-productive agricultural soils fertilized with thermally treated sewage sludge accumulated more organic carbon, mineral nitrogen, mobile phosphorus, potassium, calcium and magnesium, microelements during both the main and long-term comprehensive monitoring. Moreover, as a result of fertilization with treated sewage sludge, no pollution of any kind was detected in the soils and there was also no risk of eutrophication of water bodies due to possible over-fertilization with nitrogen compounds. Thus, the conducted studies prove that sewage sludge, properly heat-treated, used for fertilizing plantations in the fields of the project is a high-quality and valuable organic waste (fertilizer) that supplements the soil not only with organic substances and organic carbon, but also with other nutrients that are very important for plants, and which can be compared to fertilizing products, such as wood biofuel ash, from which granular mineral-organic fertilizers are produced.

In addition to all mandatory recommendations specified in LAND 20-2005 "Requirements for handling and use of sewage sludge", before fertilizing with sewage sludge, it is very important to take into account the chemical and physical properties of the soil itself, its type and soil texture, pH, waterlogging, because these factors has a significant influence on the accumulation and availability of various substances, the migration of mobile compounds (such as nitrogen and sulphur) that are not absorbed by the soil itself into deeper soil layers, and from them into groundwater. The type of cultivated plants (energy plantations or agricultural crops, meadow pastures), their purpose and need for nutrients are also important, as the rates of fertilization with this organic waste - fertilizer - also depend on this. Therefore, fertilizing with sewage sludge, following all recommendations, is no less effective than fertilizing with other organic fertilizers (e.g., cattle, bird manure) and poses no threat to the environment. In a long-term perspective, sewage sludge in agriculture, when growing short-rotation crops, is recommended to be used as a soil improvement tool, it can be treated as a fertilizer or a fertilizing product that adds organic matter to the soil, improves the quality of the soil, especially the balance of carbon and nutrients, and can contribute to the implementation of a circular economy in the country.

The short-rotation plantings were fertilized with sewage sludge and wood biofuel ash, which is obtained by burning the hybrid poplars and aspens grown in the project fields, thus completing the

cycle of the circular economy model implemented in this project. First of all, biofuel wood ash was aimed at reducing the acid reaction of soils, but the liming effect could not be achieved in the fertilized fields of the project, because the amount of ash used was too small (0.5 t ha^{-1}). Therefore, in order to neutralize the acidic reaction of soils, we would recommend increasing the rate of ash used, based on the "Rules for the handling and use of wood fuel ash", which indicate the usable amounts of ash at different soil pH, in soils with different soil texture.

By fertilizing with wood fuel ash together with sewage sludge, soils are enriched with macroelements (Ca, K, P, S and Mg) and microelements needed by plants. However, together with these nutrients, heavy metals can also enter the soil, which is a limiting factor for the use of sewage sludge and ash, which is controlled by the "Regulations for handling and use of wood fuel ash". Therefore, when fertilizing with a higher rate of ash and in order to ensure its safe use, which would not have negative effects on the environment and soil, it would be necessary to carry out tests on heavy metal concentrations, granulometric composition, pH_{KCl}, mobile potassium (K_2O) and phosphorus (P_2O_5) amounts in soils, as indicated by the regulations.

Fertilization of the project fields with wood fuel ash together with sewage sludge was effective because the soils accumulated more mineral nitrogen, mobile phosphorus and potassium, and organic carbon compared to only sludge fertilizers. More heavy metals - chromium, nickel, copper and zinc - were also detected, but the concentrations of these metals did not exceed the maximum permissible concentrations (MPC) in the soil, fluctuated within the limits of the background level and were several to ten times lower than the MPC. Therefore, the use of wood fuel ash in acidic soils (*Retisols, Luvisols*) as a liming agent is not only appropriate, but useful and recommended, in order not only to neutralize the more acidic reaction, which often increases the mobility of heavy metals, but also to enrich the soils with nutrients and ensure their fertility potential.

However, before fertilizing with wood biofuel ash, especially in larger quantities, we would recommend taking into account the age of the plantations, as the roots of young trees may react more sensitively to the alkaline environment of the ash, which may burn them and disrupt further growth and development or even rot. Therefore, it should not be in a hurry to fertilize energy plants with ash in the 1-2 years of their growth. Also, the ashes must be scattered in the area of the crown of the branches of plants, because it is in this area that their roots are located.

Key words: sewage sludge, short rotation plantation crops, soil chemical properties, soil type, soil texture, fertilization, pollution.

ĮVADAS

Pastoviai didėjantis energijos poreikis, didėjančios energijos kainos, taip pat ryškėjančios aplinkosauginės problemos, šiltnamio efekto dujų emisijų kiekio didėjimas atmosferoje, skatina ieškoti alternatyvių energijos šaltinių, kurie prisidėtų prie tvaraus žaliavų naudojimo, užtikrintų teigiamą energinį potencialą bei skatintų socialinių–ekonominių problemų sprendimą (Nishiwaki ir kt., 2011; Atsu ir kt., 2016). Išsivysčiusiose šalyse vyraveęs intensyvus išteklių naudojimas keičiamas į jų tausojimo politiką. Šiam uždaviniui spręsti pasaulyje yra skiriamas ypatingai didelis dėmesys, inicijuojamos įvairios ES programos, kuriose akcentuojamas dirvožemių (ne tik jų viršutinio sluoksnio) našumo ir jų bioįvairovės nykimas. Pabrėžiama, kad skirtingose agroklimatinėse zonose dirvožemio funkcionavimas nevienodas ir jo valdymui būtina parinkti gerai apgalvotas priemones. Pastarąjį dešimtmetį yra kilęs didelis susidomėjimas atsinaujinančiais energijos ištekliais – saulės, vėjo, biomasės energija ir kitais, kurie yra draugiški aplinkai ir laikomi viena iš klimato kaitos mažinimo priemonių (Sodsai, Rachdawong, 2012; Sokka ir kt., 2016; Titova, 2016). Europos Sąjungoje akcentuojama biomasės naudojimo svarba ir įvairios plėtros galimybės, skatinama augalų biomasę, kaip energijos šaltinį, naudoti vis intensyviau ir kaip galima plačiau.

Energetiniai augalai – tai trumpos rotacijos želdiniai/ miškai ir žoliniai augalai, kurie auginami su tikslu, kad jų biomasė būtų panaudota biokurui–elektros ir šiluminei energijai gaminti (Lietuvos biomasės energetikos asociacija LITBIOMA, 2008). Biokuro katilinės, biomasės degimo metu, CO_2 į aplinką išsiskiria tiek pat, kiek augalai jo iš aplinkos panaudoja fotosintezės proceso metu (Njakou Djomo, 2013; Sodsai, Rachdawong, 2012), todėl energetinių augalų biomasės deginimas yra laikomas gamtai palankiu energijos gavybos būdu, neprisidedančiu prie pasaulinio klimato atšilimo ir kaitos. Visame pasaulyje, tame tarpe ir Lietuvoje, mokslininkai vykdo įvairius tyrimus, siekiant nustatyti, kurie energiniai augalai yra pranašesni, kokios auginimo sąlygos yra geriausios išauginti tinkamą energijai gauti biomasę (Simon, Szabó, 2011; Hauptvogl, 2013). Kai kurie autoriai tvirtina, kad augalai, priklausantys trumpos rotacijos energiniams želdiniams (gluosniai, tuopos (*Populus* spp.) ir t.t.) yra labiausiai vertingi energiniai augalai.

Nuotekų dumblas – tai buitinių ir komunalinių nuotekų bei panašios sudėties nuotekų valymo metu susidarantis dumblas (Pažusis, Rimeika, 2010). Dumblo charakteristikos bei dumblo kiekis priklauso nuo to, kokia į nuotekų valyklą atitekančių nuotekų sudėtis, taip pat nuo technologinės nuotekų valyklos schemos bei naudojamų valymo metodų. Bendras dumblo apdorojimo tikslas yra gauti tokį produktą, kuris pačiu ekonomiškiausiu būdu būtų utilizuojamas, saugomas bei tvarkomas (Grušauskas, Dauknys, 2010). Netinkamai tvarkomas arba visiškai nesutvarkytas nuotekų dumblas kelia pavojų aplinkai ir gyventojų sveikatai dėl į aplinkos orą išsiskiriančių dujų (metano, anglies dioksido), dirvožemį ir podirvio vandenis teršiančio filtrato, sklindančio nemalonaus kvapo (Pažusis, Rimeika, 2010). Nuotekų dumblo utilizavimas jau ne vienerius metus yra didelė problema, be to, saugus apdoroto dumblo panaudojimas yra svarbus aplinkai. Efektyviausias dumblo utilizavimo būdas – tai toks būdas, kai yra gaunama nauda tiek energetiniu, tiek ekonominiu, tiek ekologiniu požiūriais (Ofverstrom ir kt., 2010). Pasaulinėje praktikoje nuotekų dumblas utilizuojamas įvairiais būdais: vienur jis deginamas, kitur sandėliuojamas sąvartynuose, kompostuojamas, taip pat naudojamas pažeistų teritorijų rekultivavimui bei žemės ūkyje ir energinių, greitai augančių želdinių, žolinių energinių augalų, kurie tiesiogiai panaudojami

biokuro gamybai, tręšimui (Achkir ir kt., 2023; Titova, 2016; Quaye, Volk, 2013; Jama-Rodzenska, Nowak, 2012; Kacprzak ir kt., 2010).

Visame pasaulyje vandenvalos įmonėse susidaręs nuotekų dumblas laikomas viena iš galimų alternatyvių trąšų įvairių augalų tręšimui. Visame pasaulyje jau yra bandoma nuotekų dumblu ar jo kompostu tręšti įvairius augalus. Pavyzdžiui, Anglijoje žemės ūkyje sunaudojama iki 50 % viso dumblo. Suomijoje 31 % viso dumblo sunaudojama tręšimui, 17 % – miesto želdiniams, 33 % – pakelių apželdinimui ir gėlynams, 18 % – komposto gamybai. JAV dirvoms tręšti sunaudojama 75 % viso gaunamo dumblo (Achkir ir kt., 2023; Khan, Kaleem, 2017).

Nuotekų dumblas (ND) yra ne tik kaip azoto (N), fosforo (P), ir organinių medžiagų šaltinis (Deviatkin et al., 2011; Falayi, 2019; Cogger et al., 2004), bet sieros (S) (Diacono, Montemurro, 2011), kalio (K), kalcio (Ca), magnio (Mg) (Sevel ir kt., 2013; Phillips ir kt. 2014) ir kai kurių mikrolementų (Khan, Kaleem, 2017). Vertinant dumblą pagal įtaką augalų produktyvumui, jis prilygsta ir netgi viršija savo efektyvumu mėšlą. ND praturtina dirvožemį ne tik organinėmis ir maisto medžiagomis, bet ir pagerina lengvesnių dirvožemių fizikines savybes. ND įterpimas į dirvožemį po jo tinkamo apdorojimo, gali padėti padidinti žemės ūkio gamybos efektyvumą ir dirvožemio tvarumą, maistines medžiagas iš atliekų atgal grąžinant į dirvožemį (Seleiman ir kt., 2013; Bai ir kt., 2017). Atlikti tyrimai rodo, kad ND panaudojimas, mažai organinės anglies (C_{org}) turinčiuose lengvuose smėlinguose dirvožemiuose, viršutiniame jų sluoksnyje, didino C_{org} koncentraciją bei augalams reikalingų bendrųjų N ir P kiekius. Todėl išryškėjo teigiama ND įtaka dirvožemiui, kuriame trūksta maistinių medžiagų (Zhao ir kt., 2021; Bai ir kt., 2022). Daugeliu atvejų C_{org} padidėjimai dirvožemyje yra proporcingi ND komposto naudojimo normoms, ir priemolio dirvožemyje esti didesni nei molingame (Aggelides, Londra, 2000). A. Achkir su bendraautoriais (2023) nustatė, kad naudojamos skirtingos ND normos įvairios granuliometrinės sudėties dirvožemiuose (molis-dumblas ir smėlingas-molis) parodė teigiamą agronominį potencialą tiek dirvožemiui, tiek augalams. Rezultatai parodė, kad visi tiriami parametrai reikšmingai pasikeitė ($p<0,05$) priklausomai nuo skirtingos ND normos abiejuose dirvožemiuose, palyginus su kontroliniu dirvožemiu: ženkliai padidėjo organinių medžiagų ir bendros C_{org} kiekiai, bei maistinių medžiagų (N, P ir K). Be to, dirvožemius tręšiant ND, C_{org} kiekiai juose, gali būti iki trijų kartų didesni, nei tręšiant neorganinėmis trąšomis (Nyamangara, Mzezewa, 2001; El Moussaoui et al., 2022), todėl ND puikiai tinkamas dirvožemių derlingumui padidinti ir tvarumui užtikrinti. Tas pačias tendencijas pabrėžia ir kiti tyrėjai, kad ND panaudojimas reikšmingai įtakojo organinių medžiagų, C_{org} ir maisto medžiagų kiekius dirvožemyje, gerino jo struktūringumą, vandens, reikalingo augalams, sulaikymą dirvožemyje, taip didindamas dirvožemio derlingumo potencialą (Ngwu et al., 2021; Angin et al., 2012). Šie bendri padidėjimai taip pat sietini su suaktyvėjusia mikrobų veikla, išskiriant organines medžiagas į dirvožemį (Ngwu et al., 2021). Khan ir Kaleem (2017) nustatė, kad dirvožemyje, įterpus ND, žymiai padidėjo ne tik turimos C_{org}, N, P ir K kiekiai po derliaus nuėmimo, bet ir DTPA ekstrahuojamų mikroelementų (Fe ir Zn), o sunkiųjų metalų kiekis dirvožemyje buvo kontroliuojamas ir neturėjo neigiamos poveikio. ND ir jo komposte esantys augalams naudingi baziniai elementai bei jo neutralus pH padidina dirvožemio biologinį aktyvumą, sumažina dirvožemio rūgštingumą ir sulėgimą (Sevel ir kt., 2013; Phillips ir kt. 2014).

Tręšiant augalus nuotekų dumblo (ND) kompostu prisidedama prie ekologinės miestų nuotekų dumblo utilizavimo problemos sprendimo, tačiau būtina kontroliuoti jo panaudojimą žemės ūkio paskirties žemėje, siekiant apsaugoti aplinką dėl galimos taršos. Nors nuotekų dumblas (ND)

gali tapti pigia organine trąša, tačiau jos tolesnį panaudojimą riboja ir pristabdo užterštumas sunkiaisiais metalais bei patogeniniais mikroorganizmais. Todėl ypač svarbu yra reguliuoti ND, kad sunkieji metalai neigiamai nepaveiktų aplinkos, tame tarpe, dirvožemio savybių ir auginamų augalų. Šios atliekos panaudojimą riboja ir griežti aplinkosauginiai reikalavimai, kurie pateikti „Nuotekų dumblo naudojimo tręšimui bei rekultivavimui reikalavimai LAND 20-2005“ normatyviniame dokumente. Griežtėjantys aplinkosauginiai reikalavimai Lietuvoje skatina diegti modernias ir efektyvias nuotekų valymo technologijas. Šiuo metu Lietuvoje kompostuoti ir po to naudoti trešimui galima I ir II kategorijos, A ir B klasės dumblą (LAND 20-2005). Visgi dažna nuomonė, kad dumblas, dėl subalansuotos augalams naudingų medžiagų sudėties gali iš dalies ar net pilnai pakeisti mineralines trąšas. Maistinių medžiagų perdirbimas ir mineralinių trąšų keitimas biologinėmis organinės kilmės medžiagomis (atliekomis) yra veiksmingos priemonės, padedančios sumažinti vandens telkinių eutrofikaciją, kylančią Baltijos jūros regione dėl azoto ir fosforo trąšų nuostolių, esant nesubalansuotam ūkininkavimui. Taigi, auginant trumpos rotacijos želdinius, nuotekų dumblas ilgalaikėje perspektyvoje naudojamas kaip dirvožemio gerinimo priemonė gali būti traktuojamas, kaip trąša, papildanti dirvožemį organinėmis ir maisto medžiagomis bei galinti prisidėti įgyvendinant žiedinę ekonomiką. Be to, auginant trumpos rotacijos biomasės želdinius, jų savybė, kaupti sunkiuosius metalus, gali būti panaudota dirvožemio valymui ir remediacijai.

Šios projekto veiklos **pagrindinis tikslas** – nenašiuose žemės ūkio paskirties dirvožemiuose, besiskiriančiuose savo tipologija ir granuliometrine sudėtimi, auginant trumpos rotacijos želdinius bei juos tręšiant daug maistinių medžiagų turinčiomis atliekomis (vandenvalos nuotekų dumblu), atlikti pagrindinių dirvožemio cheminių rodiklių pokyčių dirvožemyje stebėseną ir vertinimą, siekiant užtikrinti tvarų dirvožemio naudojimą, skatinant žiedinės ekonomikos demonstracinio modelio perdavimą kitiems šalies regionams.

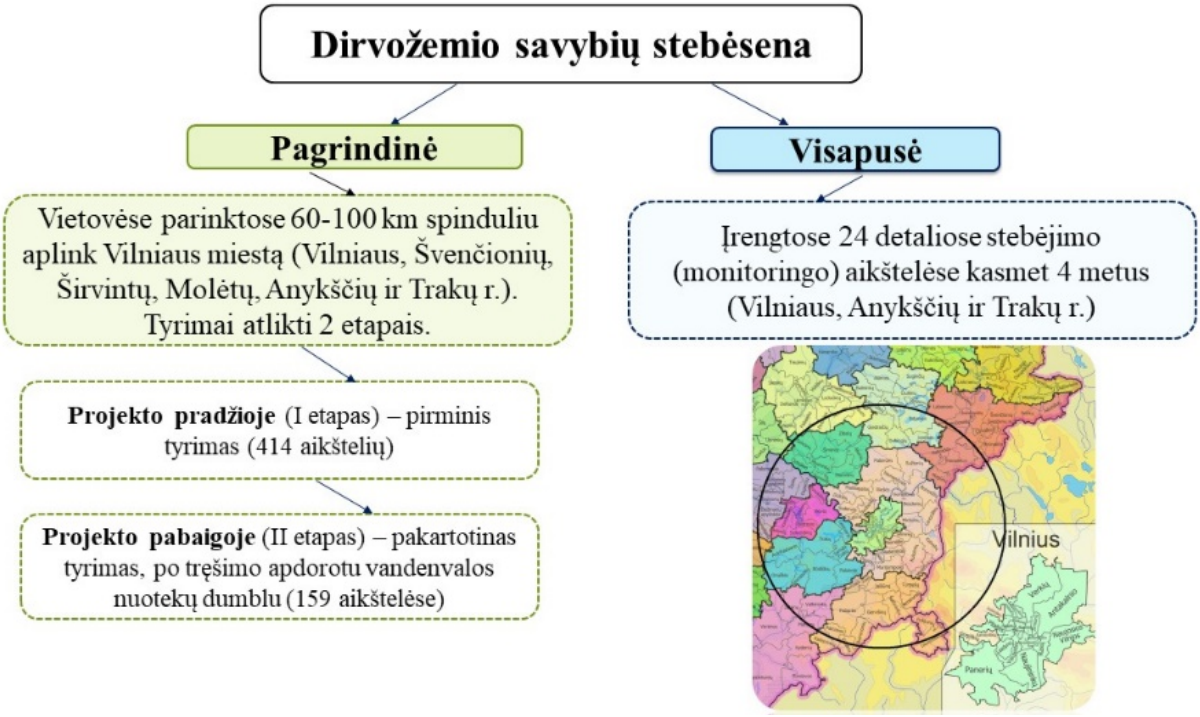
Projekto veiklos **uždaviniai:**

- Projekto pradžioje atlikti pagrindinę dirvožemio cheminių rodiklių analizę (ex ante) stebėseną, o baigiantis projektui – ir poveikio dirvožemiui vertinimo stebėseną (ex post) (tiek teigiamą, tiek neigiamą), trumpos rotacijos želdinius tręšiant daug maistinių medžiagų turinčiomis atliekomis (apdorotu vandenvalos nuotekų dumblu – ND). Šios stebėsenos metu nustatyti šiuos pagrindinius dirvožemio rodiklius: dirvožemio granuliometrinę sudėtį, pH_{KCl}, organinės anglies (C_{org}) koncentraciją, mineralinį azotą (N_{min}) ir jį sudarančias formas, prieinamas augalams (amoniakinį azotą – $N\text{-}NH_4$; nitratinį + nitritinį azotą –$N\text{-}NO_3$+$N\text{-}NO_2$), judriuosius fosforą (P_2O_5), kalį (K_2O), kalcį (CaO) ir magnį (MgO), sunkiųjų metalų (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg) koncentracijas.
- Kasmet atlikti ilgalaikę visapusę poveikio dirvožemiui (tiek teigiamą, tiek neigiamą) stebėseną, plotuose, trumpos rotacijos želdinius tiek tręšiant daug maistinių medžiagų turinčiomis atliekomis (apdorotu vandenvalos nuotekų dumblu), tiek netręšiant. Šios stebėsenos metu nustatyti šiuos dirvožemio rodiklius: dirvožemio granuliometrinę sudėtį (pagal Fere), pH_{KCl}, organinės anglies (C_{org}) koncentraciją, mineralinį azotą (N_{min}) ir jį sudarančias formas, prieinamas augalams (amoniakinį azotą – $N\text{-}NH_4$; nitratinį + nitritinį azotą –$N\text{-}NO_3$+$N\text{-}NO_2$), judriąją sierą (S_{min}), judriuosius fosforą (P_2O_5), kalį (K_2O), kalcį (CaO) ir magnį (MgO), mikroelementų (B, Cu, Mn, Zn, Mo, Fe) ir sunkiųjų metalų (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg) koncentracijas, bendrųjų makroelementų (N, P, K, S) ir chloridų (Cl^-) koncentracijas, elektrinį laidumą, policiklinius aromatinius angliavandenilius (PAA) ir polichlorinius bifenilus (PCB).

- Įvertinti kaip minėti cheminiai rodikliai keičiasi dirvožemyje (pagrindinės ir ilgalaikės visapusės stebėsenos metu) dėl tręšimo apdorotu vandenvalos nuotekų dumblu, siekiant sekti medžiagų judėjimo srautus, organinės anglies ir kitų augalų maisto medžiagų kaupimosi dėsningumus, dirvožemio reakcijos pokyčius, sunkiųjų metalų bei kitų junginių akumuliaciją, ir ar šių atliekų įterpimas į dirvožemį užtikrina tvarų dirvožemio naudojimą bei saugų žiedinės ekonomikos demonstracinio modelio veikimą.
- Įvertinti galimą (negalimą) dirvožemio užterštumą sunkiaisiais metalais (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg) ir kitais junginiais (policikliniais aromatiniais angliavandeniliais (PAA) ir polichloriniais bifenilais (PCB)), trumpos rotacijos želdinius tręšiant daug maistinių medžiagų turinčiomis atliekomis (vandenvalos nuotekų dumblu).

1. TYRIMŲ METODIKA

Trumpos rotacijos biomasės želdinių plantacijos aplink Vilniaus miestą buvo sutelktos 60–100 km spinduliu 1800 ha plote. Investicijos į moderniausius Vilniaus miesto komunalinės vandens nuotekų valymo įrenginius, suteikė galimybę biomasės plantacijose naudoti perdirbtą aplinkai draugiškiausią vandenvalos atliekų formą – anaerobiškai apdorotą, džiovintą, granuliuotą nuotekų dumblą. Tačiau nepaisant to, dirvožemio būklės stebėjimas yra būtinas norint patvirtinti Žiedinės ekonomikos demonstracinio modelio veikimo saugumą. Todėl projekto metu vykdyta dirvožemio savybių stebėsena susidėjo iš dviejų dalių: 1) **pagrindinės** ir 2) **ilgalaikės visapusės stebėsenos** (1.1 pav.).



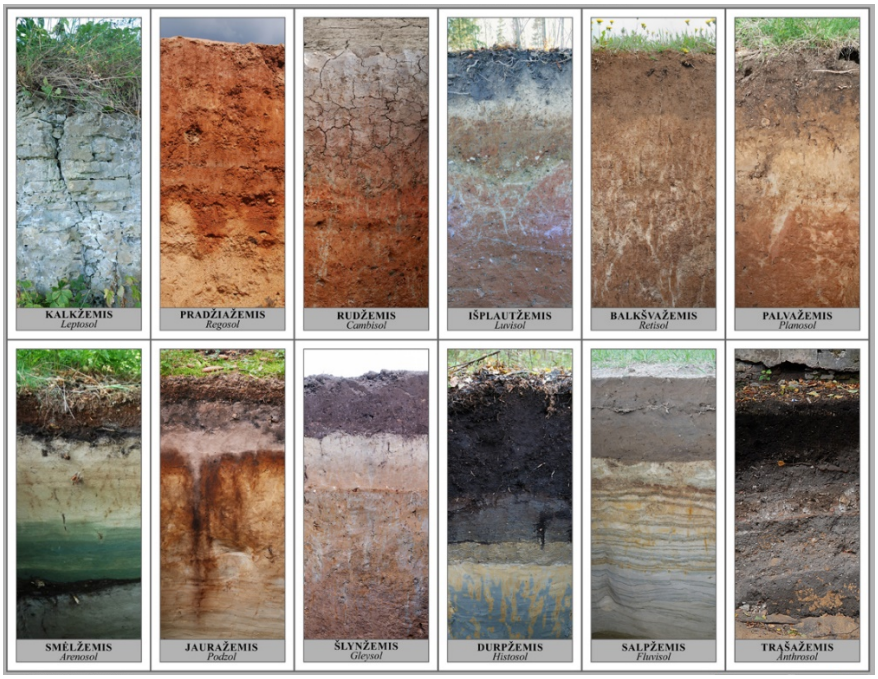
1.1 pav. Dirvožemio savybių stebėsena

1.1. Pagrindinės stebėsenos tyrimų metodika

Tyrimų stebėsenos vieta ir aikštelių parinkimo charakteristika. Pagrindinės stebėsenos metu (Vilniaus, Švenčionių, Širvintų, Molėtų, Anykščių, Trakų r.) parinktose aikštelėse (pagal vyraujantį toje vietoje dirvožemio tipą ir granuliometrinę sudėtį) dirvožemio ėminiai buvo surinkti ir tiriami dviem etapais: projekto pradžioje – dirvožemio cheminiai rodikliai ištirti visose 414 aikštelėse surinktuose ėminiuose, ir pabaigoje – pakartotinai tirti tik tie dirvožemiai (159), kuriuose želdiniai buvo tręšti vandenvalos nuotekų dumblu (ND).

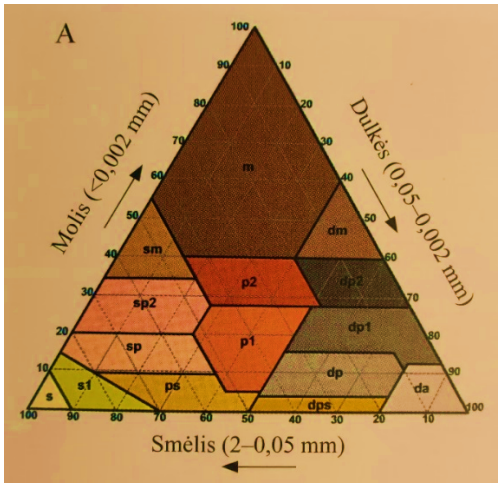
Dirvožemio aikštelės ir ėminiai jose pagrindinės stebėsenos metu paimti atsižvelgiant į vietovėse vyraujantį *dirvožemio tipą* (1.1.2 pav.): 1) išplautžemiai, 2) balkšvažemiai, 3) palvažemiai, 4) smėlžemiai, 5) šlynžemiai, 6) durpžemiai; ir jo *granuliometrinę sudėtį* pagal *Fere* (1.3 pav.): rišlus

smėlis (s_1), priesmėlis (ps), smėlingas lengvas priemolis (sp), puvena (pv), durpė (d). Visų tirtų laukų dirvožemiai priklausė *Baltijos ir Ašmenos aukštumų* dirvožemio rajonui.



Nuotr. J. Volungevičiaus

1.1.1 pav. Lietuvos tipologinė dirvožemių klasifikacija
(12 pagrindinių Lietuvos dirvožemių grupių)



1.1.2 pav. Dirvožemio granuliometrinė sudėtis pagal *Fere*

Ėminių paėmimas. Parinktose tyrimų aikštelėse, dirvožemio ėminiai cheminių rodiklių (agrocheminių savybių) nustatymui buvo imami iš 0–20 cm sluoksnio. Kiekvienas jungtinis ėminys tyrimų aikštelėje agrocheminių rodiklių nustatymui buvo sudaromas iš 25–30 zondo dūrių paimto dirvožemio, siekiant gauti kuo tikslesnius tyrimo rezultatus, kurių neįtakotų padaryti netipingi dūriai. Jungtinis ėminys buvo surenkamas einant skersai (įstrižai) lauko, ne trumpesniu kaip 100 m atstumu, kai lauko plotas ne didesnis kaip 5 ha (LAND, 2022). Mineralinio azoto (N_{min}) ir judriosios sieros (S_{min}) dirvožemyje nustatymui ėminiai buvo imami iš 0–30 ir 30–60 cm dirvožemio sluoksnių.

Didesniuose laukuose dirvožemio jungtinis ėminys, N_{min} ir S_{min} nustatyti, imtas iš 8–10 ha, mažesniuose – iš 3–5 ha ploto. Ėminys imtas iš 20 m^2 dydžio aikštelių, kiekvienoje atliekant 3–4 zondo dūrius. Pirmiausia storesniu zondu žemė imta iš 0–30 cm, po to plonesniu zondu tame pačiame dūryje – iš 31–60 cm. Organinės anglies (C_{org}) koncentracijai nustatyti nelygiame reljefe ėminys imtas iš 3–4 m^2 dydžio aikštelės, o lygaus reljefo lauke jungtinis ėminys imamas einant lauku sudarytu maršrutu 100 m atkarpoje.

Dirvožemio ėminių maršrutai buvo fiksuoti GPS prietaisu, išsaugotos jų koordinatės, kad praėjus nustatytam laikotarpiui būtų galima tuo pačiu maršrutu pakartotinai iš tų pačių vietų surinkti dirvožemio ėminius, įvertinti cheminių rodiklių pokyčius bei projekto pabaigoje panaudoti poveikio dirvožemiui vertinimui.

Augalai, jų auginimo technologija ir tręšimas. Tiek pagrindinės stebėsenos laukai buvo apželdinti trumpos rotacijos (iki 20 metų) plantacijomis (*Populus spp*. – hibridinėmis tuopomis ir hibridinėmis drebulėmis). Laukuose augo skirtingo amžiaus biomasės želdiniai, o 900 ha ploto plantacijos buvo įveistos naujai.

Dalis laukų buvo tręšiami termiškai apdorotu nuotekų dumblu (ND), tačiau skirtingu laiku: t. y. 2019 (po pirmų metų), 2020 (po antrų metų), 2021 m. (po trečių metų) ir 2022 m. (po ketvirtų). Projekto vykdymo metu, dalis trumpos rotacijos želdinių nebuvo tręšiami nuotekų dumblu, dalis tręšiami vieną kartą, o Anykščių, Švenčionių ir Vilniaus rajonuose želdiniai per jų visą augimo laikotarpį buvo tręštos termiškai apdorotu nuotekų dumblu 2 kartus.

Tręšimo nuotekų dumblu norma naudojama želdinių tręšimui skyrėsi, priklausomai nuo dirvožemių ir nuotekų dumblo cheminių tyrimų atskiruose laukuose, ir 2019 m. svyravo nuo 15,4 iki 19,3 t ha^{-1}, 2020 m. – nuo 15,5 iki 28,0 t ha^{-1}, 2021 m. – nuo 11 iki 33 t ha^{-1}, 2022 m. – 11 t ha^{-1} apdoroto dumblo (sausomis medžiagomis). Tręšimo apdorotu nuotekų dumblu norma apskaičiuota taip, kad sunkiųjų metalų kiekis numatomame per metus panaudoti apdorotame dumble neviršytų didžiausiojo leidžiamojo sunkiųjų metalų kiekio, kuris per metus gali patekti į dirvožemį (LAND 20-2005). Konkrečiu atveju limituojantis elementas buvo cinkas, pagal kurio koncentraciją ir buvo apskaičiuota dumblo norma. Dumblo cheminė sudėtis pateikta 1.1 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.

Duomenų grupavimas ir vertinimas. Dirvožemio duomenys buvo grupuoti ir vertinti 2 etapais: projekto pradžioje (1 etapas) ir projekto pabaigoje (2 etapas), pateikiant kiekvieno rodiklio vidurkį. Taip pat atskyrėme rezultatus gautus laukuose, tręštuose ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus, ir pateikėme jų vertinimą atskirai, siekiant išanalizuoti kuo tikslesnius pokyčius dėl skirtingo tręšimo sąlygų.

Dirvožemio cheminės analizės ir jų metodai. Pagrindinės stebėsenos metu atliktos šios dirvožemio analizės: dirvožemio granuliometrinė sudėtis (čiuopiant), pH_{KCl}, organinė anglis (C_{org}), mineralinis azotas (N_{min}) ir jį sudarančios formos (amoniakinis azotas – $N\text{-}NH_4$; nitratinis + nitritinis azotas –$N\text{-}NO_3$+$N\text{-}NO_2$), judrieji fosforas (P_2O_5), kalis (K_2O), kalcis (CaO) ir magnis (MgO), sunkieji metalai (kadmis – Cd, švinas – Pb, chromas – Cr, nikelis – Ni, varis – Cu, cinkas – Zn, gyvsidabris – Hg).

Cheminiai tyrimo metodai:

- *pH dydis* – 1M KCl ištraukoje, potenciometriniu metodu (LST ISO 10390:2005).

- *judrieji fosforas (P_2O_5) ir kalis (K_2O)* – Egnerio-Rimo-Domingo (A-L) metodu, 1 M pieno rūgšties, 3 M acto rūgšties ir 1 M amonio acetato buferinio tirpalo (pH – 3,7) ištraukoje. Judrusis P_2O_5 matuojamas taikant spektrometrinį metodą ir naudojant amonio molibdatą, judrusis K_2O – liepsnos emisijos spektrometrinį metodą.
- *judrieji kalcis (CaO) ir magnis (MgO)* – Egner–Riehm–Domingo metodu (A-L); ėminys ekstrahuotas AL buferiniu tirpalu (1 M pieno rūgštis, 3 M acto rūgštis ir 1 M amonio acetatas, pH 3,7), plakta 4 valandas. Judrieji CaO ir MgO matuoti atominės absorbcijos spektrometru AAnalyst 200.
- *mineralinis azotas (N_{min})* nustatytas pagal ISO 14256–2:2005 standartą, 1:2,5 1 M KCl ištraukoje, ir apskaičiuotas, kaip nitratinio+nitritinio ($N\text{-}NO_3 + N\text{-}NO_2$) ir amoniakinio ($N\text{-}NH_4$) azoto suma.
- *organinės anglies (C_{org})* koncentracija dirvožemyje nustatoma pagal ISO 10694:1995, sauso deginimo būdu su bendrosios anglies analizatoriumi Liqui TOC II. Dirvožemis kaitinamas mažiausiai iki + 900 ºC sintetinio oro tėkmėje ir susidaręs anglies dioksido kiekis matuojamas infraraudonųjų spindulių metodu;
- *suminės sunkiųjų metalų (Cd, Cr, Pb, Ni, Cu, Zn) koncentracijos* – dirvožemį 2 h mineralizuojant karališkos rūgšties tirpalu (HNO_3:HCl mišinio santykiui 1:3), esant 160 °C temperatūrai. Po to mineralizuotas mišinys praskiestas 100 ml matavimo kolboje iki brūkšnio, gautas tirpalas analizuotas ICP-OES, taikant 11466:1995, ISO 22036:2008 ir ISO 11047:1998 metodus.
- *gyvsidarbris (Hg)* – nustatomas pagal ISO 12846:2012, matuojamas naudojant šaltų garų atominės absorbcijos spektrometrinį metodą;

Organinės anglies (C_{org}) sankaupos (kiekis) t ha^{-1}, apskaičiuotos pagal formulę:

$$C_{org\ sank} = C_{org\ konc} \times TS \times SG,$$

kai $C_{org\ sank}$ – organinės anglies sankaupos (kiekis) dirvožemyje, t ha^{-1}; $C_{org\ conc}$ – organinės anglies koncentracija dirvožemyje, %; TS – dirvožemio tankis, g cm^{-3}; (s – 1,35, ps – 1,40, p-p_1 – 1,45, p_2-m – 1,55, pv – 1,10, d – 0,65–0,95); SG – dirvožemio ariamojo sluoksnio storis, cm (20 cm).

1.2. Ilgalaikės visapusės stebėsenos tyrimų metodika

Tyrimų stebėsenos vieta ir aikštelių parinkimo charakteristika. Ilgalaikės visapusės stebėsenos 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.

Ilgalaikės visapusės stebėsenai (monitoringui) vykdyti aikštelės buvo parinktos atlikus vyraujančių dirvožemio tipų ir granuliometrinės sudėties analizę. Pagal tai buvo išskirti skirtingų dirvožemio tipų (išplautžemiai, balkšvažemiai, palvažemiai, smėlžemiai, šlynžemiai, durpžemiai) ir skirtingos granuliometrinės sudėties (rišlus smėlis (s_1), priesmėlis (ps), smėlingas lengvas priemolis (sp), priemolis (p), puvena (pv), durpė (d)) dirvožemiai, kuriuose ir įrengtos stebėsenos (monitoringo) aikštelės (1.2.1 lentelė). Tyrimų aikštelės buvo kontrolinės (netręšiamos granuliuotu džiovintu

nuotekų dumblu) ir tręšiamos granuliuotu džiovintu nuotekų dumblu. Tyrimų aikštelės plotas – 6x40 m^2. Aikštelių charakteristika pateikta 1.2.1 lentelėje, o naudoto tręšimui džiovinto granuliuoto nuotekų dumblo parametrai ir tręšiamų monitoringo aikštelių numeriai – 1.2.2 lentelėje.

1.2.1 lentelė. Tyrimų aikštelių charakteristika

Tyrimų aikštelės Nr.	Dirvožemio tipas	Granuliometrinė 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	Puvena ant vidutinio sunkumo priemolio (pv/p1)	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 ant vidutinio sunkumo priemolio (ps/p_1)	Drebulės	2011	Netręšta
18					Tręšta
19	Išplautžemis	Priesmėlis/smėlingas sunkus priemolis (ps/sp2)	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					Netręšta

Augalai, jų auginimo technologija ir tręšimas. Parinktose tyrimų aikštelėse augo: 1–16 tyrimų aikštelėse augo hibridinės tuopos 4–5 metų, o 17–24 tyrimų aikštelėse – hibridinės drebules 6–7 metų. Tyrimų aikštelės (1–16), kur augo trumpos rotacijos želdiniai, tręštos 1 kartą 2019 metais, o tyrimų aikštelės (17–24) buvo tręštos 2 kartus: pirmą kartą (2016 m.) – po ketvirtų augimo metų, antrą (2019 m.) – po 8 augimo metų. Tręšimo nuotekų dumblu norma 2016 m. buvo 21 t ha^{-1} apdoroto dumblo (sausomis medžiagomis), 2019 m. – 19,09 t ha^{-1}. Tręšimo apdorotu nuotekų dumblu norma apskaičiuota taip, kad sunkiųjų metalų koncentracijos numatomame per metus panaudoti apdorotame dumble neviršytų didžiausios leidžiamos sunkiųjų metalų koncentracijos, kuri per metus gali patekti į dirvožemį (Dumblo LAND, 2021). Konkrečiu atveju limituojantis elementas buvo cinkas (Zn), pagal kurio koncentraciją ir buvo apskaičiuota dumblo norma. Naudoto tręšimui džiovinto granuliuoto nuotekų dumblo parametrai ir tręšiamų monitoringo aikštelių numeriai pateikti 1.2.2 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.

1.2.2 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

Ėminių paėmimas. Ilgalaikės visapusės stebėsenos metu detaliose 24 stebėjimo (monitoringo) aikštelėse (Vilniaus, Anykščių, Trakų r.) ėminiai buvo imami kasmet 4 metus, tiek netręštose (kontrolinėse), tiek tręštose nuotekų dumblu tyrimo laukų aikštelėse. Dirvožemio ėminiai cheminių rodiklių (agrocheminių savybių) nustatymui buvo imami iš 0–20 cm sluoksnio. Kiekvienas jungtinis ėminys tyrimų aikštelėje agrocheminių rodiklių nustatymui buvo sudaromas iš 25–30 zondo dūrių paimto dirvožemio, siekiant gauti kuo tikslesnius tyrimo rezultatus, kurių neįtakotų padaryti netipingi dūriai. Jungtinis ėminys buvo surenkamas einant skersai (įstrižai) laukelio. Mineralinio azoto (N_{min})

ir judriosios sieros (S_{min}) dirvožemyje nustatymui ėminiai buvo imami iš 0–30 ir 30–60 cm dirvožemio sluoksnių, 20 m^2 dydžio aikštelių, kiekvienoje atliekant 3–4 zondo dūrius. Pirmiausia storesniu zondu žemė imta iš 0–30 cm, po to plonesniu zondu tame pačiame dūryje – iš 31–60 cm. Organinės anglies (C_{org}) koncentracijai nustatyti nelygiame reljefe ėminys imtas iš 3–4 m^2 dydžio aikštelės.

Dirvožemio ėminių vietos buvo fiksuotos GPS prietaisu, išsaugotos jų koordinatės, kad praėjus nustatytam laikotarpiui būtų galima tuo pačiu maršrutu pakartotinai iš tų pačių vietų surinkti dirvožemio ėminius, įvertinti cheminių rodiklių pokyčius bei projekto pabaigoje panaudoti poveikio dirvožemiui vertinimui.

Duomenų grupavimas ir vertinimas. Dirvožemio 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 džiovintu nuotekų dumblu, 17; 19; 21; 24 – hibridinės drebulės netręštos granuliuotu džiovintu nuotekų dumblu. Duomenys buvo grupuojami pagal ėminių laikotarpį ir kiekvieno elemento buvo vedamas vidurkis.

Dirvožemio cheminės analizės ir jų metodai. Ilgalaikės visapusės stebėsenos metu atliktos šios dirvožemio analizės: dirvožemio granuliometrinė sudėtis (*pagal Fere*), pH_{KCl}, organinė anglis (C_{org}), mineralinis azotas (N_{min}) ir jį sudarančios formos (amoniakinis azotas – $N\text{-}NH_4$; nitratinis + nitritinis azotas –$N\text{-}NO_3$+$N\text{-}NO_2$), judrioji siera (S_{min}), judrieji fosforas (P_2O_5), kalis (K_2O), kalcis (CaO) ir magnis (MgO), mikroelementai (boras – B, varis – Cu, manganas – Mn, cinkas – Zn, molibdenas – Mo, geležis – Fe), sunkieji metalai (kadmis – Cd, švinas – Pb, chromas – Cr, nikelis – Ni, varis – Cu, cinkas – Zn, arsenas (As), gyvsidabris – Hg); bendrieji makro- elementai (azotas – N, fosforas – P, kalis – K, siera – S) ir chloridai (Cl^-), elektrinis laidumas (EL), policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAA 15) ir polichlorbifenilai (PCB 6).

Cheminiai tyrimo metodai:

- *pH dydis* – 1M KCl ištraukoje, potenciometriniu metodu (LST ISO 10390:2005).
- *judrieji fosforas (P_2O_5) ir kalis (K_2O)* – Egnerio-Rimo-Domingo (A-L) metodu, 1 M pieno rūgšties, 3 M acto rūgšties ir 1 M amonio acetato buferinio tirpalo (pH – 3,7) ištraukoje. Judrusis P_2O_5 matuojamas taikant spektrometrinį metodą ir naudojant amonio molibdatą, judrusis K_2O – liepsnos emisijos spektrometrinį metodą.
- *judrieji kalcis (CaO) ir magnis (MgO)* – Egner–Riehm–Domingo metodu (A-L); ėminys ekstrahuotas AL buferiniu tirpalu (1 M pieno rūgštis, 3 M acto rūgštis ir 1 M amonio acetatas, pH 3,7), plakta 4 valandas. Judrieji CaO ir MgO matuoti atominės absorbcijos spektrometru AAnalyst 200.
- *mineralinis azotas (N_{min})* nustatytas pagal ISO 14256–2:2005 standartą, 1:2,5 1 M KCl ištraukoje, ir apskaičiuotas, kaip nitratinio+nitritinio ($N\text{-}NO_3$ + $N\text{-}NO_2$) ir amoniakinio ($N\text{-}NH_4$) azoto suma.

- *judriosios sieros (S_{min})* koncentracija dirvožemyje (SO_4^{2-}) nustatoma turbidimetriniu metodu.
- *organinės anglies (C_{org})* koncentracija dirvožemyje nustatoma pagal ISO 10694:1995, sauso deginimo būdu su bendrosios anglies analizatoriumi Liqui TOC II. Dirvožemis kaitinamas mažiausiai iki + 900 ºC sintetinio oro tėkmėje ir susidaręs anglies dioksido kiekis matuojamas infraraudonųjų spindulių metodu;
- *judrieji mikroelementai*:
  - *judrusis manganas (Mn)* – 0,1 M sieros rūgšties (H_2SO_4) tirpalo ištraukoje, santykiu 1:10 (mineraliniame dirvožemyje), 1:20 (organiniame dirvožemyje), plakama 1 val., matuojama taikant atominės absorbcijos spektrometrinį metodą;
  - *judrusis cinkas (Zn)* – amonio acetato (CH_3COONH_4) buferinio tirpalo (pH 4,8) ištraukoje, santykiu 1:10 (mineraliniame dirvožemyje), 1:20 (organiniame dirvožemyje), plakama 1 h, matuojama taikant atominės absorbcijos spektrometrinį metodą;
  - *judrusis varis (Cu) ir geležis (Fe*) – 1 M druskos rūgšties (HCl) tirpalo ištraukoje, santykiu 1:10 (mineraliniame dirvožemyje), 1:20 (organiniame dirvožemyje), plakama 1 h, matuojama taikant atominės absorbcijos spektrometrinį metodą;
  - *judrusis boras (B)* – karšto vandens 0,1 % magnio sulfato ($MgSO_4$) tirpalo ištraukoje, santykiu 1:5 (mineraliniame dirvožemyje), 1:10 (organiniame dirvožemyje), virinama 5 min, matuojama taikant spektrometrinį metodą ir naudojant azometiną-H;
  - *judrusis molibdenas (Mo)* – amonio oksalo buferinio tirpalo (pH 3,3) ištraukoje, santykiu 1:10 (mineraliniame dirvožemyje), 1:20 (organiniame dirvožemyje), plakama 1 h, matuojama taikant optinės emisijos spektrometrinį metodą;
  - *judrusis kobaltas (Co)* – 1 M azoto rūgšties (HNO_3) tirpalo ištraukoje, santykiu 1:10 (mineraliniame dirvožemyje), 1:20 (organiniame dirvožemyje), plakama 1 h, matuojama taikant atominės absorbcijos spektrometrinį metodą;
  - *judrioji geležis (Fe)* – 1 M HCl ištraukoje, santykiu 1:10, plakama 1 h, matuojama spektrofotometru;
- *suminės sunkiųjų metalų (Cd, Cr, Pb, Ni, As, Cu, Zn) koncentracijos* – dirvožemį 2 h mineralizuojant karališkos rūgšties tirpalu (HNO_3:HCl mišinio santykiui 1:3), esant 160 °C temperatūrai. Po to mineralizuotas mišinys praskiestas 100 ml matavimo kolboje iki brūkšnio, gautas tirpalas analizuotas ICP-OES, taikant 11466:1995, ISO 22036:2008 ir ISO 11047:1998 metodus.
- *gyvsidarbris (Hg)* – nustatomas pagal ISO 12846:2012, matuojamas naudojant šaltų garų atominės absorbcijos spektrometrinį metodą;
- *suminis azotas* – pagal standartą ISO 13654:2002, visų formų azotas mineralizuojamas iki amoniakinio, sieros rūgšties ir kalio sulfato tirpale, po to su azoto distiliatoriumi Kjeldalio metodu distiliuojamas ir titruojamas sieros rūgšties tirpalu;
- *suminis fosforas* – pagal standartą ISO 13650:2006, nustatomas indukuotos plazmos optinės emisijos spektrometriniu metodu;
- *suminis kalis* – pagal standartą ISO 13650:2006, nustatomas liepsnos emisijos spektrometriniu metodu;
- *suminė siera* – nustatoma indukuotos plazmos optinės emisijos spektrometriniu metodu

- *elektrinis laidumas* – matuojamas konduktometru, naudojant 0,01 N KCl tirpalą kontrolei.
- *chloridai* – nustatomi titrometriniu metodu, kai į 50 ml pavyzdžio įpilama 5 ml dažančio 10 % KCrO4 tirpalo ir titruojama 0,01 N AgNO3 tirpalu.
- *policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAA 15)* – nustatyti pagal ISO 13859:2014 metodą su skysčių chromatografu.
- *polichlorbifenilai (PCB 6)* – nustatyti pagal ISO 10382:2002 metodą analizuojama dujų chromatografu.

Organinės anglies (C_{org}) sankaupos (kiekis) t ha^{-1}, apskaičiuotos pagal formulę:

$$C_{org\ sank} = C_{org\ konc} \times TS \times SG,$$

kai $C_{org\ sank}$ – organinės anglies sankaupos (kiekis) dirvožemyje, t ha^{-1}; $C_{org\ conc}$ – organinės anglies koncentracija dirvožemyje, %; TS – dirvožemio tankis, g cm^{-3}; (s – 1,35, ps – 1,40, p-p_1 – 1,45, p_2-m – 1,55, pv – 1,10, d – 0,65–0,95); SG – dirvožemio ariamojo sluoksnio storis, 20 cm.

1.3. Dirvožemių cheminių savybių vertinimo skalės

Pagrindinės ir ilgalaikės visapusės stebėsenos metu nustatytos dirvožemio cheminės savybės buvo vertinamos pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimo skales, kurios pateikiamos žemiau esančios lentelėse.

Dirvožemio pH grupės pateiktos 1.3.1 lentelėje. Dirvožemiai, kurių pH 5,5 ir mažiau, laikomi *sąlygiškai rūgščiais*.

1.3.1 lentelė. Dirvožemių vertinimas pagal mainų rūgštumą (pH_{KCl})

Rūgštumo grupė ir sutartinė žymėjimo spalva	pH_{KCl}	
	vertė	vertinimas
I	≤4,5	labai rūgštūs
II	4,6–5,0	vidutiniškai rūgštūs
III	5,1–5,5	mažai rūgštūs
IV	5,6–6,0	rūgštoki
V	≥6,1	neutraloki, artimi neutraliems ir šarmiški

Dirvožemių vertinimas pagal judriųjų P_2O_5 ir K_2O koncentracijas (mg kg^{-1}), pateiktas 1.3.2 lentelėje. Dirvožemiai, kuriuose judriųjų P_2O_5 ir K_2O yra daugiau kaip 150 mg kg^{-1}, laikomi *sąlygiškai daug fosforo bei kalio turinčiais*.

1.3.2 lentelė. Judriojo fosforo (P_2O_5) ir judriojo kalio (K_2O) koncentracijos vertinimas dirvožemyje

Vertinimo grupė ir sutartinė žymėjimo spalva	Judriųjų P_2O_5 ir K_2O koncentracijos mg kg^{-1}	
	vertė	vertinimas
I	≤50	labai mažo fosforingumo ir kalingumo
II	51–100	mažo fosforingumo ir kalingumo
III	101–150	vidutinio fosforingumo ir kalingumo
IV	151–200	fosforingi ir kalingi
V	≥201	didelio ir labai didelio fosforingumo ir kalingumo

Judriojo kalcio (Ca) koncentracijos vertinimas dirvožemyje pateiktas 1.3.3 lentelėje.

1.3.3 lentelė. Judriojo kalcio koncentracijos dirvožemyje vertinimas

Vertinimo grupė ir sutartinė žymėjimo spalva	Judriojo kalcio (CaO) koncentracija mg kg^{-1} (A-L)			Vertinimas
	smėliuose	priesmėliuose ir lengvuose priemoliuose	vidutinio sunkumo ir sunkiuose priemoliuose bei moliuose	
I	≤250	≤600	≤900	labai maža
II	251–600	601–900	901–1500	maža
III	601–900	901–1500	1501–2500	vidutiniška
IV	901–1500	1501–2500	2501–4000	didelė
V	>1500	>2500	>4000	labai didelė

Judriojo magnio (Mg) koncentracijos vertinimas dirvožemyje pateiktas 1.3.4 lentelėje.

1.3.4 lentelė. Judriojo magnio koncentracijos dirvožemyje vertinimas

Vertinimo grupė ir sutartinė žymėjimo spalva	Judriojo magnio (MgO) koncentracija mg kg^{-1} (A-L)			Vertinimas
	smėliuose	priesmėliuose ir lengvuose priemoliuose	vidutinio sunkumo ir sunkiuose priemoliuose bei moliuose	
I	≤40	≤100	≤150	labai maža
II	41–100	101–150	151–250	maža
III	101–150	151–250	251–350	vidutiniška
IV	151–200	251–350	351–600	didelė
V	>200	>350	>600	labai didelė

Vertinant azoto kiekį dirvožemyje 0–60 cm gylyje labai svarbi ir turi didelės įtakos dirvožemio – granuliometrinė sudėtis. Todėl išskirtos dvi dirvožemio granuliometrinės sudėties grupės: smėlio ir atskirai priesmėlio–molio. Dirvožemio azotingumas suskirstyti į penkias sąlygines grupes – 1) labai mažo, 2) mažo, 3) vidutinio, 4) didelio ir 5) labai didelio (1.3.5 lentelė).

1.3.5 lentelė. Dirvožemio vertinimas pagal mineralinio azoto (N_{min}) kiekį

Dirvožemio azotingumas	Dirvožemio granuliometrinė sudėtis		
	Smėliai (s, s_1)	priesmėliai, priemoliai, moliai (ps-m)	Durpės, puvenos
	Mineralinio azoto (NO_3+NH_4) kiekis 0–60 cm dirvožemio sluoksnyje, kg ha^{-1}		
Labai mažas	≤30	≤35	≤50
Mažas	31–60	36–70	51–100
Vidutinis	61–90	71–105	101–150
Didelis	91–120	106–130	151–200
Labai didelis	>120	>130	>200

Dirvožemio sieringumas dirvožemyje 0–60 cm gylyje vertinamas suskirstant judriosios sieros kiekį, esantį dirvožemyje į penkias sąlygines grupes – 1) labai mažo, 2) mažo, 3) vidutinio, 4) didelio ir 5) labai didelio. Kiekvienai vertinimo grupei priskiriama ir sutartinė žymėjimo spalva (1.3.6 lentelė).

1.3.6 lentelė. Judriosios sieros (S_{min}) kiekio vertinimas dirvožemyje

Vertinimo grupė ir sutartinė žymėjimo spalva	S_{min} kiekis 0–60 cm sluoksnyje kg ha^{-1}	Vertinimas
Labai mažai	≤10	labai mažai
Mažai	11–20	mažai
Vidutiniškai	21–30	vidutiniškai
Daug	31–40	daug
Labai daug	>40	labai daug

Žemės ūkio naudmenose parinktose aikštelėse, organinės anglies (C_{org}) koncentracijos vertinimas dirvožemyje pateiktas 1.3.7 lentelėje.

1.3.7 lentelė. Organinės anglies (C_{org}) koncentracijos dirvožemyje vertinimas

Vertinimo grupė ir sutartinė žymėjimo spalva	C_{org} %	**Concentration in soil**
I	≤0,60	labai maža
II	0,61–1,20	maža
III	1,21–1,80	vidutiniška
IV	1,81–2,40	didelė
V	2,41–4,10	labai didelė
VI	4,11–5,80	ypatingai didelė
VII	5,81–12,00	puvena
VIII	12,01–18,00	puvena/durpė
IX	> 18,00	durpė

Judriųjų mikroelementų (boro (B), mangano (Mn), cinko (Zn), vario (Cu), geležies (Fe), molibdeno (Mo), kobalto (Co)) koncentracijų vertinimas dirvožemyje pateiktas 1.3.8 lentelėje.

1.3.8 lentelė. Judriųjų mikroelementų koncentracijų dirvožemyje vertinimas

Vertinimo grupė ir sutartinė žymėjimo spalva	Mikroelementų koncentracija mg kg^{-1} (0–20 cm)						
	boro (B)	mangano (Mn)	cinko (Zn)	vario (Cu)	geležies (Fe)	molib-deno (Mo)	kobalto (Co)
labai maža	≤0,10	≤1,0	≤0,5	≤0,30	≤400	≤0,05	≤0,30
maža	0,11–0,30	1,1–10,0	0,6–1,0	0,31–1,5	401–800	0,06–0,15	0,31–1,0
vidutiniška	0,31–0,60	10,1–50,0	1,1–2,0	1,6–3,0	801–1200	0,16–0,30	1,1–2,0
didelė	0,61–1,0	50,1–100	2,1–5,0	3,1–7,0	1201–1600	0,31–0,50	2,1–3,0
labai didelė	>1,0	>100	>5,0	>7,0	>1600	>0,50	>3,0

1.3.9 lentelė. Sunkiųjų metalų (Cd, Cr, Pb, Ni) suminių koncentracijų dirvožemyje vertinimas

Vertinimo grupė ir sutartinė žymėjimo spalva	Suminė koncentracija mg kg^{-1} (0–20 cm sluoksnyje)			
	kadmio (Cd)	chromo (Cr)	švino (Pb)	nikelio (Ni)
labai maža	≤0,30	≤10,0	≤10,0	≤6,0
maža	0,31–0,45	10,1–20,0	10,1–13,0	6,1–10,0
vidutiniška	0,46–0,60	20,1–30,0	13,1–16,0	10,1–16,0
didelė	0,61–0,80	30,1–40,0	16,1–19,0	16,1–19,0
labai didelė	>0,80	>40,0	>19,0	>19,0
RV*	1,5	80	80	75

Pastaba. * – RV – cheminės medžiagos ribinė vertė pagal Lietuvos higienos normą HN:2015 „Pavojingų cheminių medžiagų ribinės vertės dirvožemyje“.

1.3.10 lentelė. Sunkiųjų metalų (Cu, Zn, As, Hg) suminių koncentracijų dirvožemyje vertinimas

Vertinimo grupė ir sutartinė žymėjimo spalva	Suminė koncentracija mg kg^{-1} (0–20 cm sluoksnyje)			
	vario (Cu)	cinko (Zn)	arseno (As)	gyvsidabrio (Hg)
labai maža	≤3,0	≤13,0	≤0,7	Foninis lygis 0,005–0,08
maža	3,1–6,0	13,1–20,0	0,71–1,40	
vidutiniška	6,1–9,0	20,1–35,0	1,41–2,10	
didelė	9,1–12,0	35,1–45,0	2,11–2,80	
labai didelė	>12,0	>45,0	>2,80	
RV*	75	300	20	0,5

Pastaba. * – RV – cheminės medžiagos ribinė vertė pagal Lietuvos higienos normą HN:2015 „Pavojingų cheminių medžiagų ribinės vertės dirvožemyje“.

1.3.11 lentelė. Didžiausioji leidžiamoji sunkiųjų metalų koncentracija (DLK) dirvožemyje (LAND 20-2005)

Dirvožemio granuliometrinė sudėtis	Sunkiųjų metalų koncentracija, mg/kg						
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Hg
Smėliai, priesmėliai	50	1,0	50	50	50	160	0,5
Priemoliai, moliai	80	1,5	80	75	75	300	0,5

1.3.12 lentelė. Foninės sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemyje

Dirvožemio granuliometrinė sudėtis	Sunkiųjų metalų koncentracija, mg/kg						
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Hg
Smėliai, priesmėliai	7	0,09	10	6	11	19	0,075
Priemoliai, moliai	8	0,12	15	8	16	27	0,1

1.3.13 lentelė. Chloridų ribinė vertė dirvožemyje (HN 60:2004; Strėlkutė, Bradulienė, 2014.)

Rodiklis, mg kg^{-1} s. m	Dirvožemis/gruntas			
	Teritorijos jautrumo taršai kategorija			
	I	II	III	IV
Chloridai	60	60	350	350

2. TYRIMŲ REZULTATAI. Pagrindinė stebėsena.

2.1. Dirvožemių cheminių rodiklių charakteristika ir vertinimas pagrindinės stebėsenos metu

Pagrindinės stebėsenos metu (Vilniaus, Švenčionių, Širvintų, Molėtų, Anykščių, Trakų r.) parinktose aikštelėse (pagal vyraujantį toje vietoje dirvožemio tipą ir granuliometrinę sudėtį) surinktuose dirvožemio ėminiuose buvo nustatyti šie dirvožemio cheminiai rodikliai: pH_{KCl}, organinė anglis (C_{org}), mineralinis azotas (N_{min}), judrieji fosforas (P_2O_5), kalis (K_2O), kalcis (CaO) ir magnis (MgO), sunkieji metalai (kadmis – Cd, švinas – Pb, chromas – Cr, nikelis – Ni, varis – Cu, cinkas – Zn, gyvsidabris – Hg). Tyrimų rezultatai ir jų vertinimas pateikti 2.1.1, 2.1.2 ir 2.1.3 poskyriuose, kuriuose pateikiame dirvožemių cheminių rodiklių vidurkių pasiskirstymą skirtingų tipų dirvožemiuose ir gautų reikšmių procentinį pasiskirstymą (%) pagal atitinkamo elemento turtingumo grupes, bei tirtų dirvožemių pasiskirstymą pagal jų našumo balą (ŽIS) (2.1.4 poskyris).

2.1.1. Dirvožemio pH_{KCl}, organinė anglis (C_{org}) ir mineralinis azotas (N_{min})

Dirvožemio pH_{KCl}. Dirvožemių rūgštėjimas – gamtoje natūraliai nuolat vykstantis dirvodaros procesas, kurį skatina abiotiniai ir antropogeniniai veiksniai: rūgštūs krituliai, žemės ūkyje naudojama agrotechnika, tręšimas fiziologiškai rūgščiomis mineralinėmis trąšomis, intensyvus pesticidų naudojimas, maistinių elementų išsiplovimas bei išnešimas iš dirvožemio su augalų derliumi. Dėl minėtų veiksnių ariamasis sluoksnis kasmet gali netekti 120–300 kg ha^{-1} kalcio. Dirvožemių rūgštėjimas intensyviausiai vyksta Vakarų, Rytų ir Pietryčių Lietuvoje, kur vyrauja iš prigimties rūgštūs dirvožemiai (dažniausiai t. y. išplautžemiai, balkšvažemiai ir smėlžemiai). Šių dirvožemių susidarymą lėmė dirvodarinė uoliena, klimatas, biocenozė bei karbonatingojo sluoksnio gylis. Rytų Lietuvoje priklausomai nuo dirvodarinės uolienos, karbonatingas horizontas yra 0,8–1,4 m gylyje, ir tai iš dalies lemia mažesnį dirvožemių rūgštumą, nei Vakarų Lietuvoje, kur iškrenta daugiausiai kritulių ir dėl to vyksta intensyviausi cheminių elementų išplovimo procesai, o karbonatingas sluoksnis slūgso 2–3 m gylyje. Dėl ankstyvesnio kalkinimo šalyje rūgščių dirvožemių plotai gerokai sumažėjo ir didesnėje dalyje žemės ūkio naudmenų rūgštumas buvo sureguliuotas iki daugeliui augalų augti tinkamo lygio. Tačiau šalyje pasikeitus ekonominei situacijai, valstybės lėšomis rūgščios dirvos nebekalkinamos jau daugiau kaip 30 metų, todėl prasidėjo antrinis kalkintų dirvožemių rūgštėjimo procesas, kuris neigiamai veikia augalų produktyvumą.

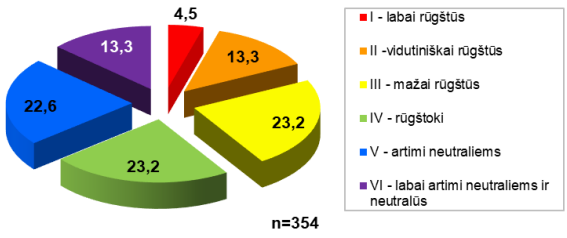
Projekto laukuose trumpos rotacijos želdiniai buvo auginami įvairių tipų dirvožemiuose, kuriuos mes suskirstėme į dvi grupes: 1) mineraliniai ir 2) organiniai. Mineralinių dirvožemių grupei buvo priskirti išplautžemiai, balkšvažemiai, smėlžemiai, palvažemiai ir šlynžemiai; organinių dirvožemių grupę atstovavo žemapelkių durpžemiai.

Analizuodami pH_{KCl} verčių pasiskirstymą (%) tirtuose laukuose, matome, kad mineraliniai (A) ir organiniai dirvožemiai (B) pagal jų reakciją skyrėsi, nors skirtumai nebuvo labai ryškūs (2.1.1. pav.). Mineraliniuose dirvožemiuose labai rūgštūs (pH_{KCl} ≤4,5) ir vidutiniškai rūgštūs (pH_{KCl} 4,6–5,0) plotai bendrai sudarė 17,8 %, tuo tarpu organiniuose dirvožemiuose – atitinkamai tik 6,7 %. Tačiau mažai rūgščių (pH_{KCl} 5,1–5,5) dirvožemių nustatyta labai panašiai – 23,2 ir 21,7 %. Visos šios išvardintos dirvožemio rūgštumo grupės sudaro sąlygiškai rūgščių dirvožemių grupę (pH_{KCl} ≤5,5) ir

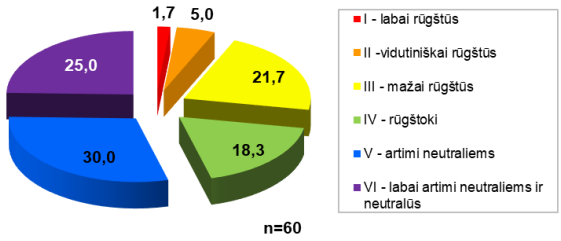
mineraliniuose dirvožemiuose šie plotai sudaro du penktadalius (41 %), o organiniuose – 28,4 %. Kaip matome šiuose plotuose vyksta dirvožemio rūgštėjimas, kuris yra viena iš jo cheminės degradacijos formų. Rūgščiuose dirvožemiuose augalai blogai įsisavina svarbiausius makroelementus – azotą, fosforą, kalį, kalcį, magnį ir mikroelementą molibdeną (Mo). Itin prastai įsisavina fosforą, nes rūgščiame dirvožemyje fosforo rūgšties anijonai tampa mažai tirpiais aliuminio ir geležies ortofosfatais. Be to, augalų biomasėje padidėja sunkiųjų metalų kaupimasis, dėl padidėjusio jų judrumo. Todėl tokiuose dirvožemiuose, siekiant pristabdyti dirvožemio degradacijos procesus, išvengti vandenilio jonų gausėjimo ir judriojo aliuminio (Al) atsistatymo dirvožemio tirpale, dėl natūralaus kalcio išsiplovimo esant gausiems krituliams, taršos bei maisto medžiagų paėmimo su augalų formuojama biomase, bei susikaupusių sunkiųjų metalų judrumo suintensyvėjimo, labai svarbu pagalvoti apie jų kalkinimą.

Rūgštoki (pH_{KCl} 5,5–6,0) plotai mineralinių dirvožemių grupėje sudarė beveik ketvirtadalį (23,2 %), o organinių – šeštadalį (18,3 %) tirto ploto (2.1.1.1 pav.). Todėl ne ką mažiau svarbu stebėti pokyčius ir šioje rūgštumo grupėje, nes minėti dirvožemiai, veikiant nepalankiems aplinkos veiksniams, gana greitai gali pereiti į sąlygiškai rūgščių dirvožemių grupę. Artimų neutraliai reakcijai (pH_{KCl} 6,1–6,5) ir neutralokų (pH_{KCl} ≥6,5) plotų mineralinių dirvožemių grupėje yra 22,6 ir 13,3 %, o organinių dirvožemių grupėje ženkliai daugiau – atitinkamai 30,5 ir 25,0 %. Matomas skirtumas (19,6 % vnt.) yra lengvai paaiškinamas, nes žemapelkių durpžemiai pasižymi silpnai rūgščia ir neutralia reakcija, kai tuo tarpu mineralinių dirvožemių grupėje – balkšvažemiai, palvažemiai ir smėlžemiai – dažnai yra rūgštesnės reakcijos.

A – mineraliniai dirvožemiai



B – organiniai dirvožemiai



2.1.1.1 pav. pH_{KCl} pasiskirstymas (%) pagal rūgštumo grupes tirtuose mineraliniuose (A) ir organiniuose (B) dirvožemiuose

Organinė anglis (C_{org}). Dirvožemyje esanti organinė anglis atlieka daugybę svarbių funkcijų. Gerindama dirvožemio kokybę ir didindama augalų derlingumą, ji mažina CO_2 emisijas į atmosferą, o tai paskutiniu metu itin svarbu kovojant su pasauliniu klimato atšilimu. Anglies išsiskyrimas bei mainai tarp atmosferos ir ekosistemų vyksta nenutrūkstamai, todėl dirvožemis yra labai svarbi šio ciklo dalis. Anglies kaupimąsi dirvožemyje įtakoja ne tik klimatiniai veiksniai (temperatūra, krituliai), žemės naudojimo būdas, auginami augalai, bet ir žmogaus vykdoma ūkinė veikla (dabar ir praeityje), tręšimas. Anglies sankaupas dirvožemyje taip pat apsprendžia ir pačio dirvožemio savybės, t. y. dirvodaros procesų metu susidariusios pirminės medžiagos, humuso frakcijos, ariamojo humusingojo horizonto sluoksnio storis, tankis, dirvožemio tipas, granuliometrinė sudėtis. Kaip rodo daugumos tyrėjų atlikti tyrimai, C_{org} koncentracijos mineraliniuose, organiniuose-mineraliniuose ir organiniuose

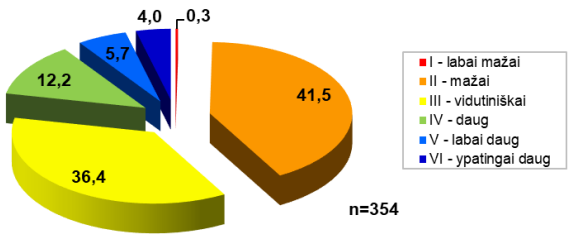
dirvožemiuose gali skirtis net keletą kartų. Jungtinėje karalystėje mokslininkai nustatė, kad durpžemiuose C_{org} susikaupia beveik 4 kartus daugiau lyginant su mineraliniais dirvožemiais ir 1,5 karto daugiau lyginant su puveningais šlynžemiais.

Kaip organinė anglies (C_{org}) koncentracijos pasiskirstė pagal turtingumo grupes mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose (viršutiniame 0–20 cm sluoksnyje), pavaizduota 2.1.1.2 paveiksle. Mineraliniai dirvožemiai (išplautžemiai, balkšvažemiai, smėlžemiai, palvažemiai ir iš dalies šlynžemiai) pasižymi ženkliai mažesnėmis C_{org} koncentracijomis nei organiniai dirvožemiai (žemapelkių durpžemiai), ir šių koncentracijų skirtumai vidutiniškai tarp lyginamų skirtingų dirvožemio tipų gali skirtis nuo 4,3 (žemapelkių durpžemius lyginant su šlynžemiais) iki 8,4–10,1 karto (žemapelkių durpžemius lyginant su išplautžemiais, balkšvažemiais, smėlžemiais ir palvažemiais). Mineralinių dirvožemių grupėje (2.1.1.2.A pav.) vyravo mažos (0,61–1,20 %) ir vidutinės (1,21–1,80 %) C_{org} koncentracijos, kurios sudarė 41,5 ir 36,4 % nuo visų tirtų mineralinių dirvožemių. Labai mažos (≤0,60 %) C_{org} koncentracijos dirvožemiai čia sudarė vos 0,3 %. Likusią dalį – kiek daugiau nei penktadalį (21,9 %) – sudarė daug (1,81–2,40 %), labai daug (2,41–4,10 %) ir ypatingai daug (≥4,11 %) C_{org} turintys dirvožemiai.

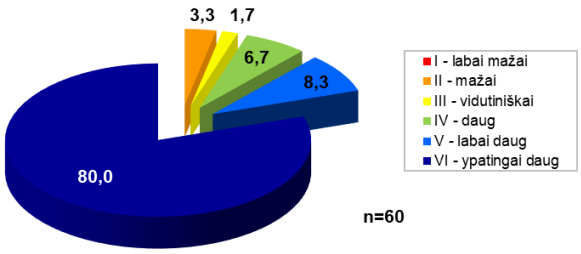
Organiniuose dirvožemiuose (žemapelkių durpžemiuose) C_{org} koncentracijos pasiskirstymas buvo priešingas mineraliniuose dirvožemiuose (2.1.1.2.B pav.). Čia vyrauja ypatingai daug (≥4,11 %), labai daug (2,41–4,10 %) ir daug (1,81–2,40 %) C_{org} turintys dirvožemiai, kurie bendrai sudaro 95,0 % visų tirtų organinių dirvožemių. Tuo tarpu labai maža (≤0,60 %) koncentracija pasižyminčių plotų čia nenustatyta, o mažos (0,61–1,20 %) ir vidutiniškos (1,21–1,80 %) C_{org} – atitinkamai 3,3 ir 1,7 %.

Apibendrinant galime teigti, kad mineralinių dirvožemių grupėje tik šlynžemiai, ypač puveningieji, pasižymi didesnėmis C_{org} koncentracijomis dirvožemyje, likusieji mineraliniai dirvožemiai – išplautžemiai, balkšvažemiai, smėlžemiai, palvažemiai – priklausomai nuo jų tipo ir potipio bei granuliometrinės sudėties, veikiant įvairiems klimatiniams ir antropogeniniams veiksniams, ženkliai mažesnėmis koncentracijos. Nusausintuose buvusiuose užmirkusiuose ir šlapiuose dirvožemiuose dažniausiai C_{org} yra daugiau nei automorfiniuose dirvožemiuose, kur drėgmės režimas yra normalus. Ypač mažai C_{org} turi tie dirvožemiai, kurių viršutinis dirvožemio sluoksnis nuardytas erozijos.

A – mineraliniai dirvožemiai



B – organiniai dirvožemiai



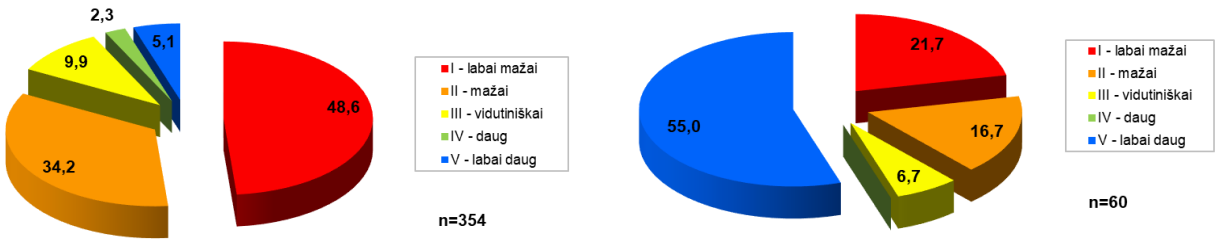
2.1.1.2 pav. Organinės anglies (C_{org}) koncentracijos pasiskirstymas (%) pagal turtingumo grupes tirtuose mineraliniuose (A) ir organiniuose (B) dirvožemiuose

Mineralinio azoto (N_{min}) kiekis dirvožemyje per metus pastebimai kinta priklausomai nuo augalų tręšimo organinėmis ir mineralinėmis trąšomis, klimatinių sąlygų, taikomo žemės dirbimo, auginamų augalų rūšies, dirvožemio genezės ir jo granuliometrinės sudėties bei dirvožemio azotingumo. Sunkesnės granuliometrinės sudėties dirvožemiuose, turinčiuose daugiau molio ir dulkių dalelių, daugiau kaupiasi mineralinio azoto negu lengvuose, iš kurių azoto migracija vyksta intensyviausiai. Nors azotas yra vienas iš esminių veiksnių, formuojančių dirvožemio ir augalų derlingumą, tačiau jo perteklius gali kenkti aplinkai. Labai svarbu įvertinti N_{min} kiekį dirvožemyje, nes augalų pertręšimas bei perteklinis azoto susikaupimas dirvožemyje, kai naudojamos tręšimui nepagrįstai didelės trąšų normos, gali tapti taršos šaltiniu. Pavojingiausi yra nitratai (NO_3^-), kurie skirtingai amonio jonams (NH_4^+), nesorbuojami dirvožemio sorbuojamojo komplekso ir mažiau įsavinami augalų, todėl intensyviai migruoja biosferoje, linkę išsiplauti ir užteršti gruntinius vandenis, upes bei kitus vandens telkinius. Nitratų kiekio padidėjimą spartina ir žemės dirbimas, lemiantis intensyvesnę dirvožemio organinių medžiagų mineralizaciją. Iš kitos pusės nitratai aplinkoje randami natūraliai ir yra svarbi augalų maistinė medžiaga. Leistini ir normų neviršijantys nitratų kiekiai paprastai nedaro negatyvios įtakos žmonių ir gyvūnų sveikatai ar vandens florai ir faunai.

Tirti dirvožemiai Vilniaus, Švenčionių, Širvintų, Molėtų, Anykščių ir Trakų rajonuose priklausė Rytų Lietuvos zonai, kur vyrauja lengvesnės granuliometrinės sudėties dirvožemiai, todėl tai iš dalies lėmė kiek mažesnes N_{min} koncentracijas juose, palyginus su Vidurio Lietuvos lygumų reljefe vyraujančiais mineraliniais dirvožemiais.

Mineralinio azoto (N_{min}) pasiskirstymas (%) 0–60 cm sluoksnyje pagal turtingumo grupes tirtuose mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose, pateiktas 2.1.1.3 A ir B paveiksluose. Kaip matome, mineraliniuose dirvožemiuose (išplautžemiuose, balkšvažemiuose, smėlžemiuose, palvažemiuose ir iš dalies šlynžemiuose) nustatyti N_{min} kiekiai buvo ženkliai mažesni nei organiniuose dirvožemiuose (žemapelkių durpžemiuose), ir šių kiekių skirtumai vidutiniškai tarp lyginamų skirtingų dirvožemio tipų skyrėsi vidutiniškai nuo 4 kartų (žemapelkių durpžemius lyginant su šlynžemiais) iki 6,1–6,9 karto (žemapelkių durpžemius lyginant su išplautžemiais, balkšvažemiais, smėlžemiais ir palvažemiais). Mineralinių dirvožemių grupėje (2.1.1.3.A pav.) vyravo labai mažai (≤35 kg ha^{-1}) ir mažai (36–70 kg ha^{-1}) N_{min} turintys dirvožemiai, kurie sudarė 48,6 ir 34,2 %, o vidutiniai (71–105 kg ha^{-1}) N_{min} kiekiai nustatyti beveik dešimtadalyje (9,9 %) visų tirtų mineralinių dirvožemių. Likusią dalį sudarė daug (106–130 kg ha^{-1}) ir labai daug (>130 kg ha^{-1}) N_{min} turintys dirvožemiai – atitinkamai 2,3 ir 5,1 %.

A – mineraliniai dirvožemiai **B** – organiniai dirvožemiai



2.1.1.3 pav. Mineralinio azoto (N_{min}) pasiskirstymas (%) 0–60 cm sluoksnyje pagal turtingumo grupes tirtuose mineraliniuose (A) ir organiniuose (B) dirvožemiuose

Organiniuose dirvožemiuose (žemapelkių durpžemiuose) N_{min} pasiskirstė kiek kitaip nei mineraliniuose dirvožemiuose (2.1.1.3.B pav.). Čia vyravo labai daug (>200 kg ha^{-1}) N_{min} turintys dirvožemiai ir sudarė 55 % iš visų tirtų organinių dirvožemių. Tuo tarpu labai mažai (≤50 kg ha^{-1}) ir mažai (51–100 kg ha^{-1}) N_{min} turinčių dirvožemių nustatyta atitinkamai 21,7 ir 16,7 %, o vidutiniškai turinčių (101–150 kg ha^{-1}) – vos 6,7 %.

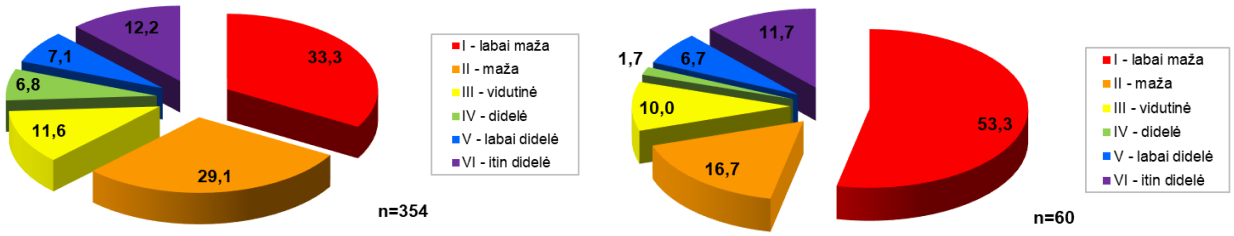
Apibendrinant N_{min} pasiskirstymą skirtinguose dirvožemiuose, matome, kad tirtuose organiniuose dirvožemiuose rasti ženkliai didesni N_{min} kiekiai, dėl juose esančių gausaus organinių medžiagų kiekio, kurių mineralizacijos metu atsipalaiduoja daug maisto medžiagų, ypač azoto. Be to, Rytų šalies zonoje vyraujantys lengvi (priesmėlio ir smėlio) mineraliniai dirvožemiai gerai praleidžia drėgmę, greitai įšyla, nesunkiai įdirbami, bet mažai sukaupia drėgmės, turi nedaug C_{org} bei organinių medžiagų, o susikaupęs N_{min} išsiplauna greičiau, todėl čia vyravo labai mažus ir mažus N_{min} kiekius turintys dirvožemiai.

2.1.2. Judrieji fosforas, kalis, kalcis ir magnis

Judrusis fosforas (P_2O_5). Fosforas, priešingai kai kurioms azoto formoms, dirvožemyje yra gana stabilus ir taip lengvai nekinta. Dėl didelio pastovumo bei mažo tirpumo dirvožemyje, fosforas dažnai laikomas trūkstamu elementu. Dirvožemyje jis įeina į mineralinių ir organinių junginių sudėtį. Fosforo pasisavinimui didelės reikšmės turi dirvožemio kilmė, fizikinės savybės, dirvožemio fosforo frakcinė sudėtis, drėgmės rėžimas, pH, organinių medžiagų ir kalcio karbonatų kiekiai dirvožemyje bei kiti veiksniai. Dirvožemyje fosforas virsta tirpia forma, dūlėjant pirminiams mineralams bei mineralizuojantis augalų liekanoms, o taip pat dirvas tręšiant organinėmis ir mineralinėmis trąšomis. Organiniuose junginiuose esančio fosforo augalai įsisavina labai nedaug, ir tik tuomet, kai intensyviai vyksta organinės medžiagos mineralizacija. Mineraliniuose junginiuose esantis fosforas būna kalcio, geležies bei aliuminio fosfatų formos ir yra svarbiausias augalų mitybai. Kalcio fosfatai vyrauja, kai dirvožemio pH yra artimas neutraliam ir silpnai šarminis (pH_{KCl} >6,0), tai yra rudžemiuose ir karbonatinguose išplautžemiuose, o geležies ir aliuminio fosfatai – rūgščiuose dirvožemiuose. Todėl, palankiausias dirvožemio pH šio elemento įsisavinimui yra nuo mažai rūgštaus iki neutraloko. Šarminiuose dirvožemiuose gausu kalcio, todėl tirpus fosforas gali lengvai pereiti į mažai tirpius kalcio fosfatus. Priešingai, labai rūgščiuose dirvožemiuose sumažėja aliuminio ir geležies fosfatų tirpumas. Dirvožemyje fosforas dažnai įeina į sudėtingesnių junginių sudėtį, todėl tiksliai augalams prieinamą jo kiekį nelengva nustatyti.

Judriojo fosforo (P_2O_5) pasiskirstymas (%) viršutiniame 0–20 cm sluoksnyje pagal turtingumo grupes tirtuose mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose, pateiktas 2.1.2.1 A ir B paveiksluose. Tiek mineralinių (2.1.2.1.A pav.), tiek organinių dirvožemių grupėje (2.1.2.1.B pav.) vyravo labai mažai (MD ≤50 mg kg^{-1}; OD ≤70 mg kg^{-1}) ir mažai (MD 51–100 mg kg^{-1}; OD 71–130 mg kg^{-1}) judriojo P_2O_5 turintys dirvožemiai, kurie sudarė atitinkamai mineraliniuose dirvožemiuose 33,3 ir 29,1 %, o organiniuose – 53,3 ir 16,7 % tirtų dirvožemių. Kaip matome, organinių dirvožemių grupėje labai mažos koncentracijos dirvožemių buvo 20 % vnt. daugiau nei mineralinių, o mažos koncentracijos priešingai – 12,4 % vnt. daugiau mineralinių dirvožemių grupėje nei organinių. Kitų turtingumo grupių dirvožemiai sudarė panašų procentą, išskyrus didelės koncentracijos dirvožemių mineralinių dirvožemių grupėje buvo 5,1 % vnt. daugiau nei organinių.

A – mineraliniai dirvožemiai **B** – organiniai dirvožemiai



2.1.2.1 pav. Judriojo fosforo (P_2O_5) koncentracijos pasiskirstymas (%) 0–20 cm sluoksnyje pagal turtingumo grupes tirtuose mineraliniuose (A) ir organiniuose (B) dirvožemiuose

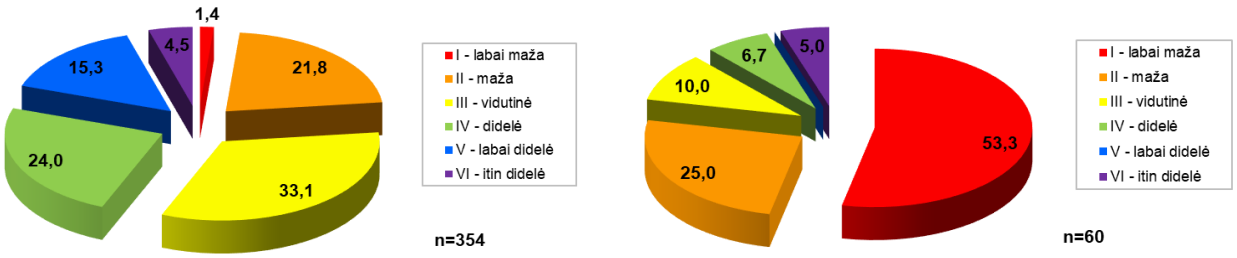
Apibendrindami judriojo P_2O_5 koncentracijų rezultatus tirtų laukų dirvožemiuose, matome, kad mineraliniai dirvožemiai buvo kiek geriau aprūpinti judriuoju P_2O_5 nei organiniai dirvožemiai, nors abejose dirvožemių grupėse vyravo labai mažai ir mažai judriojo P_2O_5 turintys plotai. Įprastai organiniuose dirvožemiuose didelės fosforo atsargos yra organinėje formoje ir augalams jos tampa prieinamos tik vykstant intensyviai organinių medžiagų, esančių durpėje, mineralizacijai: kuo ji intensyvesnė, tuo daugiau atsipalaiduoja tirpios formos fosforo junginių. Taigi fosforo kiekio sumažėjimai ar padidėjimai viršutiniame (0–30 cm) sluoksnyje dažnai yra susiję su durpės mineralizacija. Taip pat tirtuose durpiniuose dirvožemiuose buvo gausu kalcio, todėl tirpus fosforas galėjo lengvai pereiti į mažai tirpius kalcio fosfatus. Be to, visi durpžemyje vykstantys fosforo kiekio svyravimai profilyje glaudžiai susiję ne tik su durpžemio naudojimo ypatumais (vykdoma ūkine veikla), bet ir su gruntinio vandens lygio svyravimais bei paklotine uoliena, o šių sąlygų ypatumai lemia fosforo kiekio svyravimus durpžemio profilyje.

Judrusis kalis (K_2O). Kalis, kaip ir fosforas, yra viena pagrindinių augalų maisto medžiagų. Kalio kiekis dirvožemyje priklauso nuo šio elemento gausumo dirvodarinėse uolienose, dirvožemio granuliometrinės sudėties, dirvožemio tipo, lauko sukultūrinimo lygio ir tręšimo intensyvumo. Dirvožemyje kalis būna tirpus vandenyje, dirvožemio koloidų sorbuotas (mainų), fiksuotas molio mineralų ir įeinantis į mikroorganizmų plazmą. Nors dirvožemyje šios kalio formos yra tarpusavyje glaudžiai susijusios, tačiau jų reikmė augalų mityboje nevienoda. Pagrindinis augalų pasiekiamo kalio šaltinis yra dirvožemio koloidų sorbuotas mainų kalis, kuris kitų katijonų išstumiamas į dirvožemio tirpalą. Mainų kalio pasisavinimas priklauso nuo daugelio dirvožemio savybių bei meteorologinių veiksnių. Jis tampa prieinamas augalams, kai ši kalio forma pereina į vandenyje tirpų kalį. Judriojo kalio junginių Lietuvos dirvožemiuose paprastai būna daugiau nei judriojo fosforo. Tačiau, augalų įsavinamas judrusis kalis suminio kalio kiekyje sudaro vos kelis procentus. Jo taip pat daugiau yra molio dalelėse. Judrųjį kalį augalai gerai įsavina drėgnesniais metais, o sausringais jis tvirčiau surištas dirvožemio koloidų ir jo įsavinama mažiau. Kalis pasižymi dideliu judrumu, todėl didesni jo kiekiai dirvožemyje gali lengvai išsiplauti. Kalio išplovimą ypač stimuliuoja didelės bei vėlyvos trąšų normos. Tačiau, naudojant didelius trąšų kiekius, kurių augalai nepajėgia pasisavinti, kalis dažnai dirvožemyje lieka sorbuoto pavidalo, menkai migruoja ir gali būti vėliau sunaudojamas auginamų augalų. Įterpiant didesnes kalio normas drėgnuose dirvožemiuose kalio fiksacija sumažėja, o sausuose – padidėja. Neutraliuose ir kalkintuose dirvožemiuose kalis pasižymi didesniu stabilumu,

kai tuo tarpu rūgščiuose jis yra ženkliai greičiau išplaunamas. Be to, smėlio dirvožemiuose kalis mažai sorbuojamas, o išplovimo nuostoliai būna dideli.

Judriojo kalio (K_2O) junginių Lietuvos dirvožemiuose paprastai būna daugiau nei judriojo fosforo (P_2O_5). Taigi pagrindinės stebėsenos metu tirtuose Rytų Lietuvos (Vilniaus, Švenčionių, Širvintų, Molėtų, Anykščių, Trakų r.) dirvožemiuose, judriojo K_2O koncentracijos mediana buvo 1,7 karto didesnė lyginant su judriuoju P_2O_5. Judriojo kalio (K_2O) koncentracijų pasiskirstymas (%) viršutiniame 0–20 cm sluoksnyje pagal turtingumo grupes tirtuose mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose, pateiktas 2.1.2.2 A ir B paveiksluose. Mineralinių dirvožemių grupėje (2.1.2.2.A pav.) vyravo mažai (51–100 mg kg^{-1}) ir vidutiniškai (101–150 mg kg^{-1}) judriojo K_2O turintys dirvožemiai, kurie sudarė 21,8 ir 33,1 %, o labai mažai turinčių (≤50 mg kg^{-1}) nustatyta vos 1,4 % iš visų tirtų mineralinių dirvožemių. Likusią dalį sudarė daug (151–200 mg kg^{-1}), labai daug (201–300 mg kg^{-1}) ir itin daug (>300 mg kg^{-1}) judriojo K_2O turintys plotai – atitinkamai 24,0; 15,3 ir 4,5 %. Dirvožemiai, kuriuose judriojo K_2O yra daugiau kaip 150 mg kg^{-1}, laikomi *sąlygiškai daug kalio turinčiais*. Taigi, minėtų dirvožemių mineralinių dirvožemių grupėje buvo daugiau nei du penktadaliai, tai yra 43,8 %. Organiniuose dirvožemiuose (žemapelkių durpžemiuose) judrusis K_2O pasiskirstė kiek kitaip nei mineraliniuose dirvožemiuose (2.1.2.2.B pav.). Čia vyravo labai mažai (≤120 mg kg^{-1}) ir mažai (121–200 mg kg^{-1}) judriojo K_2O turintys dirvožemiai ir bendrai sudarė beveik tris penktadalius (78,3 %) iš visų tirtų organinių dirvožemių. Tuo tarpu vidutiniškai (201–300 mg kg^{-1}), daug (301–500 mg kg^{-1}) ir itin daug (>700 mg kg^{-1}) judriojo K_2O turinčių dirvožemių nustatyta atitinkamai 10,0; 6,7 ir 5,0 %.

A – mineraliniai dirvožemiai **B** – organiniai dirvožemiai



2.1.2.2 pav. Judriojo kalio (K_2O) koncentracijos pasiskirstymas (%) 0–20 cm sluoksnyje pagal turtingumo grupes tirtuose mineraliniuose (A) ir organiniuose (B) dirvožemiuose

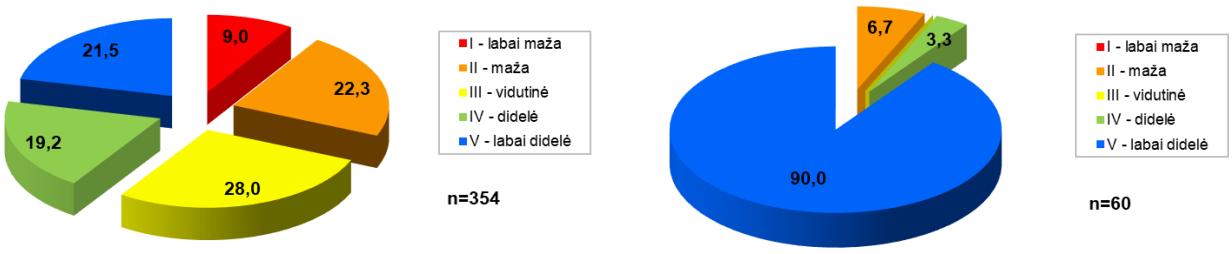
Kaip matome, tirtuose organiniuose dirvožemiuose judriojo K_2O, kaip ir judriojo P_2O_5, buvo kiek mažiau nei mineraliniuose dirvožemiuose (žemapelkių durpžemiuose). Tai didele dalimi priklausė nuo organinės medžiagos mineralizacijos procesų intensyvumo tirtuose durpžemiuose, nes kaip žinoma, didelės augalų maisto medžiagų, tame tarpe ir kalio, atsargos minėtuose dirvožemiuose yra organinėje formoje ir augalams beveik neprieinamos. Kuo durpiniai dirvožemiai yra stipriau susiskaidę ir mineralizavęsi, tuo juose daugiau tirpių ir augalams lengvai prieinamų kalio junginių. Šiuo atveju minėtų junginių tirtuose organiniuose dirvožemiuose nebuvo pakankamai. Mokslinėje literatūroje taip pat pabrėžiama, kad durpžemiuose judriojo P_2O_5 ir K_2O kiekiai lyginant su mineraliniais dirvožemiais dažnai būna didesni visuose tirtuose dirvožemio sluoksniuose. Judriojo

P_2O_5 svyravimai sutampa su judriojo K_2O kiekio svyravimais, ir tai būtent siejama su durpžemių morfologija, susiskaidymo ir mineralizacijos lygiu bei naudojimu žemės ūkio reikmėms.

Judrusis kalcis (CaO). Kalcis augalams reikalingas nuo pat sudygimo. Beveik visi žemės ūkio augalai kalcio sunaudoja daugiau negu fosforo, mangano ir sieros, tačiau mažiau negu azoto. Didelę įtaką kalcis turi ir dirvožemio struktūros susidarymui bei palaikymui, stabilizuodamas dirvožemio daleles. Kalcis labai svarbus dirvožemio rūgštumui neutralizuoti ir įvairaus valentingumo jonų – H^+, Na^+, Al^{3+}, Fe^{3+} – žalingumui panaikinti. Judriojo kalcio koncentracija dirvožemyje yra tiesiogiai susijusi su sumine jo koncentracija ir priklauso nuo karbonatingojo sluoksnio slūgsojimo gylio, kuriame gausu kalcio ir magnio karbonatų. Šis sluoksnis yra tarsi indikatorius, rodantis, kuriame gylyje kalcio gali trūkti, o kur jo yra daug. Rytų Lietuvoje šis sluoksnis slūgso 0,8–1,2 m, Vakarų – itin giliai – 1,5–3,0 m, Vidurio Lietuvoje –0,4–0,8 m gylyje, o kai kur net ir dirvos paviršiuje. Judriojo kalcio koncentracija dirvožemyje taip pat koreliuoja su dirvožemio pH: esant rūgštesnei – dirvožemiuose būna mažiau kalcio, o esant artimai neutraliai – jo yra daugiau. Be to, esant tai pačiai reakcijai lengvos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose (smėliuose) kalcio yra mažiau negu sunkesnės (priesmėliuose, priemoliuose ir moliuose).

Atlikti tyrimai rodo, kad judriojo kalcio (CaO) koncentracijos tirtų rajonų mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose pasiskirstė nevienodai ir tikėtina didele dalimi priklausė nuo dirvožemio pH, ir nuo to ar dirvožemiai buvo karbonatingi bei pasotinti bazėmis ar ne. Bendra situacija mineralinių dirvožemių grupėje nėra labai bloga, nes tik nepilnai trečdalyje (31,3 %) iš tirtų ėminių judriojo Ca nustatyta labai mažai (≤600 mg kg^{-1}) ir mažai (601–900 mg kg^{-1}), daugiau nei ketvirtadalyje (28,0 %) – vidutiniškai (901–1500 mg kg^{-1}), o likusiuose dviejuose penktadaliuose (40,7 %) – daug (1501–2500 mg kg^{-1}) ir labai daug (>2500 mg kg^{-1}) (2.1.2.3A pav.).

A – mineraliniai dirvožemiai **B** – organiniai dirvožemiai



2.1.2.3 pav. Judriojo kalcio (CaO) koncentracijos pasiskirstymas (%) 0–20 cm sluoksnyje pagal turtingumo grupes tirtuose mineraliniuose (A) ir organiniuose (B) dirvožemiuose

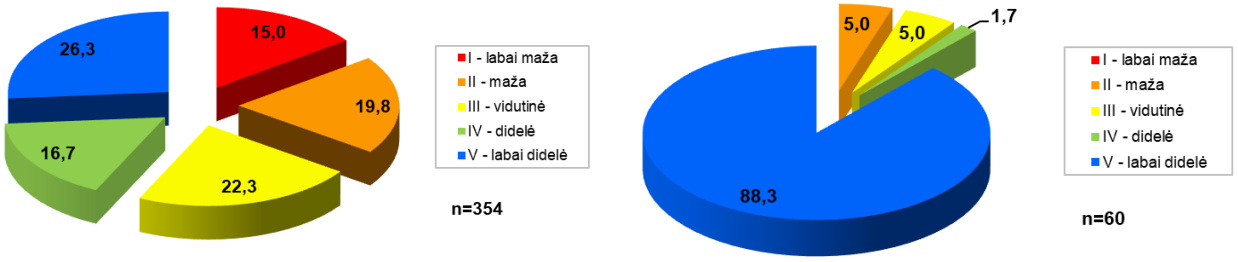
Organiniuose dirvožemiuose priešingai labai daug ir daug judriojo CaO turinčių dirvožemių buvo net 93,3 %, o likusieji (6,7 %) – mažai turintys (2.1.2.3 B pav.). Tiek mineralinių, tiek organinių dirvožemių grupėje, judriojo CaO daugiau turėjo tie dirvožemiai, kurių pH_{KCl} vertės buvo didesnės ir artimos neutralioms ar šarmiškoms.

Judrusis magnis (MgO). Magnis, kaip ir kalcis, gerina dirvožemio fizikines savybes ir reguliuoja jo reakciją (pH), o didesni jo kiekiai mažina filtraciją, trukdo kapiliariniam vandens kilimui, didina dirvožemio dispersiškumą, brinkimą ir vandens imlumą. Judriojo magnio (Mg)

koncentracija sudaro keletą procentų suminio magnio koncentracijos. Judrusis Mg, kaip ir judrusis Ca, yra sorbuotas smulkiųjų dirvožemio dalelių, todėl didesnė jo koncentracija būna sunkesnės granuliometrinės neutraliuose ir šarminguose, mažesnė – smėliuose ir rūgščiuose dirvožemiuose. Kaip ir suminio, judriojo MgO gerokai daugiau yra dirvožemio karbonatingame sluoksnyje. Augalai magnį geriausiai įsisavina, kai jo santykis su kalciu dirvožemyje yra 1–5:8.

Atlikti tyrimai rodo, kad judriojo magnio (MgO) koncentracijos tirtų rajonų mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose pagal turtingumo grupes pasiskirstė labai panašiai, kaip ir judriojo CaO koncentracijos, ir didžiąja dalimi priklausė nuo dirvožemio pH, pasotinimo bazėmis bei jo granuliometrinės sudėties. Vertinant tyrimų rezultatus, matyti, kad mineralinių dirvožemių grupėje kiek daugiau nei trečdalyje (34,8 %) iš tirtų ėminių judriojo MgO nustatyta labai mažai (≤100 mg kg^{-1}) ir mažai (101–150 mg kg^{-1}), daugiau nei penktadalyje (22,3 %) – vidutiniškai (151–250 mg kg^{-1}), o likusiuose dviejuose penktadaliuose (43,0 %) – daug (251–350 mg kg^{-1}) ir labai daug (>350 mg kg^{-1}) (2.1.2.4A pav.).

A – mineraliniai dirvožemiai **B** – organiniai dirvožemiai



2.1.2.4 pav. Judriojo magnio (MgO) koncentracijos pasiskirstymas (%) 0–20 cm sluoksnyje pagal turtingumo grupes tirtuose mineraliniuose (A) ir organiniuose (B) dirvožemiuose

Organiniuose dirvožemiuose priešingai labai daug ir daug judriojo MgO turinčių dirvožemių buvo net 90,0 %, o likusieji (10,0 %) – mažai ir vidutiniškai turintys (2.1.2.4 B pav.). Tiek mineralinių, tiek organinių dirvožemių grupėje, judriojo MgO, kaip ir judriojo Ca,O daugiau turėjo tie dirvožemiai, kurių pH_{KCl} vertės buvo didesnės ir artimos neutralioms ar šarmiškoms.

2.1.3. Sunkieji metalai (kadmis, švinas, chromas, nikelis, varis, cinkas, gyvsidabris)

Dirvožemyje gali būti ne tik augalams būtinų cheminių elementų, bet ir įvairių cheminių medžiagų, galinčių turėti toksinį poveikį bei patekti į gyvūnų ir žmonių maisto grandinę. Tai metalai ir neorganiniai junginiai, aromatiniai, policikliniai ir halogeniniai angliavandeniliai bei pesticidai. Ypač kenksmingi bei toksiški sunkieji metalai – kadmis, chromas, švinas, gyvsidabris, nikelis, arsenas ir kt. Sunkieji metalai dažnai turi kancerogeninį bei mutageninį poveikį, tai amžini teršalai. Jie nesuyra, o tik keliauja iš vienos ekologinės nišos į kitą, grėsdami menkai nusakomomis pasekmėmis. Pavojingas ne tik atskirų pavojingų cheminių teršalų, bet ir jų bendras – sinergetinis veikimas (HN 60:2004). Jų perteklius nepalankus visai gyvybei, o ilgalaikio poveikio rezultatai sunkiai prognozuojami. Sunkiųjų metalų toksiškumas išryškėja didėjant atominiam svoriui. Iš esmės toksiški

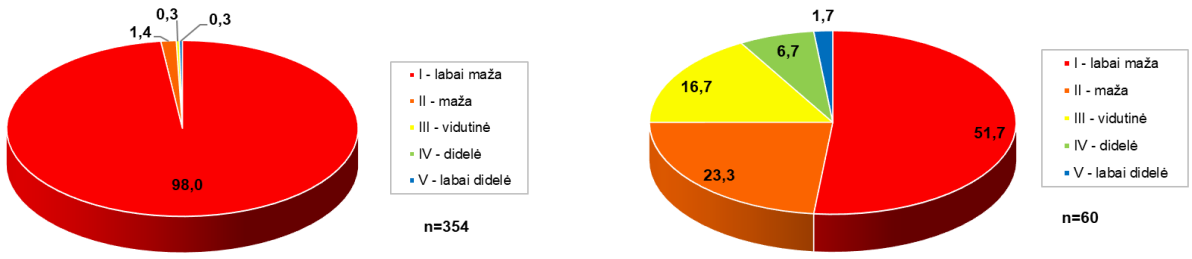
gali būti, bet kurie elementai, priklausomai nuo jų koncentracijos ir cheminio junginio formos. Dirvožemio tarša, skirtingai nei oro ir vandens, gali būti ilgą laiką nepastebėta, o pokyčiai gali pasireikšti ne iš karto dėl dirvožemio buferinių ypatumų, jo savybių ar sudėties. Sunkiųjų metalų kaupimuisi ir migracijai nemažos įtakos turi dirvožemio kilmė, jų fizikinės ir cheminės savybės (rūgštingumas (pH_{KCl}), C_{org} (humuso) koncentracija, dirvožemio granuliometrinė sudėtis (ypač smulkioji frakcija) ir sorbciniai ypatumai. Didesnė šių metalų koncentracija būna dirvožemiuose, turinčiuose daugiau molio dalelių (<0,002 mm). Dirvožemiuose ji didėja taip: smėliai > priesmėliai > priemoliai > moliai. Sunkiųjų metalų fitotoksiškumas priklauso nuo daugelio veiksnių: pH, organinės medžiagos kiekio, mainų katijonų gebos, kritulių, augalo biologinių savybių ir kt. Jų kaupimuisi augaluose didžiausią įtaką turi augalų rūšis, taip pat augimo sąlygos ir išsivystymo tarpsnis.

Lietuvoje, kaip ir kitose Europos sąjungos šalyse, dirvožemio cheminė apkrova daug kur didėja, todėl pravartu plotuose, kuriuose taikomos intensyvios technologijos ar tręšimui naudojant organines trąšos ar atliekas (nuotekų dumblas ir pan.), periodiškai ištirti ne tik augalams reikalingų mitybos elementų, bet ir sunkiųjų metalų (Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Cu, Zn) koncentracijas.

Atlikti tyrimai rodo, kad sunkiųjų metalų koncentracijos tirtų rajonų mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose pagal vertinimo grupes pasiskirstė labai nevienodai: kadmio (Cd), švino (Pb) ir vario (Cu) daugiau susikaupė organiniuose dirvožemiuose nei mineraliniuose, o chromo (Cr), nikelio (Ni) ir cinko (Zn) koncentracijos abejose dirvožemių grupėse pasiskirstė panašiai (2.1.3.1 – 2.1.3.5 paveikslai)

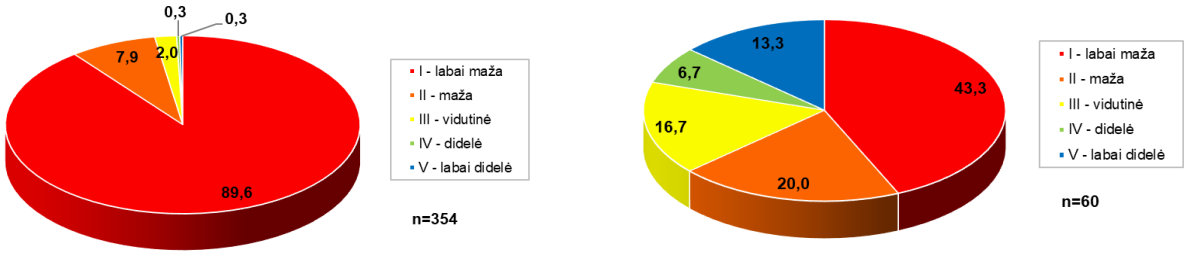
Remiantis atliktais tyrimų rezultatais, tiek mineraliniuose, tiek organiniuose dirvožemiuose daugumoje vyravo labai mažos ir mažos suminės kadmio (Cd), švino (Pb), chromo (Cr) ir nikelio (Ni) koncentracijos ir jų toksiškumas augantiems augalams bei aplinkai nepasireiškė (2.1.3.1–2.1.3.2 ir 2.1.3.4 pav.). Vertinant vario (Cu) pasiskirstymą, matyti, kad daugiausiai nustatyta mažos ir vidutinės koncentracijos dirvožemių (2.1.3.3 pav.), o vertinant cinką (Zn) – vidutinės ir mažos koncentracijos (2.1.3.5 A pav.). Didesnėmis ir labai didelėmis Cd, Pb ir Cu koncentracijomis pasižymėjo organiniai dirvožemiai, o Zn – bendrai tiek mineraliniai, tiek organiniai dirvožemiai. Tirtuose dirvožemiuose suminės sunkiųjų metalų (kadmio, švino, chromo, nikelio, vario, cinko) koncentracijos neviršijo nurodomų cheminių medžiagų ribinių verčių pagal Lietuvos higienos normą HN 60: 2015 „Pavojingų cheminių medžiagų ribinės vertės dirvožemyje“: kadmio – 1,5 mg kg^{-1}, švino – 80, chromo – 80, nikelio – 75, vario – 75, cinko – 300, gyvsidabrio – 0,5 mg kg^{-1}. Tik gyvsidabrio koncentracija viename iš visų tirtų taškų (tipingame pasotintajame balkšvažemyje, Anykščių r. esančiame lauke) nežymiai (0,03 mg kg^{-1}) viršijo ribinę vertę (0,50 mg kg^{-1}) (2.1.3.5B pav.). Vertinant gyvsidabrio (Hg) pasiskirstymą (%), matyti, kad daugumoje tirtuose dirvožemiuose (87,2 %) vyravo foninio lygio suminės šio elemento koncentracijos (0,005–0,08 mg kg^{-1}), dešimtadalyje (10,6 %) – net nesiekė foninio lygio vertės.

A – mineraliniai dirvožemiai **B** – organiniai dirvožemiai



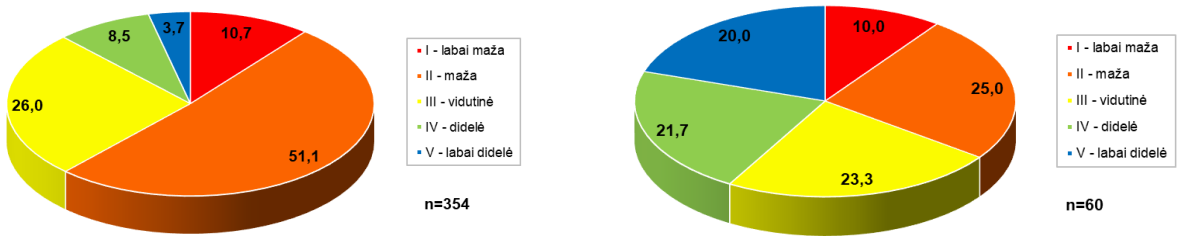
2.1.3.1 pav. Kadmio (Cd) koncentracijos pasiskirstymas (%) 0–20 cm sluoksnyje pagal vertinimo grupes tirtuose mineraliniuose (A) ir organiniuose (B) dirvožemiuose

A – mineraliniai dirvožemiai **B** – organiniai dirvožemiai



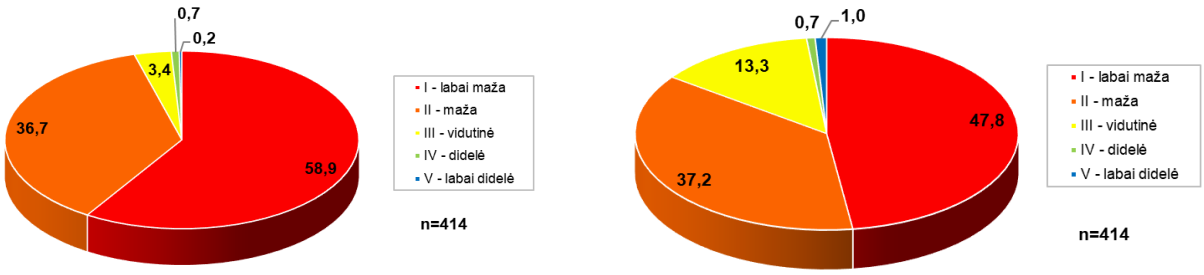
2.1.3.2 pav. Švino (Pb) koncentracijos pasiskirstymas (%) 0–20 cm sluoksnyje pagal vertinimo grupes tirtuose mineraliniuose (A) ir organiniuose (B) dirvožemiuose

A – mineraliniai dirvožemiai **B** – organiniai dirvožemiai



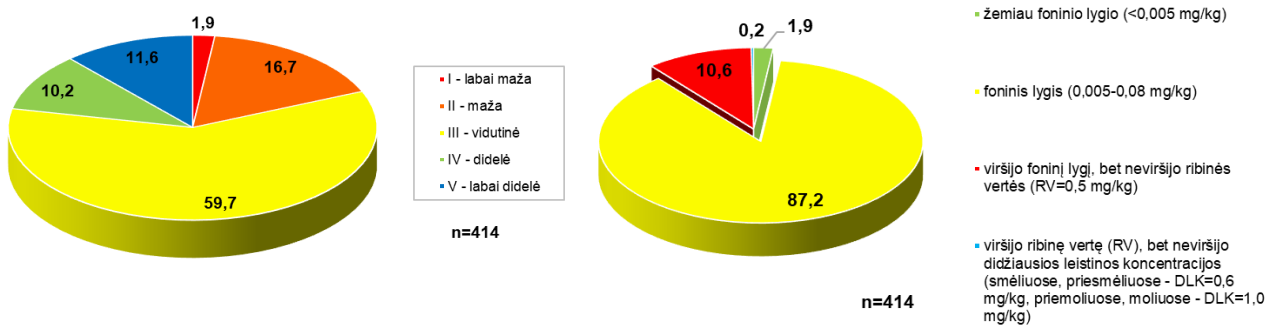
2.1.3.3 pav. Vario (Cu) koncentracijos pasiskirstymas (%) 0–20 cm sluoksnyje pagal vertinimo grupes tirtuose mineraliniuose (A) ir organiniuose (B) dirvožemiuose

A – Chromo (Cr) koncentracija **B –** Nikelio (Ni) koncentracija



2.1.3.4 pav. Chromo (A) ir nikelio (B) koncentracijų pasiskirstymas (%) 0–20 cm sluoksnyje pagal vertinimo grupes visuose tirtuose dirvožemiuose

A – Cinko (Zn) koncentracija **B –** Gyvsidabrio (Hg) koncentracija



2.1.3.5 pav. Cinko (A) ir gyvsidabrio (B) koncentracijų pasiskirstymas (%) 0–20 cm sluoksnyje pagal atitinkamas vertinimo grupes visuose tirtuose dirvožemiuose

Svarbu žinoti, kad sunkiųjų metalų judrumas labai priklauso nuo dirvožemio pH, o jų kaupimasis itin stipriai koreliuoja su dirvožemio granuliometrine sudėtimi. Ypač mineraliniuose dirvožemiuose sunkiųjų metalų koncentracijų skirtumas priklauso nuo granuliometrinės sudėties ir gali siekti nuo 1,5 iki 2,5 karto. Nuo jos labiausiai priklauso chromo, nikelio, vario ir cinko koncentracijos. Podirvyje, kuriame daugiau molio dalelių, t. y. granuliometrinė sudėtis sunkesnė nei paviršiuje, sunkiųjų metalų koncentracija taip pat būna didesnė. Rūgščiuose dirvožemiuose, palyginus su artimais neutraliems, nors sunkiųjų metalų suminė koncentracija daug kur mažesnė, tačiau jų dauguma yra judrios formos, todėl greičiau migruoja į podirvį ir patenka į augalus, o didelės koncentracijos sutrikdo jų augimą. Todėl dirvožemiuose nustatant didesnius jų kiekius, svarbu sumažinti sunkiųjų metalų judrumą, tai reguliuojant per dirvožemio pH. Pavyzdžiui, didelės normos organinių trąšų mažina vario ir cinko judrumą, nes jie su organinėmis medžiagomis sudaro mažai tirpius junginius. Be to, sunkieji metalai su humuso frakcijomis sudaro nevienodo judrumo junginius – humatus, kurie būna mažiau judrūs nei fulvatai. Kalkinant dirvožemius, stipriai sumažėja sunkiųjų metalų judrieji kiekiai. Be to, sudaromos palankesnes sąlygas susidaryti organinių medžiagų ir sunkiųjų metalų kompleksams, o esant dirvožemyje daugiau Ca, kuris daugeliui sunkiųjų metalų yra antagonistiškas, taip pat sumažėja augalų šaknų savybės paimti sunkiuosius metalus. Tiktai Cd judrumui kalkinimas daro mažesnę įtaką.

2.1.4. Dirvožemių našumo balas

Dirvožemio našumo balas lemia žemės vertę ir tinkamumą žemės ūkio augalų auginimui. Žemės ūkio paskirties žemės vertinimas grindžiamas sistematiniais dirvožemio tipų vienetais, jo granuliometrine sudėtimi, lauko akmenuotumu, agrocheminiais rodikliais ir melioracijos būkle. Šalies žemės ūkio naudmenų dirvožemių žemės našumas balais nustatytas kiekvienoje šalies kadastrinėje vietovėje, kurios išskirtos pagal LTDK-99 klasifikaciją dirvožemių atmainų kontūruose. Peržvelgus žemės našumo vertinimo duomenis ir žinant, kad mūsų šalies dirvožemių danga labai įvairi, galima teigti, kad jie skirtingi ne tik kiekvienoje kadastrinėje vietovėje, bet ir atskirose savivaldybėse. Didžiausiais balais įvertinti Vidurio Lietuvos, kur kas mažesniais – menkiau našūs

Rytų ir Vakarų Lietuvos dirvožemiai. Taigi, dirvožemiai pagal jų našumo balą skirstomi į atitinkamas 5 grupes:

I dirvožemių grupė – vyrauja labai geros ūkinės vertės (47,1 balai ir daugiau) dirvožemiai: Šakių – 51,5, Jurbarko – 50,3, Pasvalio – 50,0, Joniškio – 48,7, Marijampolės – 49,3, Kėdainių – 49,1, Kauno r. – 47,9 balo. Tai derlingiausi šalies dirvožemiai.

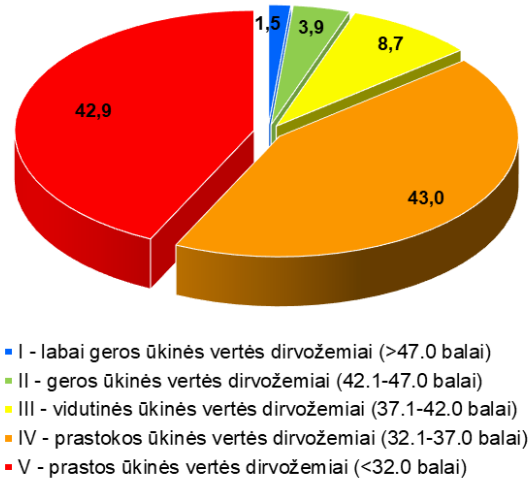
II dirvožemių grupė – vyrauja geros ūkinės vertės (42,1–47,0 balai) dirvožemiai: Pakruojo – 46,3, Radviliškio – 45,4, Akmenės – 44,6, Panevėžio – 44,5, Biržų – 44,2, Vilkaviškio – 44,1, Šiaulių – 44,1, Jonavos – 42,4, Kauno m. – 42,4, Raseinių – 42,2 balo. Tai taip pat vieni iš derlingesnių šalies dirvožemių.

III dirvožemių grupė – joje vyrauja vidutiniškos ūkinės vertės (37,0–42,0 balai) dirvožemiai: Mažeikių – 41,8, Kupiškio – 41,5, Klaipėdos m. – 41,5, Kretingos – 39,7, Tauragės – 39,0, Kazlų Rūdos – 39,0, Ukmergės – 39,0, Kaišiadorių – 38,6, Prienų – 38,1 balo. Dauguma šios grupės dirvožemių yra Vidurio ir Rytų Lietuvos zonų sandūroje ir lygesniuose Vakarų šalies plotuose. Plotai sandūroje su Vidurio Lietuva yra mažiau paveikti išplovimo procesų, mažai rūgščių plotų, kitur reljefas sudėtingesnis ir įvairesnis, pasitaiko kalvotų plotų, kuriuose pasireiškia erozijos procesai.

IV dirvožemių grupė – joje daugiausia prastokos ūkinės vertės (32,1–37,1 balo) dirvožemių. Tai Rytų ir Vakarų Lietuvoje besidriekiančios dirvožemiai: Širvintų – 36,9, Birštono – 36,7, Alytaus m. – 36,6, Klaipėdos – 36,5, Kelmės – 36,3, Anykščių – 36,1, Alytaus r. – 35,6, Pagėgių – 35,4, Vilniaus m. – 35,3, Kalvarijos – 35,3, Rokiškio – 35,1, Švenčionių – 33,9, Rietavo – 33,8, Telšių – 33,6, Šilutės – 32,8, Šilalės – 32,5, Plungės – 32,3, Šalčininkų r. – 32,2 balo. Šiai grupė skirstoma į du pogrupius: 1) dirvožemius, įvertintus daugiau kaip 35 balais ir 2) – įvertintus mažiau kaip 35 balais. Derlingesniame pogrupyje dar nėra daug rūgščių dirvų plotų, mažoka eroduotų, gilaus smėlio dirvožemių. Plotuose, kurių našumas nesiekia 35 balų, vyrauja daugiau išplovimo procesų paveikti balkšvažemiai, čia giliau karbonatingas sluoksnis, daug iš prigimties rūgščių dirvožemių.

V dirvožemių grupėje vyrauja prastos ūkinės vertės (32,0 balai ir mažiau) dirvožemiai: Vilniaus r. – 31,5, Elektrėnų – 31,3, Molėtų – 30,8, Druskininkų – 30,5, Varėnos – 30,4, Utenos – 30,2, Zarasų – 29,9, Trakų – 29,2, Visagino r. – 27,6 balo. Paprastai tai labai kalvotų, kalvotų ir banguoto reljefo plotai. Apie 2/3 labai kalvotų ir kalvotų plotų sutinkama Molėtų, Utenos, Zarasų, kiek mažiau jų Trakų, Vilniaus, Varėnos rajonų kadastrinėse vietovėse. Apie 1/3 ž. ū. naudmenų smėlio dirvožemiai sudaro Varėnos, kiek daugiau Trakų, 14–20 % – Vilniaus, Molėtų, Utenos, Zarasų savivaldybėse. Dėl šių savybių šios grupės dirvožemiai yra prasčiausi šalyje.

Suskirstydami projekto laukų dirvožemius pagal našumo balą, mes pasinaudojome šalies mastu nustatytais žemės ūkio naudmenų dirvožemių žemės našumo balais kiekvienoje šalies kadastrinėje vietovėje, kurios išskirtos pagal LTDK-99 klasifikaciją dirvožemių atmainų kontūruose. Šie balai yra viešai prieinami kiekvienam šalies gyventojui portale www.zis.lt. Taigi laukai, kuriuose auginami trumpos rotacijos želdiniai (TRŽ), yra Rytų šalies zonoje, Vilniaus, Švenčionių, Širvintų, Molėtų, Anykščių ir Trakų rajonuose, ir kaip matome čia vyrauja vieni iš prastesnių ir nederlingų dirvožemių šalyje. 2.1.4.1 paveiksle pateiktas tirtų dirvožemių pasiskirstymas pagal jų priskyrimą atitinkamam dirvožemio našumo balui. Matome, kad daugumos laukų dirvožemiai yra prastokos (32,1–37,0 balai) bei prastos (<32,0 balai) ūkinės vertės ir bendrai sudaro 85,9 %. Ne pilnai dešimtadalis (8,7 %) plotų yra vidutinės (37,1–42,0 balai) ūkinės vertės dirvožemiai, likusieji 5,4 % – geros (42,1–47,0 balai) ir labai (>47,0 balai) geros ūkinės vertės.



2.1.4.1 pav. Dirvožemio našumo balo pasiskirstymas (%) pagal grupes

Nors didžiąją dalį laukų sudaro mažai derlingi ir intensyvesnei žemės ūkio veiklai netinkami dirvožemiai, tačiau jie puikiai tinkami auginti įvairius biomasės želdinius ar įveisti miškui. Be to, biomasės želdinius tręšiant apdorotu nuotekų dumblu yra reali galimybė dirvožemį praturtinti gausesniu organinių medžiagų kiekiu ne tik iš dumblo, bet ir su želdinių nuokritomis, nes ilgalaikėje perspektyvoje susidarys palankios sąlygos kauptis organinės anglies sankaupoms ir kitoms augalų maisto medžiagoms.

2.1. skyriaus IŠVADOS

Pagrindinės stebėsenos metu (Vilniaus, Švenčionių, Širvintų, Molėtų, Anykščių, Trakų r.) projekto pradžioje parinktose aikštelėse ištyrus dirvožemio cheminius rodiklius ir įvertinus medianų pasiskirstymą skirtinguose dirvožemiuose (mineraliniuose ir organiniuose) pagal gautų reikšmių procentinį pasiskirstymą (%) atitinkamo elemento turtingumo grupėse, nustatyta:

1. Mineralinių dirvožemių grupėje sąlygiškai rūgštūs dirvožemiai (pH_{KCl} ≤5,5) sudarė du penktadalius – 41 %, o organiniuose – 28,4 % tirto ploto. Minėtuose dirvožemiuose vyksta intensyvesni jo rūgštėjimo procesai, dėl kurių augalai prasčiau gali įsisavinti svarbiausius makroelementus – azotą, fosforą, kalį, kalcį, magnį ir mikroelementą molibdeną (Mo). Be to, augalų biomasėje gali padidėti sunkiųjų metalų kaupimasis, dėl padidėjusio jų judrumo dirvožemyje.
2. Mineraliniai dirvožemiai pasižymėjo ženkliai mažesnėmis C_{org} koncentracijomis nei organiniai dirvožemiai, ir skirtumai vidutiniškai tarp lyginamų skirtingų dirvožemio grupių gali skirtis nuo 4–10 kartų. Mineralinių dirvožemių grupėje vyravo mažos ir vidutinės C_{org} koncentracijos, kurios sudarė 77,9 % šių dirvožemio ploto; organiniuose dirvožemiuose - ypatingai daug, labai daug ir daug C_{org} turintys dirvožemiai, kurie bendrai sudaro 95,0 % visų tirtų organinių dirvožemių.
3. Mineraliniuose dirvožemiuose nustatyti N_{min} kiekiai buvo ženkliai mažesni nei organiniuose dirvožemiuose, ir šių kiekių skirtumai vidutiniškai tarp lyginamų skirtingų dirvožemio grupių skyrėsi vidutiniškai nuo 4 iki 7 kartų. Organiniuose dirvožemiuose rasti ženkliai didesni N_{min} kiekiai, dėl juose esančių gausaus organinių medžiagų kiekio, kurių mineralizacijos metu atsipalaiduoja daug maisto medžiagų, ypač mineralinio azoto. Mineralinių dirvožemių grupėje vyravo labai mažai ir mažai N_{min} turintys dirvožemiai (82,8 %), o organinių dirvožemių grupėje – labai daug turintys (55 %) bei labai mažai ir mažai turintys (38,4 %).
4. Mineraliniai dirvožemiai buvo kiek geriau aprūpinti judriuoju P_2O_5 ir K_2O nei organiniai dirvožemiai ir juose vyravo labai mažai ir mažai judriojo P_2O_5 bei mažai ir vidutiniškai K_2O turintys plotai – atitinkamai 62,4 ir 54,9 %. Be to, sąlygiškai daug kalio turintys (K_2O > 150 mg kg^{-1}) dirvožemiai čia sudarė 43,8 %. Organiniuose dirvožemiuose labai mažai ir mažai judriojo P_2O_5 bei K_2O turinčių buvo atitinkamai 70 ir 78,3 % iš visų tirtų organinių dirvožemių. Organiniuose dirvožemiuose didelės fosforo ir kalio atsargos randamos organinėse medžiagose ir augalams jos tampa prieinamos tik vykstant intensyviai jų mineralizacijai: kuo intensyvesnė, tuo daugiau atsipalaiduoja judrios mineralinės formos fosforo ir kalio junginių. Todėl fosforo kiekio sumažėjimai ar padidėjimai viršutiniame (0–20 cm) sluoksnyje dažnai yra susiję su durpės mineralizacijos intensyvumu.
5. Judriojo kalcio (CaO) ir judriojo magnio (MgO) koncentracijos tirtų rajonų mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose pagal turtingumo grupes pasiskirstė labai panašiai ir didžiąja dalimi priklausė nuo dirvožemio pH, pasotinimo bazėmis bei jo granuliometrinės sudėties. Mineralinių dirvožemių grupėje labai mažai ir mažai judriųjų CaO ir MgO turinčių dirvožemių nustatyta atitinkamai 31,3 % ir 34,8 % iš visų tirtų ėminių, o daug ir labai daug – atitinkamai 40,7 ir 43,0 %. Organiniuose dirvožemiuose priešingai vyravo labai daug ir daug judriojo CaO ir judriojo MgO turintys dirvožemiai - atitinkamai 93,3 % ir 90,0 %. Tiek mineralinių, tiek organinių dirvožemių grupėje, šių judriųjų elementų daugiau turėjo tie dirvožemiai, kurių pH_{KCl} vertės buvo didesnės ir artimos neutralioms ar šarmiškoms.

6. Tiek mineraliniuose, tiek organiniuose dirvožemiuose daugumoje vyravo labai mažos ir mažos suminės kadmio (Cd), švino (Pb), chromo (Cr) ir nikelio (Ni) koncentracijos ir jų toksiškumas augantiems augalams bei aplinkai nepasireiškė. Vertinant vario (Cu) pasiskirstymą, matyti, kad daugiausiai nustatyta mažos ir vidutinės koncentracijos dirvožemių, o vertinant cinką (Zn) – vidutinės ir mažos koncentracijos. Didesnėmis ir labai didelėmis Cd, Pb ir Cu koncentracijomis pasižymėjo organiniai dirvožemiai, o Zn – bendrai tiek mineraliniai, tiek organiniai dirvožemiai. Vertinant gyvsidabrio (Hg) koncentracijas, daugumoje (87,2 %) vyravo foninio lygio suminės šio elemento koncentracijos (0,005–0,08 mg kg^{-1}), o dešimtadalyje (10,6 %) – net nesiekė foninio lygio žemutinės vertės.
7. Mineraliniuose ir organiniuose *dirvožemiuose nustatytos suminės sunkiųjų metalų (*kadmio, švino, chromo, nikelio, vario, cinko) *koncentracijos neviršijo nurodomų* cheminių medžiagų ribinių verčių pagal Lietuvos higienos normą HN 60: 2015 „Pavojingų cheminių medžiagų ribinės vertės dirvožemyje“. Tik gyvsidabrio koncentracija viename iš visų tirtų 414 taškų (tipingame pasotintajame balkšvažemyje, Anykščių r. esančiame lauke) nežymiai (0,03 mg kg^{-1}) viršijo ribinę vertę (0,50 mg kg^{-1}).
8. Laukai, kuriuose auginami trumpos rotacijos želdiniai (TRŽ), yra Rytų šalies zonoje, Vilniaus, Švenčionių, Širvintų, Molėtų, Anykščių ir Trakų rajonuose, kur vyrauja vieni iš prastesnių ir nederlingų dirvožemių šalyje. Daugumos laukų dirvožemiai buvo prastokos (32,1–37,0 balai) bei prastos (<32,0 balai) ūkinės vertės ir bendrai sudarė 85,9 %. Ne pilnai dešimtadalis (8,7 %) plotų yra vidutinės (37,1–42,0 balai) ūkinės vertės dirvožemiai, likusieji 5,4 % – geros (42,1–47,0 balai) ir labai (>47,0 balai) geros ūkinės vertės.
9. Nors didžiąją dalį laukų sudaro mažai derlingi ir intensyvesnei žemės ūkio veiklai netinkami dirvožemiai, tačiau jie puikiai tinkami auginti įvairius biomasės želdinius ar įveisti miškui. Be to, biomasės želdinius tręšiant apdorotu nuotekų dumblu yra reali galimybė dirvožemį praturtinti gausesniu organinių medžiagų kiekiu ne tik iš dumblo, bet ir su želdinių nuokritomis, nes ilgalaikėje perspektyvoje susidarys palankios sąlygos kauptis organinės anglies sankaupoms ir kitoms augalų maisto medžiagoms.

2.2.Dirvožemio tipo įtaka cheminių savybių pokyčiams dirvožemiuose, juos tręšiant apdorotu nuotekų dumblu ir biokuro medienos pelenais

2.2.1. Mineralinis azotas (N_{min})

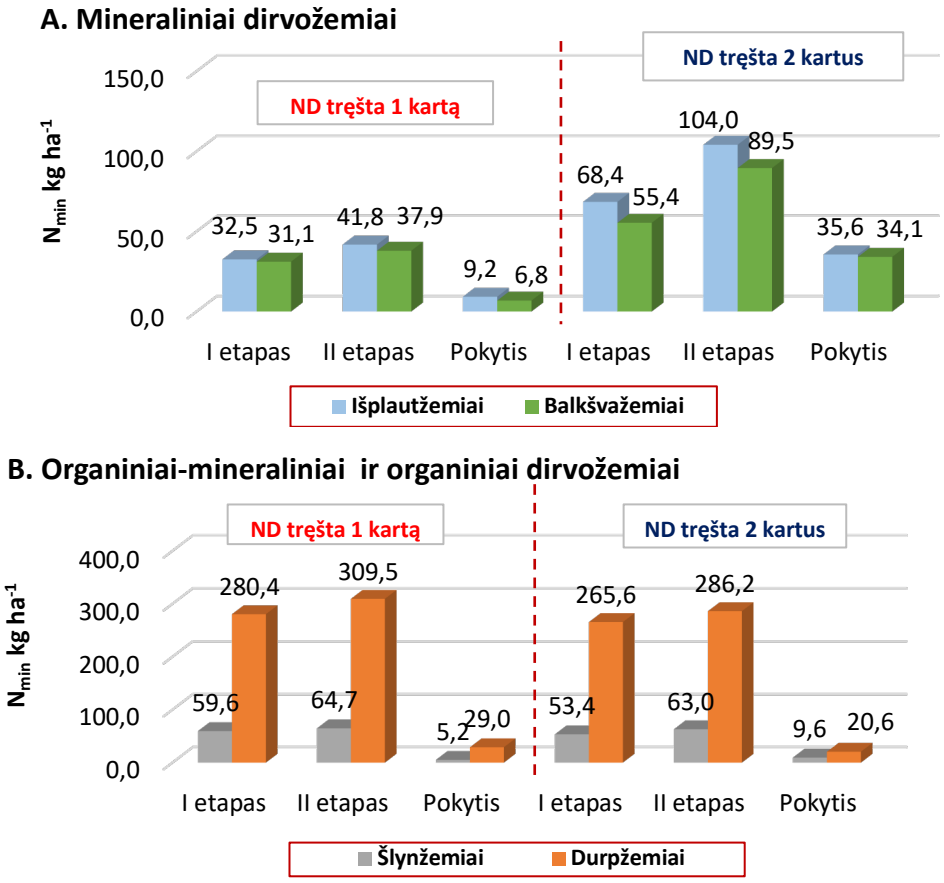
Lietuvos dirvožemių danga formavosi ilgai, veikiant įvairiems dirvodaros procesams, to pasekoje susiformavo įvairių tipų dirvožemiai su skirtinga granuliometrine sudėtimi, drėgmės rėžimu, mineraline sudėtimi, fizikinėmis ir cheminėmis savybėmis. Būtent įvairios dirvožemio savybės turi lemiamos įtakos dirvožemio azotingumui (Mažvila ir kt., 2006; Mažvila et al., 2008). Dirvožemyje **mineralinio azoto (N_{min})** koncentracija leidžia įvertinti judrias ir augalams lengvai įsavinamo azoto atsargas, todėl naudojama reikiamų azoto trąšų normų skaičiavimams tiek su organinėmis, tiek su mineralinėmis, N_{min} išsiplovimui įvertinti, bei kaip nitratai juda dirvožemio profiliu gilyn ir kt. (Robertson ir Vitousek, 17 2009; Rezanezhad ir kt., 2016). Nors azotas yra vienas iš esminių veiksnių, formuojančių dirvožemio ir augalų derlingumą, tačiau jo perteklius gali kenkti aplinkai. Todėl labai svarbu įvertinti N_{min} kiekį dirvožemyje, nes augalų pertręšimas bei perteklinis azoto susikaupimas dirvožemyje, kai naudojamos tręšimui nepagrįstai didelės trąšų normos, gali tapti taršos šaltiniu. Pavojingiausi yra nitratai (NO_3^-), kurie skirtingai amonio jonams (NH_4^+), nesorbuojami dirvožemio sorbuojamojo komplekso ir mažiau įsavinami augalų, todėl intensyviai migruoja biosferoje, linkę išsiplauti ir užteršti gruntinius vandenis, upes bei kitus vandens telkinius.

Esant skirtingam klimatui atskirose šalies zonose N_{min} koncentracijos pasiskirstymas dirvožemyje yra nevienodas ir ženkliai skiriasi. Rytų Lietuvos zona, kurioje išsidėstę visi Nutribiomass4Life projekto laukai, labiausiai nutolusi nuo jūros, žiemos šaltesnės, vasaros šiltesnės, trumpesni pavasariai ir rudenys. Čia dažniausiai vyrauja mažiau humusingi ir lengvesnės granuliometrinės sudėties dirvožemiai, ir dėl minėtų veiksnių to paties tipo dirvožemiuose N_{min} kiekiai dažnai nustatomi mažesni nei derlinguose Vidurio Lietuvos dirvožemiuose. Projekto metu šis rodiklis dirvožemyje buvo vertinamas dviem etapais: projekto pradžioje ir pabaigoje, po tręšimo nuotekų dumblu bei nuotekų dumblu kartu su pelenais. Taip pat dalis laukų Anykščių ir Švenčionių rajonuose buvo tręšti prieš prasidedant projektui (2016 m.), todėl šie rezultatai buvo atskirti nuo bendrų ir atskirai pavaizduoti jų pokyčiai skirtingų tipuose dirvožemiuose. Todėl atlikus N_{min} dirvožemyje tyrimus, matome, kad laukuose tręštuose ND 1 kartą, šio elemento kiekiai mineraliniuose, organiniuose-mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose ženkliai skyrėsi, ypač lyginant su organiniais dirvožemiais (durpžemiais). Įvertinus dirvožemiuose N_{min} kiekius pagal jų vertinimo skalę dirvožemyje (ž. r. 1.3.5 lentelė), matome, kad mineralinių ir organinių-mineralinių dirvožemių grupėse vyravo mažus N_{min} kiekius turintys išplautžemiai ir balkšvažemiai bei šlynžemiai, o organinių dirvožemių grupėje – labai daug azoto turintys durpžemiai (2.2.1.1 pav. A; B). Trumpos rotacijos želdinius patręšus ND 2 kartus, mineralinių dirvožemių grupėje jau vyravo vidutiniai šios judriosios maisto medžiagos kiekiai, organinių-mineralinių – maži, organinių – labai dideli.

Vidutiniais tyrimų duomenimis, mažiausias N_{min} kiekis 0–60 cm dirvožemio sluoksnyje (37,9 t ha^{-1}) nustatytas mineraliniuose dirvožemiuose – balkšvažemiuose, juos tręšiant nuotekų dumblu (ND) 1 kartą. Be to, N_{min} reikšmės šioje dirvožemių grupėje pasiskirstė gana siaurame intervale – 23,7–49,4 t ha^{-1}. Panašios tendencijos nustatytos ir išplautžemiuose, tik čia svyravimo

ribos buvo ženkliai didesnės, tiek pirmajame, tiek antrajame tyrimo etapuose. Daugiausiai N_{min} nustatyta durpžemiuose (vid. 280,4 kg ha^{-1}), kuriuose gausu ne tik organinių medžiagų, bet ir augalams svarbių maisto medžiagų. Taigi, esant intensyviai organinių medžiagų mineralizacijai durpžemiai gali tapti gausiu įvairių judriųjų elementų šaltiniu augalams.

Atlikti tyrimai taip pat rodo, kad ND 2 kartus tręštuose mineraliniuose dirvožemiuose (išplautžemiuose ir balkšvažemiuose), išskyrus organinius ir organinius-mineralinius, N_{min} rasta beveik 2,5 karto daugiau, lyginant su vieną kartą ND tręštais dirvožemiais. Be to, fiksuoti N_{min} pokyčiai taip pat buvo didžiausi minėtoje dirvožemių grupėje ir siekė išplautžemiuose 35,6, o balkšvažemiuose – 34,1 kg ha^{-1}. Tačiau šlynžemiuose ir durpžemiuose N_{min} kiekis buvo nežymiai mažesnis, lyginant jį su minėtais dirvožemiais ND tręštais 1 kartą. Tikėtina, tokius pokyčius galėjo įtakoti šiuose dirvožemiuose (ypač šlynžemiuose) esantis didesnis drėgmės kiekis, kuris lėtina judriųjų medžiagų atsipalaidavimą iš ND bei ir iš pačių dirvožemių, o taip pat ir intensyvesnė N_{min} migracija į gilesnius sluoksnius. Tačiau pokyčiai, lyginant prieš tręšimą dumblu (1 tyrimų etapas), ir po (2 etapas), minėtų skirtingų tipų dirvožemiuose buvo visais atvejais teigiami.



Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas.

2.2.1.1 pav. Mineralinis azotas (N_{min}) ir jo pokyčiai 0–60 cm dirvožemio sluoksnyje skirtingų tipų dirvožemiuose

Atsižvelgiant į nustatytas N_{min} koncentracijas 0-60 cm dirvožemio gylyje, atliktuose tyrimuose, dirvožemiai pagal jų tipą (pagal WRB), tręšiant ND 1 kartą, I ir II tyrimo etapuose pasiskirstė mažėjimo tvarka sekančiai: durpžemiai – šlynžemiai – išplautžemiai – balkšvažemiai. Po 2 tręšimų ND, dirvožemiai pasiskirstė kiek kitaip: durpžemiai – išplautžemiai – balkšvažemiai – šlynžemiai (puveningi).

Apibendrinant rezultatus, matome, kad dirvožemiai pagal juose nustatytus N_{min} kiekius atitiko skirtinguose dirvožemio tipuose tendencingus šio elemento kiekius, kurie siejami su skirtingų dirvožemių tipų išsivystymu ir derlingumu, kurį lemia kiekvienai teritorijai būdingi dirvožemių dirvodaros ypatumai, reljefas, klimatinės sąlygos, drėgmės kiekis dirvožemyje ir kt. Nuo to priklauso ir skirtingų dirvožemių gebėjimas kaupti ir išlaikyti organines ir įvairias maisto medžiagas, tame tarpe ir mineralinį azotą bei įtakoti jo pokyčius dirvožemyje.

2.2.2. Dirvožemio pH_{KCl}, judrieji fosforas (P_2O_5), kalis (K_2O), kalcis (CaO) ir magnis (MgO)

Dirvožemio pH_{KCl}. Dirvožemių rūgštėjimas intensyviausiai vyksta Rytų ir Pietryčių bei Vakarų Lietuvoje, kur vyrauja iš prigimties rūgštūs dirvožemiai (dažniausiai t. y. išplautžemiai, balkšvažemiai ir smėlžemiai), o jų susidarymą lėmė dirvodarinė uoliena, klimatas, biocenozė bei karbonatingojo sluoksnio gylis. Rytų Pietryčių Lietuvoje šis sluoksnis slūgo 80–120 cm gylyje, kas ir įtakoja čia vyraujančių dirvožemių rūgštesnę reakciją, lyginant su Vidurio Lietuvos dirvožemiais. Be to, Rytų Lietuvoje ilgą laiką augo spygliuočiai miškai, kuriuose jų irstantys spygliai išskyrė stiprias rūgštis, ir dėl šios priežasties paspartėjo dirvožemių karbonatingos uolienos bei organinių medžiagų ardymasis. Projekto Nutribiomass4Life projekto laukai priklausė Rytų ir Pietryčių Lietuvai, todėl tikėtina ir juose vyraujančių dirvožemių pH_{KCl} buvo kažkiek paveiktas aukščiau paminėtų veiksnių įtakos.

Įvertinus tyrimų duomenis, matome, kad dirvožemio pH_{KCl} skirtumai skirtingų tipų dirvožemiuose buvo minimalūs ir svyravo tik paklaidų ribose (2.2.2.1 lentelė). Mineralinių dirvožemių grupėje rūgščiausi buvo balkšvažemiai, kurių vidutinė pH_{KCl} vertė pagal vertinimo salę (ž. r. 1.3.1 lentelė) pirmajame tyrimo etape prieš tręšimą ND buvo rūgštokos reakcijos (pH_{KCl}=5,9), nors minimalios ir maksimalios reikšmės svyravo ženkliai platesniame intervale – nuo 4,9 iki 7,0, t. y. nuo vidutiniškai rūgščių iki neutralių. Po tręšimo ND šių dirvožemių pH išliko nepakitęs. Išplautžemiai ir durpžemiai ND tręšti 1 kartą, pirmajame etape pasižymėjo artima neutraliai reakcija (pH_{KCl}=6,2), o Anykščių ir Švenčionių r. šių tipų dirvožemiai tręšti ND 2 kartus – rūgštoka (išplautžemiuose – pH_{KCl}=5,9, durpžemiuose – pH_{KCl}=5,7). Šių dirvožemio tipų dirvožemiuose minimalios ir maksimalios vertės svyravo gana plačiame reikšmių intervale, ypač tai ryšku durpžemiuose, tręštuose ND 2 kartus, abiejuose tyrimų etapuose. Šlynžemiai pirmajame etape, juos tręšiant ND 1 kartą, buvo artimos neutraliai reakcijos (pH_{KCl}=6,5), o laukų dirvožemiuose, kurie ND tręšti 2 kartus, pH_{KCl} buvo labai artimos neutraliai ir neutralios reakcijos (pH_{KCl}=6,8). Visuose dirvožemio tipuose, išskyrus išplautžemius, pH_{KCl} reikšmės dėl tręšimo ND kito labai netendencingai ir padidėjimai ar sumažėjimai siekė vos 0,1 vnt. ir to nereikėtų traktuoti kaip sumažėjimo ar padidėjimo dėl tręšimo ND, nes pokytis buvo minimalus ir tik paklaidų ribose. Svarbu nepamiršti, kad dirvožemių rūgštėjimas yra natūralus procesas, kurio metu dirvožemiuose esantys kalcio ir magnio katijonai išsiplauna ir dirvožemyje pradeda įsivyrauti vandenilio jonai, kurie ir lemia

dirvožemio rūgščią reakciją. Be to, to pačio tipo dirvožemiai, išsivytę skirtingomis dirvodaros sąlygomis ir veikiami skirtingų aplinkos bei antropogeninių veiksnių, gali ženkliai skirtis savo reakcija. Todėl projekte daugiau dėmesio reikėtų skirti rūgštokiems dirvožemiams (balkšvažemiai, išplautžemiai, durpžemiai), siekiant sumažinti jų rūgštesnę reakciją, naudojant didesnes pelenų normas ar kitas kalkinimo priemones. Svarbu, kad neigiami pokyčiai nepasiektų ribos (pH_{KCl}<5,5), kuomet dirvožemius jau būtina kalkinti, siekiant ne tik sumažinti labai rūgščią jų reakciją, bet ir galimą judriojo aliuminio atsistatymą dirvožemyje, kuris dažnai pasižymi toksišku poveikiu augalams.

Judrusis fosforas (P_2O_5) dirvožemyje įeina į mineralinių bei organinių junginių sudėtį ir vertinant pagal dirvožemių tipologinę grupę, daugiau jo būna salpžemiuose, rudžemiuose ir karbonatinguose išplautžemiuose. Fosforo kiekis dirvožemyje palyginti pastovus, dėl to mažiau, nei kai kurios neorganinės azoto formos, mineralėja ir iš dirvožemio sunkiai išplaunamas. Atlikus judriojo fosforo (P_2O_5) dirvožemyje tyrimus, matome, kad šio elemento koncentracijos mineraliniuose, organiniuose-mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose ženkliai skyrėsi, ypač lyginant su organiniais dirvožemiais (durpžemiais). Įvertinus judrųjį P_2O_5 pagal jo vertinimo skalę dirvožemyje (ž. r. 1.3.2 lentelė), matome, kad mineralinių dirvožemių grupėje projekto pradžioje (I etape) vyravo mažas šio elemento koncentracijas turintys balkšvažemiai ir vidutines – išplautžemiai, organinių-mineralinių dirvožemių grupėje – mažai fosforingi šlynžemiai, o organinių dirvožemių grupėje – vidutiniškai fosforingi durpžemiai (2.2.2.1 lentelė). Visose dirvožemių grupėse po tręšimo nuotekų dumblu (juo tręšiant 1 kartą) stebimi teigiami judriojo P_2O_5 pokyčiai dirvožemyje, ryškesni jie durpžemiuose, išplautžemiuose ir balkšvažemiuose, nes pagal jų turtingumą šiuo elementu, dirvožemiai perėjo į aukštesnę grupę ir iš mažai turinčių tapo vidutiniškai turinčiais (balkšvažemiai), iš vidutiniškų į daug turinčius (išplautžemiai ir durpžemiai). Po tręšimo sukaupti kiekiai nebuvo dideli, tačiau svarbu nepamiršti, kad nemažą dalį judriojo fosforo želdiniai sunaudojo šaknų sistemos formavimui ir kitoms fiziologinėms augimo funkcijoms užtikrinti, nemažai jo sukaupta lapuose ir kitose medelių dalyse.

Laukuose, kur trumpos rotacijos želdiniai ND tręšiami 2 kartus, 1 tyrimo etape, beveik visuose dirvožemio tipuose, išskyrus šlynžemius, nustatytos didelės ir labai didelės judriojo P_2O_5 koncentracijos. Po tręšimo ND, dirvožemių fosforingumas dar padidėjo ir itin ryškūs pokyčiai fiksuoti mineralinių dirvožemių grupėje: tiek išplautžemiuose, tiek balkšvažemiuose judriojo P_2O_5 koncentracija perėjo iš labai didelės į itin didelę, o organiniuose dirvožemiuose – durpžemiuose – iš didelės į labai didelę. Ryškesnius pokyčius mineralinių dirvožemių grupėje lėmė tai, kad šie dirvožemiai lengvai įšyla, neįmirkę, juose spartesnė organinių medžiagų mineralizacija, todėl organinėje formoje esantis fosforas gana lengvai perėjo į judriąsias formas, ką rodo ir gauti tyrimų rezultatai.

Netipingai maži judriojo P_2O_5 kiekiai nustatyti šlynžemiuose ir po tręšimo nuotekų dumblu, kuris turtingas organiniais fosforo junginiais, situacija mažai pasikeitė (2.2.2.1 lentelė). Laukuose, kur ND tręšiama 2 kartus, šio judriojo elemento nustatytos dar mažesnės koncentracijos tiek prieš, tiek po tręšimo ND. Šio tipo dirvožemiai išsidėstę žemesniame reljefe ir yra užmirkę dėl negiliai slūgsančio gruntinio vandens (nuo 50 cm), todėl, tokiomis sąlygomis dirvožemyje organinių medžiagų mineralizacija yra minimali, maisto medžiagų būtinų želdinių augimui atsipalaiduoja mažai ir tokiu atveju išeikvojamos visos judriosios dirvožemio atsargos, bet tuo pačiu nepapildoma

naujomis, kurios yra sukauptos organinėje formoje ir augalams neprieinamos. Be to, dėl nuolatinio užmirkimo kenčia ir patys želdiniai, sulėtėja jų vystymasis ir augimas, o dirvožemyje esančių mikroorganizmų, kurie dalyvauja organinių medžiagų mineralizacijos procesuose, veikla taip pat minimali.

Judrusis kalis (K_2O) dirvožemyje. Kalio kiekis dirvožemyje priklauso nuo šio elemento gausumo dirvodarinėse uolienose, dirvožemio granuliometrinės sudėties, dirvožemio tipo, lauko sukultūrinimo lygio ir tręšimo intensyvumo. Atlikus judriojo kalio (K_2O) dirvožemyje tyrimus ir įvertinus pagal jo turtingumo vertinimo skalę dirvožemyje (ž. r. 1.3.2 lentelė), matome, kad šio elemento koncentracijos skirtingų tipų dirvožemiuose, projekto pradžioje (1 etapas) įvairavo ir kito: nuo labai mažų šlynžemiuose, mažų - durpžemiuose, vidutinių – išplautžemiuose iki labai didelių balkšvažemiuose (2.2.2.1 lentelė). Visose dirvožemių grupėse po tręšimo nuotekų dumblu (juo tręšiant 1 kartą) judriojo K_2O pokyčiai dirvožemyje buvo minimalūs.

Laukuose, kur trumpos rotacijos želdiniai ND tręšiami 2 kartus, 1 tyrimo etape, beveik visuose dirvožemio tipuose, išskyrus šlynžemius, nustatytos kiek didesnės šio judriojo elemento koncentracijos. Išplautžemiai ir balkšvažemiai buvo labai kalingi, o šlynžemiai ir durpžemiai – labai mažai ir mažai kalingi. Po tręšimo ND, visuose dirvožemio tipuose judriojo K_2O koncentracijos pokyčiai minimalūs, o balkšvažemiuose fiksuotas ir neženklus sumažėjimas paklaidų ribose.

2.2.2.1 lentelė. Dirvožemio pH_{KCl} verčių bei judriųjų fosforo (P_2O_5) ir kalio (K_2O), koncentracijų pokyčiai skirtingų tipų dirvožemiuose (0–20 cm sluoksnyje)

Reikšmės	**Dirvožemio pH_{KCl}**			**Judrusis P_2O_5**			**Judrusis K_2O**		
				koncentracija mg kg^{-1} dirvožemio					
	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mineraliniai dirvožemiai									
Išplautžemiai									
ND tręšta 1 kartą									
Vidurkis	**6,2**	**6,2**	0,0	**108**	**158**	50	**154**	**168**	14
min	5,4	5,3		4	30		65	84	
max	7,1	7,5		537	993		390	423	
ND tręšta 2 kartus									
Vidurkis	**5,9**	**5,9**	0,0	**393**	**611**	218	**259**	**265**	6
min	5,2	5,2		60	84		103	140	
max	6,7	7,0		1047	1956		381	790	
Balkšvažemiai									
ND tręšta 1 kartą									
Vidurkis	**5,9**	**5,9**	0,0	**88**	**112**	24	**217**	**223**	6
min	4,9	5,1		27	41		100	103	
max	7,0	7,0		240	393		390	408	
ND tręšta 2 kartus									
Vidurkis	**6,0**	**5,9**	-0,1	**389**	**592**	203	**245**	**240**	-5
min	5,4	5,4		42	57		191	197	
max	6,5	6,6		754	1780		324	399	

2.2.2.1 lentelės tęsinys

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Organiniai-mineraliniai dirvožemiai									
Šlynžemiai									
ND tręšta 1 kartą									
Vidurkis	**6,5**	**6,4**	-0,1	**59**	**67**	8	**97**	**119**	22
min	6,1	6,0		23	39		60	75	
max	6,9	7,1		87	98		172	221	
ND tręšta 2 kartus									
Vidurkis	**6,8**	**6,8**	0,0	**38**	**40**	2	**78**	**86**	8
min	6,4	6,6		17	23		48	66	
max	7,0	6,9		59	56,0		99	98	
Organiniai dirvožemiai									
Durpžemiai									
ND tręšta 1 kartą									
Vidurkis	**6,2**	**6,1**	-0,1	**183**	**311**	128	**133**	**151**	18
min	5,1	5,2		42	75		48	68	
max	6,8	7,3		599	975		372	459	
ND tręšta 2 kartus									
Vidurkis	**5,6**	**5,7**	0,1	**256**	**412**	156	**182**	**198**	16
min	3,8	4,3		53	60		71	100	
max	7,1	6,9		1092	1695		484	595	

Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; * - nuotekų dumblas.

Apibendrinant rezultatus, galime teigti, kad mineraliniuose dirvožemiuose judriojo K_2O koncentracijos tikėtina daugiau priklausė nuo pačios dirvodarinės uolienos prigimtinio kalingumo nei nuo dirvožemio tipo, o durpžemiuose – nuo kalio gebėjimo atsipalaiduoti iš organinių medžiagų mineralizacijos metu, kurio intensyvumą durpėse įtakoja ne tik dirvožemio pH, drėgmės lygis, bet ir kiti aplinkos veiksniai. Taip pat tręšimas nuotekų dumblu, judriojo K_2O pokyčiams dirvožemyje ne toks efektyvus, kaip judriojo P_2O_5, nes bendrojo kalio jame yra 6-7 kartus mažiau nei bendrojo fosforo. Todėl atsipalaiduojantys šio judriojo elemento kiekiai iš organinių medžiagų esančių dirvožemyje (patekusių ir su ND) yra ženkliai mažesni.

Judrusis kalcis (CaO). Judriojo kalcio koncentracija dirvožemyje yra tiesiogiai susijusi su sumine jo koncentracija ir priklauso nuo karbonatingojo sluoksnio slūgsojimo gylio, kuriame gausu kalcio ir magnio karbonatų. Šis sluoksnis yra tarsi indikatorius, rodantis, kuriame gylyje kalcio gali trūkti, o kur jo yra daug. Rytų Lietuvoje šis sluoksnis slūgso 0,8–1,2 m. Judriojo kalcio koncentracija dirvožemyje taip pat koreliuoja su dirvožemio pH: esant rūgštesnei – dirvožemiuose būna mažiau kalcio, o esant artimai neutraliai – jo yra daugiau.

Atlikti tyrimai rodo, kad judriojo kalcio (CaO) koncentracijos tirtų rajonų mineraliniuose, organiniuose-mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose pasiskirstė nevienodai, ir tikėtina didele dalimi priklausė nuo dirvožemio pH, nuo to ar dirvožemiai buvo karbonatingi bei pasotinti bazėmis, bei nuo tręšimo ND. Tačiau bendra situacija yra gera, nes jau projekto pradžioje (1 etapas) judriojo CaO koncentracijos mineraliniuose dirvožemiuose buvo didelės, o organiniuose mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose – labai didelės. Ypač gausūs judriojo CaO kiekiai nustatyti durpžemiuose, ir gautos koncentracijos pasiskirstė labai plačiame reikšmių intervale (2.2.2.2 lentelė). Visose dirvožemių grupėse po tręšimo nuotekų dumblu (juo tręšiant 1 kartą) stebimi ženklūs teigiami

judriojo CaO pokyčiai dirvožemyje. Mineralinių dirvožemių grupėje išplautžemiai ir balkšvažemiai, pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimą šiuo elementu (1.3.3 lentelė), perėjo į aukštesnę grupę ir iš daug turinčių tapo labai daug turinčiais.

Laukuose, kur trumpos rotacijos želdiniai ND tręšiami 2 kartus, projekto pradžioje (1 etape), visose dirvožemio grupėse nustatytos labai didelės judriojo CaO koncentracijos. Po tręšimo ND, projekto pabaigoje tirtuose dirvožemiuose judriojo CaO susikaupė dar didesni kiekiai. Itin ryškūs pokyčiai fiksuoti organinių-mineralinių dirvožemių grupėje (šlynžemiuose), ir tai siejama su šių laukų dirvožemiuose vyraujančia didesne pH_{KCl} verte (6,8), kas rodo didelį dirvožemių pasotinimą bazėmis. Po tręšimo ND, projekto pabaigoje minėtuose dirvožemiuose judriojo CaO susikaupė netgi daugiau nei durpžemiuose, kurie buvo rūgštokos reakcijos (pH_{KCl}=5,7).

Lyginant tarpusavyje įvairius dirvožemio tipus, nustatyta, kad durpžemiuose šio judriojo elemento susikaupė apie 4,5 karto daugiau nei išplautžemiuose ir balkšvažemiuose bei 2,4 karto daugiau nei šlynžemiuose. Panašios tendencijos gautos ir laukuose, kur želdiniai ND tręšiami 2 kartus, išskyrus šlynžemius. Analizuojant atskirus dirvožemių tipus išryškėjo aiškios tendencijos, kad tiek mineralinių, tiek organinių-mineralinių ir organinių dirvožemių grupėse, judriojo CaO daugiau turėjo tie dirvožemiai, kurių pH_{KCl} vertės buvo didesnės ir artimos neutralioms ar šarmiškoms. Tręšimas nuotekų dumblu taip pat turėjo ženklios įtakos šio elemento pokyčiams, nes bendrojo kalcio jame buvo 2 kartus daugiau nei bendrojo fosforo, kuris taip pat yra dominuojantis šios organinės atliekos elementas.

Judrusis magnis (MgO). Daugiausia įtakos magnio kiekiui turi dirvožemio pH, granuliometrinės sudėtis ir tai, iš kokių uolienų formavosi dirvožemis (Mašauskas, 2009; Mažvila ir kt., 2011). Mažiausiai magnio turi labai rūgščios ir vidutiniškai rūgščios reakcijos dirvožemiai, gerokai daugiau – pH>6,1 turintys dirvožemiai. Kaip ir suminio, judriojo MgO gerokai daugiau yra dirvožemio karbonatingame sluoksnyje. Augalai magnį geriausiai įsisavina, kai jo santykis su kalciu dirvožemyje yra 1–5:8. (Mašauskas, 2009; Mažvila ir kt., 2011)

Atlikti tyrimai rodo, kad judriojo magnio (MgO) koncentracijos tirtų rajonų mineraliniuose, organiniuose-mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose pagal turtingumo grupes pasiskirstė labai panašiai, kaip ir judriojo Ca koncentracijos, ir didžiąja dalimi priklausė nuo dirvožemio pH, karbonatingojo sluoksnio gylio ir pasotinimo bazėmis bei tręšimo ND. Šalia visų šių išvardintų veiksnių netiesioginės įtakos turėjo dirvožemio tipas ir jo granuliometrinė sudėtis. Bendra situacija yra gera, nes jau projekto pradžioje (1 etapas) judriojo MgO koncentracijos mineraliniuose dirvožemiuose buvo didelės (balkšvažemiuose) ir labai didelės (išplautžemiuose), o organiniuose-mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose – atitinkamai šlynžemiuose ir durpžemiuose – labai didelės. Minėtuose dirvožemio tipologiniuose vienetuose gautos koncentracijos pasiskirstė gana plačiame reikšmių intervale (2.2.2.2 lentelė). Visose dirvožemių grupėse po tręšimo nuotekų dumblu (juo tręšiant 1 kartą) stebimi ženklūs teigiami judriojo MgO pokyčiai dirvožemyje. Mineralinių dirvožemių grupėje balkšvažemiai, pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimą šiuo elementu (1.3.4 lentelė), perėjo į aukštesnę grupę ir iš daug turinčių tapo labai daug turinčiais.

Laukuose, kur trumpos rotacijos želdiniai ND tręšiami 2 kartus, projekto pradžioje (1 etape), visose dirvožemio grupėse nustatytos labai didelės judriojo MgO koncentracijos. Po tręšimo ND, projekto pabaigoje tirtuose dirvožemiuose judriojo MgO susikaupė dar didesni kiekiai. Itin ryškūs pokyčiai fiksuoti organinių-mineralinių dirvožemių grupėje (šlynžemiuose), ir tai siejama su šių

laukų dirvožemiuose vyraujančia didesne pH_{KCl} verte (6,8), kas rodo didelį dirvožemių pasotinimą bazėmis. Po tręšimo ND, projekto pabaigoje minėtuose dirvožemiuose judriojo MgO susikaupė netgi daugiau nei durpžemiuose, kurie buvo rūgštokos reakcijos (pH_{KCl}=5,7).

2.2.2.2 lentelė. Judriųjų kalcio (CaO) ir magnio (MgO) koncentracijų pokyčiai skirtingų tipų dirvožemiuose (0–20 cm sluoksnyje)

Reikšmės	**Judrusis CaO**			**Judrusis MgO**		
	koncentracija mg kg^{-1} dirvožemio					
	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±
Mineraliniai dirvožemiai						
Išplautžemiai						
ND tręšta 1 kartą						
Vidurkis	**2173**	**3264**	1091	**386**	**729**	343
min	787	1477		150	232	
max	5688	7972		1010	1870	
ND tręšta 2 kartus						
Vidurkis	**2110**	**2809**	699	**303**	**436**	133
min	924	1268		173	225	
max	5076	7776		564	1691	
Balkšvažemiai						
ND tręšta 1 kartą						
Vidurkis	**1818**	**2562**	744	**303**	**487**	184
min	597	1154		91	209	
max	4044	5574		668	1078	
ND tręšta 2 kartus						
Vidurkis	**1977**	**2117**	140	**325**	**358**	33
min	985	644		211	187	
max	3480	5820		502	766	
Organiniai-mineraliniai dirvožemiai						
Šlynžemiai						
ND tręšta 1 kartą						
Vidurkis	**4223**	**5521**	998	**659**	**907**	248
min	1796	3067		256	350	
max	9236	9390		1248	2202	
TRĘŠTI nuotekų dumblu prieš projekto pradžią						
Vidurkis	**7004**	**9306**	2302	**1080**	**1509**	429
min	2045	2286		248	232	
max	10208	17717		1656	3011	
Organiniai dirvožemiai						
Durpžemiai						
ND tręšta 2 kartus						
Vidurkis	**9851**	**13780**	3929	**719**	**1119**	400
min	2645	3928		224	607	
max	18792	27378		1344	2049	
ND tręšta 2 kartus						
Vidurkis	**7964**	**8865**	901	**930**	**1037**	196
min	792	997		148	183	
max	11452	13979		1904	3011	

Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND - nuotekų dumblas.

Lyginant tarpusavyje įvairius dirvožemio tipus, nustatyta, kad durpžemiuose šio judriojo elemento susikaupė vidutiniškai apie 2 kartus daugiau nei išplautžemiuose ir balkšvažemiuose, o šlynžemiuose skirtumai ne buvo tokie ženklūs – 1,2 karto. Panašios tendencijos gautos ir laukuose, kur želdiniai ND tręšiami 2 kartus, išskyrus šlynžemius, kur šio elemento nustatyta daugiau nei durpžemiuose. Analizuojant atskirus dirvožemių tipus išryškėjo aiškios tendencijos, kad tiek mineralinių, tiek organinių-mineralinių ir organinių dirvožemių grupėse, judriojo MgO daugiau turėjo tie dirvožemiai, kurių pH_{KCl} vertės buvo didesnės ir artimos neutralioms ar šarmiškoms. Tręšimas nuotekų dumblu taip pat turėjo įtakos šio elemento pokyčiams, nes bendrojo magnio čia taip pat buvo nemaži kiekiai.

2.2.3. Organinės anglies koncentracija (C_{org}) ir jos sankaupos dirvožemyje

Organinės anglies koncentraciją (C_{org}) ir jos sankaupas dirvožemyje taip pat apsprendžia ir pačio dirvožemio savybės, t. y. dirvodaros procesų metu susidariusios pirminės medžiagos, humuso frakcijos, ariamojo humusingojo horizonto sluoksnio storis (De Vos et al., 2015) ir tankis (Armolaitis et al., 2021). Atlikta nemažai plačios apimties studijų Centrinės ir Rytų Europos šalyse, Airijoje, Jungtinėje Karalystėje bei kitose Europos šalyse, kurios pabrėžia dirvožemio tipo itin ryškią įtaką organinės anglies ir jos sankaupų pokyčiams dirvožemyje, bei jų grupavimą pagal turtingumą šiuo elementu atitinkamai šalies ar regiono mastu (Jarmain C. et al., 2023; Armolaitis et al., 2021; De Vos et al., 2015; Batjes, 2002; Micheli et al., 2014; Wiesmeier et al., 2019; Buckingham et al., 2012). Tačiau dirvožemio tipas nėra nepriklausomas veiksnys, nes jis koreliuoja su klimatu, reljefu, dirvožemio drėgmės režimu ir dirvožemio granuliometrine sudėtimi, kurie tiesiogiai veikia dirvožemio gebėjimą kaupti C_{org} (Mayes et al., 2014; Wiesmeier et al., 2013). Kaip rodo daugumų tyrėjų atlikti tyrimai, C_{org} koncentracijos mineraliniuose, organiniuose-mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose gali skirtis net keletą kartų. Jungtinėje karalystėje mokslininkai nustatė, kad durpžemiuose C_{org} susikaupė beveik keturis kartus daugiau lyginant su mineraliniais dirvožemiais ir 1,5 karto daugiau lyginant su šlynžemiais (Vanguelova ir kt., 2013).

Organinės anglies (C_{org}) koncentracija. Šalyje perteklinės drėgmės sąlygomis organinės anglies (C_{org}) koncentracija labiausiai priklauso nuo dirvožemio įmirkimo, granuliometrinės sudėties ir tręšimo organinėmis trąšomis ar atliekomis. Dirvožemio tipo įtaka čia menkesnė, išskyrus organinius-mineralinius ir organinius dirvožemius, kuriuos sudaro puvenos ir durpės, o pastarosiose gausu organinių medžiagų ir sąlygos C_{org} kauptis yra visiškai kitos. Rytų Lietuvos zonoje, kurioje išsidėstę visi Nutribiomass4Life projekto laukai, dažniausiai vyrauja mažiau C_{org} turintys ir lengvesnės granuliometrinės sudėties dirvožemiai, ir C_{org} dažnai nustatoma mažesnės koncentracijos nei derlinguose sunkesnės granuliometrinės sudėties Vidurio Lietuvos dirvožemiuose. Projekto metu šis rodiklis dirvožemyje buvo vertinamas smulkesniame antriniame LDK-99 klasifikacijos lygmenyje, pagal atitinkamas diagnostines savybes, kur dirvožemio tipai buvo suskirstyti: mineraliniai – glėjiški išplautžemiai, paprastieji išplautžemiai, karbonatingieji išplautžemiai ir pasotinti balkšvažemiai; organiniai-mineraliniai – puveningieji šlynžemiai; organiniai – gilieji žemapelkių durpžemiai.

Tirtuose projekto laukų dirvožemiuose C_{org} koncentracijos mineraliniuose, organiniuose-mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose ženkliai skyrėsi, ypač lyginant su organiniais dirvožemiais (durpžemiais). Įvertinus C_{org} koncentracijas pagal jų vertinimo skalę dirvožemyje (ž. r.

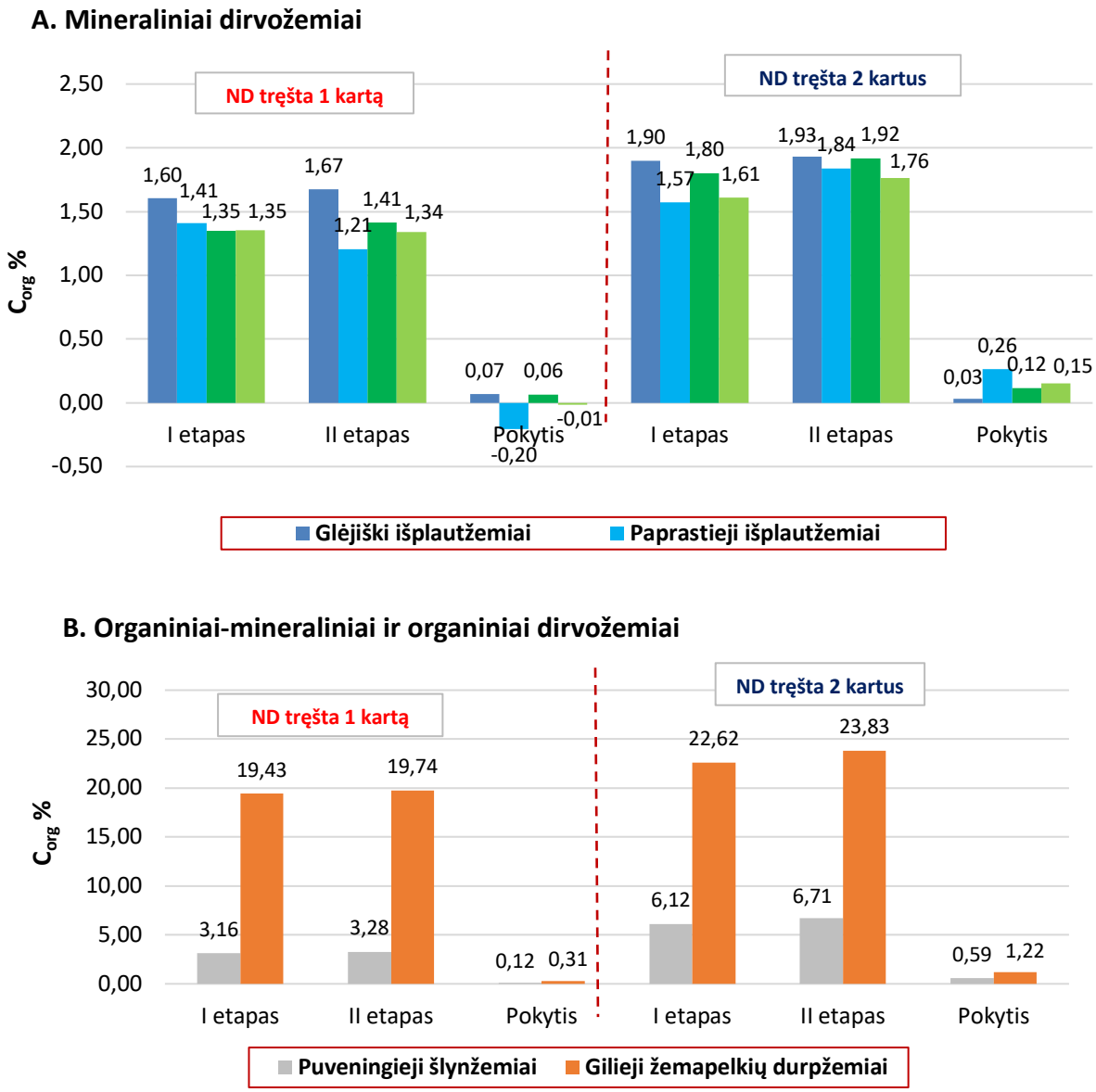
1.3.7 lentelė), matome, kad projekto pradžioje (ND tręšiant 1 kartą) mineralinių dirvožemių grupėje vyravo vidutiniškai C_{org} turintys glėjiški, paprastieji bei kabonatingieji išplautžemiai ir pasotintieji balkšvažemiai, organinių-mineralinių dirvožemių grupėje – labai daug C_{org} turintys pasotintieji šlynžemiai, o organinių dirvožemių grupėje – ypatingai daug C_{org} turintys durpžemiai (2.2.3.1 pav. A; B). Trumpos rotacijos želdinius tręšiant ND 2 kartus, mineraliniuose dirvožemiuose 1 tyrimo etape taip pat vyravo vidutinės C_{org} koncentracijos, išskyrus glėjiškuosius išplautžemius, kur C_{org} jau buvo daug. Kaip matome minėtas dirvožemio potipis tiek ND tręšiant 1, tiek 2 kartus, pasižymėjo kiek didesne C_{org} koncentracija, o visa tai iš dalies lėmė šių dirvožemių glėjiškumo (užmirkimo) savybė, kurios pasekoje dirvožemyje lėčiau vykstant organinių medžiagų mineralizacijai, daugiau sukaupiama $C_{org.}$ Dėl minėtų priežasčių puveninguose šlynžemiuose (organiniai-mineraliniai dirvožemiai), kurie yra išsidėstę žemesnėse reljefo vietose ir dėl negiliai slūgsančio gruntinio vandens yra nuolatos užmirkę, C_{org} sukaupiama dar didesnės koncentracijos. Seklieji žemapelkių durpžemiai sukaupė ypatingai didelės Corg koncentracijas, kaip ir laukuose tręštuose ND 1 kartą.

Vidutiniais tyrimų duomenimis, mažiausiomis vidutinėmis (1,35 %) C_{org} koncentracijomis 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje 1 tyrimo etape pasižymėjo pasotinti balkšvažemiai ir kabonatingieji išplautžemiai, juos tręšiant ND 1 kartą. Daugiausiai C_{org} nustatyta durpžemiuose (19,43 %), kuriuose gausu ne tik organinių, bet ir maisto medžiagų, kurios mineralizuojantis durpei atsipalaiduoja ir tampa gausiu įvairių judriųjų elementų šaltiniu augalams. Po tręšimo ND (laukuose tręštuose ND 1 kartą), ne visuose mineralinių dirvožemių potipiuose fiksuoti teigiami C_{org} pokyčiai ir paprastuose išplautžemiuose jos koncentracija sumažėjo 0,20 % vnt. Panašios tendencijos nustatytos ir pasotintuose balkšvažemiuose, tik čia sumažėjimas buvo paklaidų ribose ir siekė vos 0,01 % vnt. Šie pokyčiai yra tikėtini ir galimi, bet kuriuose mineraliniuose dirvožemiuose, kuriuose organinių medžiagų yra mažai ir jų mineralizacija į judrius junginius labai intensyvi. Be to, ne mažą dalį C_{org} sukaupia ir patys želdiniai, o ženklesni teigiami C_{org} pokyčiai dirvožemyje intensyviau pradeda kauptis praėjus ne mažiau dešimtmečiui, o dažnai ir keliems. Jauni želdiniai negali užtikrinti su nuokritomis bei su apmirusiomis šaknimis patenkančio C_{org} kiekio. Be to, anglies patekimas tiek iš antžeminės, tiek iš požeminės želdinių biomasės yra gana netolygiai mažas ir pereinant iš žemės ūkio naudmenų į trumpos rotacijos želdinių plantacijas ar mišką, SOC sankaupos pradeda didėti tik medžių lajoms susiveriant bei pasibaigus intensyviam šaknų sistemos formavimuisi (Vesterdal et al., 2002; Paul et al., 2002). Puveninguose šlynžemiuose ir durpžemiuose, po tręšimo ND, C_{org} koncentracija buvo linkusi didėti ir pokytis siekė atitinkamai 0,12 bei 0,31 % vnt.

Laukuose, trumpos rotacijos želdinius ND tręšiant 2 kartus, projekto pradžioje (1 etape) visose dirvožemio grupėse nustatytos kiek didesnės C_{org} koncentracijos, nei tręšiant ND 1 kartą. Po tręšimo ND, projekto pabaigoje visuose tirtuose dirvožemio potipiuose fiksuoti teigiami C_{org} pokyčiai. Itin ryškūs padidėjimai nustatyti durpžemiuose ir puveninguose šlynžemiuose – atitinkamai 1,22 ir 0,59 % vnt. Mineralinių dirvožemių grupėje didžiausi pokyčiai fiksuoti paprastuosiuose išplautžemiuose – 0,26 % vnt. daugiau nei projekto pradžioje (1 etape). Be to, minėtos dirvožemių grupės visuose potipiuose C_{org} koncentracija padidėjo per vieną turtingumo grupę ir iš vidutiniškai turinčių tapo daug C_{org} turinčiais. Taigi, želdinių tręšimo ND efektyvumas išryškėjo tuose laukuose, kurie jau buvo tręšti 2 kartus.

Atsižvelgiant į nustatytas C_{org} koncentracijas 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje, atliktuose tyrimuose, dirvožemiai pagal jų tipą (pagal WRB), tręšiant ND 1 kartą, I ir II tyrimo etapuose

pasiskirstė mažėjimo tvarka sekančiai: gilieji žemapelkių durpžemiai – puveningieji šlynžemiai – glėjiški išplautžemiai – karbonatingieji išplautžemiai – pasotinti balkšvažemiai – paprastieji išplautžemiai. Po 2 tręšimų ND, dirvožemiai pasiskirstė panašia tvarka: gilieji žemapelkių durpžemiai – puveningieji šlynžemiai – glėjiški išplautžemiai – karbonatingieji išplautžemiai – paprastieji išplautžemiai – pasotinti balkšvažemiai.



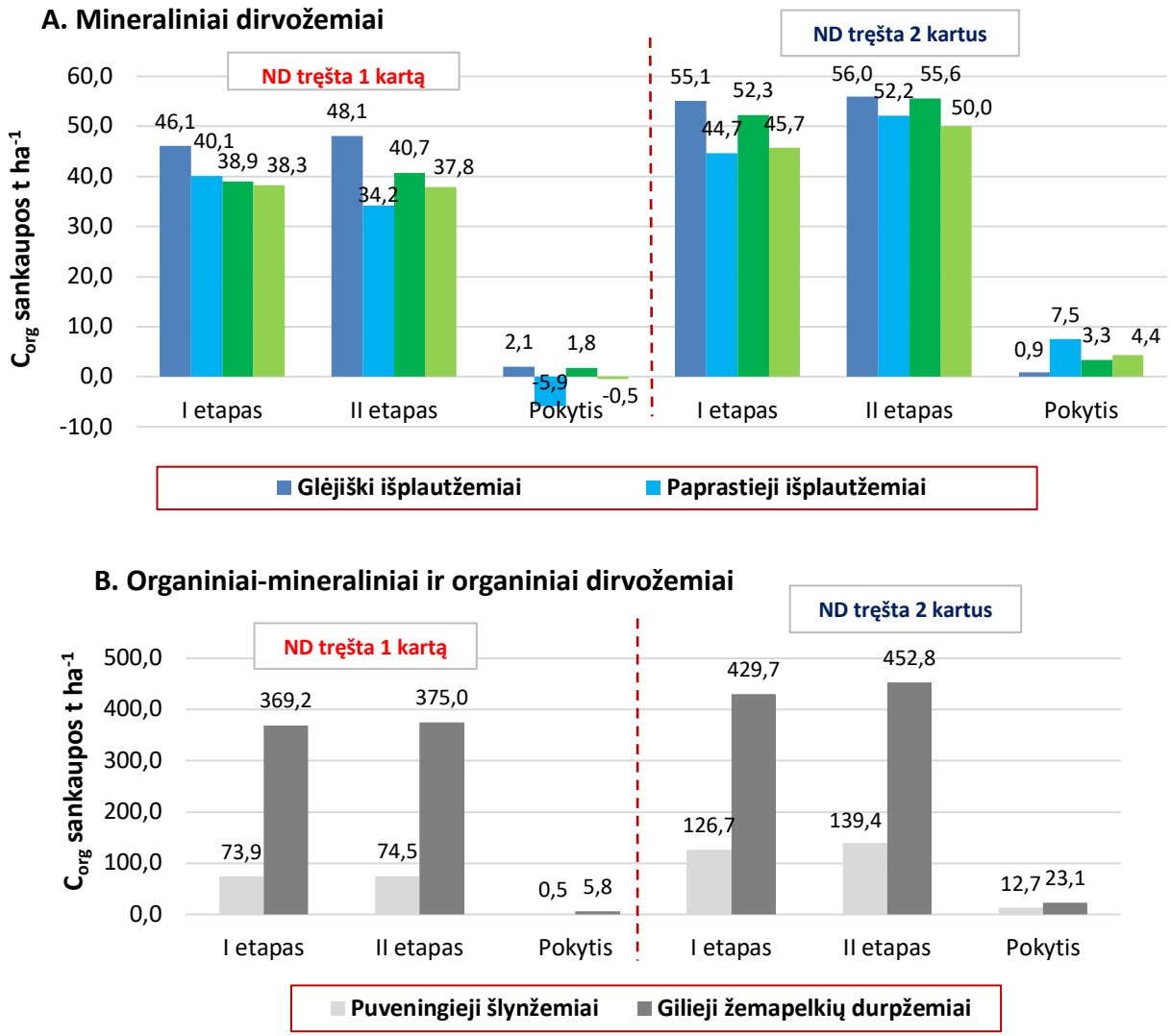
Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND - nuotekų dumblas

2.2.3.1 pav. Organinės anglies (C_{org}) koncentracijos pokyčiai skirtingų tipų dirvožemiuose (0–20 cm sluoksnyje)

Apibendrinant rezultatus, matome, kad dirvožemiai pagal juose nustatytas C_{org} koncentracijas atitiko skirtinguose dirvožemio tipuose tendencingus šio elemento kiekius, kurie siejami su skirtingų dirvožemių tipų išsivystymu ir derlingumu, drėgmės režimu, glėjiškumu, kurį lemia kiekvienai

teritorijai būdingi dirvožemių dirvodaros ypatumai, reljefas ir klimatinės sąlygos. Nuo to priklauso ir skirtingų dirvožemių gebėjimas kaupti ir išlaikyti organinę anglį ir jos sankaupas.

Organinės anglies (C_{org}) sankaupos dirvožemyje. Skirtingų tipų dirvožemiuose nustačius C_{org} koncentracijas, taip pat buvo apskaičiuotos ir C_{org} sankaupos (2.2.3.2 pav. A, B). Atliekant šiuos skaičiavimus, svarbu žinoti ir įvertinti ne tik C_{org} koncentraciją, bet ir humusingojo horizonto storį bei dirvožemio tankį. Įvairių dirvožemių humusingojo sluoksnio storis būna labai skirtingas: mineraliniuose dirvožemiuose jis kito 25–28 cm intervale, organiniuose mineraliniuose – 34–35 cm, o organiniuose – 50–100 cm. Tačiau konkrečiu atveju, C_{org} sankaupas apskaičiavome 0–20 cm sluoksnyje, kuris yra daugiausiai paveiktas mineralizacijos procesų. Atlikti skaičiavimai rodo, kad projekto pradžioje mineraliniuose dirvožemiuose C_{org} sankaupos buvo mažiausios ir svyravo nuo 38,3 (pasotintuose balkšvažemiuose) iki 46,1 t ha^{-1} (glėjiškuose išplautžemiuose) (2.2.3.2 pav. A).



Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND - nuotekų dumblas.

2.2.3.2 pav. Organinės anglies (C_{org}) sankaupų pokyčiai skirtingų tipų dirvožemiuose (0–20 cm sluoksnyje)

Priešingai, pasotintuose šlynžemiuose C_{org} sankaupos buvo beveik 2 kartus didesnės nei mineraliniuose dirvožemiuose, o organiniuose dirvožemiuose (durpžemiuose) šis rodiklis viršijo nuo 8,0 iki 9,6 karto (2.2.3.2 pav. B). Po tręšimo ND, didėjant C_{org} koncentracijai dirvožemyje didėjo ir jos sankaupos, išskyrus paprastuosius išplautžemius ir pasotintus balkšvažemius, kur šie rodiklis nežymiai sumažėjo.

Laukuose, trumpos rotacijos želdinius ND tręšiant 2 kartus, projekto pradžioje (1 etape) visose dirvožemio grupėse sukauptos didesnės C_{org} sankaupos, nei tręšiant ND 1 kartą. Po tręšimo ND, projekto pabaigoje visuose tirtuose dirvožemio potipiuose fiksuoti teigiami C_{org} sankaupų pokyčiai. Itin ryškūs padidėjimai nustatyti durpžemiuose ir puveninguose šlynžemiuose – atitinkamai 23,1 ir 12,7 t ha^{-1}. Mineralinių dirvožemių grupėje didžiausi pokyčiai fiksuoti paprastuosiuose išplautžemiuose – 7,5 t ha^{-1} daugiau nei projekto pradžioje (1 etape). Taigi, želdinių tręšimo ND efektyvumas išryškėjo tuose laukuose, kurie jau buvo tręšti 2 kartus nuotekų per augimo laikotarpį.

Natūralu, kad skirtingų tipų dirvožemiuose C_{org} sankaupų akumuliacija vyksta nevienodu intensyvumu, nes dirvožemiai skiriasi ne tik dirvodaros ypatumais, bet juos veikia ir skirtingi aplinkos veiksniai.

2.2.4. Sunkieji metalai (kadmis, švinas, chromas, nikelis, varis, cinkas, gyvsidabris)

Sunkiųjų metalų kaupimuisi ir migracijai nemažos įtakos turi dirvožemio kilmė, jų fizikinės ir cheminės savybės (rūgštingumas (pH_{KCl}), C_{org} (humuso) koncentracija ir sorbciniai ypatumai. Sunkiųjų metalų kaupimuisi augaluose didžiausią įtaką turi augalų rūšis, taip pat augimo sąlygos ir išsivystymo tarpsnis. Lietuvoje, kaip ir kitose Europos sąjungos šalyse, dirvožemio cheminė apkrova daug kur didėja, todėl pravartu plotuose, kuriuose taikomos intensyvios technologijos ar tręšimui naudojant organines trąšos ar atliekas (nuotekų dumblas ir pan.), periodiškai ištirti ne tik augalams reikalingų mitybos elementų, bet ir sunkiųjų metalų (Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Cu, Zn) koncentracijas.

Kadmio, švino, chromo ir nikelio koncentracijos dirvožemyje. Atlikti tyrimai rodo, kad sunkiųjų metalų (kadmio, švino, chromo ir nikelio) koncentracijos tirtų rajonų mineraliniuose, organiniuose-mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose pagal jų vertinimo grupes pasiskirstė labai nevienodai ir daugumoje vyravo labai mažas bei mažas, rečiau vidutines ar dideles koncentracijas turintys dirvožemiai. Svarbu tai, kad nei viename projekto lauke nustatytos minėtų sunkiųjų metalų koncentracijos neviršijo DLK (didžiausios leistinos koncentracijos), kurias nurodo „Dėl nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimų“ aprašas. Daugumoje tirtų laukų dirvožemiuose nustatytos koncentracijos viršijo tik foninio lygio ribas, želdinius tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus (2.2.4.1 lentelė). Kaip matome, projekto pradžioje (ND tręšiant 1 kartą) kadmio ir švino daugiau sukaupė durpžemiai, chromo – šlynžemiai, o nikelio – balkšvažemiai. Po tręšimo ND kiek daugiau dirvožemiuose nustatyta švino, chromo ir nikelio; kadmio pokyčiai minimalūs, o šlynžemiuose ir durpžemiuose šio elemento sumažėjo paklaidų ribose. Švino pokytis, dėl tręšimo ND, yra ryškiausias durpžemiuose (5,3 mg kg^{-1} daugiau nei prieš tręšimą), chromo ir nikelio – šlynžemiuose (atitinkamai 12,2 ir 6,4 mg kg^{-1} daugiau).

2.2.4.1 lentelė. Kadmio (Cd), švino (Pb), chromo (Cr) ir nikelio (Ni) koncentracijų pokyčiai skirtingų tipų dirvožemiuose (0–20 cm sluoksnyje)

Rodikliai	**Kadmis (Cd)**			**Švinas (Pb)**			**Chromas (Cr)**			**Nikelis (Ni)**		
	koncentracija mg kg^{-1} dirvožemyje											
	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±
FL*	0,09			7			10			11		
DLK*	1,0			50			50			50		
Mineraliniai dirvožemiai												
Išplautžemiai												
ND trešta 1 kartą												
Vidurkis	**0,07**	**0,08**	0,01	**7,5**	**8,8**	1,3	**12,7**	**19,1**	6,4	**9,1**	**12,8**	3,7
min	0,04	0,03		5,0	4,5		6,3	4,5		3,1	5,1	
max	0,18	0,19		11,2	14,7		27,3	33,6		17,1	25,7	
ND trešta 2 kartus												
Vidurkis	**0,13**	**0,14**	0,01	**8,8**	**10,2**	1,4	**13,5**	**26,9**	13,4	**8,9**	**15,5**	6,6
min	0,07	0,05		5,2	5,9		8,2	16,4		5,9	8,6	
max	0,34	0,29		13,6	16,0		23,6	44,0		15,7	26,0	
Balkšvažemiai												
ND trešta 1 kartą												
Vidurkis	**0,07**	**0,07**	0,0	**8,1**	**8,6**	0,5	**12,0**	**17,9**	5,9	**10,5**	**13,4**	2,9
min	0,05	0,05		4,6	4,1		5,8	6,9		4,0	3,6	
max	0,12	0,10		14,5	11,1		18,4	39,3		24,6	29,8	
ND trešta 2 kartus												
Vidurkis	**0,15**	**0,15**	0,0	**8,8**	**10,5**	1,7	**12,8**	**28,6**	15,8	**8,8**	**18,0**	9,2
min	0,08	0,06		7,1	6,3		7,7	17,9		5,6	10,1	
max	0,39	0,27		12,2	12,7		22,3	42,4		14,3	26,0	
Organiniai-mineraliniai dirvožemiai												
Šlynžemiai												
ND trešta 1 kartą												
Vidurkis	**0,15**	**0,12**	-0,03	**7,8**	**7,4**	-0,4	**10,1**	**22,3**	12,2	**6,4**	**12,8**	6,4
min	0,08	0,08		6,0	5,4		4,7	8,3		3,0	4,0	
max	0,27	0,20		10,5	9,3		21,4	52,0		12,9	29,6	
ND trešta 2 kartus												
Vidurkis	**0,17**	**0,14**	-0,03	**7,2**	**7,2**	0,0	**5,4**	**16,0**	10,6	**3,8**	**9,2**	5,4
min	0,08	0,07		4,9	5,1		3,5	9,2		1,6	5,4	
max	0,22	0,22		8,9	8,7		7,1	20,2		5,4	12,7	
Organiniai dirvožemiai												
Durpžemiai												
ND trešta 1 kartą												
Vidurkis	**0,33**	**0,32**	-0,01	**12,2**	**17,5**	5,3	**8,0**	**15,5**	7,5	**4,6**	**9,5**	4,9
min	0,06	0,04		6,2	6,6		3,5	6,2		2,4	3,6	
max	0,64	0,68		29,2	65,0		17,0	59,6		11,3	44,6	
ND trešta 2 kartus												
Vidurkis	**0,34**	**0,31**	-0,03	**14,6**	**16,1**	1,5	**8,4**	**10,9**	2,5	**6,4**	**10,6**	4,2
min	0,04	0,06		5,6	4,8		3,6	3,7		2,7	3,2	
max	0,68	0,78		20,1	27,2		16,0	24,9		14,3	25,8	

Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023. FL* - Foninės sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemyje; DLK* - didžiausioji leidžiamoji sunkiųjų metalų koncentracija (DLK) dirvožemyje; ND - nuotekų dumblas.

Laukuose, trumpos rotacijos želdinius ND tręšiant 2 kartus, projekto pradžioje (1 etape) visose dirvožemio grupėse nustatytos kiek didesnės sunkiųjų metalų koncentracijos, nei tręšiant ND 1 kartą (2.2.4.1 lentelė). Projekto pradžioje (1 etape) kadmio ir švino daugiau sukaupė durpžemiai, chromo ir nikelio – mineraliniai dirvožemiai – bakšvažemiai ir išplautžemiai. Po tręšimo ND kiek daugiau tirtuose dirvožemiuose nustatyta švino, chromo ir nikelio; kadmio pokyčiai minimalūs, o šlynžemiuose ir durpžemiuose šio elemento taip pat, kaip ir ND tręšiant 1 kartą, nustatyta nežymiai mažiau. Todėl tikėtina, kad dalis sunkiųjų metalų susikaupė želdinių biomasėje. Švino pokytis, dėl tręšimo ND, yra ryškiausias durpžemiuose (1,3 mg kg^{-1} daugiau nei prieš tręšimą), chromo ir nikelio – mineraliniuose dirvožemiuose – balkšvažemiuose (atitinkamai 15,8 ir 9,2 mg kg^{-1} daugiau).

Vario, cinko ir gyvsidabrio koncentracijos dirvožemyje tirtų rajonų mineraliniuose, organiniuose-mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose pagal jų vertinimo grupes pasiskirstė labai nevienodai ir daugumoje vyravo vidutines ir dideles, rečiau labai dideles koncentracijas turintys dirvožemiai. Tirtuose skirtingų tipų dirvožemiuose nustatytos vario, cinko ir gyvsidabrio koncentracijos neviršijo DLK (didžiausios leistinos koncentracijos), kurias nurodo „Dėl nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimų“. Daugumoje tirtų laukų dirvožemiuose rastos vario, cinko ir gyvsidabrio koncentracijos tik viršijo foninio lygio ribas, želdinius tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus (2.2.4.2 lentelė). Kaip matome, projekto pradžioje (ND tręšiant 1 kartą) vario daugiau sukaupė mineraliniai dirvožemiai – išplautžemiai ir balkšvažemiai, cinko ir gyvsidabrio – organiniai-mineraliniai dirvožemiai – šlynžemiai bei mineraliniai – balkšvažemiai. Po tręšimo ND, kiek daugiau vario ir gyvsidabrio nustatyta organiniuose dirvožemiuose – durpžemiuose; o cinko – organiniuose-mineraliniuose – šlynžemiuose. Vario pokytis, dėl tręšimo ND, yra ryškiausias durpžemiuose (7,8 mg kg^{-1} daugiau nei prieš tręšimą), cinko – šlynžemiuose ir išplautžemiuose (atitinkamai 4,6 ir 3,6 mg kg^{-1} daugiau), o gyvsidabrio – durpžemiuose (0,08 mg kg^{-1} daugiau).

Laukuose, trumpos rotacijos želdinius ND tręšiant 2 kartus, projekto pradžioje (1 etape) daugumoje dirvožemio grupių nustatytos kiek didesnės vario, cinko ir gyvsidabrio koncentracijos, nei tręšiant ND 1 kartą (2.2.4.2 lentelė). Projekto pradžioje (1 etape) vario daugiau sukaupė durpžemiai, cinko – mineraliniai dirvožemiai – bakšvažemiai ir išplautžemiai, o gyvsidabrio – balkšvažemiai. Po tręšimo ND kiek daugiau tirtuose mineraliniuose dirvožemiuose nustatyta vario ir cinko, o gyvsidabrio daugiau rasta – šlynžemiuose, nors likusiuose dirvožemiuose minėto elemento koncentracijos sumažėjo lyginant su netręštais dirvožemiais. Todėl tikėtina, kad dalis gyvsidabrio bei kitų sunkiųjų elementų buvo linkę kauptis želdinių biomasėje, taip eliminuojant juos iš dirvožemio medžiagų apykaitos rato. Vario ir cinko pokyčiai, dėl tręšimo ND, yra ryškiausi mineraliniuose dirvožemiuose (išplautžemiuose – atitinkamai 4,3 ir 15,5, balkšvažemiuose – 3,5 ir 16,6 mg kg^{-1} daugiau nei prieš tręšimą), o gyvsidabrio – balkšvažemiuose (0,09 mg kg^{-1} mažiau).

2.2.4.2 lentelė. Vario (Cu), cinko (Zn) ir gyvsidabrio (Hg) koncentracijų pokyčiai skirtingų tipų dirvožemiuose (0–20 cm sluoksnyje)

Rodikliai	**Varis (Cu)**			**Cinkas (Zn)**			**Gyvsidabris (Hg)**		
	koncentracija mg kg^{-1} dirvožemyje								
	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±
FL*	6			19			0,075		
DLK*	50			160			0,5		
Mineraliniai dirvožemiai									
Išplautžemiai									
ND tręšta 1 kartą									
Vidurkis	**7,3**	**8,1**	0,8	**27,8**	**31,4**	3,6	**0,04**	**0,04**	0,0
min	3,5	3,6		14,0	12,8		0,02	0,00	
max	15,8	25,4		48,3	57,7		0,10	0,22	
ND tręšta 2 kartus									
Vidurkis	**10,8**	**15,1**	4,3	**50,1**	**65,6**	15,5	**0,10**	**0,05**	-0,05
min	4,6	5,7		23,8	29,9		0,04	0,04	
max	28,0	35,5		132,0	164,0		0,22	0,09	
Balkšvažemiai									
ND tręšta 1 kartą									
Vidurkis	**7,6**	**7,5**	-0,1	**29,8**	**30,0**	0,2	**0,05**	**0,05**	0,0
min	3,4	4,4		23,0	16,9		0,02	0,01	
max	11,0	21,3		45,0	45,8		0,15	0,28	
ND tręšta 2 kartus									
Vidurkis	**11,3**	**14,8**	3,5	**50,8**	**67,4**	16,6	**0,14**	**0,05**	-0,09
min	6,2	6,0		29,0	35,7		0,03	0,02	
max	22,0	34,4		115,0	166,0		0,53	0,08	
Organiniai-mineraliniai dirvožemiai									
Šlynžemiai									
ND tręšta 1 kartą									
Vidurkis	**7,0**	**8,8**	1,8	**30,1**	**34,7**	4,6	**0,13**	**0,04**	-0,07
min	4,0	5,6		14,3	22,4		0,03	0,00	
max	12,1	13,7		57,0	51,8		0,26	0,09	
ND tręšta 2 kartus									
Vidurkis	**9,5**	**11,2**	1,7	**18,7**	**22,8**	4,1	**0,11**	**0,07**	-0,04
min	2,5	3,4		11,3	10,2		0,08	0,05	
max	17,7	18,7		26,0	31,1		0,16	0,10	
Organiniai dirvožemiai									
Durpžemiai									
ND tręšta 1 kartą									
Vidurkis	**6,1**	**13,9**	7,8	**22,7**	**22,8**	0,1	**0,04**	**0,12**	0,08
min	1,5	4,5		10,4	9,0		0,00	0,01	
max	29,2	33,2		43,6	49,7		0,21	0,30	
ND tręšta 2 kartus									
Vidurkis	**12,9**	**14,2**	1,3	**39,2**	**37,4**	-1,8	**0,09**	**0,04**	-0,05
min	6,5	6,8		14,1	15,9		0,003	0,01	
max	26,0	29,9		85,0	79,8		0,29	0,15	

Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023. FL* - Foninės sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemyje; DLK* - didžiausioji leidžiamoji sunkiųjų metalų koncentracija (DLK) dirvožemyje; ND – nuotekų dumblas.

2.2 skyriaus IŠVADOS

Projekto Nutribiomass4Life laukuose įvertinus dirvožemio tipo įtaką cheminių savybių pokyčiams tirtuose dirvožemiuose, tręštuose apdorotu nuotekų dumblu ir medienos biokuro pelenais, nustatyta:

1. Vertinant **mineralinį azotą (N_{min})** skirtingų tipų dirvožemiuose, organiniuose dirvožemiuose buvo nustatyti labai dideli N_{min} kiekiai. Mineralinius ir organinius-mineralinius dirvožemius, lyginant su organiniais, N_{min} juose nustatyta projekto pradžioje (I etape) ir pabaigoje (II etape), ND tręšiant 1 kartą, mineraliniuose dirvožemiuose - atitinkamai 8,8 ir 7,8 karto mažiau, o tręšiant ND 2 kartus – atitinkamai 4,4 ir 3 kartus mažiau; organiniuose-mineraliniuose – vidutiniškai 4,4 kartus mažiau.
   Atsižvelgiant į nustatytas N_{min} koncentracijas 0–60 cm dirvožemio sluoksnyje, tręštuose projekto laukuose dirvožemiai pagal tipą, tręšiant nuotekų dumblu 1 kartą, projekto pradžioje ir pabaigoje pasiskirstė mažėjimo tvarka sekančiai: durpžemiai –> šlynžemiai –> išplautžemiai –> balkšvažemiai; po 2 tręšimų ND: durpžemiai –> išplautžemiai –> balkšvažemiai –> šlynžemiai (puveningi). Dirvožemiai pagal juose nustatytus N_{min} kiekius atitiko skirtinguose dirvožemio tipuose tendencingus šio elemento kiekius, kurie siejami su skirtingų dirvožemių tipų išsivystymu ir derlingumu, ir galimos taršos nitratais neįžvelgėme.
2. **Dirvožemio pH_{KCl}** skirtumai skirtinguose dirvožemiuose buvo minimalūs, todėl dirvožemio tipas įtakos beveik neturėjo. Visuose dirvožemiuose nustatyti pokyčiai buvo minimalūs ir netendencingi. Dirvožemių rūgštėjimą lemia kalcio ir magnio katijonų išsiplovimas, nes dirvožemyje pradeda įsivyrauti vandenilio jonai. To pačio tipo dirvožemiai, išsivytę skirtingomis dirvodaros sąlygomis ir veikiami skirtingų aplinkos bei antropogeninių veiksnių, gali ženkliai skirtis savo reakcija.
3. **Judrusis P_2O_5** dirvožemiuose ne tik priklausė nuo dirvožemio tipo, bet ir nuo tręšimo nuotekų dumblu, ypač juo tręšiant 2 kartus. Judriojo P_2O_5 projekto pradžioje ir pabaigoje, ND tręšiant 1 kartą, daugiausiai sukaupė organiniai dirvožemiai. Priešingos tendencijos išryškėjo laukuose, ND tręštuose 2 kartus, kur šio judriojo elemento labai ir itin daug nustatyta mineraliniuose dirvožemiuose, kurie lengvai įšyla, neįmirkę, juose spartesnė organinių medžiagų mineralizacija, todėl organinėje formoje esantis fosforas gana lengvai perėjo į judriąsias formas, ką rodo ir gauti tyrimų rezultatai. Netipingai mažai judriojo P_2O_5 nustatyta organiniuose-mineraliniuose ir po tręšimo nuotekų dumblu, kuris turtingas organiniais fosforo junginiais, situacija mažai pasikeitė, nes šie dirvožemiai užmirkę ir tokiomis sąlygomis organinių medžiagų mineralizacija yra minimali, maisto medžiagų atsipalaiduoja mažai ir tokiu atveju išeikvojamos visos judriosios dirvožemio atsargos. Po tręšimo ND visose dirvožemių grupėse, tiek tręšiant 1, tiek 2 kartus, judriojo P_2O_5 nustatytos didesnės koncentracijos ir organiniai bei mineraliniai dirvožemiai perėjo į aukštesnę reikšmių grupę pagal jų turtingumo vertinimą dirvožemyje.
4. **Judriojo kalio (K_2O)** projekto pradžioje ir pabaigoje, daug sukaupė mineraliniai dirvožemiai, ND tręšiant tiek 1, tiek 2 kartus. Po tręšimo ND (tręšiant tiek 1, tiek 2 kartus) judriojo K_2O pokyčiai dirvožemyje buvo minimalūs, kiek efektyvesnis jis buvo tik laukuose ND tręštuose 1 kartą. Tikėtina, mineraliniuose dirvožemiuose judriojo K_2O koncentracijos daugiau priklausė nuo pačios dirvodarinės uolienos prigimtinio kalingumo nei nuo dirvožemio tipo, o organiniuose dirvožemiuose – nuo kalio gebėjimo atsipalaiduoti iš organinių medžiagų mineralizacijos metu,

kurio intensyvumą durpėse įtakoja ne tik dirvožemio pH, drėgmės lygis, bet ir kiti aplinkos veiksniai.

5. **Judrieji kalcis (CaO) ir magnis (MgO)** dirvožemiuose priklausė nuo dirvožemio pH, karbonatingojo sluoksnio gylio ir pasotinimo bazėmis, o dirvožemio tipo tiesioginė įtaka ne tokia ryški. Organiniai ir organiniai-mineraliniai dirvožemiai pasižymėjo labai didelėmis judriųjų kalcio (CaO) ir magnio (MgO) koncentracijos. Be to, organiniuose dirvožemiuose (ND tręštuose 1 kartą) šių judriųjų elementų susikaupė atitinkamai apie 4,5 ir 2 kartus daugiau nei mineraliniuose bei 2,4 ir 1,2 karto daugiau nei organiniuose-mineraliniuose. Panašios tendencijos gautos ir laukuose, kur želdiniai ND tręšiami 2 kartus. Tiek mineralinių, tiek organinių-mineralinių ir organinių dirvožemių grupėse, minėtų judriųjų elementų daugiau sukaupė tie dirvožemiai, kurių pH_{KCl} vertės buvo didesnės ir artimos neutralioms ar šarmiškoms. Tręšimas ND (tręšiant 1 ar 2 kartus) lėmė ženklius judriųjų CaO ir MgO pokyčius visuose skirtingų tipų dirvožemiuose, nes bendrojo Ca šioje organinėje trąšoje buvo 2 kartus daugiau nei bendrojo P, o Mg mažiau nei P, kuris taip pat yra dominuojantis šios organinės atliekos elementas.
6. **Organinės anglies (C_{org}) koncentracija ir jos sankaupos** priklausė nuo dirvožemio tipo ir jo granuliometrinės sudėties, įmirkimo ir tręšimo organinėmis trąšomis. Vertinant C_{org} ir jos sankaupas skirtingų tipų dirvožemiuose, matyti, kad palankiausios sąlygos sukaupti ypatingai dideles C_{org} koncentracijas ir jos sankaupas, buvo organiniuose dirvožemiuose, iš dalies ir puveninguose organiniuose-mineraliniuose. Mineralinių dirvožemių grupėje turtingiausi C_{org} buvo glėjiškieji išplautžemiai (ND tręštuose 1 ir 2 kartus). Šias tendencijas iš dalies lėmė šių dirvožemių glėjiškumo (užmirkimo) savybė, kurios pasekoje dirvožemyje lėčiau vykstant organinių medžiagų mineralizacijai, daugiau buvo sukaupiama C_{org}. Mineralinius ir organinius-mineralinius dirvožemius, lyginant su organiniais, C_{org} juose nustatyta projekto pradžioje ir pabaigoje, ND tręšiant 1 kartą, mineraliniuose dirvožemiuose – atitinkamai 13,5 ir 14 kartų mažiau, o tręšiant ND 2 kartus – atitinkamai 13,2 ir 12,8 kartus mažiau; organiniuose-mineraliniuose – vidutiniškai 6,1 ir 6,0 bei 3,7 ir 3,6 kartus daugiau.

   Atsižvelgiant į nustatytas C_{org} koncentracijas 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje dirvožemiai pagal jų tipą, tręšiant tiek tręšiant ND 1, tiek 2 kartus, I ir II tyrimo etapuose pasiskirstė mažėjimo tvarka sekančiai: gilieji žemapelkių durpžemiai –> puveningieji šlynžemiai –> glėjiški išplautžemiai –> karbonatingieji išplautžemiai –> pasotinti balkšvažemiai –> paprastieji išplautžemiai. Dėl tręšimo nuotekų dumblu C_{org} ir jos sankaupos tendencingai kaupėsi visuose dirvožemio tipuose (išskyrus paprastuosius išplautžemius), kiek intensyviau organiniuose dirvožemiuose.
7. Sunkiųjų metalų – **kadmio (Cd), švino (Pb), chromo (Cr), nikelio (Ni), vario (Cu), cinko (Zn) ir gyvsidabrio (Hg)** – koncentracijos nustatytos mineraliniuose, organiniuose-mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose nei viename projekto lauke neviršijo didžiausių leistinų koncentracijų (DLK), kurias nurodo „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimų aprašas“. Projekto pabaigoje po tręšimo ND (tręšiant 1 kartą) organiniuose dirvožemiuose labiau buvo linkę kauptis Cd, Pb, Cu, Hg, organiniuose-mineraliniuose – Cr ir Zn, mineraliniuose – Ni; ND tręšiant 2 kartus: organiniuose dirvožemiuose – Cd, Pb, organiniuose-mineraliniuose – Hg, mineraliniuose – Cr, Ni, Cu, Zn. Gyvsidabrio (Hg) koncentracijos priešingai nei kitų sunkiųjų metalų, tendencingai mažėjo visuose dirvožemio tipuose, tręštuose ND 2 kartus. Todėl tikėtina, kad dalis Hg bei kitų sunkiųjų metalų (iš dalies Cd, Pb, Cu) buvo linkę kauptis želdinių biomasėje, taip eliminuojant juos iš dirvožemio medžiagų apykaitos rato. Taigi konkrečių

tendencijų dėl sunkiųjų metalų pasiskirstymo skirtinguose dirvožemio tipuose neišryškėjo, todėl dirvožemio tipo įtaka čia nepasireiškė. Dėl tręšimo ND įtakos sunkiųjų metalų koncentracijos daugumoje didėjo skirtingu intensyvumu, tačiau nustatytos minėtų sunkiųjų metalų koncentracijos viršijo tik foninio lygio ribas, želdinius tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus. Todėl minėtuose dirvožemiuose tarša sunkiaisiais metalais nepasireiškė.

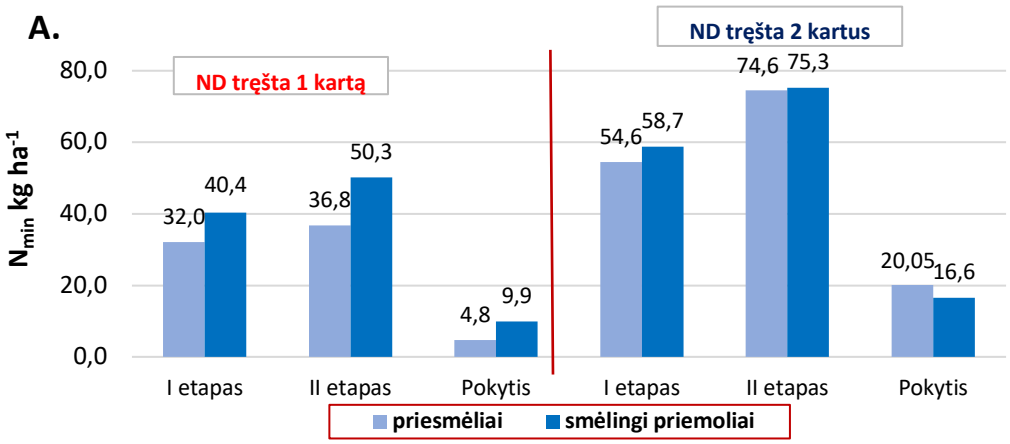
2.3.Skirtingos dirvožemio granuliometrinės sudėties įtaka cheminių savybių pokyčiams dirvožemiuose, juos tręšiant apdorotu nuotekų dumblu

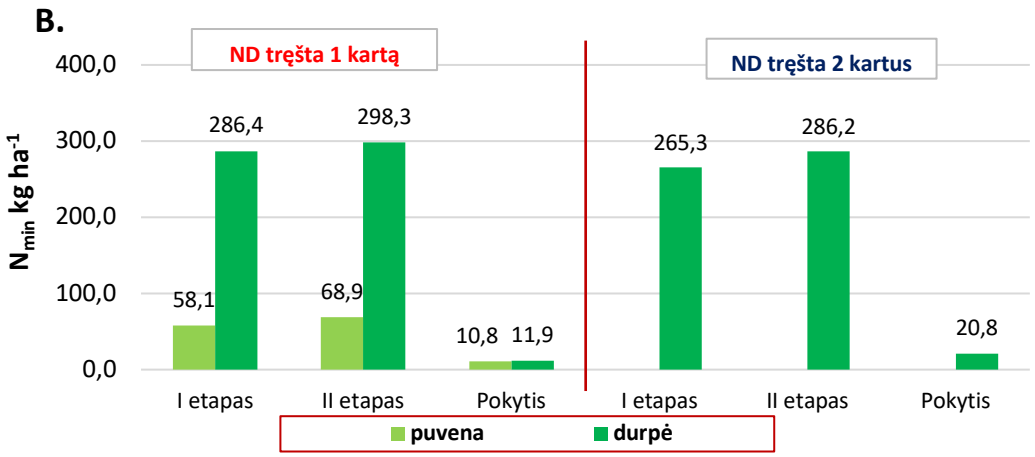
2.3.1. Mineralinis azotas (N_{min})

Mineralinio azoto kiekis (N_{min}) dirvožemyje per metus pastebimai kinta priklausomai ne tik nuo augalų tręšimo organinėmis ir mineralinėmis trąšomis, klimatinių sąlygų, augančių augalų, dirvožemio genezės, bet nuo ir granuliometrinės sudėties bei dirvožemio azotingumo (Goulding et al., 2000; Mclay et al., 2001; Liu et al., 2005). Sunkesnės granuliometrinės sudėties dirvožemiuose, turinčiuose daugiau molio ir dulkių dalelių, daugiau kaupiasi mineralinio azoto negu lengvuose, iš kurių azoto migracija vyksta intensyviausiai (Tong et al., 2005; Goulding, 2000; Jabloun et al., 2015). Dirvožemio granuliometrinė sudėtis turi didelę įtaką trąšų, tiek organinių, tiek mineralinių bei tręšiamųjų produktų efektyviam panaudojimui. Priklausomai nuo jos, maisto medžiagų kiekis yra taip pat labai skirtingas. Lengvi (priesmėlio ir smėlio) dirvožemiai gerai praleidžia drėgmę, greitai įšyla, nesunkiai įdirbami, bet mažai sukaupia drėgmės, turi nedaug humuso bei organinių medžiagų ir susikaupęs N_{min} išsiplauna greičiau. Sunkesnės granuliometrinės sudėties (priemolio ir molio) dirvožemiai, turintys daugiau molio ir dulkių dalelių, sunkiau praleidžia drėgmę, lėtai įšyla, sunkiai įdirbami, tačiau juose daugiau humuso ir organinių medžiagų, daugiau kaupiasi N_{min} ir jis ne taip greit migruoja į gilesnius dirvožemio sluoksnius ar gruntinius vandenis.

Įvertinus dirvožemiuose N_{min} kiekius pagal jų vertinimo skalę dirvožemyje (ž. r. 1.3.5 lentelė), matome, kad skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose, juos tręšiant 1 kartą ND, pirmajame tyrimo etape vyravo mažus N_{min} kiekius turintys priesmėliai ir smėlingi priemoliai, taip pat ir puvenos, bei labai daug šio judriojo elemento turinčios durpės (2.3.1.1 pav. A; B). Priesmėliuose nustatyti mažiausi N_{min} kiekiai, o gautos reikšmės svyravo gana siaurame intervale, lyginant su smėlingais priemoliais, puvena ir durpėmis. Durpės, kuriose gausu organinių medžiagų, buvo turtingiausios N_{min}. Po tręšimo ND, antrajame tyrimo etape nustatytos tos pačios tendencijos.

Trumpos rotacijos želdinius tręšiant ND 2 kartus, priesmėliuose ir smėlinguose priemoliuose nustatyti N_{min} kiekiai buvo ženkliai didesni, nei ND tręšiant 1 kartą, tiek prieš, tiek po tręšimo (2.3.1.1 pav. A). Tiek priesmėliai, tiek smėlingi priemoliai, po tręšimo ND, iš mažai turinčių N_{min} tapo vidutiniškai turinčiais. Durpėse N_{min} nustatyta kiek mažiau, nei tręšiant ND 1 kartą. Tai galėjo įtakoti rūgštesnė durpių pH, dėl kurios sulėtėja organinių medžiagų tiek pačioje durpėje, tiek ir įterptame dumble, mineralizacijos procesai ir taip mažiau atsipalaiduoja N_{min}.





Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas.

2.3.1.1 pav. Mineralinio azoto (N_{min}) pokyčiai skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose

Remiantis tyrimų rezultatais, matyti, kad skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose N_{min} kiekiai labai skiriasi, ypač durpėse, kur šios judriosios maisto medžiagos, lyginant su priesmėliais ir smėlingais priemoliais, nustatyta vidutiniškai nuo 3,8 iki 8,1 karto daugiau, o lyginant su puvena – vidutiniškai 4,6 karto daugiau. Todėl granuliometrinės sudėties įtaka N_{min} susikaupimui dirvožemyje yra didelė, nes kuo dirvožemyje mažiau molio dalelių, t. y. kuo lengvesni dirvožemiai (smėliai, priesmėliai), tuo jis greičiau išsiplauna į gilesnius dirvožemio sluoksnius, o galiausiai ir į gruntinius vandenis, teršdamas aplinką.

2.3.2. Dirvožemio pH_{KCl}, judrieji fosforas (P_2O_5), kalis (K_2O), kalcis (CaO) ir magnis (Mg)

Dirvožemio pH_{KCl}. Šalies teritorija yra perteklinės drėgmės zonoje, todėl kritulių iškrenta daugiau nei išgaruoja ir apie 2/5 metinio jų kiekio – vėsiuoju metų laiku, kai dirvožemis nėra padengtas augalais. Dėl šios priežasties iš dirvožemių viršutinių sluoksnių išplaunami ne tik vandenyje lengvai tirpstantys kalcis, magnis bei geležies oksidai, bet ir smulkios dispersinės organinės bei mineralinės dalelės. Dirvožemių rūgštėjimas natūraliai gamtoje nuolat vykstantis dirvodaros procesas, kuris intensyviausiai vyksta Vakarų, Rytų ir Pietryčių Lietuvoje, vyraujant iš prigimties rūgštūs dirvožemiai (dažniausiai t. y. išplautžemiai, balkšvažemiai ir smėlžemiai). Šių dirvožemių susidarymą lėmė dirvodarinė uoliena, klimatas, biocenozė bei karbonatingojo sluoksnio gylis, kuris Rytų Lietuvoje priklausomai nuo dirvodarinės uolienos yra 0,8–1,4 m gylyje, ir tai iš dalies lemia mažesnį dirvožemių rūgštumą. Kadangi Nutribiomass4Life projekto laukai išsidėstę Rytų Lietuvoje, tai leidžia lengviau įvertinti dirvožemių rūgštumo priežastis bei rasti priemones jų rūgštumui mažinti.

Vidutiniais tyrimų duomenimis, projekto pradžioje (ND tręšiant 1 kartą) tirtuose laukuose vyravo: rūgštoki (pH_{KCl} 6,0) priesmėliai, artimos neutraliai reakcijos smėlingi priemoliai (pH_{KCl} 6,3), puvenos (pH_{KCl} 6,5) bei durpės (pH_{KCl} 6,2) (2.3.2.1 lentelė). Visuose skirtingos granuliometrinės

sudėties dirvožemiuose nustatytų reikšmių svyravimo intervalas buvo labai platus: priesmėliuose ir durpėse vertės kito nuo labai rūgščių iki neutralių bei šarminių, smėlinguose priemoliuose – nuo mažai rūgščių iki šarminių, puvenose – nuo rūgštokų iki šarminių. Tai visgi rodo, kad dirvožemiai yra labai margi, persimaišę ir jų pH, veikiamas įvairių dirvožemio genezės bei antropogeninių veiksnių, taip pat labai svyruoja. Po tręšimo ND, situacija mažai keitėsi, daugumoje (išskyrus priesmėlius) šis rodiklis nežymiai sumažėjo (0,1 vnt.), tačiau tik paklaidų ribose.

Trumpos rotacijos želdinius tręšiant ND 2 kartus, projekto pradžioje tirtuose laukuose esantys priesmėliai, smėlingi priemoliai ir durpės buvo jau rūgštokos reakcijos, o reikšmių svyravimo intervalas taip pat buvo labai platus: priesmėliuose ir durpėse vertės kito nuo labai rūgščių iki neutralių bei šarminių, smėlinguose priemoliuose – nuo mažai rūgščių iki šarminių (2.3.2.1 lentelė). Po tręšimo ND, situacija beveik nesikeitė, ir nežymus sumažėjimas paklaidų ribose buvo tik fiksuotas smėlingo priemolio dirvožemiuose. Ir tai tik patvirtina, kad rūgštėjimas dirvožemyje natūraliai vykstantis procesas, todėl svarbu įvertinti ir sekti pH pokyčius dirvožemyje ir laiku imtis tinkamų priemonių, siekiant pristabdyti jų rūgštėjimą, o kartu ir degradaciją.

Judrusis fosforas (P_2O_5). Kaip ir dirvožemio tipas, taip ir jo granuliometrinė sudėties turi įtakos judriojo P_2O_5 koncentracijai ir jos pokyčiams dirvožemiuose. Dažniausiai daugiau fosforo būna sunkesnės granuliometrinės sudėties dirvožemiuose nei lengvuose smėliuose ir priesmėliuose (Staugaitis, Vaišvila, 2019). Vidutiniais tyrimų duomenimis, projekto pradžioje (ND tręšiant 1 kartą) tirtuose laukuose vyravo: mažai (vidutiniškai 93 mg kg^{-1}) fosforingi priesmėliai, daug (159 mg kg^{-1}) šio judriojo elemento turintys smėlingi priemoliai, savo sudėtyje turintys daugiau molio dalelių nei priesmėliai, taip pat ir durpės – 219 mg kg^{-1}, bei labai mažai fosforingos puvenos (64 mg kg^{-1}) (2.3.2.1 lentelė). Beveik visuose (išskyrus puvenas) skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose nustatytų reikšmių svyravimo intervalas buvo labai platus: priesmėliuose, smėlinguose priemoliuose ir durpėse judriojo P_2O_5 koncentracijos kito nuo labai mažų iki itin didelių, o puvenose vyravo tik labai mažos koncentracijos. Tai visgi rodo, kad netgi ir tos pačios granuliometrinės sudėties dirvožemiuose koncentracijos gali labai svyruoti. Po tręšimo ND, visuose dirvožemiuose fiksuoti teigiami judriojo P_2O_5 pokyčiai, o ryškiausi jie smėlinguose priemoliuose ir durpėse – atitinkamai 33 ir 31 mg kg^{-1} daugiau nei prieš tręšimą.

Laukuose, trumpos rotacijos želdinius ND tręšiant 2 kartus, projekto pradžioje tirtuose laukuose esantys priesmėliai, smėlingi priemoliai ir durpės pasižymėjo labai ir ypatingai didelėmis judriojo P_2O_5 koncentracijomis, o reikšmių svyravimo intervalas taip pat buvo labai platus ir kito nuo labai mažai turinčių iki ypatingai fosforingų (2.3.2.1 lentelė). Tikėtina, kad čia pasireiškė pirmojo tręšimo ND (prieš projektą) efektyvumas, kai į dirvožemį kartu su šia organine atlieka buvo įterpti nemenki organinio P kiekiai. Todėl laikui bėgant organinėse medžiagose esantis fosforas atsipalaidavo iki augalams prieinamos formos ir papildė šio judriojo elemento atsargas minėtuose dirvožemiuose. Po tręšimo ND, judriojo P_2O_5 skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose dar padaugėjo: priesmėliuose – 69 mg kg^{-1}, smėlinguose priemoliuose – 63, o durpžemiuose – 47 mg kg^{-1}. Be to, dėl intensyvesnių organinių medžiagų mineralizacijos procesų, priesmėliuose ir smėlinguose priemoliuose, nustatytos judriojo P_2O_5 koncentracijos buvo ženkliai didesnės nei durpėse, kuriose judriųjų maisto elementų atsipalaidavimas iš organinės formos labai priklauso nuo pačios durpės pH ir drėgmės lygio. Kuo ji rūgštesnė ir kuo didesnis drėgmės lygis, tuo lėčiau skaidosi ir mineralizuojasi organinės medžiagos.

Judrusis kalis (K_2O). Judriojo kalio (K_2O), kaip judriojo fosforo (P_2O_5), daugiau randama sunkesnės granuliometrinės sudėties dirvožemiuose (priemoliuose, moliuose) nei lengvuose (smėliuose, priesmėliuose). Kaip rodo vidutiniai tyrimų duomenys, projekto pradžioje (ND tręšiant 1 kartą) tirtuose laukuose vyravo: daug kalio turintys priesmėliai ir smėlingi priemoliai, kuriuose judriojo K_2O buvo atitinkamai vidutiniškai 162 ir 155 mg kg^{-1}, labai mažai (89 mg kg^{-1}) kalingos puvenos ir mažai (138 mg kg^{-1}) kalingos durpės (2.3.2.1 lentelė). Nepaisant to, kad priesmėliuose molio dalelių yra ne daugiau 9 %, tačiau šie dirvožemiai kaip matome taip pat sukaupė nemažus judriojo K_2O kiekius, lyginant su smėlingais priemoliais, kuriuose molio dalelių būna nuo 9 iki 20 %. Todėl tikėtina, šiuo konkrečiu atveju tai lėmė ne dirvožemio tipas ar granuliometrinė sudėtis, o anksčiau vykdyta ūkinė veikla, laukų sukultūrinimas ir tręšimo intensyvumas, ypač organinėmis trąšomis, nes įprastai Rytų Lietuvos dirvožemiai kaip ir Vakarų Lietuvos dirvožemiai nėra iš prigimties turtingi šiuo judriuoju elementu. Tirtuose priesmėliuose koncentracijos kito nuo mažų iki itin didelių, smėlinguose priemoliuose – nuo mažų iki labai didelių, puvenose – nuo labai mažų iki mažų, o durpėse – nuo labai mažų iki didelių. Po tręšimo ND, visuose dirvožemiuose fiksuoti teigiami judriojo K_2O pokyčiai, kiek ryškesni puvenose ir priesmėliuose – atitinkamai 27 ir 24 mg kg^{-1} daugiau nei prieš tręšimą.

2.3.2.1 lentelė. Dirvožemio pH_{KCl}, judriųjų fosforo (P_2O_5) ir kalio (K_2O) pokyčiai skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose

Reikšmės	**Dirvožemio pH_{KCl}**			**Judrusis P_2O_5**			**Judrusis K_2O**		
				koncentracija mg kg^{-1} dirvožemio					
	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Priesmėliai (ps)									
ND tręšta 1 kartą									
Vidurkis	**6,0**	**6,0**	0,0	**93**	**102**	9	**162**	**186**	24
min	4,7	4,4		4	9		65	82	
max	7,0	7,5		548	720		390	423	
ND tręšta 2 kartus									
Vidurkis	**5,9**	**5,9**	0,0	**245**	**314**	69	**201**	**207**	6
min	4,7	5,1		42	48		103	108	
max	6,7	6,8		603	936		296	320	
Smėlingi priemoliai (sp)									
ND tręšta 1 kartą									
Vidurkis	**6,3**	**6,2**	-0,1	**159**	**192**	33	**155**	**162**	7
min	5,4	5,5		27	30		74	63	
max	7,0	7,1		537	993		266	318	
ND tręšta 2 kartus									
Vidurkis	**5,9**	**5,8**	-0,1	**327**	**390**	63	**259**	**264**	5
min	5,3	5,2		60	148		188	140	
max	6,3	7,0		724	1206		381	790	

2.3.2.1 lentelės tęsinys

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Puvena (pv)									
ND tręšta 1 kartą									
Vidurkis	**6,5**	**6,4**	-0,1	**64**	**71**	7	**89**	**116**	27
min	6,1	6,0		23	36		60	75	
max	6,9	7,1		100	98		172	221	
Durpė									
ND tręšta 1 kartą									
Vidurkis	**6,2**	**6,1**	-0,1	**219**	**250**	31	**138**	**153**	15
min	5,1	5,2		24	22		48	68	
max	6,8	7,3		874	975		372	459	
ND tręšta 2 kartus									
Vidurkis	**5,8**	**5,8**	0,0	**211**	**258**	47	**167**	**168**	1
min	3,8	4,3		30	34		48	66	
max	7,1	6,9		1092	1695		484	595	

Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas.

Laukuose, trumpos rotacijos želdinius ND tręšiant 2 kartus, projekto pradžioje tirtuose laukuose esantys priesmėliai ir smėlingi priemoliai pasižymėjo labai didelėmis judriojo K_2O koncentracijomis, o durpės – mažomis, tačiau reikšmių svyravimo intervalas taip pat buvo labai platus ir skirtinguose dirvožemiuose kito nuo labai mažai, mažai ar vidutiniškai turinčių iki daug, labai ar itin daug turinčių (2.3.2.1 lentelė). Tikėtina, kad čia pasireiškė pirmojo tręšimo ND (prieš projektą) efektyvumas, kai į dirvožemį kartu su šia organine atlieka buvo įterpti nors ir mažesni K kiekiai lyginant su P. Tačiau laikui bėgant organinėse medžiagose esantis kalis atsipalaidavo iki judrios ir augalams prieinamos formos ir papildė šio elemento atsargas minėtuose dirvožemiuose. Po tręšimo ND, judriojo K_2O skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose nežymiai padidėjo ir pokytis svyravo paklaidų ribose. Be to, dėl intensyvesnių organinių medžiagų mineralizacijos procesų, priesmėliuose ir smėlinguose priemoliuose, nustatytos judriojo K_2O, kaip ir judriojo P_2O_5, koncentracijos buvo ženkliai didesnės nei durpėse, kuriose judriųjų maisto elementų atsipalaidavimas iš organinės formos labai priklauso nuo pačios durpės pH ir drėgmės lygio. Kuo ji rūgštesnė ir kuo didesnis drėgmės lygis, tuo lėčiau skaidosi ir mineralizuojasi organinės medžiagos, tuo mažiau dirvožemyje mineralinių judriųjų elementų.

Judrusis kalcis (CaO) ir judrusis magnis (MgO). Tiek judrusis CaO, tiek judrusis MgO, yra sorbuoti smulkiųjų dirvožemio dalelių, todėl didesnė šių judriųjų elementų koncentracija būna sunkesnės granuliometrinės neutraliuose ir šarminguose priemoliuose ir moliuose, mažesnė – smėliuose ir rūgščiuose dirvožemiuose (Mažvila ir kt., 2011). Kaip rodo vidutiniai tyrimų duomenys, projekto pradžioje (ND tręšiant 1 kartą) tirtuose laukuose vyravo: daug kalcio ir magnio turintys priesmėliai bei labai daug minėtų elementų turintys smėlingi priemoliai, puvenos ir durpės (2.3.2.2 lentelė). Visuose tirtuose skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose judriųjų CaO ir MgO koncentracijos kito gana plačiame intervale: nuo labai mažų, mažų ar vidutinių iki labai didelių. Po tręšimo ND, visuose dirvožemiuose fiksuoti teigiami judriųjų CaO ir MgO pokyčiai, itin ryškūs puvenose ir durpėse – atitinkamai 2106 ir 3429 mg kg^{-1} daugiau nei prieš tręšimą. Lyginant priesmėlius ir smėlingus priemolius, matome, kad pastaruosiuose šių judriųjų elementų sukaupta

daugiau dėl juose esančio didesnio molio dalelių kiekio, kuris įprastai svyruoja nuo 9 iki 20 %. Ypatingai daug judriųjų CaO ir MgO nustatyta durpėse, ir lyginant su priesmėliais šių junginių buvo atitinkamai vidutiniškai net 5,3 ir 2,3 karto daugiau, o lyginant su smėlingais priemoliais – atitinkamai 3,5 ir 1,6 karto daugiau.

2.3.2.2 lentelė. Judriųjų kalcio (CaO) ir magnio (MgO) pokyčiai skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose

Reikšmės	**Judrusis CaO**			**Judrusis MgO**		
	koncentracija mg kg^{-1} dirvožemio					
	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±
1	2	3	4	5	6	7
Priesmėliai						
ND tręšta 1 kartą						
Vidurkis	**1707**	**2431**	724	**345**	**578**	233
min	336	526		49	115	
max	4994	7935		1240	2202	
ND tręšta 2 kartus						
Vidurkis	**2639**	**2844**	205	**487**	**534**	47
min	670	644		118	134	
max	11280	11637		2376	2381	
Smėlingi priemoliai						
ND tręšta 1 kartą						
Vidurkis	**2673**	**3644**	971	**577**	**830**	253
min	1082	1477		180	232	
max	6016	7972		1816	2759	
ND tręšta 2 kartus						
Vidurkis	**1851**	**2594**	743	**329**	**405**	76
min	1058	1268		176	223	
max	4562	7776		766	1691	
Puvena						
ND tręšta 1 kartą						
Vidurkis	**3184**	**5290**	2106	**501**	**761**	260
min	1796	3067		256	350	
max	4266	8486		748	1098	
Durpė						
ND tręšta 1 kartą						
Vidurkis	**9200**	**12629**	3429	**832**	**1287**	455
min	2645	2563		224	607	
max	16320	21195		1792	3422	
ND tręšta 2 kartus						
Vidurkis	**8869**	**9340**	471	**912**	**1000**	88
min	792	997		148	183	
max	15760	23526		1904	3011	

Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas.

Laukuose, trumpos rotacijos želdinius ND tręšiant 2 kartus, projekto pradžioje tirtuose laukuose esantys priesmėliai, smėlingi priemoliai ir durpės taip pat pasižymėjo didelėmis arba labai didelėmis judriųjų CaO ir MgO koncentracijomis (2.3.2.2 lentelė). Pirmojo tręšimo ND (prieš

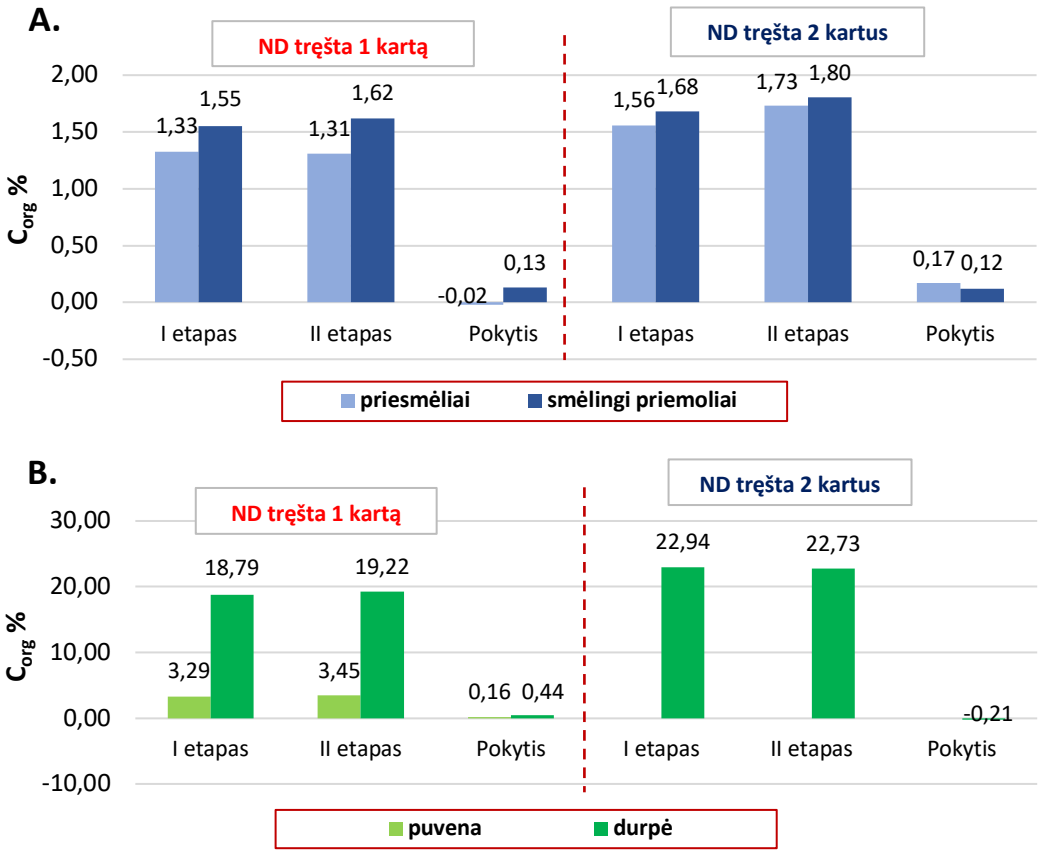
projektą) efektyvumas, nebuvo toks dėsningas, kaip judriųjų P_2O_5 ir K_2O pokyčiams dirvožemyje. Tačiau antrajame tyrimo etape po tręšimo ND, visuose dirvožemiuose nustatytos didesnės judriojo CaO ir MgO koncentracijos nei projekto pradžioje. Ypatingai daug judriųjų CaO ir MgO nustatyta durpėse, ir lyginant su priesmėliais šių junginių buvo atitinkamai vidutiniškai net 3,4 ir 1,9 karto daugiau, o lyginant su smėlingais priemoliais – atitinkamai 4,2 ir 2,7 karto daugiau. Ryškiausi judriojo CaO pokyčiai fiksuoti smėlinguose priemoliuose, o judriojo MgO – durpėse. Minėtuose laukuose, neįprastai ir netendencingai priesmėliai sukaupė kiek daugiau minėtų judriųjų elementų nei smėlingi priemoliai, kurie yra sunkesnės granuliometrinės sudėties ir molio dalelių kiekis juose svyruoja nuo 9 iki 20 %. Todėl tikėtina, šiuo konkrečiu atveju tai lėmė ne dirvožemio granuliometrinė sudėtis, o anksčiau šiuose laukuose vykdyta ūkinė veikla, laukų sukultūrinimas ir tręšimo intensyvumas, ypač organinėmis trąšomis.

2.3.3. Organinė anglis (C_{org}) ir jos sankaupos

Dirvožemio granuliometrinė sudėtis atlieka pagrindinį vaidmenį kaupiant anglį ir jau seniai įvardijama kaip esminis C_{org} išteklių reguliatorius atitinkamose klimato zonose (Nichols, 1984; Hengl ir kt., 2017; Ito, Wagai, 2017; Wiesmeier ir kt., 2019; Sun ir kt., 2020). Didelė dalis organinių medžiagų dirvožemyje yra glaudžiai susiję su dirvožemio sudėties mineraliniais komponentais, ypač su molio dalelių ir iš dalies dulkių frakcijomis (Cheshire ir kt., 2000; Zinn ir kt., 2007). Yra atlikta visa eilė tyrimų, kurie patvirtina molio frakcijos neabejotiną reikšmę C_{org} kaupimuisi, stabilumui ir išsaugojimui dirvožemyje. Remiantis moksliniais tyrimais, nustatyta, kad dirvožemio gebėjimas išsaugoti dirvožemio organines medžiagas (C_{org}) molio ir dumblo dydžio dalelėse yra didesnis nei smėlio, be to, dirvožemio granuliometrinė sudėtis turėjo didelę įtaką ne tik anglies mineralizacijai, bet ir mikrobų populiacijos struktūrai bei aktyvumui (Najmuldeen H. Hamarashid ir kt., 2010). Taigi dirvožemio granuliometrinė sudėtis taip pat atlieka svarbų vaidmenį kaupiant anglį ir saugant jos išteklius dirvožemyje.

Organinės anglies (C_{org}) koncentracijų pokyčiai dirvožemyje. Kaip pasiskirstė C_{org} koncentracija skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose pavaizduota 2.3.3.1 paveiksle. Projekto pradžioje tirtuose laukuose mažiausiai (1,33 %) C_{org} nustatyta priesmėliuose ir remiantis metodinėje dalyje pateikta C_{org} dirvožemyje vertinimo skale (1.3.7 lentelė), koncentracija buvo vidutinė. Kiek didesnės (1,55 %), tačiau taip pat vidutinės C_{org} koncentracijos nustatytos ir smėlinguose priemoliuose. Taigi pasitvirtino tendencijos, kad sunkėjant granuliometrinei sudėčiai, t. y. jos sudėtyje daugėjant molio dalelių, C_{org} koncentracija dirvožemyje buvo linkusi didėti. Analizuojant organinės kilmės dirvožemius, matyti, kad C_{org} koncentracijos puveninguose dirvožemiuose buvo didelės (3,29 %), o durpėse – ypatingai didelės (18,79 %). Visuose skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose C_{org} koncentracijos kito gana plačiame intervale: priesmėliuose – nuo mažų iki didelių, smėlinguose priemoliuose – nuo mažų iki labai didelių, puvenose – nuo vidutinių iki ypatingai didelių, o durpėse – vien ypatingai didelės. Tyrimų rezultatai rodo, kad dirvožemiams pereinant iš mineralinių į organinius, C_{org} koncentracija ženkliai išaugo. Po tręšimo ND, C_{org} koncentracija dirvožemyje taip pat buvo linkusi didėti, išskyrus priesmėlius, kur jos nežymiai sumažėjo lyginant su projekto pradžioje tirtais dirvožemiais (1 etapas). Ryškesni teigiami

pokyčiai fiksuoti durpėse, kur C_{org} nustatyta 0,44 % vnt. daugiau, o smėlinguose priemoliuose ir puvenose – atitinkamai 0,13 ir 0,16 % vnt. daugiau.



Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas.

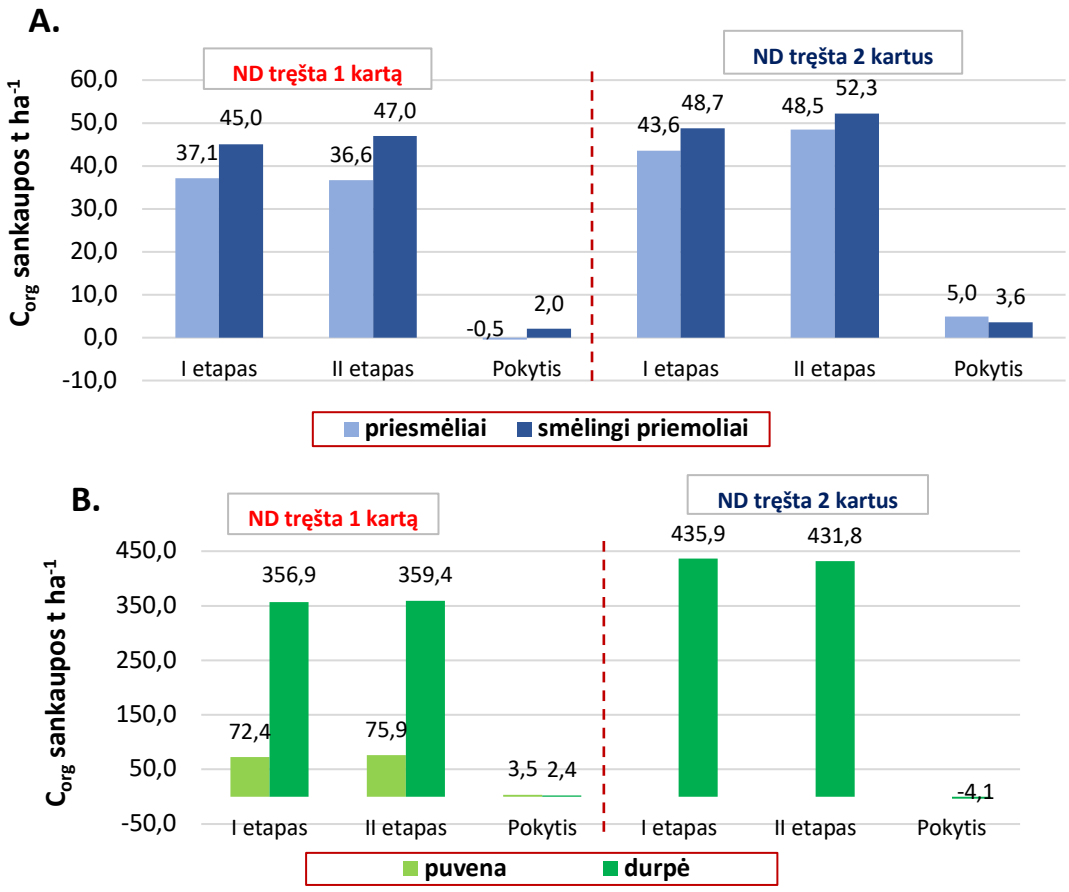
2.3.3.1 pav. Organinės anglies (C_{org}) pokyčiai skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose

Laukuose, trumpos rotacijos želdinius ND tręšiant 2 kartus, projekto pradžioje (1 etape) visose dirvožemio grupėse nustatytos kiek didesnės C_{org} koncentracijos, nei tręšiant ND 1 kartą (2.3.3.1 pav.). Tikėtina, kad čia pasireiškė pirmojo tręšimo ND (prieš projektą) efektyvumas, kai į dirvožemį kartu su šia organine atlieka buvo įterpti nemaži organinių medžiagų kiekiai, kurių pagrindinis komponentas yra C_{org}, ir papildė šio svarbaus organinio elemento atsargas tirtuose dirvožemiuose. Priesmėliuose ir smėlinguose priemoliuose C_{org} buvo vidutiniškai – atitinkamai 1,56 ir 1,73 %, o durpėse – ypatingai daug (22,94 %). Po tręšimo ND, projekto pabaigoje mineralinės kilmės dirvožemiuose – priesmėliuose ir smėlinguose priemoliuose – fiksuoti teigiami C_{org} pokyčiai – atitinkamai 0,17 ir 0,12 % vnt. daugiau nei tyrimų pradžioje. Durpžemiuose priešingai, C_{org} nežymiai sumažėjo – 0,21 % vnt. Šiuos pokyčius drebulių laukuose galėjo lemti spartesnė pačių durpių mineralizacija, be to, nemažus kiekius C_{org} buvo linkę sukaupti ir patys trumpos rotacijos želdiniai.

Organinės anglies (C_{org}) sankaupos ir jų pokyčiai skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose pavaizduoti 2.3.3.2 paveiksle. Apskaičiuotas rodiklis atspindėjo tas pačias C_{org} pokyčių dirvožemyje tendencijas, nes C_{org} koncentracija yra vienas esminių rodiklių, siekiant įvertinti C_{org} sankaupas dirvožemyje.

Projekto pradžioje tirtuose laukuose mažiausios (37,1 t ha^{-1}) C_{org} sankaupos 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje nustatytos priesmėliuose (2.3.3.2 pav.), o smėlinguose priemoliuose – kiek didesnės – vidutiniškai 45,0 t ha^{-1}. Analizuojant organinės kilmės dirvožemius, matyti, kad C_{org} sankaupos puveninguose dirvožemiuose buvo ženkliai didesnės (72,4 t ha^{-1}), o durpėse – ypatingai – 356,9 t ha^{-1}. Po tręšimo ND, C_{org} sankaupos dirvožemyje taip pat buvo linkusios didėti, išskyrus priesmėlius, kur fiksuotas nežymus sumažėjimas lyginant su projekto pradžioje tirtais dirvožemiais (1 etapas). Ryškesni teigiami pokyčiai nustatyti durpėse, kur C_{org} sankaupų padidėjimas sudarė 3,5 t ha^{-1}, o smėlinguose priemoliuose ir puvenose – atitinkamai 2,0 ir 2,4 t ha^{-1}.

Laukuose, trumpos rotacijos želdinius ND tręšiant 2 kartus, projekto pradžioje (1 etape) visose dirvožemio grupėse nustatytos didesnės C_{org} sankaupos, nei tręšiant ND 1 kartą (2.3.3.2 pav.). Tikėtina, kad čia pasireiškė pirmojo tręšimo ND (prieš projektą) efektyvumas, kai į dirvožemį kartu su šia organine atlieka buvo įterpti nemaži organinių medžiagų kiekiai ir papildė šio svarbaus organinio elemento atsargas tirtuose dirvožemiuose. Priesmėliuose ir smėlinguose priemoliuose C_{org} sankaupos sudarė – atitinkamai 43,6 ir 48,7 t ha^{-1}, o durpėse – 435,9 t ha^{-1}. Po tręšimo ND, projekto pabaigoje mineralinės kilmės dirvožemiuose – priesmėliuose ir smėlinguose priemoliuose – fiksuoti teigiami C_{org} sankaupų pokyčiai – atitinkamai 5,0 ir 3,6 t ha^{-1} daugiau nei tyrimų pradžioje. Durpžemiuose, priešingai, C_{org} sankaupos nežymiai sumažėjo – 4,1 t ha^{-1}.



Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas.

2.3.3.2 pav. Organinės anglies (C_{org}) sankaupos ir jų pokyčiai skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose

Apibendrinant rezultatus galime teigti, kad sunkėjant granuliometrinei sudėčiai, t. y. jos sudėtyje daugėjant molio dalelių, C_{org} sankaupos, kaip ir koncentracija, dirvožemyje tendencingai didėjo. Tyrimų rezultatai taip pat rodo, kad dirvožemiams pereinant iš mineralinių į organinius, C_{org} sankaupos ženkliai išaugo: durpėse C_{org} sankaupos, lyginant su priesmėliais ir smėlingais priemoliais, buvo atitinkamai vidutiniškai 9,6 ir 8,2 karto didesnės, o lyginant su puveningais dirvožemiais (puvenomis) – vidutiniškai 4,8 karto didesnės.

2.3.4. Sunkieji metalai (kadmis, švinas, chromas, nikelis, varis, cinkas, gyvsidabris)

Sunkiųjų metalų kaupimuisi ir migracijai nemažos įtakos turi ne tik dirvožemio kilmė, jų fizikinės ir cheminės savybės, bet ir dirvožemio granuliometrinė sudėtis (ypač smulkioji frakcija) ir sorbciniai ypatumai. Didesnė šių metalų koncentracija būna dirvožemiuose, turinčiuose daugiau molio dalelių (<0,002 mm). Dirvožemiuose ji didėja taip: smėliai > priesmėliai > priemoliai > moliai. Mineraliniuose dirvožemiuose sunkiųjų metalų koncentracijų skirtumas priklauso nuo granuliometrinės sudėties ir gali siekti nuo 1,5 iki 2,5 karto. Nuo jos labiausiai priklauso chromo, nikelio, vario ir cinko koncentracijos. Podirvyje, kuriame daugiau molio dalelių, t. y. granuliometrinė sudėtis sunkesnė nei paviršiuje, sunkiųjų metalų koncentracija taip pat būna didesnė. Rūgščiuose dirvožemiuose, palyginus su artimais neutraliems, sunkiųjų metalų suminė koncentracija daug kur mažesnė, tačiau jų dauguma yra judrios formos, todėl greičiau patenka į augalus ir migruoja į podirvį.

Kadmio, švino, chromo ir nikelio koncentracijos dirvožemyje. Atlikti tyrimai rodo, kad sunkiųjų metalų (kadmio, švino, chromo ir nikelio) koncentracijos tirtų laukų skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose pagal jų vertinimo grupes pasiskirstė labai nevienodai ir daugumoje vyravo labai mažas bei mažas, rečiau vidutines ar dideles koncentracijas turintys dirvožemiai. Svarbu tai, kad nei viename projekto lauke nustatytos minėtų sunkiųjų metalų koncentracijos neviršijo DLK (didžiausios leistinos koncentracijos), kurias nurodo „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimų aprašas“. Daugumoje tirtų laukų dirvožemiuose nustatytos koncentracijos viršijo tik foninio lygio ribas, želdinius tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus (2.3.4.1 lentelė). Kaip matome, projekto pradžioje (ND tręšiant 1 kartą) kadmio ir švino daugiau sukaupė durpės, o chromo ir nikelio – smėlingi priemoliai. Po tręšimo ND, visuose skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose kiek daugiau nustatyta švino, chromo ir nikelio; kadmio pokyčiai minimalūs, o puvenose ir durpėse šio elemento sumažėjo – 0,04 mg kg^{-1}. Švino pokytis, dėl tręšimo ND, yra ryškiausias durpėse (2,7 mg kg^{-1} daugiau nei prieš tręšimą), chromo – smėlinguose priemoliuose (10,4 mg kg^{-1} daugiau) ir nikelio – puvenose (6,2 mg kg^{-1} daugiau).

Laukuose, trumpos rotacijos želdinius ND tręšiant 2 kartus, projekto pradžioje (1 etape) daugumoje skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemių nustatytos kiek didesnės sunkiųjų metalų koncentracijos, nei tręšiant ND 1 kartą (2.3.4.1 lentelė). Projekto pradžioje (1 etape) kadmio ir švino daugiau sukaupė durpės, chromo ir nikelio – smėlingi priemoliai. Po tręšimo ND kiek daugiau tirtuose dirvožemiuose nustatyta švino, chromo ir nikelio; kadmio pokyčiai minimalūs, o durpėse šio elemento taip pat, kaip ir ND tręšiant 1 kartą, nustatyta mažiau. Todėl tikėtina, kad dalis šių sunkiųjų metalų susikaupė želdinių biomasėje. Švino pokytis, dėl tręšimo ND, yra ryškiausias durpėse ir smėlinguose priemoliuose (po 1,4 mg kg^{-1} daugiau nei prieš tręšimą), chromo ir nikelio – mineralinės sudėties dirvožemiuose – smėlinguose priemoliuose (atitinkamai 12,9 ir 8,0 mg kg^{-1} daugiau).

2.3.4.1 lentelė. Kadmio (Cd), švino (Pb), chromo (Cr) ir nikelio (Ni) koncentracijų pokyčiai skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose (0–20 cm sluoksnyje)

Reikšmės	**Kadmis (Cd)**			**Švinas (Pb)**			**Chromas (Cr)**			**Nikelis (Ni)**		
	koncentracija mg kg^{-1} dirvožemio											
	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±
FL*	0,09			7			10			11		
DLK**	1,0			50			50			50		
Priesmėliai (ps)												
ND tręšta 1 kartą												
Vidurkis	**0,07**	**0,07**	0,0	**7,3**	**7,9**	0,6	**11,5**	**19,0**	7,5	**8,2**	**12,3**	4,1
min	0,04	0,03		4,6	4,1		4,3	6,9		2,3	3,0	
max	0,18	0,16		14,5	14,7		38,4	56,2		24,6	33,1	
ND tręšta 2 kartus												
Vidurkis	**0,15**	**0,13**	-0,02	**8,6**	**9,6**	1,0	**11,8**	**22,8**	11	**8,2**	**15,3**	7,1
min	0,07	0,05		5,4	5,9		6,6	3,3		3,9	2,2	
max	0,39	0,35		13,0	15,6		22,3	34,5		14,3	26,0	
Smėlingi priemoliai (sp)												
ND tręšta 1 kartą												
Vidurkis	**0,08**	**0,08**	0,0	**7,9**	**9,3**	1,4	**15,5**	**25,9**	10,4	**10,7**	**16,2**	5,5
min	0,04	0,04		5,0	5,6		6,5	10,5		3,1	5,2	
max	0,27	0,19		11,2	13,6		43,2	66,3		27,3	41,0	
ND tręšta 2 kartus												
Vidurkis	**0,12**	**0,13**	0,01	**8,8**	**10,2**	1,4	**12,9**	**25,8**	12,9	**8,5**	**16,5**	8
min	0,08	0,05		5,2	7,2		8,7	16,4		5,9	9,4	
max	0,20	0,28		13,6	16,0		19,3	37,6		13,1	26,0	
Puvena												
ND tręšta 1 kartą												
Vidurkis	**0,17**	**0,13**	-0,04	**7,6**	**7,2**	-0,4	**8,4**	**16,6**	8,2	**5,3**	**11,5**	6,2
min	0,08	0,08		6,0	5,4		4,7	8,3		3,0	4,0	
max	0,35	0,20		9,3	9,3		12,8	36,7		7,6	29,6	
Durpės												
ND tręšta 1 kartą												
Vidurkis	**0,35**	**0,31**	-0,04	**12,3**	**15,0**	2,7	**8,3**	**13,5**	5,2	**5,0**	**8,3**	3,3
min	0,06	0,04		6,2	6,6		3,5	6,2		2,4	3,6	
max	0,75	0,68		29,2	27,1		17,0	27,5		13,6	18,8	
ND tręšta 2 kartus												
Vidurkis	**0,29**	**0,25**	-0,04	**13,5**	**14,9**	1,4	**8,0**	**17,8**	7,8	6,0	**10,7**	**4,7**
min	0,04	0,06		4,9	4,8		3,5	3,7		1,6	3,2	
max	0,47	0,46		20,1	27,2		16,0	56,9		14,3	25,8	

Pastabos. I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; * - FL - Foninės sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemyje; ** - didžiausia leidžiamoji sunkiųjų metalų koncentracija (DLK) dirvožemyje; ND – nuotekų dumblas.

Vario, cinko ir gyvsidabrio koncentracijos dirvožemyje tirtų laukų tirtų laukų skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose pagal jų vertinimo grupes pasiskirstė labai nevienodai ir daugumoje vyravo vidutines ir dideles, rečiau labai dideles koncentracijas turintys dirvožemiai (2.3.4.2 lentelė). Tirtuose skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose nustatytos vario, cinko

ir gyvsidabrio koncentracijos neviršijo DLK (didžiausios leistinos koncentracijos), kurias nurodo „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimų aprašas“.

2.3.4.2 lentelė. Vario (Cu), cinko (Zn) ir gyvsidabrio (Hg) koncentracijų pokyčiai skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose (0–20 cm sluoksnyje)

Reikšmės	**Varis (Cu)**			**Cinkas (Zn)**			**Gyvsidabris (Hg)**		
	koncentracija mg kg^{-1} dirvožemio								
	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±
FL*	6			19			0,075		
DLK**	50			160			0,5		
Priesmėliai (ps)									
ND tręšta 1 kartą									
Vidurkis	**6,3**	**7,5**	1,2	**28,4**	**27,3**	-1,1	**0,05**	**0,03**	-0,02
min	2,8	3,6		17,7	13,9		0,02	0,001	
max	11,0	24,6		56,0	45,8		0,22	0,13	
ND tręšta 2 kartus									
Vidurkis	**10,8**	**15,7**	4,9	**40,9**	**44,7**	3,8	**0,09**	**0,05**	-0,04
min	2,8	6,0		23,0	23,0		0,03	0,03	
max	28,0	35,5		68,0	80,7		0,22	0,09	
Smėlingi priemoliai (sp)									
ND tręšta 1 kartą									
Vidurkis	**8,2**	**10,0**	1,8	**35,1**	**36,5**	1,4	**0,04**	**0,06**	0,02
min	3,6	3,9		14,0	12,8		0,02	0,001	
max	15,8	38,2		79,7	130,0		0,15	0,28	
ND tręšta 2 kartus									
Vidurkis	**9,2**	**12,2**	3,0	**42,1**	**47,8**	5,7	**0,09**	**0,05**	-0,04
min	4,6	5,7		23,8	33,3		0,03	0,02	
max	12,6	23,2		53,0	63,5		0,21	0,06	
Puvena									
ND tręšta 1 kartą									
Vidurkis	**6,6**	**9,2**	2,6	**26,7**	**36,0**	9,3	**0,13**	**0,05**	-0,08
min	4,0	5,6		14,3	22,4		0,06	0,02	
max	12,1	13,7		50,0	51,8		0,26	0,09	
Durpės									
ND tręšta 1 kartą									
Vidurkis	**6,4**	**13,9**	7,5	**23,5**	**22,8**	-0,7	**0,05**	**0,11**	0,06
min	1,5	4,5		10,4	9,0		0,00	0,01	
max	29,2	33,2		43,6	49,7		0,21	0,30	
ND tręšta 2 kartus									
Vidurkis	**11,9**	**13,3**	1,4	**36,5**	**35,2**	-1,3	**0,09**	**0,05**	-0,04
min	2,5	3,4		11,3	10,2		0,00	0,01	
max	26,0	29,9		85,0	79,8		0,29	0,15	

Pastaba. I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023;* -FL - Foninės sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemyje; ** - didžiausia leidžiamoji sunkiųjų metalų koncentracija (DLK) dirvožemyje; ND – nuotekų dumblas.

Daugumoje tirtų laukų dirvožemiuose rastos vario, cinko ir gyvsidabrio koncentracijos tik viršijo foninio lygio ribas, želdinius tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus (2.3.4.2 lentelė). Kaip matome, projekto pradžioje (ND tręšiant 1 kartą) vario ir cinko daugiau sukaupė smėlingi priemoliai, o gyvsidabrio – puvenos. Po tręšimo ND, kiek daugiau vario nustatyta durpėse, cinko – smėlinguose priemoliuose, o gyvsidabrio – durpėse. Vario pokytis, dėl tręšimo ND, yra ryškiausias durpėse (7,5 mg kg^{-1} daugiau nei prieš tręšimą), cinko – puvenose (9,3 mg kg^{-1} daugiau), o gyvsidabrio – durpėse (0,06 mg kg^{-1} daugiau).

Laukuose, trumpos rotacijos želdinius ND tręšiant 2 kartus, projekto pradžioje (1 etape) daugumoje skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemių nustatytos kiek didesnės vario, cinko ir gyvsidabrio koncentracijos, nei tręšiant ND 1 kartą (2.3.4.2 lentelė). Projekto pradžioje (1 etape) vario daugiau sukaupė durpės, cinko – smėlingi priemoliai, o gyvsidabrio – visuose dirvožemiuose tos pačios vidutinės koncentracijos. Po tręšimo ND kiek daugiau tirtuose skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose nustatyta vario ir cinko, o gyvsidabrio priešingai – fiksuoti sumažėjimai lyginant su netręštais dirvožemiais. Todėl tikėtina, kad dalis gyvsidabrio bei kitų sunkiųjų elementų (taip pat ir cinkas durpėse) buvo linkę kauptis želdinių biomasėje, taip eliminuojant juos iš dirvožemio medžiagų apykaitos rato. Vario ir cinko pokyčiai, dėl tręšimo ND, yra ryškiausi mineralinės sudėties dirvožemiuose (smėlinguose priemoliuose – atitinkamai vidutiniškai 3,0 ir 5,7, priesmėliuose – 4,9 ir 3,8 mg kg^{-1} daugiau nei prieš tręšimą), o gyvsidabrio (Hg) – visuose dirvožemiuose sumažėjimas siekė 0,04 mg kg^{-1}.

2.3 skyriaus IŠVADOS

Projekto Nutribiomass4Life laukuose įvertinus skirtingos granuliometrinės sudėties įtaką cheminių savybių pokyčiams tirtuose dirvožemiuose, tręštuose apdorotu nuotekų dumblu ir medienos biokuro pelenais, nustatyta:

1. Skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose (priesmėliuose, smėlinguose priemoliuose, puvenose ir durpėse) **mineralinis azotas (N_{min})** labai skyrėsi, ypač durpėse, kur šios judriosios maisto medžiagos, lyginant su priesmėliais ir smėlingais priemoliais, nustatyta vidutiniškai nuo 3,8 iki 8,1 karto daugiau, o lyginant su puvena – vidutiniškai 4,6 karto daugiau. Todėl granuliometrinės sudėties įtaka N_{min} susikaupimui dirvožemyje yra didelė, nes kuo dirvožemyje mažiau molio dalelių, t. y. kuo lengvesni dirvožemiai (smėliai, priesmėliai), tuo juose N_{min} mažiau, nes jis greičiau išsiplauna į gilesnius dirvožemio sluoksnius, o galiausiai ir į gruntinius vandenis, teršdamas aplinką. Dėl tręšimo ND, N_{min} taip pat tendencingai didėjo visuose skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose, tik ne vienodu intensyvumu. Trumpos rotacijos želdinius tręšiant ND 2 kartus, tiek priesmėliai, tiek smėlingi priemoliai, po tręšimo projekto pabaigoje iš mažai turinčių N_{min} tapo vidutiniškai turinčiais. Durpėse N_{min} nustatyta kiek mažiau, nei tręšiant ND 1 kartą. Tai galėjo įtakoti rūgštesnė durpių pH, dėl kurios sulėtėjo organinių medžiagų mineralizacijos procesai.
   Taigi nustatyti N_{min} kiekiai projekto pradžioje ir pabaigoje skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose, juos tręšiant tiek 1, tiek 2 kartus, pagal turtingumą šiuo elementu pasiskirstė didėjančiai: priesmėliai –> smėlingi priemoliai –> puvenos –> durpės.
2. Granuliometrinės sudėties tiesioginė įtaka **dirvožemio pH_{KCl}** nepasireiškė, nes šis rodiklis labiau priklausė nuo karbonatingojo sluoksnio slūgsojimo gylio, dirvožemio pasotinimo bazėmis ir kokie jonai vyravo dirvožemio tirpale. Rūgštoki buvo priesmėliai, ND tręšti tiek 1, kartą tiek 2, o taip pat ND 2 kartus tręšiami smėlingi priemoliai ir durpės. Po tręšimo ND, projekto pabaigoje dirvožemio pH mažai keitėsi ir tik smėlinguose priemoliuose bei puvenose ji sumažėjo 0,1 vnt.
3. Dirvožemio granuliometrinė sudėtis turėjo įtakos **judriojo P_2O_5** koncentracijai dirvožemiuose: kuo ji sunkesnė arba kuo daugiau organinių medžiagų turėjo (išimtis puvenas), tuo daugiau jo susikaupė dirvožemiuose. Judriojo P_2O_5 projekto pradžioje ir pabaigoje, ND tręšiant 1 kartą, daugiausiai sukaupė durpės ir smėlingi priemoliai. Smėlingi priemoliai ir priesmėliai, ND tręšti 2 kartus, sukaupė ženkliai didesnes P_2O_5 koncentracijas, lyginant su durpėmis, kuriose judriųjų maisto elementų atsipalaidavimas iš organinės formos labai priklauso nuo pačios durpės pH ir drėgmės lygio. Tikėtina, kad smėlinguose priemoliuose ir priesmėliuose pasireiškė pirmojo tręšimo ND (prieš projektą) efektyvumas, kai į dirvožemį kartu su šia organine atlieka buvo įterpti nemaži organinių medžiagų kiekiai. Dėl tręšimo ND, visuose skirtinguose granuliometrinės sudėties dirvožemiuose fiksuoti teigiami judriojo P_2O_5 pokyčiai, o ryškiausi jie – smėlinguose priemoliuose ir durpėse.
4. **Judriojo kalio (K_2O)** koncentracijoms dirvožemiuose granuliometrinės sudėties įtaka buvo nežymi, nes jo pokyčius labiau lėmė prigimtinis dirvožemių turtingumas šia maisto medžiaga arba anksčiau šiuose laukuose vykdyta ūkinė veikla. Įprastai, sunkėjant granuliometrinei sudėčiai, judriojo K_2O koncentracijos turi didėti, tačiau gauti rezultatai neatitiko šių tendencijų. Judriojo K_2O projekto pradžioje ir pabaigoje, ND tręšiant 1 kartą, daugiausiai sukaupė priesmėliai, o

tręšiant ND 2 kartus – smėlingi priemoliai. Durpėse, mažesnes koncentracijas galėjo lemti pačios durpės pH ir drėgmės lygis, nuo kurių labai priklauso judriųjų maisto elementų atsipalaidavimas iš organinių junginių. Kuo žemesnis dirvos pH ir didesnis užmirkimas, tuo lėtesni mineralizacijos procesai. Dėl tręšimo ND, visuose skirtinguose granuliometrinės sudėties dirvožemiuose fiksuoti teigiami judriojo K_2O pokyčiai.

5. **Judriojo kalcio (CaO)** ir **judriojo magnio (MgO)** koncentracijos dirvožemiuose priklausė nuo dirvožemio granuliometrinės sudėties – jai sunkėjant, t. y. didėjant molio dalelių kiekiui, koncentracijos didėjo. Ypatingai daug judriųjų CaO ir MgO nustatyta durpėse (ND tręštose 1 kartą), ir lyginant su priesmėliais šių junginių buvo atitinkamai vidutiniškai net 5,3 ir 2,3 karto daugiau, o lyginant su smėlingais priemoliais – atitinkamai 3,5 ir 1,6 karto daugiau. Lyginant priesmėlius ir smėlingus priemolius, pastaruosiuose šių judriųjų elementų sukaupta daugiau dėl juose esančio didesnio molio dalelių kiekio, kuris įprastai svyruoja nuo 9 iki 20 %.
   Skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemius, ND tręšiant 2 kartus, ypatingai daug minėtų judriųjų elementų taip pat sukaupė durpės. Taip pat minėtuose laukuose, neįprastai ir netendencingai priesmėliai sukaupė daugiau judriųjų CaO ir MgO nei smėlingi priemoliai, kurie buvo sunkesnės granuliometrinės sudėties. Todėl tikėtina, šiuos pokyčius lėmė ne dirvožemio granuliometrinė sudėtis, o anksčiau šiuose laukuose vykdyta ūkinė veikla. Dėl tręšimo ND, visuose skirtinguose granuliometrinės sudėties dirvožemiuose fiksuoti ženklūs judriųjų CaO ir MgO pokyčiai.
6. **Organinės anglies (C_{org}) koncentracija ir jos sankaupos** priklausė nuo dirvožemio granuliometrinės sudėties ir tręšimo nuotekų dumblu. Vertinant C_{org} ir jos sankaupas skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose, matyti, kad palankiausios sąlygos sukaupti ypatingai dideles C_{org} koncentracijas ir jos sankaupas, buvo organinės kilmės dirvožemiuose – durpėse. Smėlingi priemoliai lyginant su priesmėliais, taip pat sukaupė daugiau C_{org} ir pasitvirtino tendencijos, kad sunkėjant granuliometrinei sudėčiai, t. y. jos sudėtyje daugėjant molio dalelių, C_{org} koncentracija dirvožemyje buvo linkusi didėti. Tos pačios C_{org} ir jos sankaupų tendencijos nustatytos skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemius tręšiant ND 2 kartus. Tręšimas nuotekų dumblu, tendencingai didino C_{org} ir jos sankaupų pokyčius visuose skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose (išskyrus durpes tręštas ND 2 kartus).
   C_{org} koncentracija ir jos sankaupos nustatytos 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje, projekto pradžioje ir pabaigoje skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose, juos tręšiant tiek 1, tiek 2 kartus, pagal turtingumą šiuo elementu pasiskirstė didėjančiai: priesmėliai –> smėlingi priemoliai –> puvenos –> durpės.
7. Sunkiųjų metalų – **kadmio (Cd), švino (Pb), chromo (Cr), nikelio (Ni), vario (Cu), cinko (Zn) ir gyvsidabrio (Hg)** – skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose nei viename projekto lauke neviršijo didžiausių leistinų koncentracijų (DLK), kurias nurodo „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimų aprašas“. Projekto pabaigoje po tręšimo ND (tręšiant 1 kartą) durpėse labiau buvo linkę kauptis Cd, Pb, Hg, smėlinguose priemoliuose – Cr, Ni ir Zn, priesmėliuose – Cu; ND tręšiant 2 kartus: durpėje – Cd, Pb ir Cu, smėlinguose priemoliuose – Cr, Ni ir Zn, o gyvsidabris (Hg) – visuose skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose, išskyrus puveną, ir nesiekė foninio lygio ribos (FL=0,08 mg kg^{-1}). Kadmio (Cr) ir gyvsidabrio (Hg) koncentracijos priešingai nei kitų sunkiųjų metalų, tendencingai mažėjo daugumoje

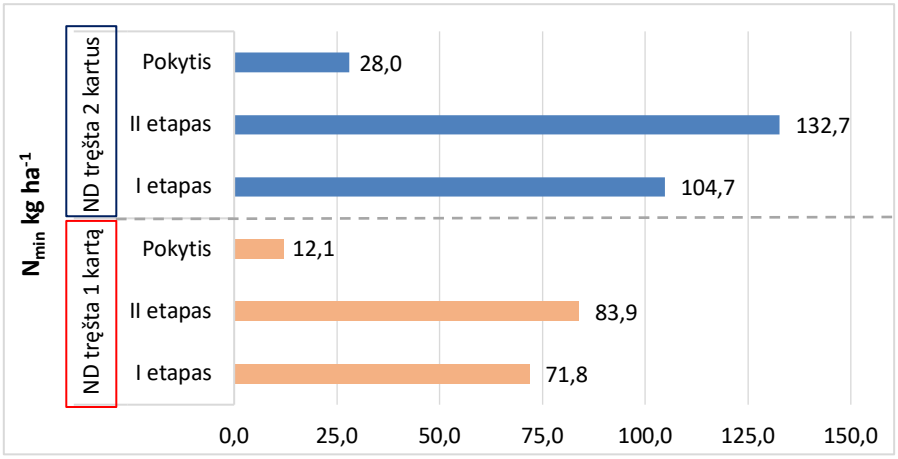
skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemių ir ši tendencija išryškėjo laukuose tręštuose ND 2 kartus. Todėl tikėtina, kad dalis Cd ir Hg bei kitų sunkiųjų metalų (iš dalies Pb, Zn) buvo linkę kauptis želdinių biomasėje, taip eliminuojant juos iš dirvožemio medžiagų apykaitos rato. Taigi Cr, Ni, Zn ir Hg buvo linkę kauptis mineralinės sudėties dirvožemiuose, o Cd, Pb, Cu – organinės kilmės. Visos minėtos tendencijos nustatytos tiek ND tręšiant 1 kartą, tiek 2 kartus. Dėl tręšimo ND įtakos sunkiųjų metalų koncentracijos daugumoje dirvožemių didėjo skirtingu intensyvumu, tačiau nustatytos minėtų sunkiųjų metalų koncentracijos daugumoje viršijo tik foninio lygio ribas, želdinius tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus. Todėl skirtingos granuliometrinės sudėties dirvožemiuose tarša sunkiaisiais metalais nepasireiškė.

2.4. Tręšimo nuotekų dumblu ir medienos biokuro pelenais įtaka dirvožemio cheminėms savybėms

Nuotekų dumblas (ND) gali vienu metu išspręsti dvi svarbias problemas – šių atliekų šalinimo, jas panaudojant dirvožemio kokybės gerinimui, bei organinių medžiagų kiekio didinimą daugelio žemės ūkio paskirties dirvožemiuose, ypač nenašiuose (Aggelides, Londra, 2000). Nuotekų dumblas yra ne tik kaip azoto (N), fosforo (P) ir organinių medžiagų šaltinis (Deviatkin et al., 2011; Falayi, 2019; Cogger et al., 2004), bet sieros (S) (Diacono, Montemurro, 2011) ir kai kurių mikrolementų (Khan, Kaleem, 2017). Atlikti tyrimai rodo, kad ND panaudojimas, mažai C_{org} turinčiuose lengvuose smėlinguose dirvožemiuose, viršutiniame jų sluoksnyje, didino C_{org} koncentraciją bei augalams reikalingų bendrųjų azoto ir fosforo kiekius. Todėl išryškėjo teigiama SS įtaka dirvožemiui, kuriame trūksta maistinių medžiagų (Zhao ir kt., 2021; Bai ir kt., 2022). Daugeliu atvejų C_{org} padidėjimai dirvožemyje yra proporcingi ND naudojimo normoms, ir priemolio dirvožemyje esti didesni nei molingame (Aggelides, Londra, 2000). Skirtingos ND normos įvairios granuliometrinės sudėties dirvožemiuose (molis-dumblas ir smėlingas-molis) parodė teigiamą agronominį potencialą tiek dirvožemiui, tiek augalams: ženkliai padidėjo organinių medžiagų ir bendros C_{org} kiekiai, bei maistinių medžiagų (N, P ir K) (Achkir ir kt., 2023). Be to, dirvožemius tręšiant ND, C_{org} kiekiai juose gali būti iki trijų kartų didesni nei tręšiant neorganinėmis trąšomis (Nyamangara, Mzezewa, 2001; El Moussaoui et al., 2022), todėl ND puikiai tinkamas dirvožemių derlingumui padidinti ir tvarumui užtikrinti. Tyrimais nustatyta, kad dirvožemyje, įterpus nuotekų dumblą, žymiai padidėjo ne tik turimos organinės anglies, N, P ir K kiekiai po derliaus nuėmimo, bet ir DTPA ekstrahuojamų mikroelementų (Fe ir Zn), o sunkiųjų metalų kiekis dirvožemyje buvo kontroliuojamas ir neturėjo neigiamos poveikio (Khan, Kaleem, 2017).

2.4.1. Mineralinis azotas (N_{min})

Auginant skirtingo amžiaus trumpos rotacijos želdinius bei juos tręšiant organinėmis trąšomis (apdorotu nuotekų dumblu (ND)) bei tręšiamaisiais produktais (medienos biokuro pelenais (MBP)), tirtų projekto laukų dirvožemių 0–60 cm sluoksnyje **mineralinis azotas (N_{min})** tendencingai didėjo (2.4.1.1 pav.). Ryškesni pokyčiai ir didesni šio judraus elemento kiekiai dirvožemyje nustatyti laukuose, kur želdiniai ND tręšiami 2 kartus. Po tręšimo (2 tyrimų etapas) minėtų laukų dirvožemiuose vidutinis N_{min} kiekis siekė 132,7 kg ha^{-1}, o pokytis, palyginus su prieš tręšimą tirtais dirvožemiais (1 etapas), sudarė 28,0 kg ha^{-1}. ND tręšiant 1 kartą, po tręšimo nustatyti ženkliai mažesni N_{min} kiekiai – vidutiniškai 83,9 kg ha^{-1}, o pokytis palyginus su projekto pradžioje tirtais dirvožemiais, siekė 12,1 kg ha^{-1}. Taigi 1 kartą tręšti dirvožemiai, pagal jų turtingumo šiuo elementu vertinimo skalę, buvo vidutiniškai N_{min} turintys, o ND tręšti 2 kartus – iš vidutiniškai turinčių tapo daug turinčiais. Apibendrinant galima teigti, kad tręšimas buvo efektyvus, o ženklesnius pokyčius laukuose tręštuose 2 kartus lėmė sistemingas želdinių tręšimas šiomis daug maisto ir organinių medžiagų turinčiomis trąšomis kas 3 metus.



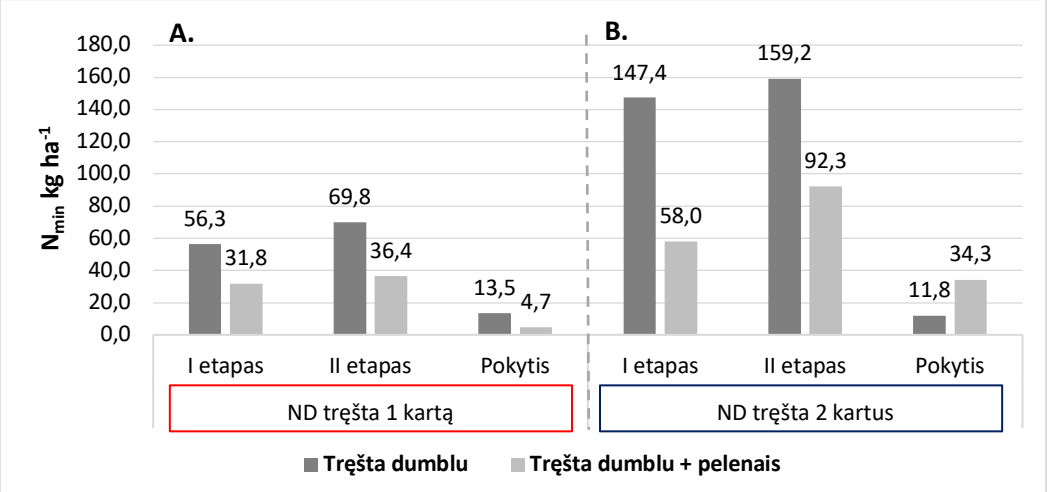
Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas.

2.4.1.1 pav. Tręšimo įtaka vidutiniam mineralinio azoto (N_{min}) kiekiui 0–60 cm dirvožemio sluoksnyje

Projekto laukuose augantys želdiniai buvo tręšiami ne tik apdorotu vandenvalos nuotekų dumblu (ND), siekiant dirvožemį praturtinti organinėmis ir maisto medžiagomis, bet taip pat buvo tręšiami nuotekų dumblu kartu su medienos biokuro pelenais (MBP), siekiant ne tik praturtinti įvairiomis mineralinėmis medžiagomis, ypač kalcio, magnio ir kalio, bet ir padidinti rūgštokų dirvožemių pH. Lietuva pagal iškritančių kritulių kiekį yra perteklinio drėkinimo zonoje, todėl ne visas kritulių kiekis, patekęs į dirvožemį, spėja greitai iš jo išgaruoti. Tokia perteklinė drėgmė suintensyvina augalų maisto medžiagų išplovimą iš dirvožemių, todėl tręšimas medienos pelenais galėtų iš dalies kompensuoti išplautas medžiagas. Dėl perteklinės drėgmės dirvožemiuose išplaunama daugiau kalcio bei magnio, dėl to dirvožemiai pradeda rūgštėti, nes įsivyrauja vandenilio jonai. Rūgščiuose dirvožemiuose kai kurie augalai visai negali augti, todėl medžio pelenai dėl savo ypatingos cheminės sudėties gali būti panaudoti ir kaip dirvožemio kalkinimo priemonė.

Kaip rodo vidutiniai tyrimų rezultatai, visais atvejais tiek tręšimas dumblu, tiek dumblu derinyje su pelenais didino N_{min} kiekį dirvožemiuose (2.4.1.2 pav.). Po tręšimo (ND tręšiant 1 kartą), ryškesni N_{min} pokyčiai dirvožemyje fiksuoti želdinius tręšiant tik nuotekų dumblu, ir padidėjimas lyginant su netręštais sudarė 13,5 kg ha^{-1}. Tačiau tręšiant nuotekų dumblu derinyje su pelenais, šio judriojo elemento padidėjimas buvo beveik 3 kartus mažesnis – 4,7 kg ha^{-1}.

Priešingi rezultatai gauti laukuose, tręštuose ND 2 kartus. Projekto pabaigoje (2 tyrimų etapas) po tręšimo ištirtuose dirvožemiuose didesni N_{min} pokyčiai buvo želdinius tręšiant nuotekų dumblu kartu su pelenais (2.4.1.2 pav.). Gautus rezultatus palyginus su projekto pradžioje nustatytais, padidėjimas buvo ženklus – 34,3 kg ha^{-1}. Tręšimas tik nuotekų dumblu taip pat didino N_{min} susikaupimą dirvožemio 0–60 cm sluoksnyje, tačiau ne taip ženkliai – 11,8 kg ha^{-1}. Šalia tręšimo ND derinyje su MBP, tikėtina, kad išliko ir pirmojo tręšimo ND (prieš projektą) efektyvumas, kai į dirvožemį kartu su šia organine atlieka buvo įterpti nemaži organinių medžiagų kiekiai ir papildė N_{min} atsargas tirtuose dirvožemiuose.



Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas.

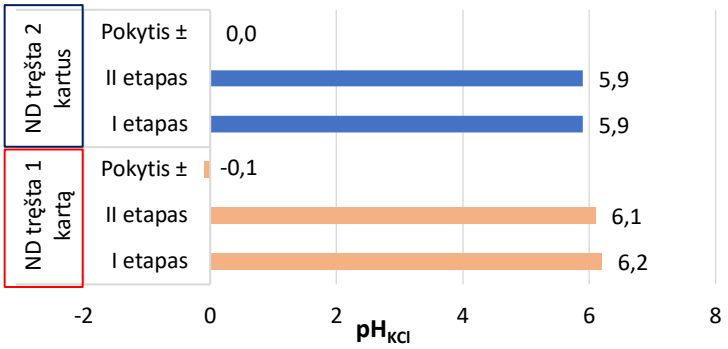
2.4.1.2 pav. Tręšimo nuotekų dumblu (A) bei dumblo ir medienos biokuro pelenų deriniu (B), įtaka vidutiniam mineralinio azoto (N_{min}) kiekiui 0–60 cm dirvožemio sluoksnyje

Kaip matome tiek tręšimas dumblu, tiek dumblu derinyje su pelenais, buvo efektyvus ir didino N_{min} susikaupimą dirvožemiuose. Šiuos pokyčius įtakojo organinių medžiagų mineralizacijos procesai, kurių metu esant palankioms sąlygoms į dirvožemį atsipalaiduoja didesni N_{min} kiekiai. Tačiau N_{min} koncentracijas dirvožemyje taip pat labai įtakoja ir dirvožemio granuliometrinė sudėtis bei aplinkos veiksniai, ypač drėgmės kiekis iškrentantis su krituliais. Taip pat svarbu žinoti, kad N_{min} esantis nitratinis azotas yra nesorbuojamas dirvožemio sorbuojamojo komplekso ir vyrauja dirvožemio tirpale, todėl yra labai judrus ir esant palankioms sąlygoms lengvai išsiplauna į gilesnius dirvožemio sluoksnius. Todėl mineralinio azoto (N_{min}) kiekis dirvožemyje yra be galo kintantis ir nepastovus.

2.4.2. Dirvožemio pH_{KCl}, judrieji fosforas (P_2O_5), kalis (K_2O), kalcis (CaO) ir magnis (MgO)

Dirvožemio pH_{KCl}. Augalai nevienodai reaguoja į dirvožemio rūgštumą: vieni jam labai jautrūs, kiti mažiau (Mažvila ir kt., 2011). Esant rūgščiam dirvožemiui didėja sunkiųjų metalų judrumas, todėl tręšiant nuotekų dumblu svarbu į tai atkreipti dėmesį.

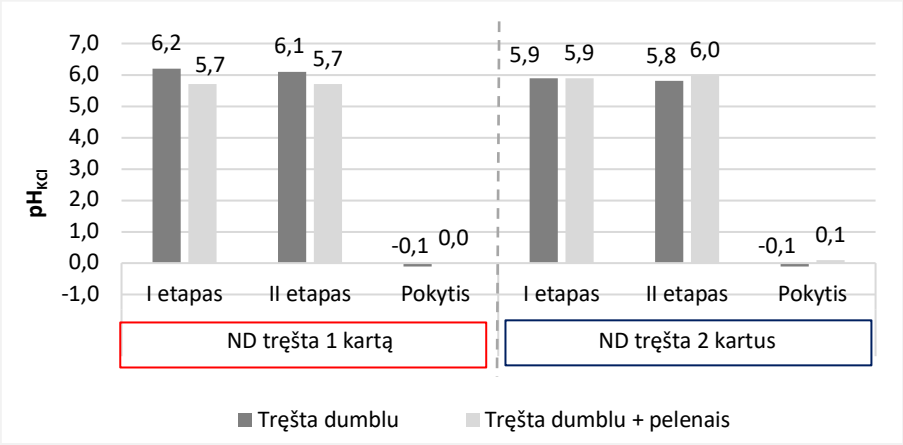
Projekto laukuose daugumoje tirti dirvožemiai buvo rūgštoki (pH_{KCl} 5,9) ar artimos neutraliai (pH_{KCl} 6,1–6,2) reakcijos. Vidutinės jų reikšmės projekto pradžioje ir pabaigoje, po tręšimo organinėmis trąšomis-atliekomis (apdorotu nuotekų dumblu – ND) bei tręšiamaisiais produktais (medienos biokuro pelenais – MBP), pavaizduotos 2.4.2.1 paveiksle. Bendrai vertinant tręšimo įtaką, matome, kad esminių pokyčių neišryškėjo. Laukuose, tręštuose 1 kartą, vidutiniškai dirvožemio pH_{KCl} nežymiai sumažėjo – 0,1, o tręšiant 2 kartus – išliko nepakitęs.



Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas.

2.4.2.1 pav. Tręšimo įtaka dirvožemio pH_{KCl} (0–20 cm dirvožemio sluoksnyje)

Kaip rodo vidutiniai tyrimų rezultatai, visais atvejais tiek tręšimas nuotekų dumblu, tiek nuotekų dumblu (ND) derinyje su medienos biokuro pelenais (MBP) turėjo mažai įtakos pH_{KCl} pokyčiams tirtuose dirvožemiuose (2.4.2.2 pav.). Po tręšimo (ND tręšiant 1 kartą), dirvožemyje fiksuotas nežymus pH sumažėjimas (0,1) želdinius tręšiant tik nuotekų dumblu, o tręšiant nuotekų dumblu derinyje su pelenais – dirvožemių pH išliko nepakitęs. Panašūs rezultatai gauti laukuose, tręštuose ND 2 kartus. Projekto pabaigoje (2 tyrimų etape) po tręšimo ištirtuose dirvožemiuose, jų pH buvo taip pat linkęs mažėti (0,1), želdinius tręšiant tik nuotekų dumblu, o derinyje su pelenais priešingai – didėti 0,1, lyginant su projekto pradžioje tirtais laukais. Tai leidžia daryti prielaidą, kad visgi būtų tikslinga padidinti tręšimo medienos biokuro pelenais normą, tikintis didesnio, kaip kalkinimo efekto, nes kaip žinome pelenuose yra gausu mineralinių medžiagų tokių, kaip kalcio, magnio ir kalio, kurie teigiamai veikia dirvožemio pH pokyčius ir neutralizuoja rūgštesnę jo reakciją.



Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas.

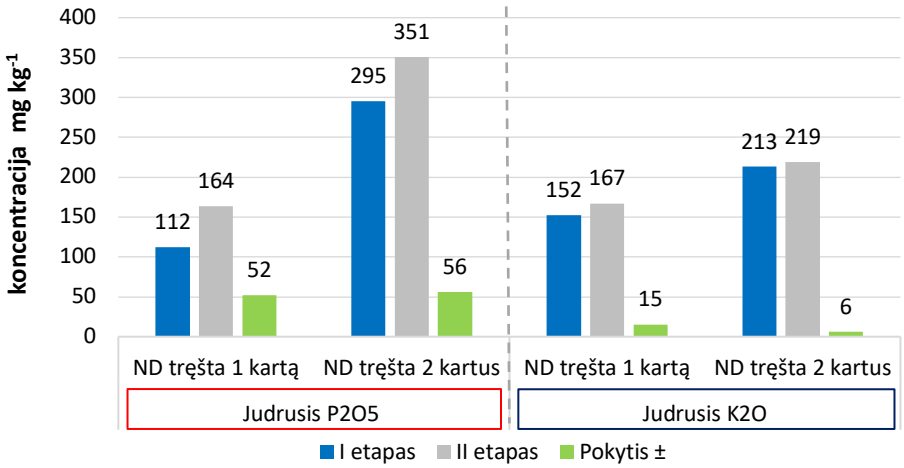
2.4.2.2 pav. Tręšimo nuotekų dumblu (A) bei dumblo ir medienos biokuro pelenų deriniu (B), įtaka dirvožemio pH_{KCl} (0–20 cm dirvožemio sluoksnyje)

Judrieji fosforas (P_2O_5) ir kalis (K_2O). Auginant skirtingo amžiaus SRP želdinius bei juos tręšiant organinėmis trąšomis-atliekomis (apdorotu nuotekų dumblu (ND) bei tręšiamaisiais produktais (medienos biokuro pelenais – MBP), tirtų projekto laukų dirvožemių 0–20 cm sluoksnyje tiek judrusis P_2O_5, tiek judrusis K_2O tendencingai didėjo (2.4.2.3 pav.).

Judriojo P_2O_5 ryškesni pokyčiai dėl tręšimo ir didesnės šio judriojo elemento koncentracijos dirvožemyje nustatytos laukuose, kur želdiniai ND tręšiami 2 kartus. Po tręšimo (2 tyrimų etapas) minėtų laukų dirvožemiuose vidutinė P_2O_5 koncentracija siekė vidutiniškai 351 mg kg^{-1}, o pokytis, palyginus su prieš tręšimą tirtais dirvožemiais (1 etape), sudarė 56 mg kg^{-1}. Ženkliai mažesnės P_2O_5 koncentracijos – vidutiniškai 164 mg kg^{-1}, o pokytis 52 mg kg^{-1}, palyginus su projekto pradžioje tirtais dirvožemiais – nustatyti po tręšimo projekto pabaigoje laukuose, ND tręštuose 1 kartą.

Judriojo K_2O didesnės koncentracijos dirvožemyje nustatytos taip pat laukuose, kur želdiniai buvo tręšiami 2 kartus. Po tręšimo (2 tyrimų etapas) minėtų laukų dirvožemiuose vidutinė K_2O koncentracija siekė 219 mg kg^{-1}, o pokytis, palyginus su prieš tręšimą tirtais dirvožemiais (1 etape), sudarė vos 6 mg kg^{-1}. Kiek mažesnės judriojo K_2O koncentracijos – vidutiniškai 167 mg kg^{-1}, o pokytis 16 mg kg^{-1}, palyginus su projekto pradžioje tirtais dirvožemiais – nustatyti po tręšimo projekto pabaigoje laukuose, ND tręštuose 1 kartą.

Apibendrinant galima teigti, kad tręšimas ženkliau įtakojo judriojo P_2O_5 pokyčius dirvožemyje, nei judriojo K_2O, nes tiek su ND, tiek su pelenais (bendrai sudėjus juose esančius minėtų elementų kiekius), P įsiterpė daugiau nei K. Be to, foninės minėtų judriųjų elementų koncentracijos buvo didesnės laukuose, kurie prieš projekto pradžią jau buvo tręšti nuotekų dumblu, o taip pat antrąjį kartą projekto eigoje. Taigi sistemingas tręšimas šiomis daug maisto ir organinių medžiagų turinčiomis organinėmis atliekomis kas 3 metus, yra naudingas siekiant padidinti dirvožemių produktyvumą.

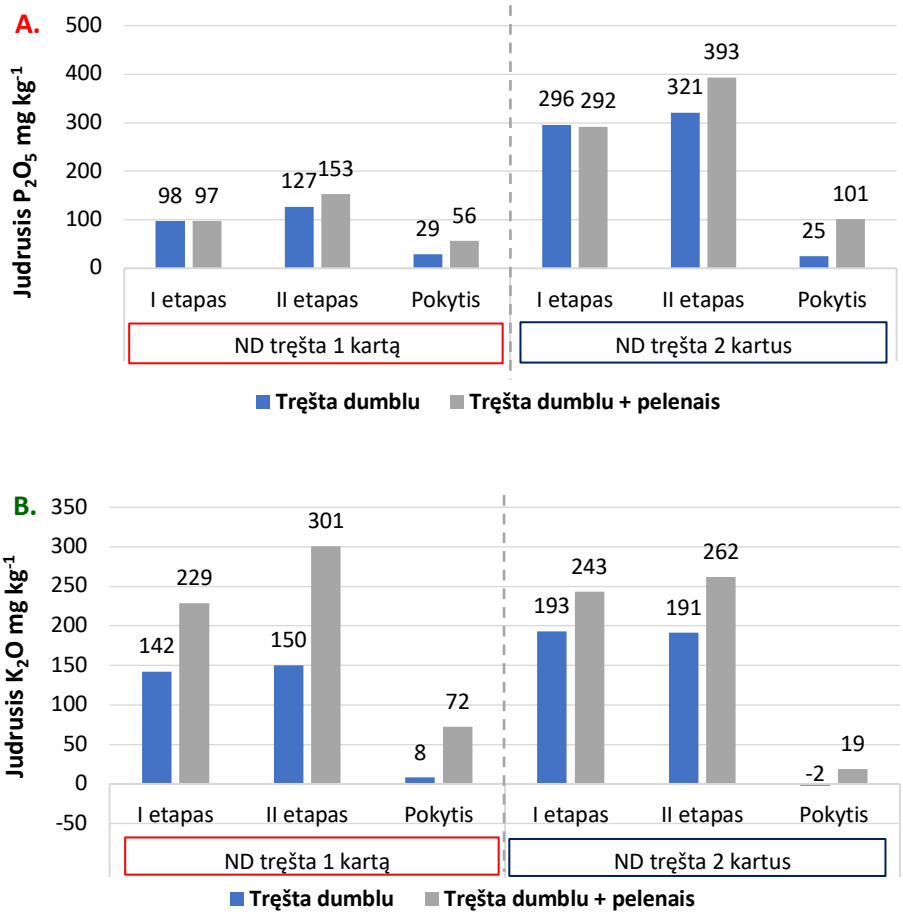


Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas.

2.4.2.3 pav. Tręšimo įtaka vidutinėms judriųjų fosforo (P_2O_5) ir kalio (K_2O) koncentracijoms (0–20 cm dirvožemio sluoksnyje)

Vertinant atskirai ***trešimo nuotekų dumblu ir pelenais įtaką***, pastebimos aiškios tendencijos, kad dėl minėtų trąšų judriųjų P_2O_5 ir K_2O koncentracijos dirvožemyje didėjo (2.4.2.4 pav. A, B), tik ne vienodu intensyvumu.

Kaip rodo vidutiniai tyrimų rezultatai, po tręšimo (ND tręšiant 1 kartą), ryškesni judriojo P_2O_5 pokyčiai dirvožemyje fiksuoti želdinius tręšiant nuotekų dumblo ir pelenų deriniu, ir padidėjimas lyginant su netręštais dirvožemiais projekto pradžioje sudarė 56 mg kg^{-1} (2.4.2.4 pav. A). Tačiau tręšiant tik nuotekų dumblu, šio judriojo elemento padidėjimas buvo beveik 2 kartus mažesnis – 29 mg kg^{-1}. Panašūs, tik ženkliai ryškesni, rezultatai gauti laukuose, tręštuose ND 2 kartus. Projekto pabaigoje (2 tyrimų etapas) po tręšimo ištirtuose dirvožemiuose didžiausios (vid. 393 mg kg^{-1}) judriojo P_2O_5 koncentracijos nustatytos taip pat želdinius tręšiant nuotekų dumblu kartu su pelenais. Gautus rezultatus palyginus su projekto pradžioje nustatytais, padidėjimas buvo ženklus – vidutiniškai 101 mg kg^{-1}. Tręšimas tik nuotekų dumblu taip pat didino šio judriojo elemento koncentraciją dirvožemio 0–20 cm sluoksnyje, tačiau ne taip ženkliai ir ji buvo 4 kartus mažesnė – 25 mg kg^{-1}.



Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas.

2.4.2.4 pav. Tręšimo nuotekų dumblu bei dumblo ir medienos biokuro pelenų deriniu, įtaka judriųjų fosforo (P_2O_5) (A) ir kalio (K_2O) (B) koncentracijoms (0–20 cm dirvožemio sluoksnyje)

Tręšimas nuotekų dumblu derinyje su pelenais taip pat turėjo didesnės įtakos judriojo K_2O susikaupimui tirtuose dirvožemiuose nei tręšimas vien nuotekų dumblu. Didžiausios šio judriojo elemento koncentracijos (301 mg kg^{-1}) ir pokytis (72 mg kg^{-1}) lyginant su netręštais dirvožemiais, nustatyti laukuose, tręšiamuose 1 kartą (2.4.2.4 pav. B). Tręšimas nuotekų dumblu judriojo K_2O susikaupimą didino tik tuose laukuose, kurie ND buvo tręšiami vieną kartą ir fiksuotas pokytis siekė 8 mg kg^{-1}.

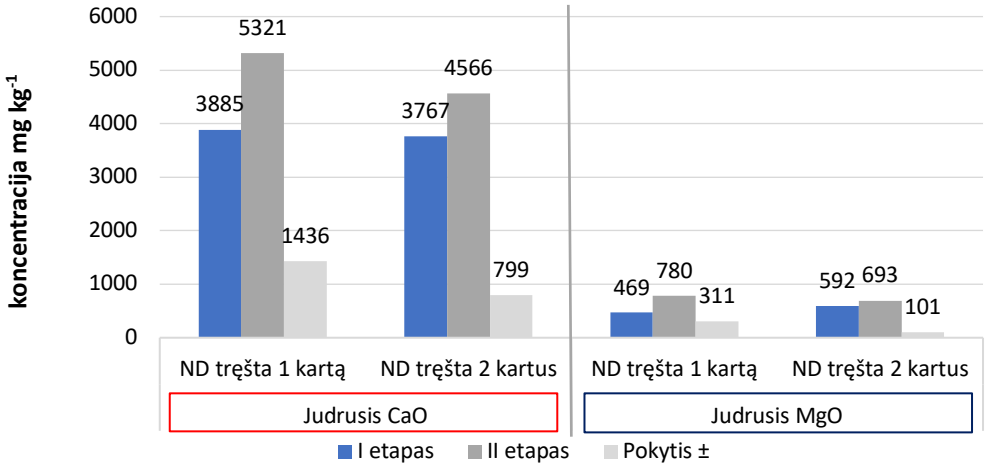
Apibendrinant galima teigti, kad tręšimas nuotekų dumblu derinyje su pelenais buvo efektyvesnis nei tręšimas vien tik nuotekų dumblu, ir tendencingiau didino judriųjų P_2O_5 ir K_2O koncentracijų susikaupimą dirvožemiuose. Šiuos pokyčius įtakojo tai, kad P ir K į dirvožemį pateko ne tik su nuotekų dumblu, bet šių elementų įsinešė nemaži kiekiai kartu su pelenais. Todėl kartu naudodami dumblą ir pelenus, mes ne tik praturtiname dirvožemį gausesniais kiekiais organinių, bet kartu ir mineralinių medžiagų.

Judrieji kalcis (CaO) ir magnis (MgO). Trumpos rotacijos želdinius tręšiant apdorotu nuotekų dumblu (ND) bei pelenais, tirtų projektų laukų dirvožemių 0–20 cm sluoksnyje tiek judrusis CaO, tiek judrusis MgO tendencingai didėjo (2.4.2.5 pav.).

Judriojo CaO ryškesni pokyčiai dėl tręšimo ir didesnės šio judriojo elemento koncentracijos dirvožemyje nustatytos laukuose, kur želdiniai ND tręšiami 1 kartą. Po tręšimo (2 tyrimų etape) minėtų laukų dirvožemiuose vidutinė CaO koncentracija siekė vidutiniškai 5321 mg kg^{-1}, o pokytis, palyginus su prieš tręšimą tirtais dirvožemiais (1 etape), sudarė 1436 mg kg^{-1}. Mažesnės judriojo CaO koncentracijos – vidutiniškai 4566 mg kg^{-1}, o pokytis 799 mg kg^{-1}, palyginus su projekto pradžioje tirtais dirvožemiais – nustatyti po tręšimo projekto pabaigoje laukuose, ND tręštuose 2 kartus.

Judriojo MgO didesnės koncentracijos dirvožemyje taip pat nustatytos laukuose, kur želdiniai ND buvo tręšiami 1 kartą. Po tręšimo (2 tyrimų etapas) minėtų laukų dirvožemiuose vidutinė MgO koncentracija siekė 780 mg kg^{-1}, o pokytis, palyginus su prieš tręšimą tirtais dirvožemiais (1 etape), sudarė net 311 mg kg^{-1}. Kiek mažesnės judriojo MgO koncentracijos – vidutiniškai 693 mg kg^{-1}, o pokytis 101mg kg^{-1}, palyginus su projekto pradžioje tirtais dirvožemiais – nustatyti po tręšimo projekto pabaigoje laukuose, ND tręštuose 2 kartus. Taigi šiuos pokyčius galėjo lemti ir pačių dirvožemių prigimtinis turtingumas judriuoju CaO ir MgO, nes dirvožemiai buvo pasiskirstę skirtinguose Rytų Lietuvos zonos rajonuose, bei taip pat su dumblu ir pelenais įnešami nevienodi kiekiai. Nemažus judriųjų elementų kiekius buvo linkę sukaupti ir patys želdiniai, kurie skyrėsi savo amžiumi ir maisto medžiagų panaudojimo intensyvumu. Todėl tikėtina, kad dėl minėtos priežasties dirvožemiuose projekto pabaigoje, juos ND tręšiant 2 kartus, fiksuotas mažesnis judriųjų CaO ir MgO pokytis nei tręštuose 1 kartą, nes pastaruosiuose želdiniai buvo jaunesni ir mažiau pasisavino šių judriųjų elementų savo augimo reikmėms užtikrinti.

Apibendrinant galima teigti, kad tręšimas teigiamai įtakojo tiek judriojo CaO, tiek judriojo MgO pokyčius dirvožemyje, nes tiek su ND, tiek su pelenais (bendrai sudėjus juose esančius minėtų elementų kiekius), Ca ir Mg įsiterpė nemaži kiekiai, ypač Ca su nuotekų dumblu. Taigi sistemingas tręšimas šiomis daug maisto ir organinių medžiagų turinčiomis organinėmis ir mineralinės kilmės trąšomis kas 3 metus, yra naudingas, siekiant padidinti dirvožemių produktyvumą.



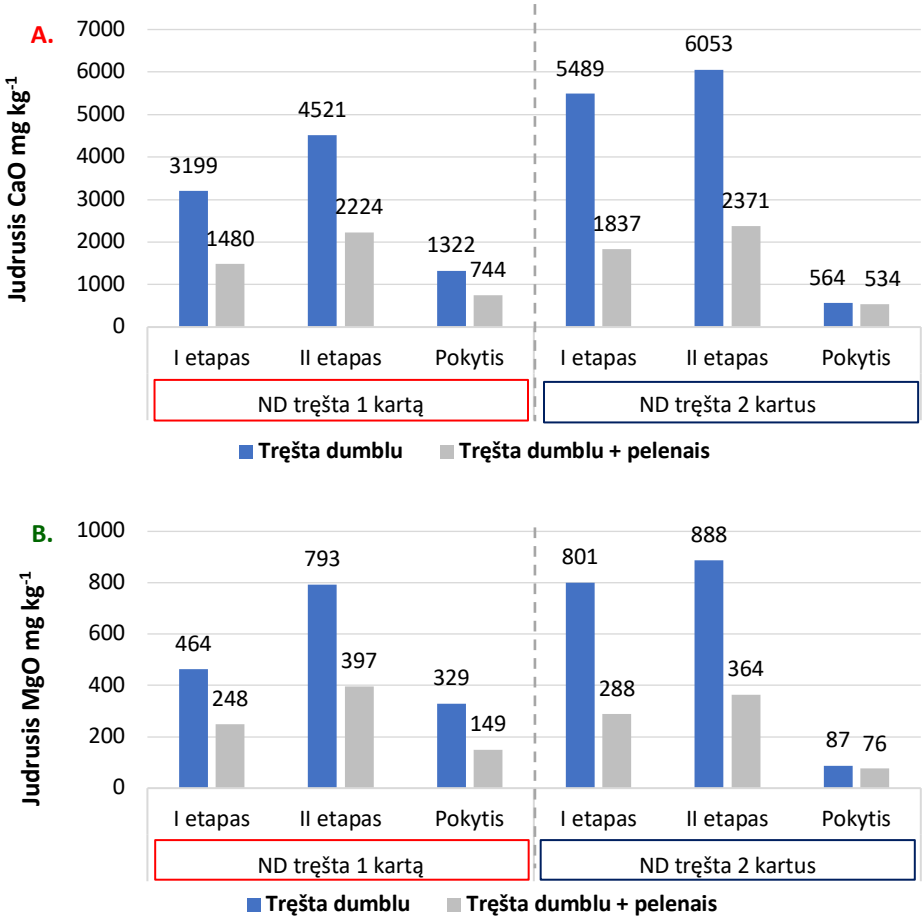
Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas.

2.4.2.5 pav. Tręšimo įtaka vidutinėms judriųjų kalcio (CaO) ir magnio (MgO) koncentracijoms (0–20 cm dirvožemio sluoksnyje)

Vertinant atskirai ***tręšimo nuotekų dumblu ir medienos biokuro pelenais įtaką***, pastebimos aiškios tendencijos, kad dėl minėtų organinių trąšų ir tręšiamųjų produktų judriųjų CaO ir MgO koncentracijos dirvožemyje didėjo (2.4.2.6 pav. A, B), tik ne vienodu intensyvumu.

Kaip rodo vidutiniai tyrimų rezultatai, po tręšimo (ND tręšiant 1 kartą), ryškesni judriojo CaO pokyčiai dirvožemyje fiksuoti želdinius tręšiant tik nuotekų dumblu, ir padidėjimas, lyginant su netręštais dirvožemiais projekto pradžioje, sudarė 1322 mg kg^{-1} (2.4.2.6 pav. A). Tręšiant nuotekų dumblu derinyje su pelenais, šio judriojo elemento padidėjimas dirvožemyje buvo beveik 2 kartus mažesnis – 744 mg kg^{-1}. Panašūs rezultatai gauti laukuose, tręštuose ND 2 kartus. Projekto pabaigoje (2 tyrimų etape) po tręšimo ištirtuose dirvožemiuose didžiausios (vidutiniškai 6053 mg kg^{-1}) judriojo CaO koncentracijos nustatytos taip pat želdinius tręšiant tik nuotekų dumblu. Gautus rezultatus palyginus su projekto pradžioje nustatytais, padidėjimas siekė 564 mg kg^{-1}. Tręšimas nuotekų dumblu derinyje su pelenais taip pat didino šio judriojo elemento koncentraciją dirvožemio 0–20 cm sluoksnyje, o apskaičiuotas pokytis buvo panašus į pokytį, tręšiant vien tik nuotekų dumblu, ir siekė 534 mg kg^{-1}.

Tręšimas tik nuotekų dumblu taip pat turėjo didesnės įtakos judriojo MgO susikaupimui tirtuose dirvožemiuose nei tręšimas nuotekų dumblu derinyje su pelenais. Didžiausios šio judriojo elemento koncentracijos (793 mg kg^{-1}) ir pokytis (329 mg kg^{-1}) lyginant su netręštais dirvožemiais, nustatyti laukuose, tręšiamuose 1 kartą (2.4.2.6 pav. B). Tręšiant nuotekų dumblu derinyje su pelenais, šio judriojo elemento padidėjimas dirvožemyje buvo 2 kartus mažesnis – 149 mg kg^{-1}. Panašūs rezultatai gauti laukuose, tręštuose ND 2 kartus. Projekto pabaigoje (2 tyrimų etape) po tręšimo ištirtuose dirvožemiuose didžiausios (vidutiniškai 888 mg kg^{-1}) judriojo MgO koncentracijos nustatytos taip pat želdinius tręšiant tik nuotekų dumblu. Gautus rezultatus palyginus su projekto pradžioje nustatytais, padidėjimas siekė 87 mg kg^{-1}. Tręšimas nuotekų dumblu derinyje su pelenais taip pat didino šio judriojo elemento koncentraciją dirvožemio 0–20 cm sluoksnyje, o apskaičiuotas pokytis buvo panašus į pokytį, tręšiant vien tik nuotekų dumblu, ir siekė 76 mg kg^{-1}.



Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas.

2.4.2.6 pav. Tręšimo nuotekų dumblu bei dumblo ir medienos biokuro pelenų deriniu, įtaka judriojo kalcio (CaO) (A) ir judriojo magnio (MgO) (B) koncentracijoms (0–20 cm dirvožemio sluoksnyje)

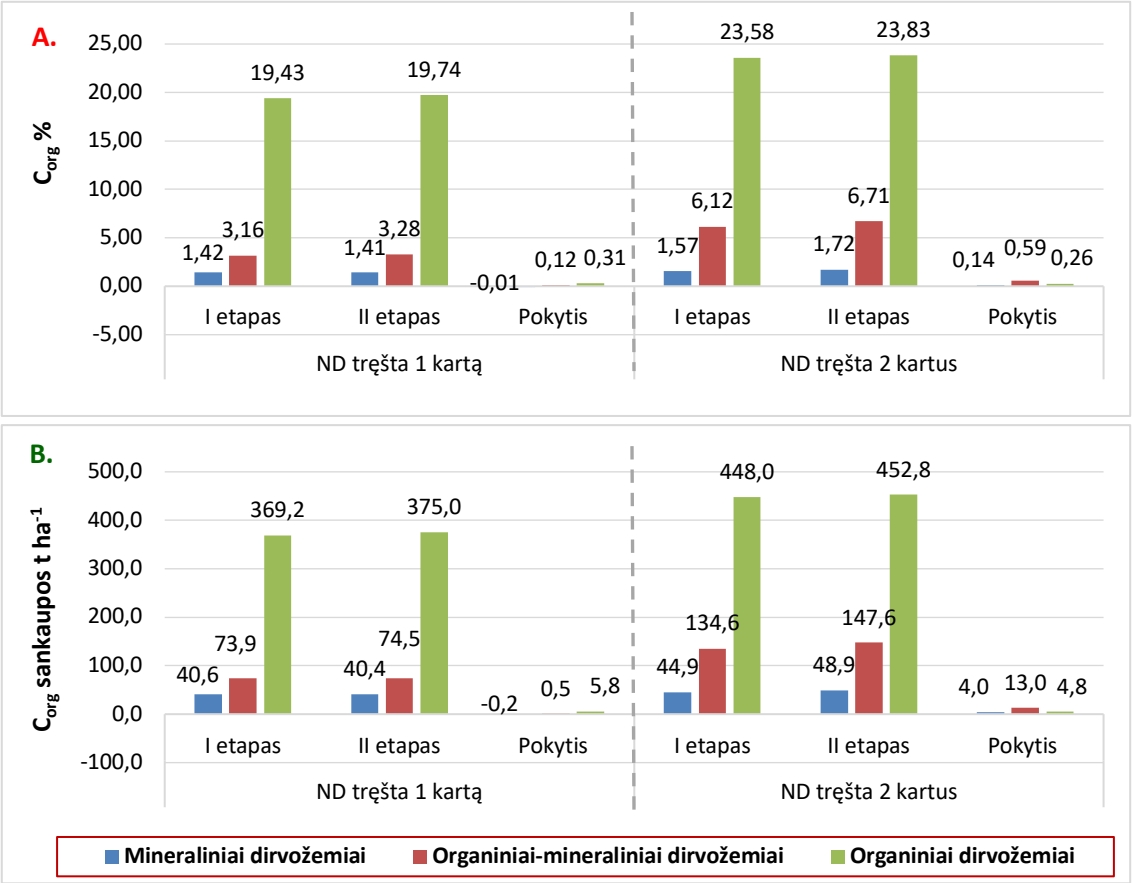
Taigi tręšimas tik nuotekų dumblu buvo efektyvesnis nei tręšimas nuotekų dumblu derinyje su pelenais, ir tendencingai didino judriųjų CaO ir MgO koncentracijų susikaupimą dirvožemiuose. Šiuos pokyčius tikėtina įtakojo įvairūs aplinkos veiksniai, pačio dirvožemio savybės, išsiplovimo procesai ir organinių medžiagų mineralizacijos intensyvumas dirvožemyje, taip pat želdinių amžius ir didesnis jų poreikis šioms maisto medžiagoms. Šiuos pokyčius taip pat galėjo kažkiek įtakoti ir tai, kad su nuotekų dumblu Ca ir Mg į dirvožemį pateko kiek didesni kiekiai nei su tręšimui naudotu nuotekų dumblu derinyje su pelenais. Nes kaip žinome, skirtingos partijos nuotekų dumblas ar pelenai gali ženklai skirtis ir tai atsispindėti dirvožemio savybių pokyčiuose.

2.4.3. Organinė anglis (C_{org}) ir jos sankaupos

Organinės anglies (C_{org}) koncentracijos labai skiriasi skirtinguose dirvožemiuose, todėl rezultatus pateikti vidutine koncentracija būtų neteisinga ir netikslinga. Taigi gauti duomenys buvo suskirstyti į tris grupes ir C_{org} koncentracijų bei jų sankaupų pokyčiai dėl tręšimo įtakos buvo atskirai pavaizduoti mineraliniuose, organiniuose-mineraliniuose ir organiniuose dirvožemiuose (2.4.3.1 pav.

A, B). Kaip matome dėl tręšimo, tirtų projekto laukų dirvožemių 0–20 cm sluoksnyje organinės anglies koncentracijos (C_{org}) daugumoje dirvožemių tendencingai didėjo (2.4.3.1 pav. A). Ryškesni pokyčiai ir didesnės C_{org} koncentracijos dirvožemyje nustatytos laukuose, kur želdiniai ND tręšiami 2 kartus. Po tręšimo (2 tyrimų etapas) minėtų laukų dirvožemiuose vidutinės C_{org} koncentracijos siekė: mineraliniuose dirvožemiuose – 1,72 %, organiniuose mineraliniuose – 6,71 %, organiniuose – 23,83 %, o pokyčiai dėl tręšimo įtakos, palyginus su projekto pradžioje prieš tręšimą tirtais dirvožemiais (1 etapas), sudarė atitinkamai 0,14; 0,59 ir 0,26 % vnt. daugiau.

ND tręšiant 1 kartą, po tręšimo projekto pabaigoje tirtuose laukuose nustatytos kiek mažesnės vidutinės C_{org} koncentracijos: mineraliniuose dirvožemiuose – 1,41 %, organiniuose mineraliniuose – 3,28 %, organiniuose – 19,74 %. Pokyčiai palyginus su projekto pradžioje tirtais dirvožemiais, taip pat buvo mažesni, nei tręšiant ND 2 kartus, be to, mineraliniuose dirvožemiuose C_{org} nežymiai sumažėjo – 0,01 % vnt. Visgi vertinant C_{org} koncentracijų rezultatus labiau reikėtų orientuotis tik į pokyčius, nes projekto laukai buvo gana skirtingi, tiek dirvožemiais, tiek jų pačių savybėmis, ir kaip matome pradinis C_{org} lygis taip pat buvo skirtingas tiek tręštuose ND 1 kartą, tiek 2 kartus.



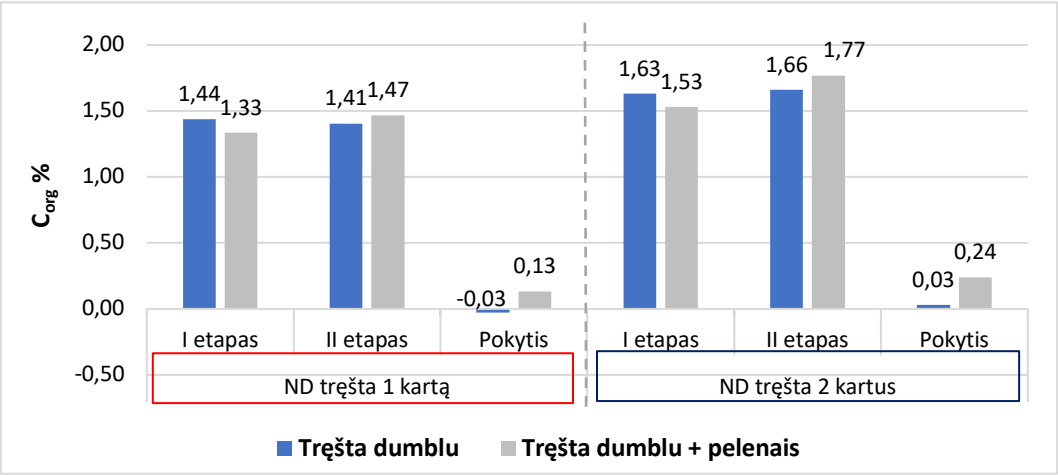
Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas.

2.4.3.1 pav. Tręšimo įtaka vidutinėms organinės anglies (C_{org}) koncentracijoms (A) ir jos sankaupoms (B) 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje

Apskaičiuotos C_{org} sankaupos dirvožemiuose pasiskirstė pagal tas pačias tendencijas, kaip ir C_{org} koncentracijos dirvožemyje (2.4.3.1 pav., B), todėl detaliau jų neaptarėme.

Kaip rodo vidutiniai tyrimų rezultatai, tiek tręšimas dumblu (ND), tiek dumblu derinyje su medienos biokuro pelenais (MBP) daugumoje didino C_{org} koncentracijas dirvožemiuose (2.4.3.2 pav.). Atkreipiame dėmesį, kad nuotekų dumblo ir pelenų deriniu buvo tręšti tik mineraliniai dirvožemiai, todėl 2.4.3.2 paveiksle pateiktos C_{org} koncentracijos ir pokyčiai tik minėtoje dirvožemių grupėje, ir rezultatai atitinkamai bus lyginami tik su nuotekų dumblu tręštais mineraliniais dirvožemiais.

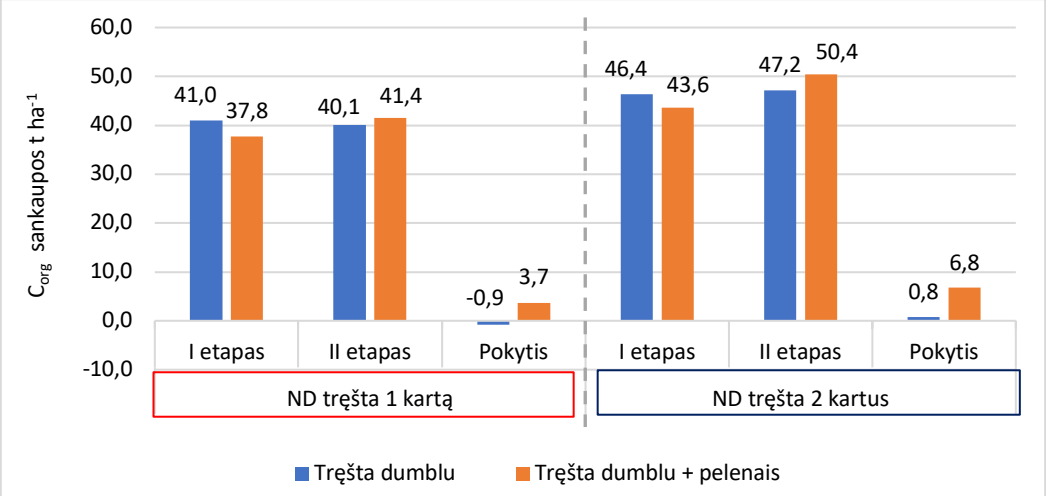
Po tręšimo (ND tręšiant 1 kartą), ryškesni C_{org} pokyčiai dirvožemyje fiksuoti želdinius tręšiant nuotekų dumblo ir pelenų deriniu, ir padidėjimas lyginant su netręštais dirvožemiais projekto pradžioje sudarė vidutiniškai 0,13 % vnt. Tačiau tręšiant tik nuotekų dumblu, dirvožemiuose C_{org} nežymiai sumažėjo – 0,03 % vnt. Tačiau laukuose, tręštuose ND 2 kartus, buvo nustatytos C_{org} didėjimo tendencijos tiek tręšiant nuotekų dumblu, tiek nuotekų dumblu derinyje su pelenais. Projekto pabaigoje (2 tyrimų etape) po tręšimo ištirtuose dirvožemiuose didžiausia (vidutiniškai 1,77 %) C_{org} koncentracija nustatyta taip pat želdinius tręšiant nuotekų dumblu kartu su pelenais (2.4.3.2 pav.). Gautus rezultatus palyginus su projekto pradžioje nustatytais, padidėjimas siekė 0,24 % vnt. Tręšimas tik nuotekų dumblu taip pat didino C_{org} koncentraciją dirvožemio 0–20 cm sluoksnyje, tačiau ne taip ženkliai kaip tręšimas derinyje su pelenais, ir lyginant su netręštais laukais sudarė 0,03 % vnt.



Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas.

2.4.3.2 pav. Tręšimo nuotekų dumblu bei dumblo ir medienos biokuro pelenų deriniu įtaka organinės anglies (C_{org}) koncentracijai mineraliniuose dirvožemiuose (0–20 cm dirvožemio sluoksnyje)

Apskaičiuotos C_{org} sankaupos dirvožemiuose dėl tręšimo nuotekų dumblu bei nuotekų dumblu derinyje su pelenais įtakos pasiskirstė pagal tas pačias tendencijas, kaip ir C_{org} koncentracijos dirvožemyje (2.4.3.3 pav.), todėl detaliau tekste jos neaptartos.



Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas.

2.4.3.3 pav. Tręšimo nuotekų dumblu bei dumblo ir medienos biokuro pelenų deriniu įtaka organinės anglies (C_{org}) sankaupoms mineralinių dirvožemių (0–20 cm sluoksnyje)

Apibendrindami rezultatus matome, kad tiek tręšimas dumblu, tiek dumblu derinyje su medienos biokuro pelenais, daugumoje tendencingai didino C_{org} koncentracijas ir jo sankaupas dirvožemiuose. Šiuos pokyčius tikėtina įtakojo įterptų su nuotekų dumblu organinių medžiagų kiekis ir jų stabilumas dirvožemyje, mikroorganizmų veiklos bei vykstančių mineralizacijos procesų intensyvumas, o nuo to ir priklauso C_{org} koncentracija dirvožemyje, kurią taip pat labai įtakoja dirvožemio granuliometrinė sudėtis bei aplinkos veiksniai. Be to, projekto laukai buvo gana skirtingi, tiek dirvožemiais, tiek jų pačių savybėmis, ir kaip matome pradinis C_{org} lygis dirvožemiuose taip pat buvo skirtingas tiek tręštuose ND 1 kartą, tiek 2 kartus.

2.4.4. Sunkieji metalai (kadmis, švinas, chromas, nikelis, varis, cinkas, gyvsidabris)

Dumble esančios organinės medžiagos ne tik patręšia dirvožemį, papildo jį maisto medžiagomis ir mikroelementais, bet kartu pagerina jo kokybę, suintensyvindamos dirvožemio humifikacijos procesus. Kad galimybė praturtinti dirvą natūralia trąša nevirstų vandens telkinių eutrofikacijos, sunkiųjų metalų ir patogeninių organizmų pertekliaus dirvoje grėsme, būtina laikytis numatytų reikalavimų, kuriuose numato „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimai“ (Nr. D1-410, 2001-06-29, nauja redakcija nuo 2022-11-29 iki 2024-12-31). Taigi tręšimas nuotekų dumblu yra pakankamai griežtai reglamentuojamas, siekiant užkirsti kelią galimai taršai, nes kaip žinome su šia vertinga atlieka į dirvožemį gali patekti nemaži sunkiųjų metalų kiekiai. Tręšimą medienos kuro pelenais taip pat apibrėžia „Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklės“ (Nr. D1-14, 2011-01-05, nauja redakcija nuo 2018-07-01). Todėl prieš tręšimą apdorotu dumblu ir medienos kuro pelenais, dirvožemyje turi būti nustatyta ne tik granuliometrinė sudėtis, pH_{KCl}, bet ir sunkiųjų metalų koncentracijos (švino, kadmio, chromo, vario, nikelio, cinko, gyvsidabrio), o tręšiant medienos kuro pelenais – dar ir judriųjų kalio (K_2O) bei fosforo (P_2O_5) kiekiai. Tiek „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimai“, tiek „Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo

taisyklės“, nurodo tas pačias didžiausias leistinas sunkiųjų metalų koncentracijas (DLK) dirvožemyje, kurios pateiktos ataskaitos metodinėje dalyje 1.3.11 lentelėje, o taip pat šios ribos yra nurodomos atskiruose paveiksluose aptariant konkrečius sunkiuosius metalus. Taigi projekto laukai nuotekų dumblu ir medienos kuro pelenais buvo tręšiami remiantis reglamentuose nurodytais reikalavimais.

Kadmis (Cd), švinas (Pb), chromas (Cr) ir nikelis (Ni). Vertinant tyrimų rezultatus, išryškėjo tendencijos, kad tręšimas daugumoje didino sunkiųjų metalų – Cd, Pb, Cr ir Ni – susikaupimą tirtuose dirvožemiuose, tačiau svarbu tai, kad nei viename projekto lauke nustatytos minėtų sunkiųjų metalų koncentracijos dėl tręšimo įtakos neviršijo DLK (didžiausios leistinos koncentracijos), kurias nurodo „Nuotekų dumblo naudojimo trešimui bei rekultivavimui reikalavimai“. Tirtų laukų dirvožemiuose nustatytos koncentracijos viršijo tik foninio lygio (FN) ribas, želdinius tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus (2.4.4.1 lentelė).

2.4.4.1 lentelė. Tręšimo įtaka vidutinėms kadmio (Cd), švino (Pb), chromo (Cr) ir nikelio (Ni) koncentracijoms 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje

Dirvože-miai	Kadmis (Cd)			Švinas (Pb)			Chromas (Cr)			Nikelis (Ni)		
	koncentracija mg kg^{-1} dirvožemio											
	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±
FL*	0,09			7			10			11		
DLK**	1,0			50			50			50		
ND tręšti 1 kartą	0,13	0,13	0,0	8,6	10,4	1,8	11,1	18,5	7,4	7,9	12,3	4,4
ND tręšti 2 kartus	0,19	0,18	-0,01	10,0	11,4	1,4	11,1	23,3	12,2	7,8	14,3	6,5

Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas; * - koncentracijų foninis lygis (FL); ** - didžiausia leidžiama sunkiųjų metalų koncentracija dirvožemyje (DLK).

Laukuose, trumpos rotacijos želdinius ND tręšiant 2 kartus, projekto pradžioje (1 etape) tirtuose dirvožemiuose nustatytos kiek didesnės Cd ir Pb koncentracijos, nei ND tręšiant 1 kartą, o Cr ir Ni – išliko beveik nepakitę (2.4.4.1 lentelė). Po tręšimo (2 etape), ND tręšiant tiek 1 kartą, tiek 2 kartus, kiek daugiau dirvožemiuose nustatyta Pb, Cr ir Ni, o Cd pokyčiai – minimalūs, lyginant su projekto pradžioje tirtais dirvožemiais. Kaip matome, po tręšimo Cr ir Ni didesni pokyčiai fiksuoti laukuose, kur želdiniai tręšiami ND 2 kartus.

Dėl *tręšimo nuotekų dumblu bei nuotekų dumblu derinyje su medienos biokuro pelenais įtakos,* švino, chromo, nikelio ir iš dalies kadmio, koncentracijos dirvožemyje didėjo, tik ne vienodais dėsningumais (2.4.4.2 lentelė). Tačiau nustatytos minėtų sunkiųjų metalų koncentracijos dėl skirtingo tręšimo įtakos neviršijo DLK (didžiausios leistinos koncentracijos), kurias nurodo „Nuotekų dumblo naudojimo trešimui bei rekultivavimui reikalavimai“. Tirtų laukų dirvožemiuose nustatytos koncentracijos dažniausiai viršijo tik foninio lygio (FN) ribas (išskyrus Ni I tyrimų etape), želdinius tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus (2.4.4.2 lentelė).

Vidutiniai tyrimų rezultatai rodo, kad tręšiant vien tik nuotekų dumblu tiek 1 kartą, tiek 2 kartus, dirvožemiuose kadmio Cd koncentracijos buvo didesnės, palyginus su dirvožemiais tręštais nuotekų dumblo ir pelenų deriniu. Po tręšimo Cd koncentracijų pokyčiai dėl skirtingo tręšimo kito nedėsningai: tręšiant tik nuotekų dumblu (1 kartą) dirvožemiuose Cd nežymiai 0,01 mg kg^{-1} sumažėjo, o tręšiant 2 kartus – padidėjo 0,01 mg kg^{-1}; dėl nuotekų dumblo ir pelenų derinio įtakos Cd koncentracija, priešingai tręšimui vien tik dumblu, tręšiant 1 kartą nežymiai padidėjo – 0,01 mg kg^{-1}, o tręšiant 2 kartus – sumažėjo 0,02 mg kg^{-1}. Taip pat tiek tręšiant nuotekų dumblu, tiek nuotekų dumblo deriniu su pelenais, didesnės kadmio (Cd) koncentracijos nustatytos laukuose, kur želdiniai ND tręšti 2 kartus. Šios tendencijos išryškėjo tiek pirmajame, tiek antrajame tyrimo etapuose.

Švino Pb koncentracijos taip pat daugumoje buvo didesnės dirvožemiuose, tręštuose tik nuotekų dumblu (2.4.4.2 lentelė). Po tręšimo Pb koncentracijų pokyčiai dėl skirtingo tręšimo taip pat nebuvo dėsningi, nors visais atvejais šio sunkiojo elemento dirvožemiuose susikaupė daugiau nei projekto pradžioje tirtuose dirvožemiuose. Kiek didesni pokyčiai fiksuoti tręšiant želdinius tik nuotekų dumblu (2 kartus) bei tręšiant nuotekų dumblu derinyje su pelenais (1 kartą) – Pb nustatyta atitinkamai 1,9 ir 1,6 mg kg^{-1} daugiau. Taip pat tiek tręšiant nuotekų dumblu, tiek nuotekų dumblo deriniu su pelenais, didesnės Pb koncentracijos nustatytos laukuose, kur želdiniai ND tręšti 2 kartus. Šios tendencijos išryškėjo tiek pirmajame, tiek antrajame tyrimo etapuose.

2.4.4.2 lentelė. Skirtingo tręšimo įtaka vidutinėms kadmio (Cd), švino (Pb), chromo (Cr) ir nikelio (Ni) koncentracijoms 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje

Tręšimas	Kadmis (Cd)			Švinas (Pb)			Chromas (Cr)			Nikelis (Ni)		
	koncentracija mg kg^{-1} dirvožemio											
	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±
FL*	0,09			7			10			11		
DLK**	1,0			50			50			50		
ND tręšti 1 kartą												
nuotekų dumblu	0,10	0,09	-0,01	8,0	8,8	0,8	11,6	19,1	7,5	8,3	13,0	4,7
nuotekų dumblu + pelenais	0,07	0,08	0,01	7,3	9,3	2,0	11,9	19,4	7,5	9,7	12,1	2,4
ND tręšti 2 kartus												
nuotekų dumblu	0,20	0,21	0,01	10,5	12,4	1,9	10,5	20,6	10,1	7,5	12,4	4,9
nuotekų dumblu + pelenais	0,16	0,14	-0,02	9,2	10,0	0,8	12,0	27,0	15,0	8,1	16,9	8,8

Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas; * - koncentracijų foninis lygis (FL); ** - didžiausia leidžiama sunkiųjų metalų koncentracija dirvožemyje (DLK).

Kaip rodo vidutiniai tyrimų rezultatai, po tręšimo (ND tręšiant 1 kartą), kiek ryškesni chromo (Cr) pokyčiai dirvožemyje fiksuoti želdinius tręšiant nuotekų dumblo ir pelenų deriniu, ir

padidėjimas, lyginant su netręštais dirvožemiais projekto pradžioje, sudarė 7,5 mg kg^{-1}. Tręšiant tik nuotekų dumblu, šio sunkiojo elemento padidėjimas buvo identiškas – 7,5 mg kg^{-1}, o nustatytos koncentracijos buvo nežymiai žemesnės. Panašūs, tik ženkliai ryškesni, rezultatai gauti laukuose, tręštuose ND 2 kartus. Projekto pabaigoje (2 tyrimų etape) po tręšimo ištirtuose dirvožemiuose didžiausia (vidutiniškai 27,0 mg kg^{-1}) Cr koncentracija nustatyta taip pat želdinius tręšiant nuotekų dumblu kartu su pelenais (2.4.4.2 lentelė). Gautus rezultatus palyginus su projekto pradžioje nustatytais, padidėjimas buvo ženklus – 15,0 mg kg^{-1}. Tręšimas tik nuotekų dumblu taip pat didino šio sunkiojo elemento koncentraciją dirvožemio 0-20 cm sluoksnyje ir pokytis siekė – 10,1 mg kg^{-1}.

Ryškesni nikelio (Ni) pokyčiai ir didesnė vidutinė koncentracija (13,0 mg kg^{-1}) dirvožemyje po tręšimo (ND tręšiant 1 kartą) fiksuoti želdinius tręšiant tik nuotekų dumblu, ir padidėjimas, lyginant su netręštais dirvožemiais projekto pradžioje, sudarė 4,7 mg kg^{-1}. Tręšiant nuotekų dumblu derinyje su pelenais, šio sunkiojo elemento padidėjimas buvo 2 kartus mažesnis – 2,4 mg kg^{-1}. Priešingi rezultatai gauti laukuose, tręštuose ND 2 kartus. Projekto pabaigoje (2 tyrimų etape) po tręšimo ištirtuose dirvožemiuose didžiausia (vidutiniškai 16,9 mg kg^{-1}) Ni koncentracija nustatyta želdinius tręšiant nuotekų dumblu kartu su pelenais (2.4.4.2 lentelė). Gautus rezultatus palyginus su projekto pradžioje nustatytais, padidėjimas buvo ženklus – 8,8 mg kg^{-1}. Tręšimas tik nuotekų dumblu taip pat didino šio sunkiojo elemento koncentraciją dirvožemio 0-20 cm sluoksnyje, pokytis buvo mažesnis ir siekė 4,9 mg kg^{-1}.

Varis (Cu), cinkas (Zn) ir gyvsidabris (Hg). Vertinant tyrimų rezultatus, išryškėjo tendencijos, kad tręšimas didino Cu ir Zn, o Hg tik iš dalies ir nežymiai, susikaupimą tirtuose dirvožemiuose. Tačiau svarbu tai, kad projekto dirvožemiuose nustatytos minėtų sunkiųjų metalų koncentracijos dėl tręšimo įtakos neviršijo DLK (didžiausios leistinos koncentracijos), kurias nurodo „Nuotekų dumblo naudojimo trešimui bei rekultivavimui reikalavimai“. Tirtų laukų dirvožemiuose tik Cu ir Zn koncentracijos viršijo foninio lygio ribas (FL), želdinius tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus. Dirvožemiuose nustatytos Hg koncentracijos daugumoje nesiekė FL (2.4.4.3 lentelė).

2.4.4.3 lentelė. Tręšimo įtaka vidutinėms vario (Cu), cinko (Zn) ir gyvsidabrio (Hg) koncentracijoms 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje

Dirvožemiai	Varis (Cu)			Cinkas (Zn)			Gyvsidabris (Hg)		
	koncentracija mg kg^{-1} dirvožemio								
	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±
FL*	6			19			0,08		
DLK**	50			160			0,5		
ND tręšti 1 kartą	6,9	9,2	2,3	27,2	29,4	2,2	0,05	0,06	0,01
ND tręšti 2 kartus	10,9	14,6	3,7	44,1	54,4	10,3	0,10	0,05	-0,05

Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas; * - koncentracijų foninis lygis (FL); ** - didžiausia leidžiama sunkiųjų metalų koncentracija dirvožemyje (DLK).

Laukuose, trumpos rotacijos želdinius ND tręšiant 2 kartus, projekto pradžioje (1 etape) tirtuose dirvožemiuose nustatytos kiek didesnės Cu, Zn ir Hg koncentracijos, nei ND tręšiant 1 kartą (2.4.4.3 lentelė). Po tręšimo, ND tręšiant tiek 1 kartą, tiek 2 kartus, kiek daugiau dirvožemiuose (2 tyrimo etape projekto pabaigoje) nustatyta Cu ir Zn. Hg pokyčiai dirvožemyje (ND tręšiant tiek 1 kartą) buvo minimalūs, lyginant su projekto pradžioje tirtais dirvožemiais – 0,01 mg kg^{-1} daugiau. Tačiau ND tręšiant 2 kartus, po tręšimo projekto pabaigoje ištirtuose dirvožemiuose fiksuotas ženklus Hg sumažėjimas – 0,05 mg kg^{-1}. Kaip matome, po tręšimo Cu ir Zn didesni pokyčiai fiksuoti laukuose, kur želdiniai tręšiami ND 2 kartus. Čia taip pat dirvožemiai pasižymėjo ir didesnėmis minėtų sunkiųjų elementų koncentracijomis nei 1 kartą tręšti.

Dėl *skirtingo tręšimo nuotekų dumblu bei nuotekų dumblu derinyje su medienos biokuro pelenais* įtakos vario (Cu) ir cinko (Zn) koncentracijos dirvožemyje didėjo, tik ne vienodais dėsningumais, o gyvsidabrio (Hg) priešingai – daugeliu atvejų po tręšimo dirvožemiuose nustatyta mažesnės koncentracijos (2.4.4.4 lentelė). Tačiau svarbu tai, kad dirvožemiuose nustatytos minėtų sunkiųjų metalų koncentracijos dėl skirtingo tręšimo įtakos neviršijo DLK (didžiausios leistinos koncentracijos), kurias nurodo „Nuotekų dumblo naudojimo trešimui bei rekultivavimui reikalavimai“. Tirtų laukų dirvožemiuose tik Cu ir Zn koncentracijos viršijo foninio lygio ribas (FL), želdinius tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus. Dirvožemiuose nustatytos Hg koncentracijos daugumoje nesiekė FL (2.4.4 lentelė).

ND tręšiant 1 kartą, dirvožemiuose projekto pabaigoje vario (Cu) koncentracijos nežymiai padidėjo juos tręšiant tik nuotekų dumblu ir pokytis lyginant su projekto pradžioje tirtais dirvožemiais siekė 1,1 mg kg^{-1} (2.4.4.4 lentelė). Tręšiant nuotekų dumblu derinyje su pelenais, po tręšimo tirtuose laukuose šio sunkiojo elemento nustatyta mažiau nei projekto pradžioje – 0,4 mg kg^{-1}. Priešingi rezultatai gauti laukuose, tręštuose ND 2 kartus. Projekto pabaigoje (2 tyrimų etape) po tręšimo ištirtuose dirvožemiuose didžiausia (vidutiniškai 15,0 mg kg^{-1}) Cu koncentracija nustatyta želdinius tręšiant nuotekų dumblu kartu su pelenais. Gautus rezultatus palyginus su projekto pradžioje nustatytais, padidėjimas buvo ženklus – 4,1 mg kg^{-1}. Tręšimas tik nuotekų dumblu taip pat didino šio sunkiojo elemento koncentraciją dirvožemio 0-20 cm sluoksnyje, pokytis buvo kiek mažesnis ir siekė 3,4 mg kg^{-1}. Taip pat tiek tręšiant nuotekų dumblu, tiek nuotekų dumblo deriniu su pelenais, didesnės Cu koncentracijos nustatytos laukuose, kur želdiniai ND tręšti 2 kartus. Šios tendencijos išryškėjo tiek pirmajame, tiek antrajame tyrimo etapuose.

Kaip rodo vidutiniai tyrimų rezultatai, po tręšimo (ND tręšiant 1 kartą), kiek ryškesni cinko (Zn) pokyčiai dirvožemyje fiksuoti želdinius tręšiant nuotekų dumblo ir pelenų deriniu, ir padidėjimas, lyginant su netręštais dirvožemiais projekto pradžioje, sudarė 6,8 mg kg^{-1} (2.4.4.4 lentelė). Tręšiant tik nuotekų dumblu, šio sunkiojo elemento padidėjimas buvo 3 kartus mažesnis – 2,1 mg kg^{-1}, o nustatyta koncentracija buvo nežymiai žemesnė. Tos pačios tendencijos nustatytos ir laukuose, tręštuose ND 2 kartus, tik koncentracijos ir skirtumai čia buvo didesni. Projekto pabaigoje (2 tyrimų etape) po tręšimo ištirtuose dirvožemiuose didžiausia (vidutiniškai 71,3 mg kg^{-1}) Zn koncentracija nustatyta taip pat želdinius tręšiant nuotekų dumblu kartu su pelenais. Gautus rezultatus palyginus su projekto pradžioje nustatytais, padidėjimas buvo ženklus – 20,4 mg kg^{-1}. Tręšimas tik nuotekų dumblu taip pat didino šio sunkiojo elemento koncentraciją dirvožemio 0-20 cm sluoksnyje, tačiau pokytis siekė tik 3,4 mg kg^{-1}.

Analizuojant gyvsidabrio Hg rezultatus, matyti, kad šio elemento dirvožemyje (ND tręštame 1 kartą) padaugėjo tik želdinius tręšiant nuotekų dumblo ir pelenų deriniu (2.4.4.4 lentelė). Gautus rezultatus palyginus su projekto pradžioje nustatytais, padidėjimas siekė 0,02 mg kg^{-1}. Tręšiant tik dumblu fiksuotas sumažėjimas – 0,01 mg kg^{-1}. Hg sumažėjimai (atitinkamai 0,03 ir 0,09) taip pat fiksuoti laukuose, kurie buvo tręšti tiek nuotekų dumblu, tiek nuotekų dumblo ir pelenų deriniu, dirvožemiuose tręštuose ND 2 kartus. Hg koncentracijų sumažėjimai dirvožemyje, gali būti siejami su galimu šio sunkiojo elemento kaupimusi želdinių biomasėje arba migracija į podirvį.

2.4.4.4 lentelė. Skirtingo tręšimo įtaka vario, cinko ir gyvsidabrio koncentracijoms 0–20 cm dirvožemio sluoksnyje

Variantai	**Varis (Cu)**			**Cinkas (Zn)**			**Gyvsidabris (Hg)**		
	koncentracija mg kg^{-1} dirvožemio								
	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±	I etapas	II etapas	Pokytis ±
FL*	6			19			0,08		
DLK**	50			160			0,5		
ND tręšti 1 kartą									
nuotekų dumblu	7,5	8,6	1,1	28,0	30,1	2,1	0,06	0,05	-0,01
nuotekų dumblu + pelenais	7,1	6,7	-0,4	25,6	32,4	6,8	0,03	0,05	0,02
ND tręšti 2 kartus									
nuotekų dumblu	10,9	14,3	3,4	39,5	42,9	3,4	0,08	0,05	-0,03
nuotekų dumblu + pelenais	10,9	15,0	4,1	50,9	71,3	20,4	0,14	0,05	-0,09

Pastaba: I etapas – dirvožemiai tirti projekto pradžioje 2018/2019; II etapas – dirvožemiai tirti projekto pabaigoje 2022/2023; ND – nuotekų dumblas; * - koncentracijų foninis lygis (FL); ** - didžiausia leidžiama sunkiųjų metalų koncentracija dirvožemyje (DLK).

Analizuojant gyvsidabrio Hg rezultatus, matyti, kad šio elemento dirvožemyje (ND tręštame 1 kartą) padaugėjo tik želdinius tręšiant nuotekų dumblo ir pelenų deriniu (2.4.4.4 lentelė). Gautus rezultatus palyginus su projekto pradžioje nustatytais, padidėjimas siekė 0,02 mg kg^{-1}. Tręšiant tik dumblu fiksuotas sumažėjimas – 0,01 mg kg^{-1}. Hg sumažėjimai (atitinkamai 0,03 ir 0,09) taip pat fiksuoti laukuose, kurie buvo tręšti tiek nuotekų dumblu, tiek nuotekų dumblo ir pelenų deriniu, dirvožemiuose tręštuose ND 2 kartus. Hg koncentracijų sumažėjimai dirvožemyje, gali būti siejami su galimu šio sunkiojo elemento kaupimusi želdinių biomasėje arba migracija į podirvį.

2.4 skyriaus IŠVADOS

1. Bendrai vertinant tręšimo įtaką **mineraliniam azotui (N_{min})** dirvožemyje, nustatyta, kad tręšimas buvo efektyvus, o ženklesnius pokyčius laukuose, tręštuose 2 kartus, lėmė sistemingas pakartotinas želdinių tręšimas daug organinių ir mineralinių medžiagų turinčiomis trąšomis ir tręšiamaisiais produktais kas 3 metus. Nuotekų dumblas buvo efektyvesnis dirvožemiuose tręštuose 1 kartą, o nuotekų dumblas derinyje su pelenais – tręštuose 2 kartus. Pokyčiai, palyginus su projekto pradžioje nustatytais kiekiais, siekė – atitinkamai 13,5 kg ha^{-1} ir 34,3 kg ha^{-1}. Šalia tręšimo ND derinyje su MBP, tikėtina, kad išliko ir pirmojo tręšimo ND (prieš projektą) efektyvumas, kai į dirvožemį kartu su šia organine atlieka buvo įterpti nemaži organinių medžiagų kiekiai ir papildė N_{min} atsargas tirtuose dirvožemiuose.
2. Tiek tręšimas nuotekų dumblu, tiek nuotekų dumblu derinyje su medienos biokuro pelenais neturėjo esminės įtakos dirvožemio **pH_{KCl}**, nes fiksuoti pokyčiai dirvožemyje minimalūs. Tręšiant tik nuotekų dumblu, dirvožemyje fiksuotas nežymus pH sumažėjimas (0,1), o tręšiant nuotekų dumblu derinyje su pelenais – dirvožemių pH išliko nepakitęs. Panašios tendencijos matomos tiek 1, tiek 2 kartus tręštuose laukuose. Todėl tikintis didesnio, kaip kalkinimo efekto, būtų tikslinga padidinti tręšimo medienos biokuro pelenais normą, nes kaip žinome pelenuose yra gausu mineralinių medžiagų tokių, kaip kalcio, magnio ir kalio, kurie teigiamai veikia dirvožemio pH pokyčius ir neutralizuoja rūgštesnę reakciją.
3. Bendrai vertinant tręšimo įtaką **judriajam fosforui (P_2O_5)** dirvožemyje, nustatyta, kad efektyvesnis jis buvo laukuose, tręštuose 2 kartus, dėl sistemingo pakartotino tręšimo šiomis daug mineralinių ir organinių medžiagų turinčiomis trąšomis (kas 3 metus). **Judriojo kalio (K_2O)** pokyčiai nebuvo tokie ryškūs, tačiau bendrai tręšimo tendencijos panašios. Vertinant skirtingo tręšimo įtaką, dėl nuotekų dumblo derinyje su medienos biokuro pelenais judriojo P_2O_5 ir judriojo K_2O susikaupė dirvožemiuose (tręštuose tiek 1, tiek 2 kartus) daugiau nei vien tik tręšiant nuotekų dumblu. Didesnius pokyčius įtakojo tai, kad P ir K į dirvožemį pateko ne tik su nuotekų dumblu, bet kartu su pelenais. Todėl naudojant dumblą ir pelenus derinyje, ne tik praturtinamas dirvožemis gausesniais organinių, bet kartu ir mineralinių medžiagų kiekiais.
4. **Judrieji kalcis (CaO)** ir **magnis (MgO)** dirvožemiuose dėl tręšimo taip pat tendencingai didėjo, tačiau efektyviau laukuose, tręštuose 1 kartą, ir pokyčiai buvo atitinkamai 2 ir 3 kartus didesni, lyginant su 2 kartus tręštais laukais. Šiuos pokyčius tikėtina įtakojo įvairūs aplinkos veiksniai, pačio dirvožemio savybės, išsiplovimo procesai ir organinių medžiagų mineralizacijos intensyvumas dirvožemyje, taip pat želdinių amžius ir didesnis jų poreikis šioms maisto medžiagoms. Vertinant skirtingo tręšimo įtaką, nuotekų dumblas buvo efektyvesnis judriųjų CaO ir MgO susikaupimui dirvožemiuose (tręštuose tiek 1, tiek 2 kartus), nei tręšiant nuotekų dumblu derinyje su pelenais. Be to, didesnės šių judriųjų elementų koncentracijos nustatytos laukuose tręštuose 2 kartus, o pokyčiai priešingai – 1 kartą tręštuose.
5. **Organinės anglies (C_{org}) koncentracijos ir jos sankaupų** pokyčiai skirtingos kilmės dirvožemiuose dėl tręšimo tendencingai didėjo, išskyrus mineralinės kilmės dirvožemius, tręštus 1 kartą. Didesnes koncentracijas ir sankaupas bei jų pokyčius sukaupė dirvožemiai, tręšti 2 kartus, nes tikėtina pasireiškė liekamasis pirmojo tręšimo ND efektas. Vertinant skirtingo tręšimo įtaką, dėl tręšimo nuotekų dumblu derinyje su medienos biokuro pelenais mineraliniuose dirvožemiuose susikaupė ne tik didesnės C_{org} koncentracijos ir jų sankaupos, bet ir nustatyti pokyčiai

dirvožemiuose buvo didesni nei vien tręšiant nuotekų dumblu. Šios tendencijos išryškėjo laukuose tręštuose tiek 1, tiek 2 kartus.

6. Sunkiųjų metalų – **kadmio (Cd), švino (Pb), chromo (Cr), nikelio (Ni), vario (Cu), cinko (Zn) ir gyvsidabrio (Hg)** – koncentracijos skirtingai tręštuose dirvožemiuose buvo linkusios didėti ir vertinant bendrai tręšimo įtaką, Pb, Cr, Ni, Cu, ir Zn buvo labiau linkę kauptis dirvožemiuose tręštuose 2 kartus, Hg – tręštuose 1 kartą, o Cd – pokyčiai minimalūs. Dėl tręšimo įtakos nei viename projekto lauke nustatytos sunkiųjų metalų koncentracijos neviršijo didžiausių leistinų koncentracijų (DLK), kurias nurodo „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimų aprašas“. Projekto pabaigoje (laukuose tręštuose 1 kartą) dėl tręšimo nuotekų dumblu dirvožemiuose daugiau susikaupė Ni ir Cu, o tręštuose nuotekų dumblu derinyje su medienos kuro pelenais – Cd, Pb, Cr, Zn ir Hg. Laukuose tręštuose 2 kartus, sunkieji metalai pasiskirstė kiek kitaip ir taip pat didėjo: dėl tręšimo nuotekų dumblu – Cd ir Pb, o dėl tręšimo nuotekų dumblo ir pelenų deriniu – Cr, Ni, Cu ir Zn. Hg buvo linkęs mažėti tręšiant tiek nuotekų dumblu, tiek jo ir pelenų deriniu, o sumažėjimai dirvožemyje gali būti siejami su galimu šio sunkiojo elemento kaupimusi želdinių biomasėje arba migracija į podirvį. Dėl skirtingo tręšimo įtakos sunkiųjų metalų koncentracijos daugumoje dirvožemių didėjo skirtingu intensyvumu, tačiau nustatytos minėtų sunkiųjų metalų koncentracijos daugumoje viršijo tik foninio lygio ribas (išskyrus Hg), želdinius tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus. Taigi nustatytos sunkiųjų metalų koncentracijos lyginant su DLK dirvožemyje, buvo nuo kelių iki keliolikos kartų mažesnės, todėl tarša sunkiaisiais metalais dėl skirtingo tręšimo nepasireiškė.
7. Tiek tręšimas nuotekų dumblu, tiek dumblu derinyje su medienos biokuro pelenais, teigiamai veikė mažesnio našumo dirvožemius, kurie buvo linkę kaupti daugiau organinės anglies, mineralinio azoto, bei kitų judriųjų maisto medžiagų, tačiau ne vienodu intensyvumu. Be to, dėl tręšimo apdorotu nuotekų dumblu bei kartu su medienos kuro pelenais, dirvožemiuose tarša sunkiaisiais metalais taip pat nepasireiškė. Todėl medienos kuro pelenų naudojimas rūgštokuose dirvožemiuose (balkšvažemiuose, išplautžemiuose) kaip kalkinimo priemonės yra ne tik tikslingas, bet naudingas ir rekomenduotinas, siekiant ne tik neutralizuoti rūgštesnę reakciją, kurioje dažnai padidėja sunkiųjų metalų judrumas, o taip pat praturtinti dirvožemius maisto medžiagomis ir užtikrinti jų derlingumo potencialą.

3. TYRIMŲ REZULTATAI. Ilgalaikė visapusė stebėsena

3.1.Dirvožemių cheminių rodiklių charakteristika ir vertinimas visapusės stebėsenos metu tiek nuotekų dumblu tręštose, tiek netręštose aikštelėse

Visapusės ilgalaikės stebėsenos metu (Vilniaus, Anykščių, Trakų r.) 24 monitoringo aikštelėse (tiek netręštose (kontrolinėse), tiek tręštose nuotekų dumblu) surinktuose dirvožemio ėminiuose buvo nustatyti šie dirvožemio cheminiai rodikliai: pH_{KCl}, organinė anglis (C_{org}), mineralinis azotas (N_{min}), judrioji siera (S_{min}), judrieji fosforas (P_2O_5), kalis (K_2O), kalcis (CaO) ir magnis (MgO), mikroelementai: boras – B, varis – Cu, manganas – Mn, cinkas – Zn, molibdenas – Mo, geležis – Fe), sunkieji metalai (kadmis – Cd, švinas – Pb, chromas – Cr, nikelis – Ni, varis – Cu, cinkas – Zn, arsenas (As), gyvsidabris – Hg), bendrieji makro- elementai (azotas – N, fosforas – P, kalis – K, siera – S) ir chloridai (Cl^-), elektrinis laidumas (EL), policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAA 15) ir polichlorbifenilai (PCB 6). Tyrimų rezultatai ir jų vertinimas pateikti 3.1.1–3.1.6 poskyriuose, kuriuose pateikiame dirvožemių cheminių rodiklių vidurkių pasiskirstymą pamečiui tiek nuotekų dumblu tręštose, tiek netręštose kontrolinėse aikštelėse (laukuose ND tręštuose tiek 1, tiek 2 kartus).

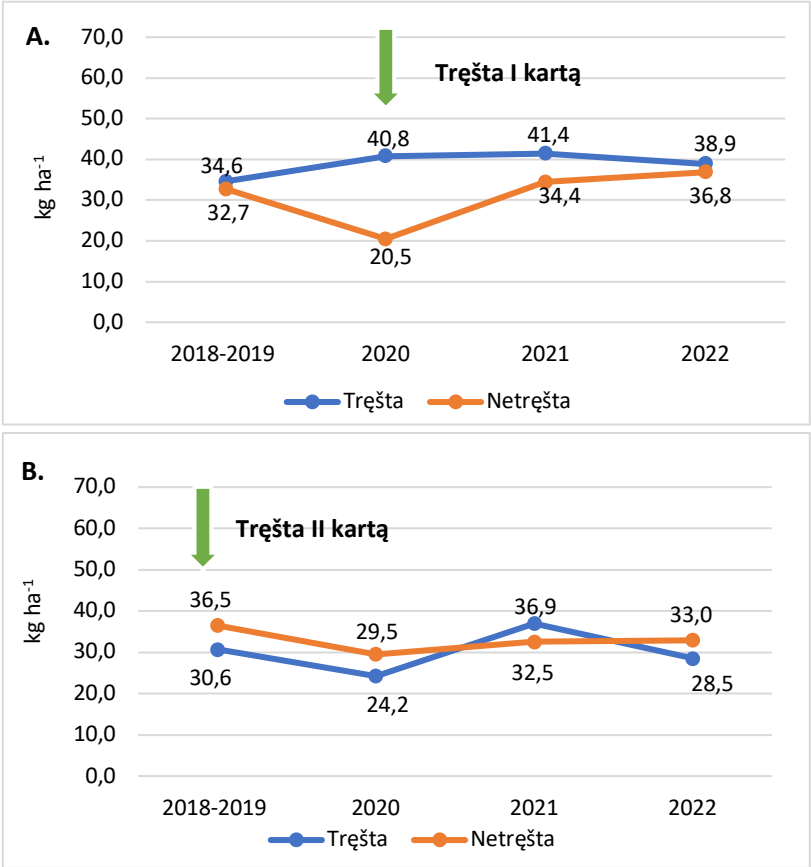
3.1.1 Mineralinis azotas (N_{min}), judrioji siera (S_{min}), organinė anglis (C_{org})

Mineralinis azotas (N_{min}). Mineralinio azoto kiekis dirvožemyje per metus pastebimai kinta priklausomai ne tik nuo augalų tręšimo organinėmis ir mineralinėmis trąšomis, klimatinių sąlygų, augančių augalų, dirvožemio genezės, bet nuo ir granuliometrinės sudėties bei dirvožemio azotingumo (Goulding et al., 2000; Mclay et al., 2001; Liu et al., 2005). Nuotekų dumblas yra viena iš veiksmingų priemonių, kuriuo dirvožemius galime ne tik pagausinti organinėmis medžiagomis, bet ir azotu, fosforu, siera, kalciu, magniu ir mikroelementais (Deviatkin et al., 2011; Diacono, Montemurro, 2011; Khan, Kaleem, 2017; Falayi, 2019; Cogger et al., 2004). Taigi iš su dumblu įterptų organinių medžiagų, esant intensyviai jų mineralizacijai, atsipalaiduoja nemaži kiekiai N_{min}, kuris labai svarbu želdinių biomasės augimui bei produktyvumui. Tačiau N_{min} labai greitai išsiplauna į gilesnius dirvožemio sluoksnius, nes jo didžiąją dalį sudaro nitratai, kurių dirvožemio sorbuojamasis kompleksas nesorbuoja ir jie būna pasiskirstę dirvožemio tirpale. To pasekoje gali būti teršiami gruntiniai ir paviršiniai vandenys. Taigi N_{min} tyrimai labai svarbūs ekologiniu atžvilgiu, nes įvertinamas ne tik augalų biomasei susiformuoti reikalingas azoto kiekis, bet ir augalų šaknų pasiekiamo azoto atsargos dirvožemyje.

Įvertinus dirvožemiuose N_{min} kiekius pagal jų vertinimo skalę (ž. r. 1.3.5 lentelė), matome, kad tiek tręštose, tiek netręštose stebėsenos aikštelėse (laukuose ND tręštuose 1 kartą) vyravo labai maži arba maži N_{min} kiekai (3.1.1.1 pav. A). Laukuose, kur želdiniai ND tręšti 2 kartus, nustatyti kiekiai buvo dar mažesni ir daugumoje kito labai mažų verčių grupės ribose, tiek kontrolinėse, tiek dumblu tręštose aikštelėse (3.1.1.1 pav. B).

Vertinant tręšimo įtaką mineralinio azoto (N_{min}) pokyčiams, nežymios didėjimo tendencijos išryškėjo tik laukuose, tręštuose ND 1 kartą. Minėtuose dirvožemiuose nustatyti N_{min} kiekiai buvo didesni ir apskaičiuotas skirtumas buvo vidutiniškai 7,8 kg ha^{-1} didesnis nei netręštose kontrolinėse aikštelėse. Tad nuotekų dumble esantis organinis azotas mineralizacijos metu transformavosi į N_{min} ir papildė pastarojo atsargas, lengvai prieinamas augalams. Priešingi rezultatai gauti laukuose

tręštuose ND 2 kartus, nustatyti N_{min} kiekiai buvo mažesni nei kontrolinėse aikštelėse ir skirtumas siekė 3,9 kg ha^{-1}.



3.1.1.1 pav. Mineralinio azoto (N_{min}) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

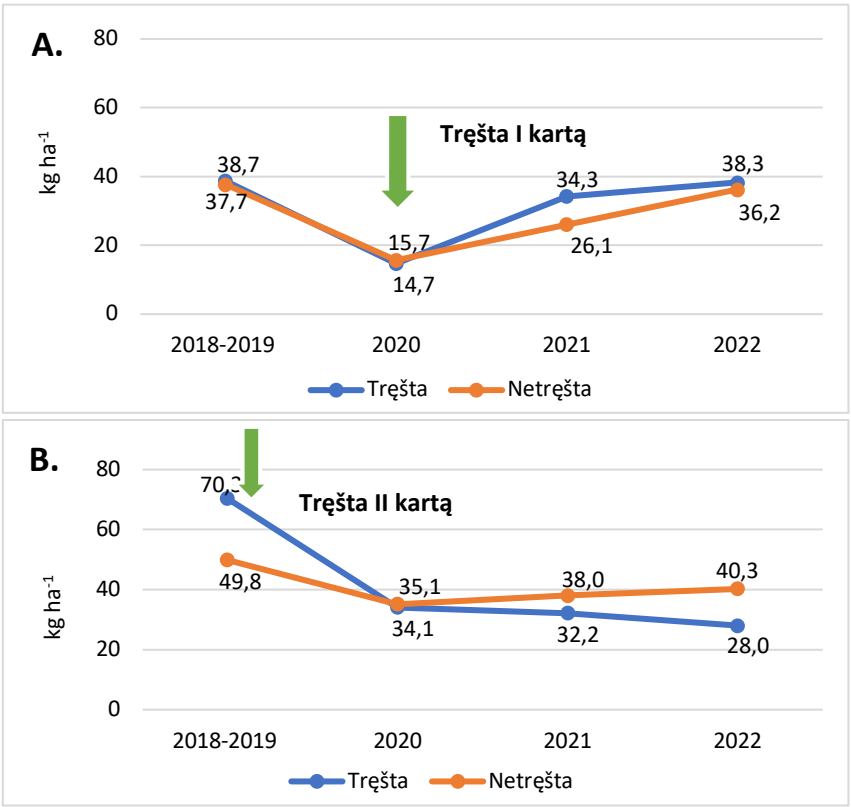
Kaip matome, tręšimo nuotekų dumblu įtaka buvo minimali šios judriosios maito medžiagos kaupimuisi, nes padidėjimas fiksuotas tik praėjus 1 arba 2 metams po ND įterpimo, o po to į tyrimų pabaigą vėl sumažėjo. Svarbu ir tai, kad N_{min} kiekius dirvožemyje dažnai stipriai įtakoja aplinkos veiksniai, ypač krituliai, kurie gali paskatinti N_{min} migruoti į gilesnius dirvožemio sluoksnius. Tačiau, šiuose laukuose augo 6–7 metų senumo drebulės, kurių poreikis tikėtina šiam judriajam elementui buvo didesnis nei 4–5 metų amžiaus tuopų. Apibendrinant galime teigti, kad nuotekų dumblas ne tik vertinga trąša papildanti dirvožemį azoto junginiais, bet ir naudoti saugi organinė atlieka, kuri visiškai nekelia grėsmės aplinkai, nes dumble esančios organinės medžiagos dirvožemyje veikiamos mineralizacijos procesų, palengva transformuojasi į mineralinius junginius, kurie palaipsniui papildo dirvožemio atsargas, naudojamas augančių želdinių.

Judrioji siera (S_{min}). Mineralinės sieros kiekis dirvožemyje ir atskirais metais, ir metų bėgyje kinta. Tam įtakos turi dirvožemyje vykstančios organinės medžiagos mineralizacijos intensyvumas, iškritusių kritulių kiekis, auginami augalai ir jų tręšimas organinėmis ar mineralinėmis trąšomis (Staugaitis, Vaišvila, 2019). Judrioji siera, kaip ir N_{min}, daugiausiai randama dirvožemio tirpale, rečiau – sorbuotų molių dalelėse. Taigi želdinių tręšimui naudodami nuotekų dumblą, mes į dirvožemį šalia organinių medžiagų ir pagrindinių makroelementų įterpiame ir nemažus organinės sieros

kiekius, kurių transformacija į mineralinę formą labai priklauso nuo organinių medžiagų mineralizacijos intensyvumo.

Projekto dirvožemiuose judrioji siera (S_{min}) kito platesnėse nustatytų reikšmių ribose: laukuose tręštuose ND 1 kartą šio elemento kiekai svyravo nuo mažų iki didelių, o tręštuose ND 2 kartus – nuo vidutinių iki labai didelių (3.1.1.2 pav. A ir B). Nuotekų dumblu netręštose kontrolinėse aikštelėse judrioji S_{min} pamečiui dirvožemiuose pasiskirstė pagal panašias tendencijas, tiek ND 1 kartą, tiek 2 kartus tręšiamuose laukuose. Staigesnis šio elemento sumažėjimas fiksuotas antraisiais (2020 m.) tyrimo metais ir tai sietina su intensyvesniu jos panaudojimu pačiu želdinių augimui. Vėlesniais tyrimo etapais judrioji S_{min} po truputį didėjo, tačiau nepasiekė tų kiekių, kurie buvo nustatyti tyrimo pradžioje.

Vertinant tręšimo įtaką judriosios sieros (S_{min}) pokyčiams, matyti, kad nežymios didėjimo tendencijos išryškėjo tik laukuose, tręštuose ND 1 kartą (3.1.1.2 pav. A). Minėtuose dirvožemiuose nustatyti judriosios S_{min} kiekiai buvo vidutiniškai 3 kg ha^{-1} didesni nei netręštose kontrolinėse aikštelėse. Kaip ir netręštose aikštelėse, antraisiais tyrimo metais (2020 m.) buvo fiksuotas staigus šio elemento dirvožemyje sumažėjimas, o praėjus metams po tręšimo ND vėl didėjo ir projekto pabaigoje buvo artimas pradžioje nustatytiems. Taigi tręšimas nuotekų dumblu buvo efektyvus, kaip ir tikėtasi, nors S_{min} pokyčius dirvožemyje lemia ne tik tręšimas, bet ir daugybė kitų veiksnių, pvz. organinių medžiagų mineralizacijos intensyvumas, iškritusių kritulių kiekis, išsiplovimas į gilesnius sluoksnius, mikrobiotos veikla ir kt.

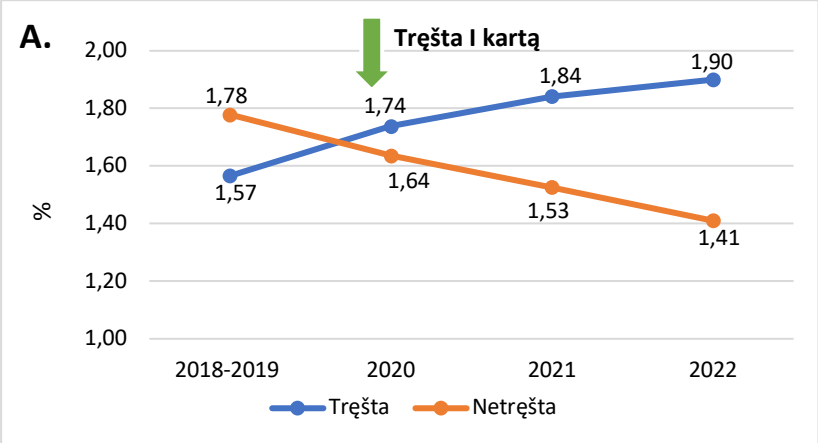


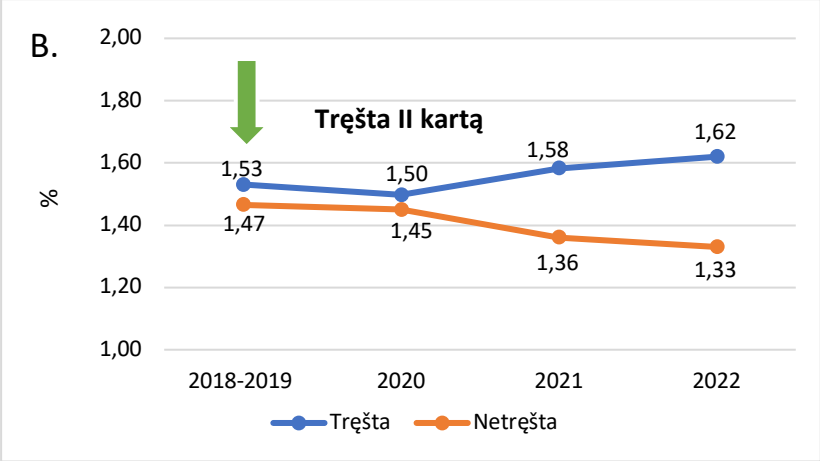
3.1.1.2 pav. Judriosios sieros (S_{min}) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

Laukuose tręštuose ND 2 kartus, S_{min} dirvožemyje tendencingai mažėjo ir nustatyti kiekiai buvo dar maželesni (3.1.1.2 pav. B). Minėtuose laukuose projekto pabaigoje S_{min} dirvožemyje sumažėjo beveik 2,5 karto lyginant su projekto pradžioje nustatytu vidutiniu kiekiu ir kaip matome tręšimas neturėjo jokios įtakos šio elemento kaupimuisi. Šiuos pokyčius galėjo įtakoti daugelis aukščiau paminėtų veiksnių, be to, šiuose laukuose augo 6–7 metų drebulės, kurių poreikis maisto medžiagoms yra didesnis nei 4–5 metų tuopų. Todėl galime daryti prielaidą, kad tiek tręštose, tiek netręštose aikštelėse esantis organinių medžiagų kiekis, negalėjo užtikrinti judriosios S_{min} ilgalaikių atsargų dirvožemyje.

Organinė anglis (C_{org}). Visapusės stebėsenos metu organinės anglies (C_{org}) koncentracija nuotekų dumblu netręštų aikštelių dirvožemiuose tendencingai mažėjo (3.1.1.3 pav. A ir B). Itin ryškiai šis procesas stebimas laukuose, kur tuopos ND buvo tręšiamos 1 kartą. Netręštuose dirvožemiuose C_{org} koncentracija per tyrimų laikotarpį (2018–2022 m.) sumažėjo 0,37 % vnt., o laukuose, kur želdiniai tręšiami ND 2 kartus, ne taip ženkliai – 0,14 % vnt. Taigi natūralu, kad dirvožemių nepapildant organinėmis medžiagomis, mažėjo jų atsargos, tame tarpe C_{org} ir kitos želdiniams reikalingos maisto medžiagos.

Vertinant tręšimo įtaką organinės anglies (C_{org}) pokyčiams, išryškėjo tendencijos, kad tręšimas nuotekų dumblu (ND) tendencingai didino C_{org} koncentracijas tirtuose dirvožemiuose (3.1.1.3 pav. A ir B), tačiau nevienodu intensyvumu. Ryškesni pokyčiai stebimi aikštelėse, kuriose tuopos ND buvo tręštos 1 kartą ir tyrimų pabaigoje C_{org} padidėjimas siekė vidutiniškai 0,33 % vnt., lyginant su tyrimų pradžioje (2018–2019 m.) nustatyta vidutine koncentracija (3.1.1.3 pav. A). Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose C_{org} koncentracijos buvo didesnės nei netręštuose – vidutiniškai 0,17 % vnt. daugiau.





3.1.1.3 pav. Organinės anglies (C_{org}) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

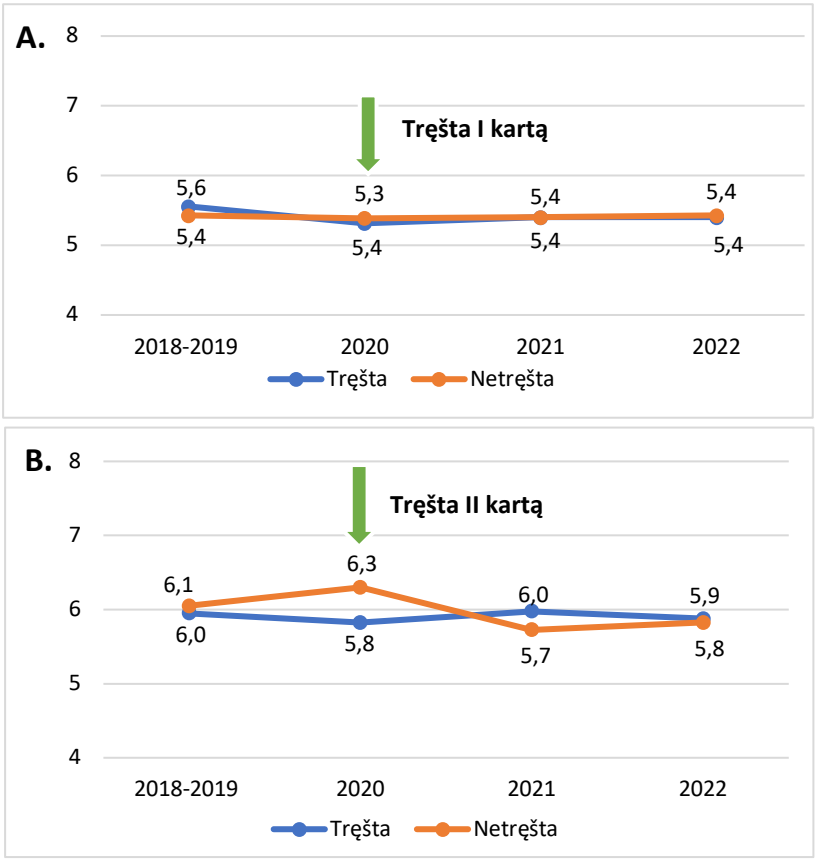
Aikštelėse, nuotekų dumblu tręštose 2 kartus, C_{org} koncentracijų pokyčiai ne tokie ryškūs. Analizuojant pamečiui sudarytas kreives, matyti, kad dėl tręšimo ND projekto eigoje C_{org} dirvožemiuose kito didėjimo linkme ir tyrimų pabaigoje nustatytas C_{org} koncentracijos padidėjimas siekė 0,09 % vnt. daugiau, lyginant su tyrimų pradžioje (2018–2019 m.) nustatyta koncentracija (3.1.1.3 pav. B). Pokytis nebuvo toks ryškus, lyginant su laukais, kur tuopos tręštos ND 1 kartą. Tačiau lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose C_{org} koncentracijos buvo didesnės nei netręštuose – vidutiniškai 0,14 % vnt. daugiau. Tai patvirtina, teiginį, kad dirvožemį papildant organinėmis medžiagomis jame tendencingai didėja C_{org} koncentracija. Šiuos nežymius C_{org} pokyčius dirvožemyje galėjo lemti intensyvesnė mikroorganizmų veikla ir spartesnė organinių medžiagų mineralizacija į mineralinius junginius, be to, C_{org} buvo linkusios kaupti ir pačios drebulės. Ne mažiau svarbu C_{org} kaupimuisi yra ir pačio dirvožemio fizikinės bei cheminės savybės bei aplinkos veiksniai.

3.1.2 Dirvožemio rūgštumas pH_{KCl}, judrusis fosforas (P_2O_5), judrusis kalis (K_2O), judrusis kalcis (CaO) ir judrusis magnis (MgO)

Dirvožemio rūgštumas pH_{KCl}. pH_{KCl} pokyčiai dirvožemiuose priklauso nuo įvairių sąlygų, įskaitant dirvožemio savybes ir mineralizacijos sąlygas, tręšimui naudojamo dumblo kokybę (chemines savybes) ir kiekį. Be galo svarbu veiksnys yra dumblo pH, į kurį reikėtų atsižvelgti naudojant dumblą dirvožemio pagerinimui ir praturtinimui maisto medžiagomis, nes jis turi įtakos ilgalaikei dirvožemio kokybei ir produktyvumui (Stevenson, 1994; Schoenau, 2005). Tyrimuose naudoto dumblo pH svyravo 7,1–7,6 ribose ir turėjo teigiamai įtakoti tręšti tirtų dirvožemių pH. Tačiau pasitaiko atvejų, kai tręšiant organinėmis trąšomis (įskaitant dumblą) dirvožemio pH pradeda mažėti ir sumažėjimus dirvožemyje lemia tai, kad organinėms medžiagoms skaidantis dirvožemyje susidaro ištirpę vandenilio jonai (H^+) ir CO_2, dėl kurio susidaro silpna rūgštis, vadinama anglies rūgštimi, ir kelios kitos organinės rūgštys, kurios gali nežymiai parūgštinti dirvožemius.

Kaip matome visapusės stebėsenos metu, tiek netręštų kontrolinių, tiek tręštų aikštelių dirvožemiai kito gana siaurame reikšmių intervale. Laukuose tręštuose ND 1 kartą, pH_{KCl} vertės

svyravo mažai rūgščių (5,1–5,5) ir rūgštokų (5,6–6,0) reikšmių ribose, o laukuose tręštuose 2 kartus – rūgštokų (5,6–6,0) ir artimos neutraliai (6,1–6,5) reakcijai ribose (3.1.2.1 pav. A ir B). Kaip matome, pastarieji dirvožemiai buvo mažiau rūgštūs, tačiau tam įtakos galėjo turėti ne tik tai, kad šie laukai jau prieš projekto pradžią (2016 m.) buvo tręšti ND, bet ir pačios dirvožemio prigimtinės savybės, tiksliau sakant karbonatingojo sluoksnio slūksojimo gylis.



3.1.2.1 pav. Dirvožemio pH_{KCl} pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

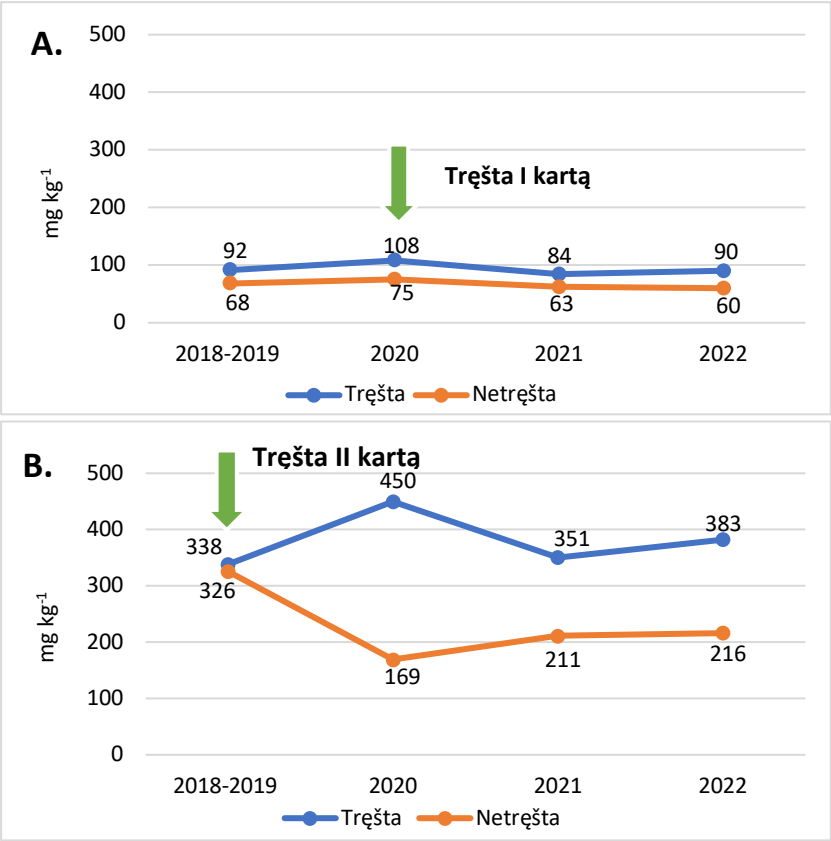
Vertinant tręšimo įtaką pH_{KCl} pokyčiams dirvožemyje, matyti, kad tręšti dirvožemiai buvo linkę nežymiai rūgštėti: laukuose ND tręštuose tiek 1 kartą, tiek 2 kartus, šis rodiklis sumažėjo 0,2 vnt. (3.1.2.1 pav. A ir B). Netręštose kontrolinėse aikštelėse pH taip pat buvo linkęs mažėti, ypač laukuose, kurie tręšiami ND 2 kartus. Todėl kyla abejonių, kad projekto laukuose želdinių tręšimui naudotas dumblas, kurio pH svyravo nuo 7,1 iki 7,6, galėjo kažkiek parūgštinti. Nežymus dirvožemių parūgštėjimas, tikėtina galėjo būti įtakotas ir pačių želdinių, nes medelių šaknys yra linkusios išskirti stiprias rūgštis, kurios tirpdo dirvožemio mineralus, todėl būtent dėl šios priežasties dirvožemiai ir galėjo parūgštėti.

Judrusis fosforas (P_2O_5). Kartu su nuotekų dumblu į dirvožemį patenka ne tik dideli organinių medžiagų, azoto, bet ir fosforo (P) kiekiai, kurie organinių medžiagų mineralizacijos metu pavirsta į judrius mineralinius junginius prieinamus augalams (Deviatkin et al., 2011; Falayi, 2019; Cogger et al., 2004), bet sieros (S) (Diacono, Montemurro, 2011) ir kai kurių mikrolementų (Khan, Kaleem, 2017).

Kaip matome visapusės stebėsenos metu, netręštų kontrolinių aikštelių dirvožemiai pasižymėjo gana skirtingomis judriojo P_2O_5 koncentracijomis ir pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę (1.3.2 lentelė) buvo, laukuose tręštuose ND 1 kartą, mažai fosforingos (3.1.2.2 pav. A), o tręšiamuose 2 kartus – kito nuo vidutinių iki didelių (3.1.2.2 pav. B). Kaip matome, ND 2 kartus tręšiamuose laukuose judriojo P_2O_5 pirminės foninės koncentracijos kontrolinių netręštų aikštelių dirvožemiuose buvo ženkliai didesnės nei laukuose tręšiamuose ND 1 kartą, ir tai tikėtina lėmė šių laukų tręšimas nuotekų dumblu 2016 m. Be to, Anykščių r. dirvožemiai turi kiek sunkesnės granuliometrinės sudėties podirvį, kuris dažniausiai turtingesnis šiuo makroelementu nei Vilniaus r. stebėsenos laukų aikštelėse esantys dirvožemiai su kiek lengvesniu podirviu. Nuotekų dumblu tręštose aikštelėse dirvožemiai kito nuo mažų iki vidutinių, juos tręšiant 1 kartą, o 2 kartus tręštuose judriojo P_2O_5 koncentracijos kito nuo didelių iki labai didelių (3.1.2.2 pav. A ir B).

Visapusės stebėsenos metu judriojo fosforo P_2O_5 koncentracijos nuotekų dumblu netręštų kontrolinių aikštelių dirvožemiuose kito dėsningai, tik su skirtingu intensyvumu. Tiek laukuose tręštuose ND 1, tiek 2 kartus, kontrolinėse aikštelėse jos mažėjo ir pokytis tyrimų pabaigoje buvo vidutiniškai 8 ir 100 mg kg^{-1} mažesnis, palyginus su projekto pradžioje nustatytomis vidutinėmis koncentracijomis (3.1.2.2 pav. A ir B). Fiksuoti pokyčiai yra tikėtini, nes želdiniai judrųjį P_2O_5 naudojo savo augimo procesams užtikrinti, ypač šaknų formavimosi ir augimo procesuose, todėl šio elemento atsargos dirvožemiuose, jų netręšiant buvo linkusios mažėti, nors laukuose tręšiamuose 2 kartus, tikėtina, esant palankioms organinių medžiagų mineralizacijos sąlygos dirvožemiuose netgi didėjo, tačiau nepasiekė pirminio lygio.

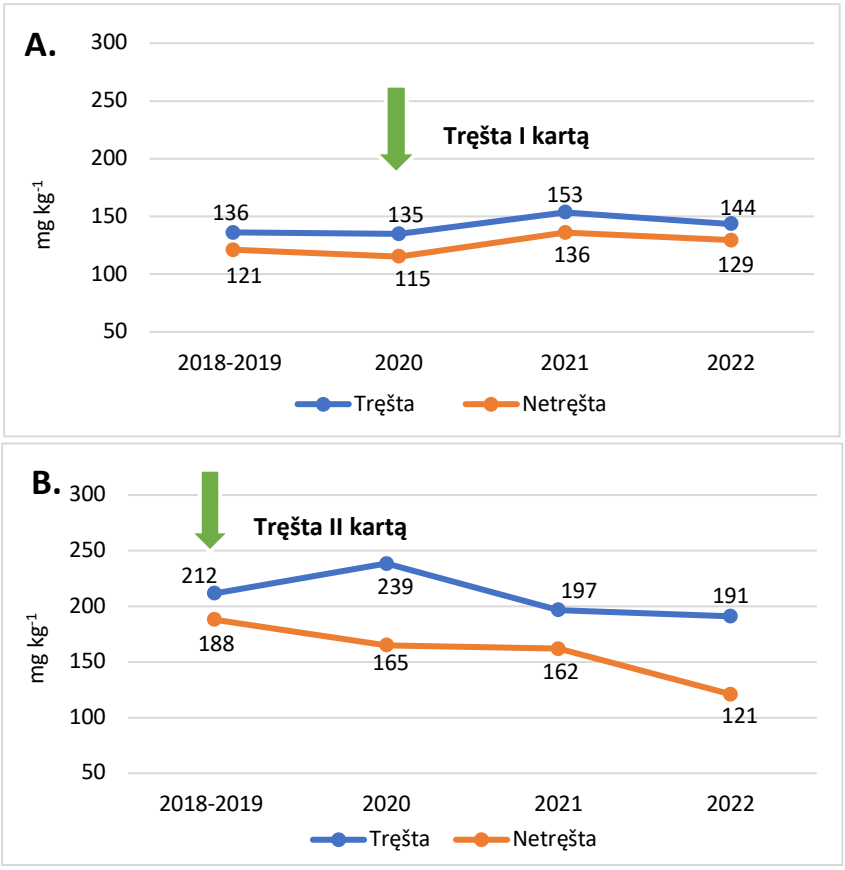
Vertinant tręšimo įtaką judriajam fosforui (P_2O_5), nustatyta, kad tręšimas nuotekų dumblu didino šio judriojo elemento susikaupimą dirvožemiuose, tačiau tik tręštuose ND 2 kartus. Laukuose tręštuose 1 kartą, dumblo efektyvumas neišryškėjo. Šiuos pokyčius galėjo lemti tiek pačio dirvožemio savybės ir organinių medžiagų mineralizacijos procesų intensyvumas, be to, ne mažus kiekius judriojo fosforo galėjo pasisavinti ir patys želdiniai. Bet kokiu atveju nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiai pasižymėjo didesnėmis judriojo P_2O_5 koncentracijomis nei netręštų (3.1.2.2 pav. A ir B), ir ypač ND 2 kartus tręštuose projekto laukuose. Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose judriojo P_2O_5 koncentracijos buvo didesnės nei netręštuose ir gauti vidutiniai skirtumai tarp minėtų aikštelių buvo: tręšiant ND 1 kartą – vidutiniškai 27 mg kg^{-1}, o tręšiant 2 kartus – 150 mg kg^{-1} didesni. Taigi reziumuojant, galima teigti, kad ilgalaikėje perspektyvoje nuotekų dumblas yra puiki organinė trąša, kuri užtikrina maisto medžiagų atsargų kaupimąsi dirvožemiuose ne tik organinėje formoje, bet ir mineralinėje.



3.1.2.2 pav. Judriojo fosforo (P_2O_5) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

Judrusis kalis (K_2O). Visapusės stebėsenos metu, netręštų kontrolinių aikštelių dirvožemiuose judriojo kalio (K_2O) koncentracijos kito gana plačiame intervale ir pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę (1.3.2 lentelė) buvo: laukuose tręštuose ND 1 kartą, vidutiniškai kalio turinčios (3.1.2.3 pav. A), o tręšiamuose 2 kartus – kito nuo vidutinių iki didelių (3.1.2.3 pav. B). Kaip matome, ND 2 kartus tręšiamuose laukuose judriojo K_2O pirminės foninės koncentracijos kontrolinių netręštų aikštelių dirvožemiuose buvo ženkliai didesnės nei laukuose tręšiamuose ND 1 kartą, ir tai lėmė šių laukų tręšimas nuotekų dumblu 2016 m. Be to, Anykščių r. dirvožemiai turi kiek sunkesnės granuliometrinės sudėties podirvį, kuris dažniausiai turtingesnis šiuo makroelementu nei Vilniaus r. stebėsenos laukų aikštelėse esantys dirvožemiai su kiek lengvesniu podirviu. Nuotekų dumblu tręštose aikštelėse dirvožemiai kito nuo vidutinių iki didelių, juos tręšiant 1 kartą, o 2 kartus tręštuose judriojo K_2O koncentracijos kito nuo didelių iki labai didelių (3.1.2.3 pav. A ir B).

Visapusės stebėsenos metu judriojo kalio K_2O koncentracijos nuotekų dumblu netręštų kontrolinių aikštelių dirvožemiuose kito ne visiškai dėsningai. Laukų tręšiamų ND 1, kontrolinėse aikštelėse šio judriojo elemento koncentracijos buvo linkusios kauptis ir pokytis tyrimų pabaigoje buvo vidutiniškai 8 mg kg^{-1} didesnis, palyginus su projekto pradžioje nustatytomis vidutinėmis koncentracijomis (3.1.2.3 pav. A ir B). Tačiau laukuose tręšiamuose 2 kartus, netręštose aikštelėse judriojo K_2O tendencingai mažėjo ir projekto pabaigoje jo nustatyta 67 mg kg^{-1} mažiau nei projekto pradžioje. Fiksuoti pokyčiai yra tikėtini, nes želdiniai judrųjį K_2O naudojo savo augimo procesams užtikrinti, todėl šio elemento atsargos dirvožemiuose, jų netręšiant, buvo linkusios mažėti.



3.1.2.3 pav. Judriojo kalio (K_2O) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

Vertinant tręšimo įtaką judriajam kaliui (K_2O), nustatyta, kad tręšimas nuotekų dumblu teigiamai įtakojo šio judriojo elemento kaupimąsi dirvožemiuose. Po dumblo nuotekų įterpimo, sekančiais metais tiek tręštuose 1 kartą, tiek 2 kartus dirvožemiuose judriojo K_2O koncentracija padidėjo, o vėlesniais metais jau buvo linkusi mažėti (3.1.2.3 pav. A ir B). Šiuos pokyčius galėjo lemti sulėtėjęs organinių medžiagų mineralizacijos procesų intensyvumas, taip pat ne mažus kiekius judriojo kalio galėjo pasisavinti ir patys želdiniai Be to, su nuotekų dumblu šio judriojo elemento pateko į dirvožemį ženkliai mažiau nei N ir P. Bet kokiu atveju nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiai pasižymėjo didesnėmis judriojo K_2O koncentracijomis nei netręštų (3.1.2.3 pav. A ir B), ir ypač ND 2 kartus tręštuose projekto laukuose. Lyginant pokyčius tarp minėtų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose judriojo K_2O koncentracijos buvo didesnės nei netręštuose ir gauti vidutiniai skirtumai tarp minėtų aikštelių buvo: tręšiant ND 1 kartą – vidutiniškai 17 mg kg^{-1}, o tręšiant 2 kartus – 51 mg kg^{-1} didesni. Apibendrinant, galima teigti, kad ilgalaikėje perspektyvoje nuotekų dumblas gali užtikrinti judriojo K_2O kaupimąsi dirvožemyje, ne tik organinėje formoje, bet ir augalams prieinamoje mineralinėje, nepaisant to, kad bendrojo K šioje organinėje trąšoje nėra tokie dideli kiekiai palyginus su azotu ir kaliu.

Judrusis kalcis (CaO). Visapusės stebėsenos metu, netręštų kontrolinių aikštelių dirvožemiuose judriojo kalcio (CaO) koncentracijos kito gana plačiame intervale ir pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę (1.3.3 lentelė) buvo: laukuose tręšiamuose ND 1 kartą, labai mažai ir mažai kalcio turinčios (3.1.2.4 pav. A), o tręšiamuose 2 kartus – kito nuo vidutinių iki didelių

(3.1.2.4 pav. B). Kaip matome, ND 2 kartus tręšiamuose laukuose judriojo CaO pirminės foninės koncentracijos kontrolinių netręštų aikštelių dirvožemiuose buvo ženkliai didesnės nei laukuose tręšiamuose ND 1 kartą, ir tai lėmė šių laukų tręšimas nuotekų dumblu 2016 m. Be to, Anykščių r. dirvožemiai turi kiek sunkesnės granuliometrinės sudėties podirvį, kuris dažniausiai turtingesnis šiuo makroelementu nei Vilniaus r. stebėsenos laukų aikštelėse esantys dirvožemiai su kiek lengvesniu podirviu. Taigi nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiuose judriojo CaO koncentracijos kito nuo mažų iki didelių, juos tręšiant 1 kartą, o 2 kartus tręštuose svyravo didelių reikšmių ribose (3.1.2.4 pav. A ir B).

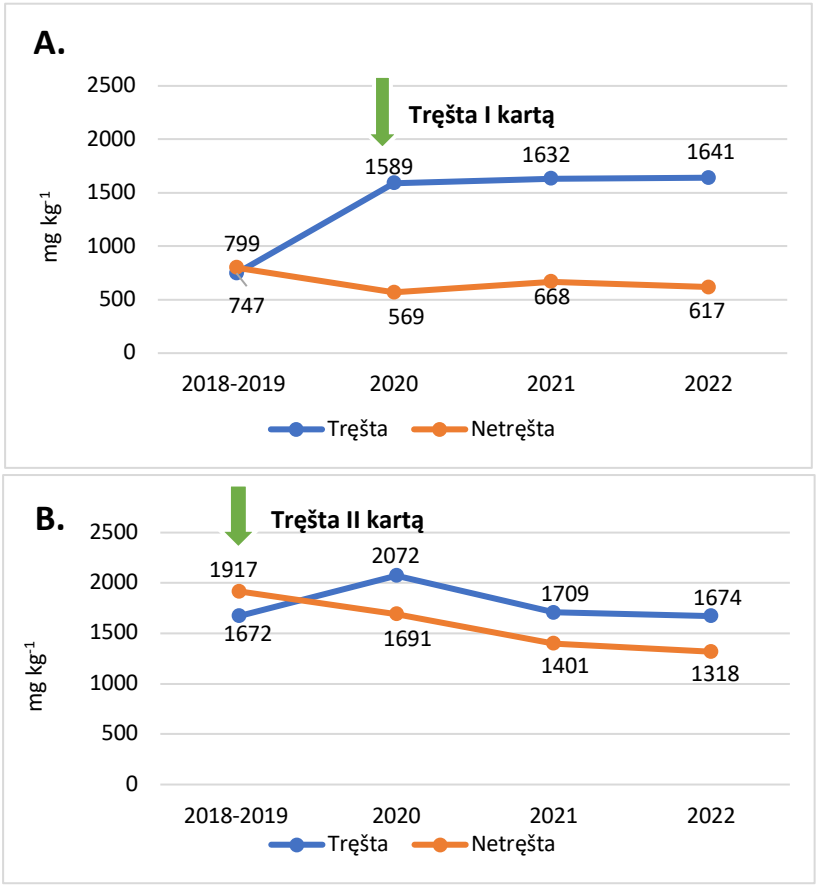
Visapusės stebėsenos metu judriojo CaO koncentracija nuotekų dumblu netręštų kontrolinių aikštelių dirvožemiuose tendencingai mažėjo, ypač ryškiai laukuose, kur drebulės ND tręštos 2 kartus atitinkamai – 599 mg kg^{-1} (3.1.2.4 pav. B). Netręštuose dirvožemiuose (laukuose ND tręštuose 1 kartą), judriojo CaO koncentracijos taip pat buvo linkusios mažėti, nors 2021 m. buvo fiksuotas šio elemento padidėjimas dirvožemyje, kurį galėjo įtakoti iš dirvožemio organinės dalies atsipalaidavęs didesnis Ca kiekis bei esantis mažesnis jo išsiplovimas į gilesnius sluoksnius.

Vertinant tręšimo įtaką judriojo kalcio (CaO) pokyčiams, išryškėjo tendencijos, kad tręšimas nuotekų dumblu (ND) didino judriojo CaO koncentracijas tirtuose dirvožemiuose (3.1.2.4 pav. A ir B). Ypač tai išryškėjo tyrimų aikštelėse, kuriose tuopos ND buvo tręštos 1 kartą ir tyrimų pabaigoje vis dar buvo fiksuotas ženklus judriojo CaO padidėjimas – atitinkamai 842 mg kg^{-1} daugiau, lyginant su tyrimų pradžioje (2018–2019 m.) nustatyta vidutine koncentracija (3.1.2.4 pav. A). Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose judriojo CaO koncentracijos buvo ženkliai didesnės nei netręštuose – vidutiniškai 765 mg kg^{-1} daugiau.

Nuotekų dumblu 2 kartus tręštose aikštelėse nustatytos panašios tendencijos. Kaip matome čia vyravo taip pat kiek didesnės judriojo CaO koncentracijos, nes drebulės prieš projekto pradžią (2016 m.) jau buvo vieną kartą tręštos ND, todėl ir tyrimų pradžioje šio elemento foninės koncentracijos buvo didesnės. Analizuojant judriojo CaO pokyčių kreives dėl tręšimo ND, matyti, kad tyrimų pabaigoje taip pat nustatytas judriojo CaO koncentracijos padidėjimas, tačiau labai minimalus – 2 mg kg^{-1} daugiau, lyginant su tyrimų pradžioje (2018–2019 m.) nustatyta koncentracija (3.1.2.4 pav. B). Pokytis nebuvo toks ženklus, kaip laukuose, kur tuopos tręšiamos ND 1 kartą. Šiuos pokyčius tikėtina įtakojo ne tik skirtingų dirvožemių ypatumai bei juose ne vienodu intensyvumu vykstantys organinių medžiagų mineralizacijos procesai, taip pat kasmet natūraliai vykstantis Ca išsiplovimas iš skirtingų dirvožemių, bet ir šiuose laukuose augančios 6-7 metų drebulės, kurių poreikis maisto medžiagoms buvo ženkliai didesnis ir jos savo augimui sunaudojo didesnius kiekius judriojo CaO nei 4-5 m. amžiaus tuopos augančios laukuose, tręštuose ND 1 kartą. Tačiau lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose judriojo CaO koncentracijos taip pat buvo ženkliai didesnės nei netręštuose – vidutiniškai 200 mg kg^{-1} daugiau, ir tai patvirtina, teiginį, kad Ca kasmet atsipalaiduodamas iš organinių medžiagų tendencingai papildė jo atsargas dirvožemyje, kurios dirvožemyje natūraliai mažėja dėl šio elemento išsiplovimo procesų bei sunaudojamas pačių želdinių augimui.

Apibendrinant galime teigti, kad tręšimas nuotekų dumblu teigiamai įtakojo judriojo CaO pokyčius dirvožemiuose ir tendencingai didino jo koncentracijas. Taip pat šio elemento pokyčiai priklausė nuo pačių dirvožemio savybių ir juose vykstančių organinių medžiagų susidarymo bei

mineralizacijos procesų intensyvumo, mikroorganizmų veiklos, želdinių amžiaus, medžiagų išsiplovimo intensyvumo, kuriuos lemia meteorologiniai veiksniai.



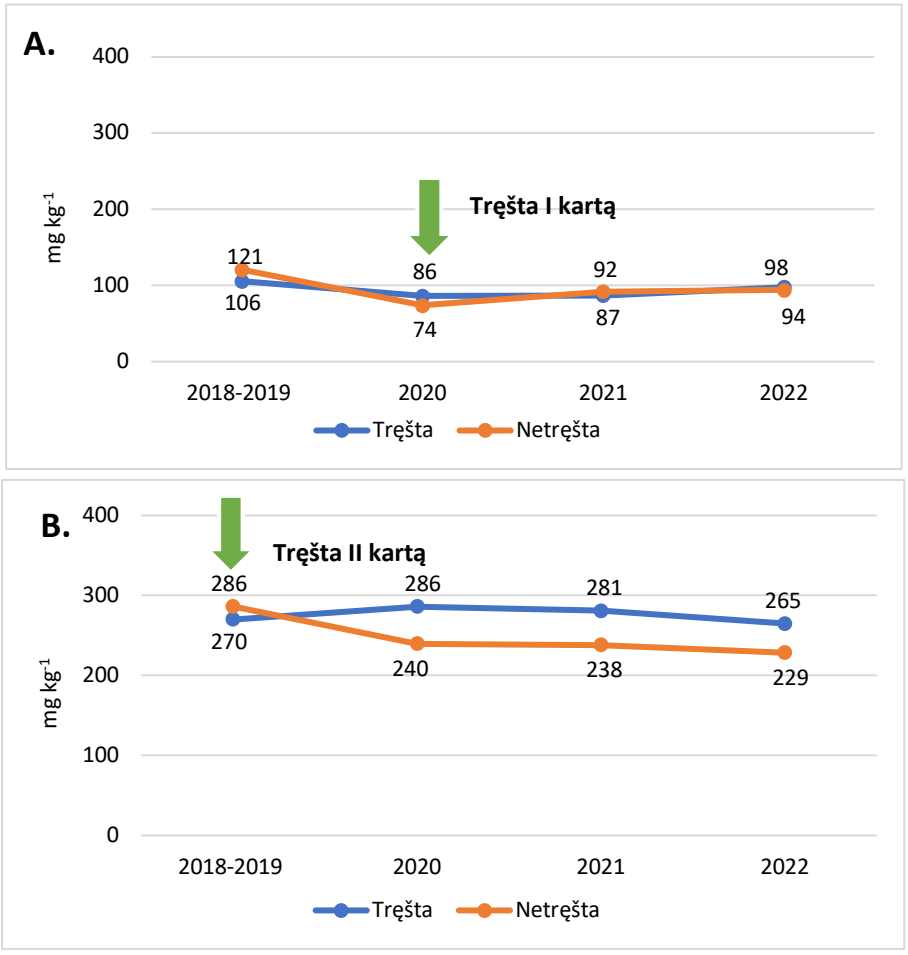
3.1.2.4 pav. Judriojo kalcio (CaO) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

Judrusis magnis (MgO). Visapusės stebėsenos metu, netręštų kontrolinių aikštelių dirvožemiuose judriojo magnio (CaO) koncentracijos, pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę (1.3.4 lentelė), kito nuo labai mažų iki mažų (3.1.2.5 pav. A) laukuose tręšiamuose ND 1 kartą, o tręšiamuose 2 kartus – kito nuo vidutinių iki didelių (3.1.2.5 pav. B). Kaip matome, ND 2 kartus tręšiamuose laukuose judriojo MgO pirminės foninės koncentracijos tiek kontrolinių netręštų, tiek tręštų aikštelių dirvožemiuose buvo ženkliai didesnės nei laukuose tręšiamuose ND 1 kartą, ir tai lėmė šių laukų tręšimas nuotekų dumblu 2016 m. Be to, Anykščių r. dirvožemiai turi kiek sunkesnės granuliometrinės sudėties podirvį, kuris dažniausiai turtingesnis šiuo makroelementu nei Vilniaus r. stebėsenos laukų aikštelėse esantys dirvožemiai su kiek lengvesniu podirviu. Taigi nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiuose judriojo MgO koncentracijos kito nuo labai mažų iki mažų, juos tręšiant 1 kartą, o 2 kartus tręštuose svyravo didelių reikšmių ribose (3.1.2.5 pav. A ir B).

Visapusės stebėsenos metu judriojo MgO koncentracija, kaip ir judriojo CaO, nuotekų dumblu netręštų kontrolinių aikštelių dirvožemiuose tendencingai mažėjo, tiek 1 kartą, tiek 2 kartus ND tręštų aikštelių dirvožemiuose (3.1.2.5 pav. A ir B). Ypač tai išryškėjo kontrolinėse tyrimų aikštelėse, kur laukai ND tręšiami 2 kartus, ir tyrimų pabaigoje buvo fiksuotas ženklus judriojo MgO sumažėjimas

– atitinkamai 57 mg kg^{-1} mažiau, lyginant su tyrimų pradžioje (2018–2019 m.) nustatyta koncentracija (3.1.2.5 pav. B).

Tręšimo įtaka nuotekų dumblu buvo minimali. Laukuose, tręštuose ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus, po dumblo įterpimo, judriojo MgO koncentracijos dirvožemiuose sekančiais metais (2020 m.) nežymiai didėjo, tačiau vėlesniais metais vėl tendencingai mažėjo ir nustatyti vidutiniai pokyčiai projekto pabaigoje buvo atitinkamai 12 ir 57 mg kg^{-1} mažesni, lyginant su tyrimų pradžioje nustatytomis koncentracijomis.



3.1.2.5 pav. Judriojo magnio (Mg) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

Visgi laukuose, tręštuose ND 2 kartus, tiek kontrolinėse, tiek tręštose aikštelėse, vyravo ženkliai didesnės judriojo MgO koncentracijos, nei ND tręštuose 1 kartą, nes drebulės prieš projekto pradžią (2016 m.) jau buvo vieną kartą tręštos ND, todėl ir tyrimų pradžioje šio judriojo elemento foninės koncentracijos buvo didesnės. Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, taip pat tik laukuose tręštuose ND 2 kartus, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, judriojo MgO koncentracijos buvo didesnės nei netręštuose dirvožemiuose – vidutiniškai 28 mg kg^{-1} daugiau. Apibendrinant rezultatus galime teigti, kad laukuose tręštuose 1 kartą, dumblo efektyvumas neišryškėjo, o tręštuose 2 kartus, taip pat nebuvo ryškus. Šiuos pokyčius galėjo lemti tiek pačio

dirvožemio savybės ir organinių medžiagų mineralizacijos procesų intensyvumas, be to, ne mažus kiekius judriojo MgO galėjo pasisavinti ir patys želdiniai, ypač 6-7 metų drebulės, kurių poreikis maisto medžiagoms buvo ženkliai didesnis nei 4-5 metų tuopų. Taip pat su nuotekų dumblu šio elemento įsinešė ženkliai mažesni kiekiai, nei kitų makroelementų, ir tai atsispindi gautuose tyrimų rezultatuose.

3.1.3 Mikroelementai (boras, varis, manganas, cinkas, molibdenas, geležis)

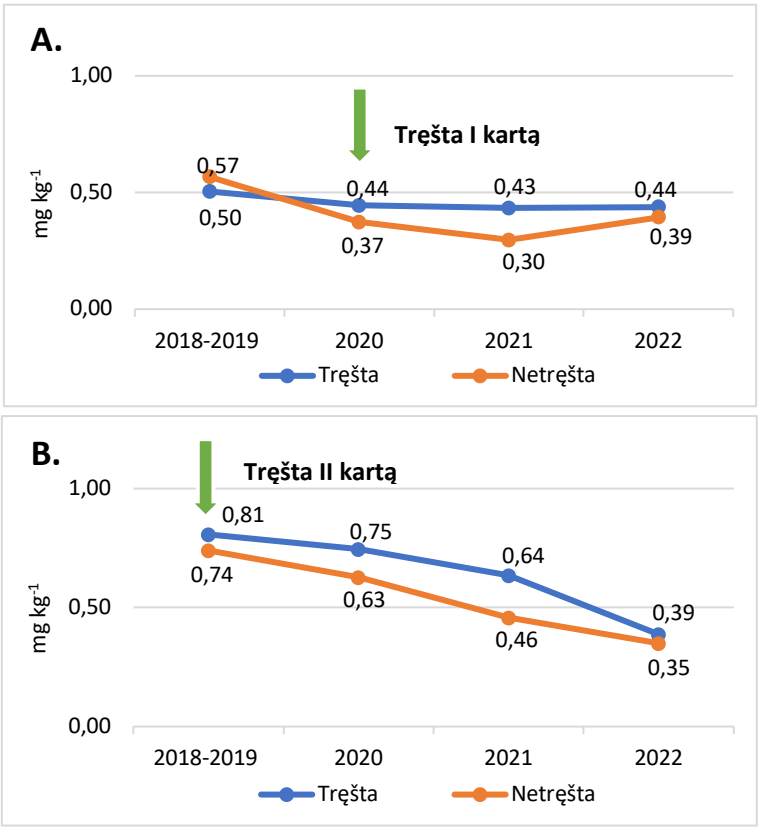
Svarbiausi mikroelementai, kurių reikia augalams, yra boras (B), cinkas (Zn), varis (Cu), manganas (Mn), geležis (Fe), molibdenas (Mo). Mikroelementų augalams reikia labai nedaug, tačiau jie yra būtini ir labai svarbu žinoti jų koncentracijas dirvožemyje. Kiekvienas mikroelementas atsakingas už tam tikrus augalo fiziologinius procesus ir negali būti pakeistas kitu elementu. Pavyzdžiui, boras reguliuoja ląstelių membranos pralaidumą, o tai tiesiogiai susiję su kitų mitybos elementų pasisavinimu, taip pat intensyvina angliavandenių (cukrų) sintezę ir transportavimą į kitas augalo dalis, dėl to augalai geriau peržiemoja. Varis, cinkas ir geležis atsakingi už energijos paskirstymą, t.y. angliavandenių transportavimą augale, o tai suaktyvina kitus augale vykstančius procesus ir maisto medžiagų pasisavinimą. Dalis mikroelementų (Cu, Mn, Zn, Fe) tiesiogiai dalyvauja fotosintezės procesuose, angliavandenių, riebalų ir baltymų sintezėje, fermentų veikloje ir kita. Mikroelementai ne tik suaktyvina augalų fiziologinius procesus, bet ir padeda pasisavinti kitus mitybos elementus. Azoto ir vario pasisavinimą suintensyvina optimalus molibdeno kiekis augale, amonio (NH_4) – varis, o nitratų (NO_3) pasisavinimą – manganas (Staugaitis, Vaišvila, 2019).

Mikroelementų kiekis dirvožemyje ir jų prieinamumas augalams priklauso nuo dirvožemio dirvodarinės uolienos, granuliometrinės sudėties, dirvožemio pH (rūgštumo arba šarmingumo), humuso koncentracijos, dirvožemio drėgmės ir aeracijos. Didžiąją dalį netirpių mikroelementų formų augalai negali pasisavinti, tačiau dirvožemyje vykstant įvairiems junginių transformacijos procesams, dalis mikroelementų iš bendrųjų atsargų ar netirpių formų pereina į augalų pasisavinamas. Mikroelementų reakcija į dirvožemio pH yra skirtinga, todėl augalams vieni elementai yra prieinami rūgščiuose dirvožemiuose, kiti – šarminiuose. Kai dirvožemyje mikroelementų yra mažai, jų trūkumą galima papildyti organinėmis trąšomis tame tarpe nuotekų dumblu, kuriuo ir buvo tręštos tuopos bei drebulės.

Judrusis boras (B). Judriojo B dirvožemyje dažniausiai randama 0,02–2 mg kg^{-1}. Mažai jo turi lengvos granuliometrinės sudėties ir mažai humusingi dirvožemiai, nes vandenyje tirpus boras dirvožemio dalelių yra silpnai fiksuojamas ir greitai išplaunamas. Daugelio rūšių augalams judriojo B pakanka, kai jo koncentracija dirvožemyje yra didesnė nei 0,6 mg kg^{-1}. Dirvožemio pH esant apie 6,5, judriojo boro daugelyje dirvožemių nustatoma daugiausiai. Judriojo B didesnės nei 5 mg kg^{-1} koncentracijos dirvožemyje, yra augalams toksiškos (Staugaitis, Vaišvila, 2019).

Kaip matome visapusės stebėsenos metu, netręštų aikštelių dirvožemiai pasižymėjo ne itin mažomis judriojo B koncentracijomis ir pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę (1.3.8 lentelė) kito laukuose tręštuose ND 1 kartą nuo mažų iki vidutinių (3.1.3.1 pav. A) bei tręšiamuose 2 kartus – nuo vidutinių iki didelių (3.1.3.1 pav. B). Nuotekų dumblu tręštose aikštelėse dirvožemiai buvo vidutiniškai boringi ir svyravo toje pačioje vertinimo grupėje, juos tręšiant 1 kartą, o 2 kartus tręštuose kito taip pat nuo vidutinių iki didelių.

Visapusės stebėsenos metu judriojo boro (B) koncentracija nuotekų dumblu netręštų kontrolinių aikštelių dirvožemiuose tendencingai mažėjo, tiek laukuose tręštuose ND 1 kartą, tiek 2 kartus, ir projekto pabaigoje netręštuose dirvožemiuose sumažėjimas atitinkamai siekė 0,18 ir 0,39 mg kg^{-1}, palyginus su projekto pradžioje nustatyta vidutine koncentracija (3.1.3.1 pav. A ir B). Fiksuoti sumažėjimai yra tikėtini, nes želdiniai borą naudojo savo augimo procesams užtikrinti, todėl šio elemento atsargos dirvožemiuose, jų netręšiant, seko.



3.1.3.1 pav. Judriojo boro (B) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

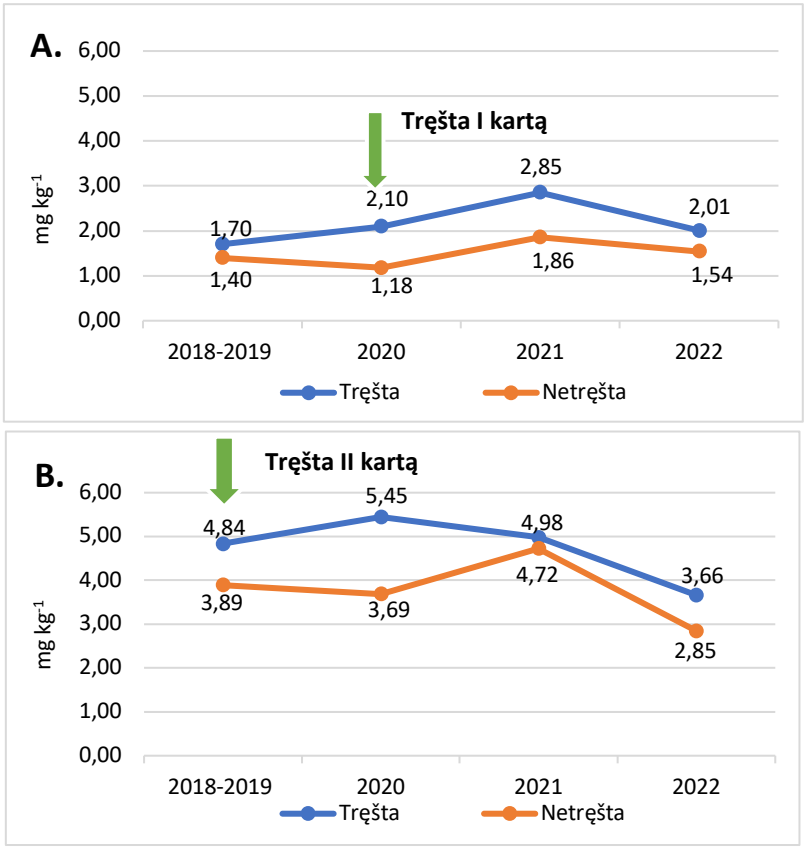
Vertinant tręšimo įtaką judriajam borui (B), nustatyta, kad nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiai pasižymėjo didesnėmis B koncentracijomis nei netręštų (3.1.3.1 pav. A ir B). Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose judriojo B koncentracijos buvo didesnės nei netręštuose ir gauti skirtumai tarp minėtų aikštelių buvo: tręšiant ND 1 kartą – vidutiniškai 0,05 mg kg^{-1}, o tręšiant 2 kartus – 0,10 mg kg^{-1} daugiau. Tačiau pamečiui analizuojant sudarytas koncentracijos kitimo kreives, matyti, kad tręštose stebėsenos aikštelėse (tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus) po dumblo įterpimo praėjus atitinkamam laikui judriojo boro koncentracijos tendencingai mažėjo, kaip ir netręštose aikštelėse, ir projekto pabaigoje dirvožemiuose jo susikaupė mažiau lyginant su projekto pradžioje nustatytomis koncentracijomis: atitinkamai – 0,06 ir 0,42 mg kg^{-1}. Todėl galima daryti prielaidą, kad šio mikroelemento su dumblu pateko į dirvožemį nepakankamai arba dėl nepalankių aplinkos veiksnių jis dirvožemyje liko organinėse medžiagose, kurios augalams yra neprieinama.

Judrusis varis (Cu). Daugiau judriojo vario (Cu) yra sunkesnės granuliometrinės sudėties, daugiau organinių medžiagų ir sorbuotų bazių turinčiuose dirvožemiuose, mažiau jo turi durpiniai dirvožemiai. Vario judrumą lemia dirvožemio tipologinė grupė, granuliometrinė sudėtis, pH ir humuso koncentracija. Judriausias varis yra smėlio ir priesmėlio dirvožemiuose, mažiau judrus – sunkiuose priemoliuose. Rūgščiuose dirvožemiuose jo tirpumas ir pasiekiamumas augalams būna didesnis nei neutraliuose ir silpnai šarminiuose. Daugelio rūšių augalams dirvožemyje judriojo vario pakanka, kai jo koncentracija yra 3 mg kg^{-1}. Didelė vario koncentracija augalus gali veikti toksiškai. Tai pasireiškia vidutiniškai ir labai rūgščiuose dirvožemiuose. Vario trūkumą gali išryškinti žema dirvožemio temperatūra, mažas kritulių kiekis ir pernelyg intensyvus kalkinimas (Staugaitis, Vaišvila, 2019).

Kaip matome visapusės stebėsenos metu, netręštų aikštelių dirvožemiai pasižymėjo gana skirtingomis judriojo Cu koncentracijomis ir pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę (1.3.8 lentelė) kito, laukuose tręštuose ND 1 kartą, nuo mažų iki vidutinių (3.1.3.2 pav. A), o tręšiamuose 2 kartus – nuo vidutinių iki didelių (3.1.3.2 pav. B). Kaip matome, ND 2 kartus tręšiamuose laukuose judriojo Cu pirminės foninės koncentracijos kontrolinių netręštų aikštelių dirvožemiuose buvo ženkliai didesnės nei laukuose tręšiamuose ND 1 kartą, ir tai tikėtina lėmė šių laukų tręšimas nuotekų dumblu 2016 m. Be to, Anykščių r. dirvožemiai turi kiek sunkesnės granuliometrinės sudėties podirvį, kuris dažniausiai turtingesnis mikroelementais nei Vilniaus r. stebėsenos laukų aikštelėse esantys dirvožemiai su kiek lengvesniu podirviu. Nuotekų dumblu tręštose aikštelėse dirvožemiai buvo vidutiniškai vario turintys ir svyravo toje pačioje vertinimo grupėje, juos tręšiant 1 kartą, o 2 kartus tręštuose judriojo Cu koncentracijos kito nuo didelių iki labai didelių (3.1.3.2 pav. A ir B).

Visapusės stebėsenos metu judriojo vario (Cu) koncentracijos nuotekų dumblu netręštų kontrolinių aikštelių dirvožemiuose kito ne visiškai dėsningai: ND 1 kartą tręšiamuose laukuose, jos didėjo ir pokytis tyrimų pabaigoje sudarė vidutiniškai 0,14 mg kg^{-1} daugiau palyginus su projekto pradžioje nustatyta vidutine koncentracija; ND 2 kartus tręšiamuose laukuose, tyrimo pabaigoje taip pat fiksuotas padidėjimas, tik ženklus – vidutiniškai 1,04 mg kg^{-1} (3.1.3.2 pav. A ir B). Fiksuoti pokyčiai yra tikėtini, nes želdiniai varį naudojo savo augimo procesams užtikrinti, todėl šio elemento atsargos dirvožemiuose, jų netręšiant, tam tikrais metais mažėjo, o kai kuriais metais, esant palankioms organinių medžiagų mineralizacijos sąlygos dirvožemiuose net gi didėjo.

Vertinant tręšimo įtaką judriajam variui (Cu), nustatyta, kad nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiai pasižymėjo didesnėmis Cu koncentracijomis nei netręštų (3.1.3.2 pav. A ir B). Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose judriojo Cu koncentracijos buvo didesnės nei netręštuose ir gauti skirtumai tarp minėtų aikštelių buvo: tręšiant ND 1 kartą – vidutiniškai 0,67 mg kg^{-1}, o tręšiant 2 kartus – 0,94 mg kg^{-1} didesni.



3.1.3.2 pav. Judriojo vario (Cu) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

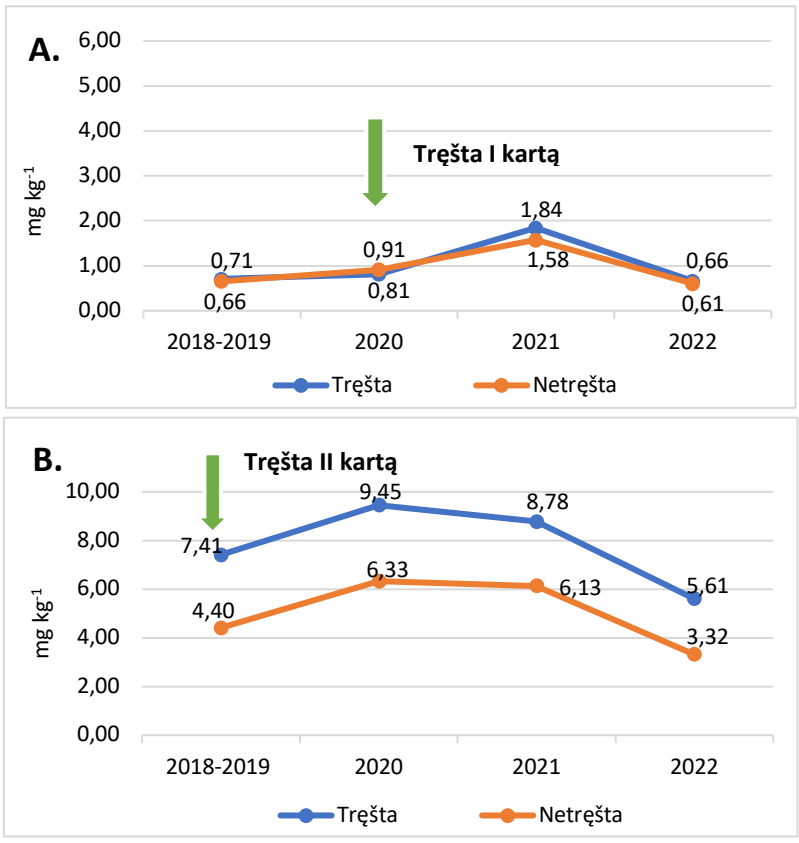
Pamečiui analizuojant sudarytas koncentracijos kitimo kreives, matyti, kad tręštose stebėsenos aikštelėse (tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus) judriojo Cu koncentracijos tendencingai didėjo, o po dumblo įterpimo praėjus atitinkamam laikui, pradėjo mažėti, kaip ir netręštose aikštelėse. Taigi projekto pabaigoje dirvožemiuose šio mikroelemento susikaupė daugiau, lyginant su projekto pradžioje nustatytomis koncentracijomis, tik ND 1 kartą tręštuose dirvožemiuose – 0,31 mg kg^{-1} daugiau (3.1.4.3 pav. A ir B). Priešingi rezultatai gauti laukuose tręštuose 2 kartus ir projekto pabaigoje judriojo Cu koncentracija buvo mažesnė 1,18 mg kg^{-1}. Todėl galima daryti prielaidą, kad šio mikroelemento su dumblu pateko į dirvožemį nepakankamai arba dėl nepalankių aplinkos veiksnių jis dirvožemyje liko organinėje formoje, kuri augalams yra neprieinama. Be to, nemažus kiekius šio mikroelemento želdiniai sunaudojo augimo funkcijos užtikrinti, todėl natūralu, kad buvo fiksuotas judriojo Cu sumažėjimas projekto pabaigoje tirtuose dirvožemiuose.

Judrusis cinkas (Zn). Judriojo Zn dirvožemyje randama 0,1–10 mg kg^{-1} dirvožemio. Daugiau judriojo cinko yra rūgščiuose humusinguose, taip pat sunkesnės granuliometrinės sudėties dirvožemiuose. Kadangi kalcis mažina cinko judrumą, šio mikroelemento dažniau trūksta neutraliuose bei silpnai šarminiuose ir neseniai kalkintuose dirvožemiuose, kuriuose dalis judriojo cinko pereina į mažai tirpius junginius. Judriojo cinko įsisavinimą mažina dirvožemyje esanti didelė judriojo fosforo koncentracija. Daugelio rūšių augalams judriojo Zn pakanka, kai jo koncentracija dirvožemyje yra daugiau 2 mg kg^{-1} (Staugaitis, Vaišvila, 2019).

Visapusės stebėsenos metu, netręštų kontrolinių aikštelių dirvožemiai pasižymėjo gana skirtingomis judriojo Zn koncentracijomis ir pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę

(1.3.8 lentelė) kito, laukuose tręštuose ND 1 kartą, nuo mažų iki vidutinių (3.1.3.3 pav. A), o tręšiamuose 2 kartus – nuo didelių iki labai didelių (3.1.3.3 pav. B). Kaip matome ND 2 kartus tręšiamuose laukuose, judriojo Zn pirminės foninės koncentracijos buvo ženkliai didesnės nei laukuose tręšiamuose ND 1 kartą, ir tai lėmė šių laukų tręšimas pirmą kartą nuotekų dumblu 2016 m. Nuotekų dumblu tręštose aikštelėse judrusis Zn kito nuo mažai iki vidutiniškai šio elemento turinčių dirvožemių, juos tręšiant ND 1 kartą, o laukuose, tręšiamuose 2 kartus, svyravo labai daug judriojo Zn turinčių dirvožemių grupėje.

Visapusės stebėsenos metu judriojo cinko (Zn) koncentracijos nuotekų dumblu netręštų kontrolinių aikštelių dirvožemiuose kito gana dėsningai, tik skirtingu intensyvumu. Tiek ND 1 kartą, tiek 2 kartus tręšiamuose laukuose, iš pradžių judriojo Zn koncentracijos didėjo, o projekto pabaigoje fiksuotas sumažėjimas ir vidutinis pokytis sudarė atitinkamai 0,05 ir 1,08 mg kg^{-1} mažiau, palyginus su projekto pradžioje nustatytomis vidutinėmis šio mikroelemento koncentracijomis (3.1.3.3 pav. A ir B). Kaip matome tiek Anykščių (ND laukai tręšiami 1 kartą), tiek Vilniaus r. (ND tręšiami 2 kartus) esančiuose laukuose, kuriuose įrengtos stebėsenos aikštelės, netręštuose kontroliniuose dirvožemiuose gana intensyviai vyko juose esančių organinių medžiagų mineralizacijos procesai, kurie ir lėmė judriojo Zn koncentracijos augimą. Tačiau paskutiniais tyrimo metais vėl pradėjo mažėti, nes želdiniai (tuopos ir drebulės) judrųjį Zn naudojo augimui ir vystymuisi.



3.1.3.3 pav. Judriojo cinko (Zn) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

Vertinant tręšimo įtaką judriajam cinkui (Zn), daugumoje nustatyta, kad nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiai pasižymėjo didesnėmis judriojo Zn koncentracijomis nei netręštų (3.1.3.3 pav. A ir B). Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose judriojo Zn koncentracijos buvo didesnės nei netręštuose ir gauti skirtumai tarp minėtų aikštelių buvo: tręšiant ND 1 kartą – vidutiniškai 0,07 mg kg^{-1}, o tręšiant 2 kartus – net 2,77 mg kg^{-1} daugiau.

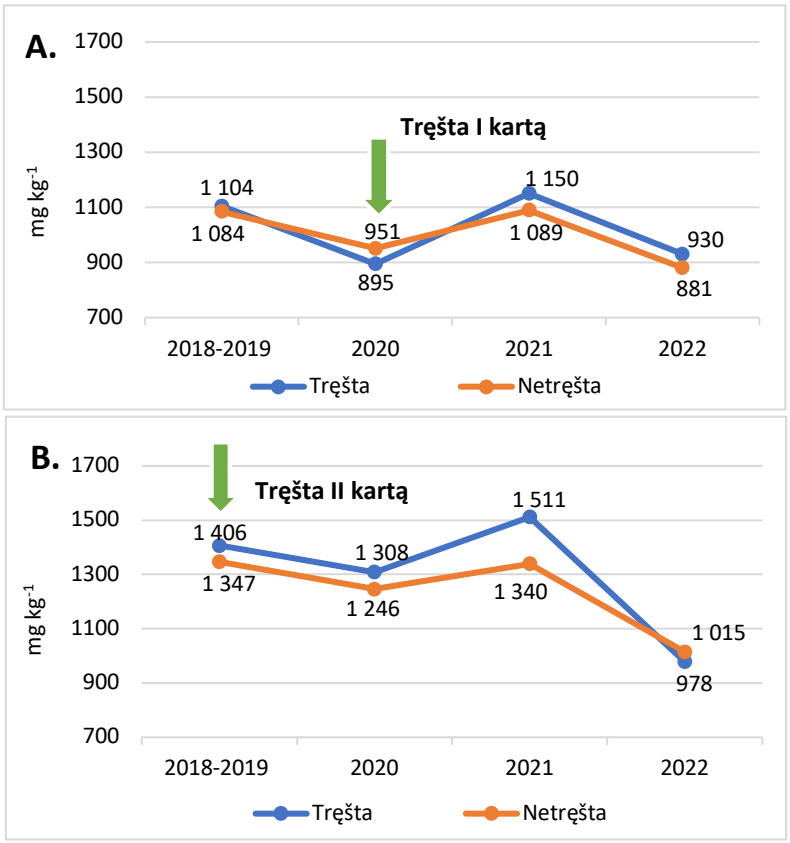
Pamečiui analizuojant sudarytas koncentracijos kitimo kreives, matyti, kad tręštose stebėsenos aikštelėse (tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus) judriojo Zn koncentracijos tendencingai didėjo, o po dumblo įterpimo praėjus atitinkamam laikui, pradėjo mažėti, kaip ir netręštose kontrolinėse aikštelėse. Projekto pabaigoje tręštuose laukuose nustatytos judriojo Zn koncentracijos buvo mažesnės, tiek ND 1 kartą, tiek 2 kartus tręštuose laukuose, ir pokytis lyginant su projekto pradžioje nustatytomis koncentracijomis atitinkamai sudarė vidutiniškai 0,05 ir 1,80 mg kg^{-1}. Todėl galima daryti prielaidą, kad laukuose ND tręštuose 1 kartą, judriojo Zn su dumblu pateko į dirvožemį nepakankamai, be to, nemažus kiekius šio mikroelemento želdiniai sunaudojo augimo funkcijos užtikrinti, todėl natūralu, kad dirvožemyje jo atsargos po truputį mažėjo.

Judrioji geležis (Fe). Judriosios geležies šalies dirvožemiuose yra pakankamai, tačiau jos trūkumas augalams atsiranda dažniausiai tuomet, kai dirvožemiai yra šarmiški – pH_{KCl} 7,1–8,5. Geležies trūkumą gali sukelti ir disbalansas su kitais metalais, ypač su variu, manganu ir molibdenu. Didelis judriosios Fe kiekis dirvožemyje gali blokuoti kitų mikroelementų (mangano, cinko, vario) įsisavinimą (Staugaitis, Vaišvila, 2019).

Kaip matome visapusės stebėsenos metu, netręštų (kontrolinių) aikštelių dirvožemiai pasižymėjo ne itin mažomis judriosios Fe koncentracijomis ir pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę (1.3.8 lentelė) kito, laukuose tręštuose tiek ND 1 kartą, tiek 2 kartus, vidutinių ir didelių koncentracijų ribose (3.1.3.4 pav. A ir B). Nuotekų dumblu tręštose aikštelėse dirvožemiai buvo vidutiniškai judriosios Fe turintys ir svyravo toje pačioje vertinimo grupėje, juos tręšiant ND 1 kartą, o 2 kartus tręštuose – šio mikroelemento koncentracijos kito nuo vidutinių iki didelių.

Visapusės stebėsenos metu judriosios geležies (Fe) koncentracijos nuotekų dumblu netręštų kontrolinių aikštelių dirvožemiuose kito gana dėsningai, tik skirtingu intensyvumu: tiek ND 1 kartą, tiek 2 kartus tręšiamuose laukuose, jos mažėjo ir vidutinis pokytis tyrimų pabaigoje buvo atitinkamai 203 ir 332 mg kg^{-1} mažesnis, palyginus su projekto pradžioje nustatytomis vidutinėmis koncentracijomis (3.1.3.4 pav. A ir B). Nors 2021 m. buvo fiksuoti padidėjimai, nes tikėtina tiek Anykščių (ND tręšiami 1 kartą), tiek Vilniaus r. (ND tręšiami 2 kartus) laukuose, kuriuose įrengtos stebėsenos aikštelės, netręštuose kontroliniuose dirvožemiuose gana intensyviai vyko juose esančių organinių medžiagų mineralizacijos procesai, kurie ir lėmė judriosios Fe koncentracijos augimą, kuris paskutiniais tyrimo metais vėl pradėjo mažėti, nes želdiniai (tuopos ir drebulės) šį judrųjį mikroelementą naudojo augimo procesams užtikrinti.

Vertinant tręšimo įtaką judriajai Fe, nustatyta, kad nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiai po tręšimo nuotekų dumblu pasižymėjo didesnėmis šio mikroelemento koncentracijomis nei netręštų (3.1.3.4 pav. A ir B). Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose judriosios Fe koncentracijos buvo didesnės nei netręštuose ir gauti skirtumai tarp minėtų aikštelių buvo: tręšiant ND 1 kartą – vidutiniškai 19 mg kg^{-1}, o tręšiant 2 kartus – 64 mg kg^{-1} didesni.



3.1.3.4 pav. Judriosios geležies (Fe) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

Pamečiui analizuojant sudarytas koncentracijos kitimo kreives, matyti, kad tręštose stebėsenos aikštelėse (tręšiant ND tiek 1 kartą) sekančiais metais po dumblo įterpimo, judriosios Fe koncentracijos tendencingai didėjo, o laukuose tręštuose ND 2 kartus – padidėjimas išryškėjo tik antraisiais metais po tręšimo ND. Tačiau paskutiniaisiais tyrimo metais šio judriojo mikroelemento sumažėjo visuose tręštuose dirvožemiuose, kaip ir netręštuose. Projekto pabaigoje tręštuose laukuose nustatytos judriosios Fe koncentracijos buvo mažesnės, tiek ND 1 kartą, tiek 2 kartus tręštuose laukuose, ir pokytis lyginant su projekto pradžioje nustatytomis koncentracijomis atitinkamai sudarė vidutiniškai 174 ir 428 mg kg^{-1}. Todėl galima daryti prielaidą, kad nemažus kiekius šio mikroelemento želdiniai galėjo panaudoti augimo funkcijos užtikrinti ir natūralu, kad dirvožemyje judriosios Fe atsargos po truputį mažėjo. Su nuotekų dumblu įterpto šio mikroelemento kiekio neužteko, kad palaikyti stabilias atsargas visuose tręštuose laukuose.

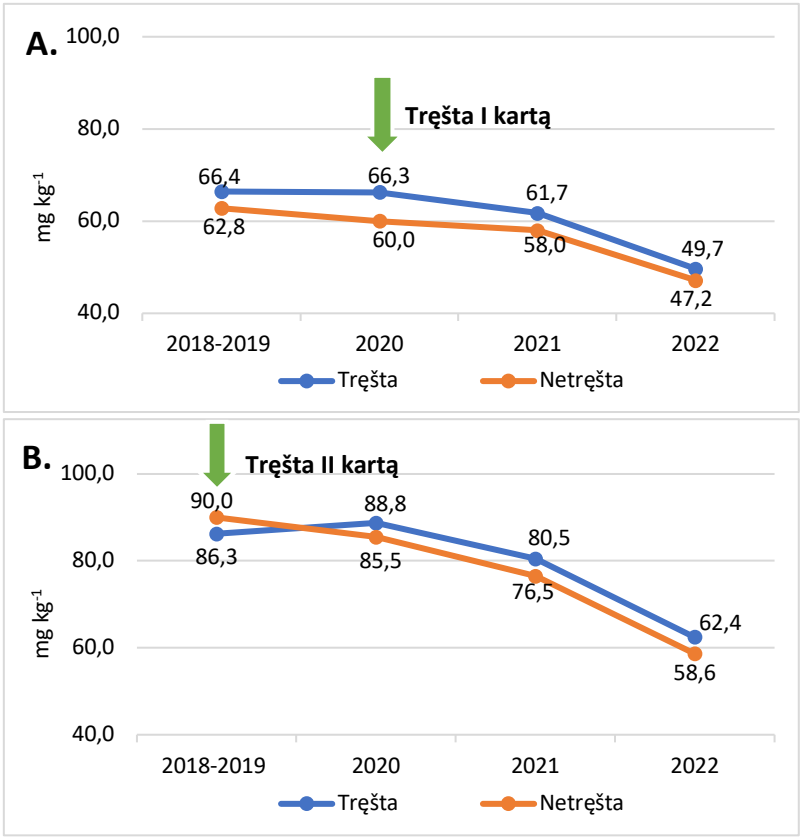
Manganas (Mn). Judriojo Mn dirvožemyje randama 5,0–80 mg kg^{-1} dirvožemio. Daugelis augalų manganą įsisavina tik tirpų vandenyje ir sorbuotą dirvožemio dalelių. Šio elemento atsargas augalai pasisavina priklausomai nuo dirvožemio pH. Kai dirvožemio pH_{KCl} yra 5,1–6,0, augalams pakankama judriojo Mn koncentracija yra 25 mg kg^{-1}, kai pH_{KCl} 6,1–6,5 – 50 mg kg^{-1}, kai pH_{KCl} 6,6–7,0 – 75 mg kg^{-1}, o pH esant daugiau kaip 7,0 – 100 mg kg^{-1}. Kai dirvožemio pH yra mažesnis nei 5,0, judriojo Mn koncentracija augalams gali būti perteklinė ir net toksiška, panašiai kaip judriojo aliuminio (Al). Todėl esant tokiam dirvožemio pH mangano trąšomis netręšiama. Dažniausiai mangano trūkumas pasireiškia organinėmis medžiagomis turtinguose, neutraliuose, o ypač

šarminiuose, natūraliai mažai mangano turinčiuose dirvožemiuose. Įprastai mangano trūkumas siejamas su aukštu dirvožemio pH, tačiau jį gali lemti ir mangano disbalansas su kalciu, magniu ar geležimi (Staugaitis, Vaišvila, 2019).

Kaip matome visapusės stebėsenos metu, netręštų kontrolinių aikštelių dirvožemiai, pagal judriojo mangano (Mn) turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę (1.3.8 lentelė), pasižymėjo didelėmis šio mikroelemento koncentracijomis, tiek laukuose ND tręšiamuose 1 kartą, tiek 2 kartus (3.1.3.5 pav. A ir B). Nuotekų dumblu tręštose aikštelėse dirvožemiai taip pat buvo daug judriojo B turintys ir svyravo toje pačioje vertinimo grupėje, juos tręšiant tiek 1 kartą, tiek 2 kartus.

Visapusės stebėsenos metu judriojo mangano (Mn) koncentracija nuotekų dumblu netręštų kontrolinių aikštelių dirvožemiuose tendencingai mažėjo, tiek laukuose tręštuose ND 1 kartą, tiek 2 kartus, ir projekto pabaigoje netręštuose dirvožemiuose sumažėjimas atitinkamai siekė 15,6 ir 31,4 mg kg^{-1}, palyginus su projekto pradžioje nustatyta vidutine koncentracija (3.1.3.5 pav. A ir B). Fiksuoti sumažėjimai yra tikėtini, nes želdiniai judrųjį manganą naudojo savo augimo procesams užtikrinti, todėl šio elemento atsargos dirvožemiuose, jų netręšiant, taip pat seko.

Vertinant tręšimo įtaką judriajam manganui (Mn), nustatyta, kad nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiai pasižymėjo didesnėmis judriojo Mn koncentracijomis nei netręštų (3.1.3.5 pav. A ir B). Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose šio mikroelemento koncentracijos buvo didesnės nei netręštuose ir gauti skirtumai tarp minėtų aikštelių buvo: tręšiant ND 1 kartą – vidutiniškai 4,0 mg kg^{-1}, o tręšiant 2 kartus – 2,8 mg kg^{-1} didesni.



3.1.3.5 pav. Judriojo mangano (Mn) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

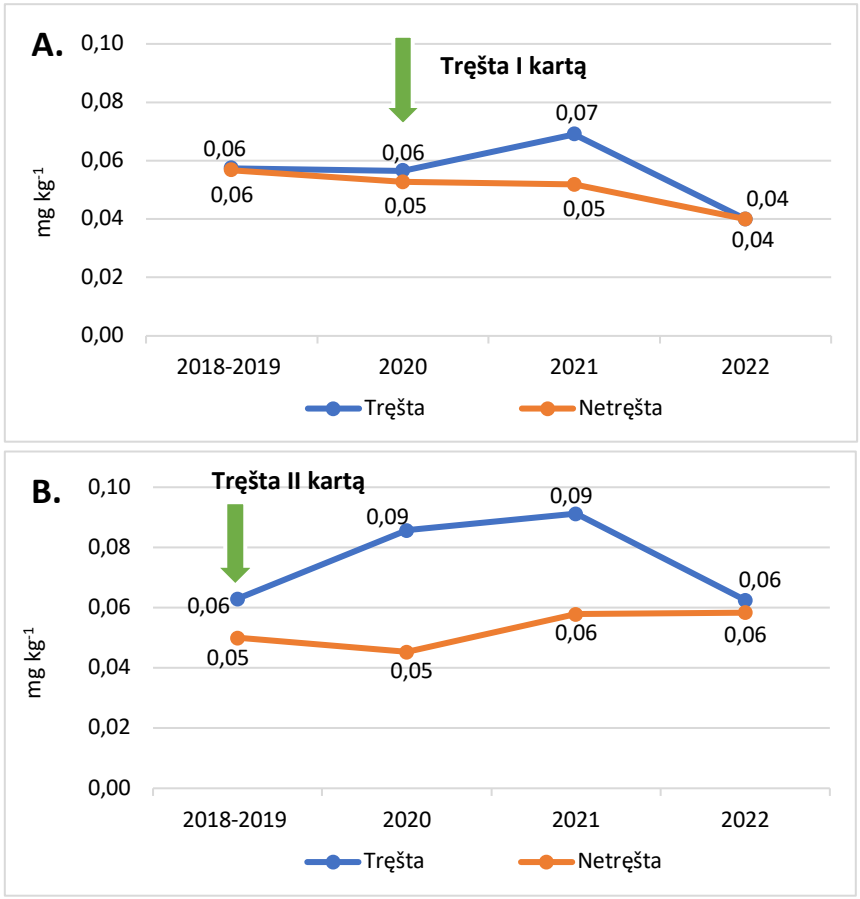
Pamečiui analizuojant sudarytas koncentracijos kitimo kreives, matyti, kad tręštose stebėsenos aikštelėse (tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus) po dumblo įterpimo praėjus atitinkamam laikui judriojo Mn koncentracijos tendencingai mažėjo, kaip ir netręštose aikštelėse, ir projekto pabaigoje dirvožemiuose jo susikaupė mažiau lyginant su projekto pradžioje nustatytomis koncentracijomis: atitinkamai – 16,7 ir 23,9 mg kg^{-1} (3.1.3.6 pav. A ir B). Todėl galima daryti prielaidą, kad šio mikroelemento su dumblu pateko į dirvožemį nepakankamai arba dėl nepalankių aplinkos veiksnių sulėtėjus organinių medžiagų mineralizacijai, jis dirvožemyje liko organinėje formoje, kuri augalams yra neprieinama. Be to, nemažus kiekius šio mikroelemento želdiniai sunaudojo augimo funkcijos užtikrinti, todėl natūralu, kad buvo fiksuotas judriojo Mn sumažėjimas projekto pabaigoje tirtuose dirvožemiuose.

Judrusis molibdenas (Mo). Lengvai augalų įsavinamo judriojo molibdeno (Mo) dirvožemyje randama tik 0,01–0,5 mg kg^{-1}. Kuo dirvožemyje daugiau mainų kalcio ir magnio humatų, tuo jame daugiau ir judriojo Mo. Ir atvirkščiai, rūgščiuose, daug geležies ir aliuminio oksidų, taip pat judriosios sieros, mažai mainų kalcio, turinčiuose dirvožemiuose judriojo Mo yra mažiau. Dirvožemyje judriojo Mo augalams pakanka, kai jo koncentracija yra 0,2–0,3 mg kg^{-1}. Daugiau augalų lengvai įsavinamo Mo randama sukultūrintuose, humusinguose, daug judriojo fosforo turinčiuose dirvožemiuose (Staugaitis, Vaišvila, 2019).

Kaip matome visapusės stebėsenos metu, netręštų kontrolinių aikštelių dirvožemiai, pagal judriojo molibdeno (Mo) turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę (1.3.8 lentelė), pasižymėjo labai mažomis ir mažomis šio mikroelemento koncentracijomis, tiek laukuose ND tręšiamuose 1 kartą, tiek 2 kartus (3.1.3.6 pav. A ir B). Nuotekų dumblu tręštose aikštelėse dirvožemiai taip pat nebuvo turtingi šiuo mikroelementu ir nustatytos koncentracijos buvo mažos ir svyravo toje pačioje vertinimo grupėje, juos tręšiant tiek 1 kartą, tiek 2 kartus.

Judriojo molibdeno (Mo) koncentracija nuotekų dumblu netręštų kontrolinių aikštelių dirvožemiuose kito labai siaurose ribose ir nustatyti pokyčiai minimalūs: laukuose tręštuose ND 1 kartą, projekto pabaigoje netręštuose dirvožemiuose judriojo Mo sumažėjo 0,02 mg kg^{-1}, palyginus su projekto pradžioje nustatyta vidutine koncentracija (3.1.3.6 pav. A), o laukuose tręšiamuose 2 kartus priešingai – nežymiai padidėjo 0,01 mg kg^{-1}.

Vertinant tręšimo įtaką judriajam molibdenui (Mo), nustatyta, kad nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiai pasižymėjo kiek didesnėmis judriojo Mo koncentracijomis nei netręštų (3.1.3.6 pav. A ir B). Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose šio mikroelemento koncentracijos buvo didesnės nei netręštuose ir gauti skirtumai tarp minėtų aikštelių buvo: tręšiant ND 1 kartą – vidutiniškai 0,01 mg kg^{-1}, o tręšiant 2 kartus – 0,02 mg kg^{-1} didesni.



3.1.3.6 pav. Judriojo molibdeno (Mo) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

Pamečiui analizuojant sudarytas koncentracijos kitimo kreives, matyti, kad tręštose stebėsenos aikštelėse (tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus) po dumblo įterpimo judriojo Mo koncentracijos tendencingai didėjo, tačiau paskutiniaisiais projekto metais vėl buvo linkę mažėti ir dirvožemiuose tręštuose ND 1 kartą jo susikaupė mažiau 0,02 mg kg^{-1} lyginant su projekto pradžioje nustatytomis koncentracijomis, o tręštuose 2 kartus – koncentracija išliko nepakitusi (3.1.3.6 pav. A ir B). Todėl galima daryti prielaidą, kad šio mikroelemento su dumblu pateko į dirvožemį nepakankamai arba dėl nepalankių aplinkos veiksnių sulėtėjus organinių medžiagų mineralizacijai, jis dirvožemyje liko organinėje formoje, kuri augalams yra neprieinama. Natūraliai judriojo Mo koncentracijos dirvožemiuose yra mažos, o želdiniams jis taip pat reikalingas, todėl natūralu, kad kai kur buvo fiksuotas judriojo Mo sumažėjimas projekto pabaigoje tirtuose dirvožemiuose.

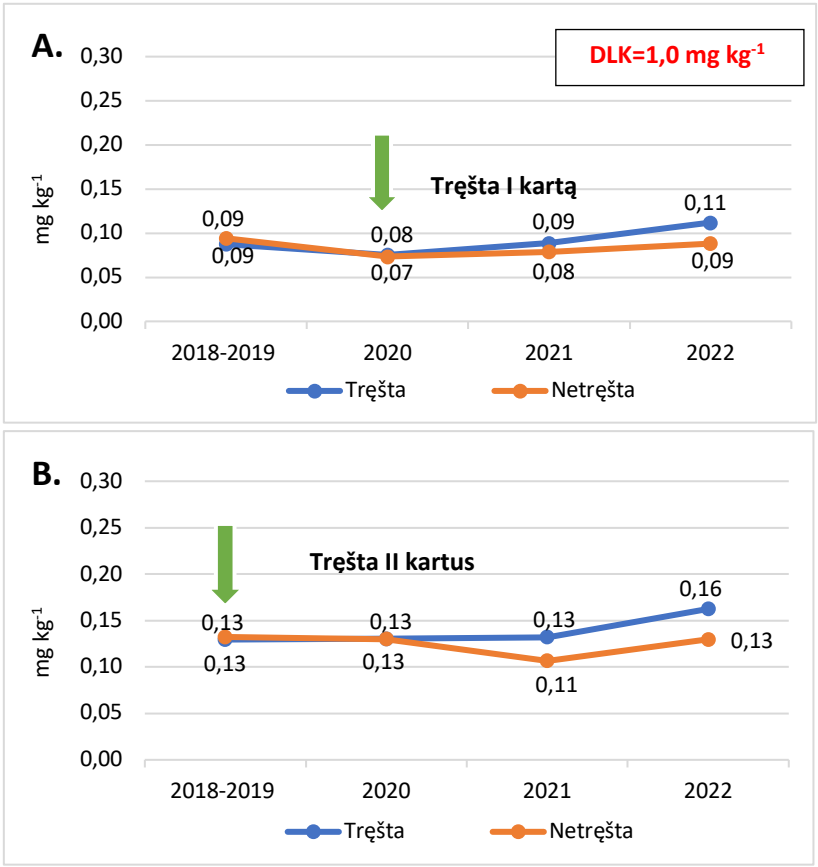
3.1.4 Sunkieji metalai (kadmis, švinas, chromas, nikelis, varis, cinkas, arsenas, gyvsidabris)

Natūraliai dirvožemyje atsiradę sunkieji metalai nėra kenksmingi gyviems organizmams, tačiau dėl žmogaus vykdomos ūkinės veiklos į dirvožemį patenkantys sunkieji metalai (ypač Cr, Ni, Co, Cd, As ir Pb) kartais gali tapti kancerogeniniais.

Kadmis (Cd). Kaip matome visapusės stebėsenos metu, netręštų (kontrolinių) aikštelių dirvožemiuose kadmio (Cd) koncentracijos pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę

(1.3.8 lentelė) kito laukuose, tręštuose tiek ND 1 kartą, tiek 2 kartus, labai mažų koncentracijų ribose (3.1.4.1 pav. A ir B). Nuotekų dumblu tręštose aikštelėse dirvožemiai taip pat buvo labai mažai Cd turintys ir svyravo toje pačioje vertinimo grupėje, juos tręšiant tiek 1 kartą, tiek 2 kartus. Svarbiausiai tai, kad nustatytos Cd koncentracijos dėl skirtingo tręšimo įtakos neviršijo DLK (1,0 mg kg^{-1}) (didžiausios leistinos koncentracijos), kurią nurodo „Nuotekų dumblo naudojimo trešimui bei rekultivavimui reikalavimai“. Tirtų laukų dirvožemiuose nustatytos koncentracijos dažniau viršijo tik foninio lygio (FN) ribą, kuri lygi 0,09 mg kg^{-1} (3.1.4.1 pav. A ir B).

Visapusės stebėsenos metu kadmio (Cd) koncentracijos nuotekų dumblu tiek netręštų, tiek tręštų nuotekų dumblu aikštelių dirvožemiuose kito nežymiai ir gana siaurame intervale. Vertinant tręšimo įtaką Cd pokyčiams, nustatyta, kad nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiai po tręšimo nuotekų dumblu dažniausiai pasižymėjo kiek didesnėmis Cd koncentracijomis nei netręštų (3.1.4.1 pav. A ir B). Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose Cd koncentracijos buvo nežymiai didesnės nei netręštuose ir gauti skirtumai tarp minėtų aikštelių buvo po 0,01 mg kg^{-1} daugiau, tiek tręšiant ND 1 kartą, tiek 2 kartus.



3.1.4.1 pav. Kadmio (Cd) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

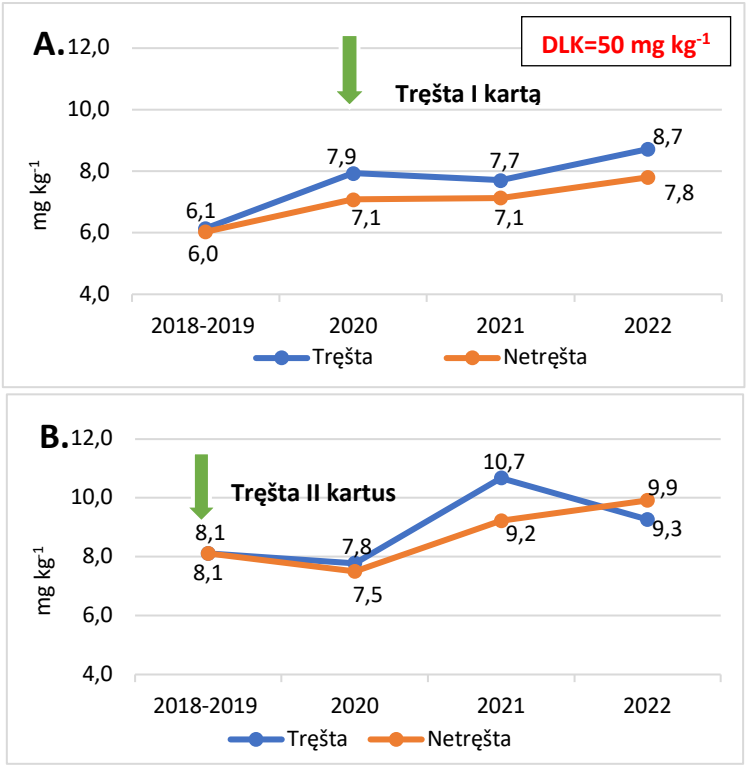
Pamečiui analizuojant sudarytas koncentracijos kitimo kreives, matyti, kad tręštose stebėsenos aikštelėse po dumblo įterpimo (tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus) Cd turėjo nežymią tendenciją didėti ir nors pokyčiai minimalūs, projekto pabaigoje dirvožemiuose Cd susikaupė daugiau

lyginant su projekto pradžioje nustatytomis koncentracijomis: atitinkamai – 0,02 ir 0,03 mg kg^{-1} (3.1.4.1 pav. A ir B).

Švinas (Pb). Visapusės stebėsenos metu, netręštų (kontrolinių) aikštelių dirvožemiuose švino (Pb) koncentracijos pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę (1.3.9 lentelė) kito laukuose, tręštuose tiek ND 1 kartą, tiek 2 kartus, labai mažų koncentracijų ribose (3.1.4.2 pav. A ir B). Nuotekų dumblu tręštose aikštelėse daugumoje vyravo taip pat labai mažai Pb turintys dirvožemiai ir svyravo toje pačioje vertinimo grupėje, juos tręšiant tiek 1 kartą, tiek 2 kartus. Svarbiausiai tai, kad nustatytos Pb koncentracijos dėl skirtingo tręšimo įtakos neviršijo DLK (50 mg kg^{-1}) (didžiausios leistinos koncentracijos), kurią nurodo „Nuotekų dumblo naudojimo trešimui bei rekultivavimui reikalavimai“. Tirtų laukų dirvožemiuose nustatytos koncentracijos dažniau viršijo tik foninio lygio (FN) ribą, kuri lygi 7,0 mg kg^{-1} (3.1.4.2 pav. A ir B).

Visapusės stebėsenos metu švino (Pb) koncentracijos tiek netręštų, tiek tręštų nuotekų dumblu aikštelių dirvožemiuose tendencingai didėjo, tačiau nustatytos koncentracijos daugumoje svyravo labai mažų koncentracijų ribose ir maža koncentracija nustatyta tik po tręšimo nuotekų dumblu laukuose (2021 m.), kurie šia organine trąša tręšiami 2 kartus.

Vertinant tręšimo įtaką Pb pokyčiams, nustatyta, kad nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiai po tręšimo nuotekų dumblu dažniausiai pasižymėjo kiek didesnėmis Pb koncentracijomis nei netręštų (3.1.4.2 pav. A ir B). Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose Pb koncentracijos buvo didesnės nei netręštuose ir gauti skirtumai tarp minėtų aikštelių buvo 0,6 mg kg^{-1}, tręšiant ND 1 kartą, o 2 kartus – 0,5 mg kg^{-1}.



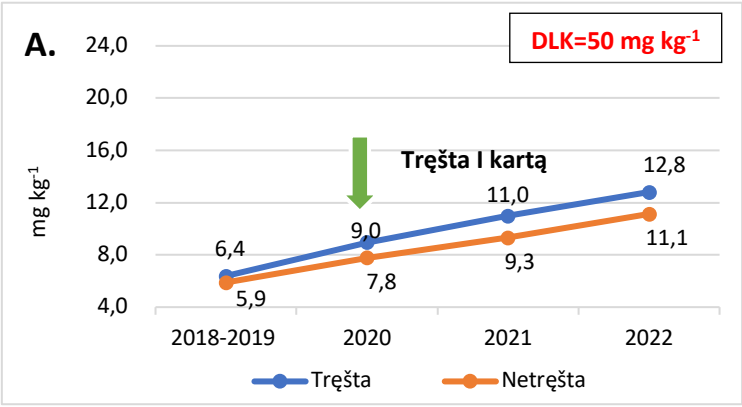
3.1.4.2 pav. Švino (Pb) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

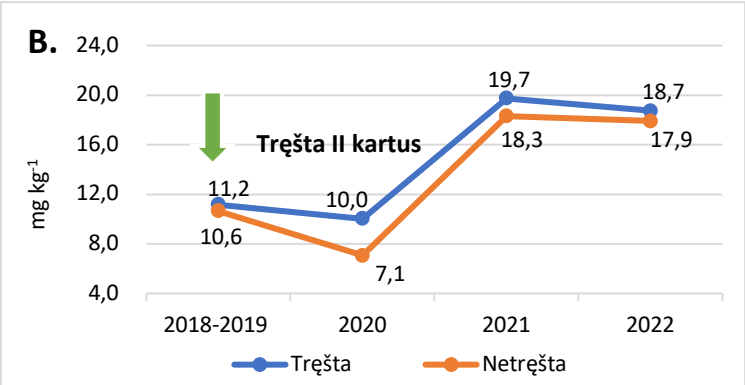
Pamečiui analizuojant sudarytas koncentracijų kitimo kreives, matyti, kad tręštose stebėsenos aikštelėse po dumblo įterpimo (tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus) Pb turėjo tendenciją didėti ir projekto pabaigoje dirvožemiuose jo susikaupė daugiau lyginant su projekto pradžioje nustatytomis koncentracijomis: atitinkamai – 2,6 ir 1,2 mg kg^{-1} (3.1.4.2 pav. A ir B).

Chromas (Cr). Chromo (Cr) koncentracijos pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę (1.3.9 lentelė) netręštų (kontrolinių) aikštelių dirvožemiuose kito tiek ND 1 kartą tręštuose laukuose, tiek 2 kartus, nuo labai mažų iki mažų koncentracijų (3.1.4.3 pav. A ir B). Nuotekų dumblu tręštose aikštelėse daugumoje vyravo labai mažai ir mažai Cr turintys dirvožemiai, juos tręšiant 1 kartą, o tręšiant 2 kartus – mažai Cr turintys. Svarbiausiai tai, kad nustatytos Cr koncentracijos dėl skirtingo tręšimo įtakos neviršijo DLK (50 mg kg^{-1}) (didžiausios leistinos koncentracijos), kurią nurodo „Nuotekų dumblo naudojimo trešimui bei rekultivavimui reikalavimai“. Tirtų laukų dirvožemiuose nustatytos Cr koncentracijos dažniau viršijo tik foninio lygio (FN) ribą, kuri lygi 10,0 mg kg^{-1} (3.1.4.3 pav. A ir B), tačiau ne visuose tyrimo etapuose.

Visapusės stebėsenos metu chromo (Cr) koncentracijos nuotekų dumblu netręštų aikštelių dirvožemiuose tendencingai didėjo ir projekto pabaigoje dirvožemiuose jo susikaupė daugiau lyginant su projekto pradžioje nustatytomis koncentracijomis: vidutiniškai 5,2 (laukuose tręštuose 1 kartą) ir 7,3 mg kg^{-1} (tręštuose 2 kartus) (3.1.4.3 pav. A ir B). Šiuose dirvožemiuose Cr susikaupimą tikėtina didino spartesnė organinių medžiagų mineralizacija, kurios metu iš dirvožemyje esančių organinių medžiagų galėjo atsipalaiduoti kiek didesnės Cr koncentracijos.

Vertinant tręšimo įtaką Cr pokyčiams, nustatyta, kad dėl nuotekų dumblo įtakos tręštų aikštelių dirvožemiuose šio sunkiojo metalo koncentracijos taip pat tendencingai didėjo, kaip ir netręštų (3.1.4.3 pav. A ir B). Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose Cr koncentracijos buvo didesnės nei netręštuose ir gauti skirtumai tarp minėtų aikštelių buvo 1,3 mg kg^{-1}, tręšiant ND 1 kartą, ir 1,4 mg kg^{-1}, tręšiant 2 kartus.





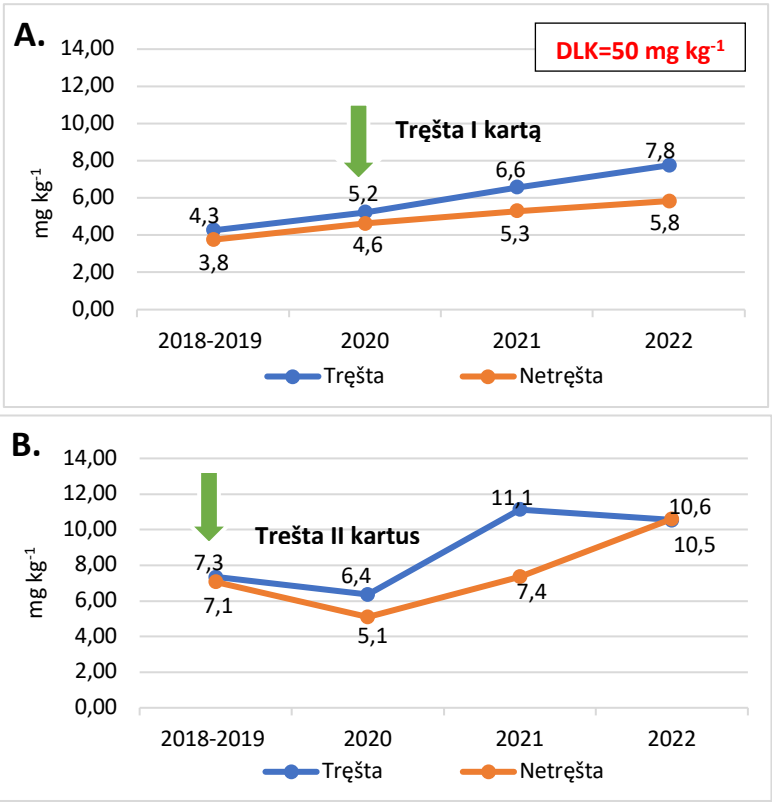
3.1.4.3 pav. Chromo (Cr) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

Pamečiui analizuojant sudarytas koncentracijų kitimo kreives, matyti, kad tręštose stebėsenos aikštelėse po dumblo įterpimo (tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus) Cr turėjo tendenciją didėti ir projekto pabaigoje dirvožemiuose jo susikaupė daugiau lyginant su projekto pradžioje nustatytomis koncentracijomis: atitinkamai – 6,4 ir 7,5 mg kg^{-1} (3.1.4.3 pav. A ir B). Taigi iš gautų tyrimų rezultatų matyti, kad chromo koncentracijos didėjo ne tik tręštose aikštelėse, bet ir netręštose. Todėl galime daryti prielaidą, kad dirvožemyje sąlygos buvo palankios intensyvesnei organinių medžiagų mineralizacijai tiek iš nuotekų dumblo, tiek iš natūraliai dirvožemyje esančios organikos, kurios metu atsipalaidavęs chromas buvo linkęs kauptis dirvožemiuose.

Nikelis (Ni). Nikelio (Ni) koncentracijos pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę (1.3.9 lentelė) netręštų (kontrolinių) aikštelių dirvožemiuose buvo labai mažos, laukuose ND tręštuose 1 kartą laukuose, o laukuose tręštuose 2 kartus kito nuo labai mažų iki vidutinių koncentracijų (3.1.4.4 pav. A ir B). Nuotekų dumblu tręštose aikštelėse Ni koncentracija kito nuo labai mažų iki mažų, laukuose tręštuose ND 1 kartą, o tręšiant 2 kartus – nuo mažų iki vidutinių. Svarbiausiai tai, kad nustatytos Ni koncentracijos dėl skirtingo tręšimo įtakos neviršijo DLK (50 mg kg^{-1}) (didžiausios leistinos koncentracijos), kurią nurodo „Nuotekų dumblo naudojimo trešimui bei rekultivavimui reikalavimai“. Daugumoje tirtų laukų aikštelių dirvožemiuose nustatytos Ni koncentracijos net neviršijo foninio lygio (FN) ribos, kuri siekia 11,0 mg kg^{-1} (3.1.4.4 pav. A ir B).

Visapusės stebėsenos metu nikelio (Ni) koncentracijos nuotekų dumblu netręštų (kontrolinių) aikštelių dirvožemiuose tendencingai didėjo ir projekto pabaigoje dirvožemiuose jo susikaupė daugiau lyginant su projekto pradžioje nustatytomis koncentracijomis: vidutiniškai 2,0 (laukuose tręštuose 1 kartą) ir 3,4 mg kg^{-1} (tręštuose 2 kartus) (3.1.4.3 pav. A ir B). Šiuose dirvožemiuose Ni, kaip ir Cr, susikaupimą tikėtina didino spartesnė organinių medžiagų mineralizacija, kurios metu iš dirvožemyje esančių organinių medžiagų galėjo atsipalaiduoti kiek didesnės Ni koncentracijos.

Vertinant tręšimo įtaką Ni pokyčiams, nustatyta, kad dėl nuotekų dumblo įtakos tręštų aikštelių dirvožemiuose šio sunkiojo metalo koncentracijos taip pat tendencingai didėjo, kaip ir netręštų (3.1.4.4 pav. A ir B). Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose Ni koncentracijos buvo didesnės nei netręštuose ir gauti skirtumai tarp minėtų aikštelių buvo atitinkamai 1,1 mg kg^{-1}, tręšiant ND 1 kartą, ir 1,2 mg kg^{-1}, tręšiant 2 kartus.



3.1.4.4 pav. Nikelio (Ni) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

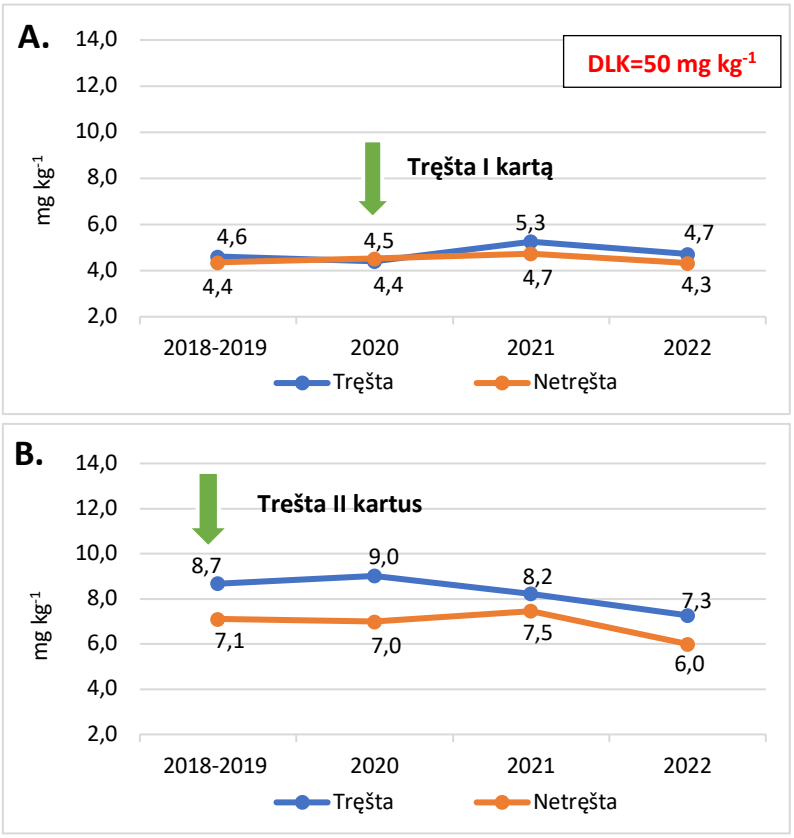
Pamečiui analizuojant sudarytas koncentracijų kitimo kreives, matyti, kad tręštose stebėsenos aikštelėse po dumblo įterpimo (tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus) Ni išlaikė tendenciją didėti ir projekto pabaigoje dirvožemiuose jo susikaupė didesnės koncentracijos lyginant su projekto pradžioje nustatytomis: atitinkamai – 3,5 ir 3,2 mg kg^{-1} (3.1.4.4 pav. A ir B). Taigi iš gautų tyrimų rezultatų matyti, kad nikelio koncentracijos didėjo ne tik tręštose aikštelėse, bet ir netręštose. Todėl galime daryti prielaidą, kad dirvožemyje sąlygos buvo palankios intensyvesnei organinių medžiagų mineralizacijai tiek iš nuotekų dumblo, tiek iš natūraliai dirvožemyje esančios organikos, kurios metu atsipalaidavęs nikelis kaupėsi dirvožemiuose.

Varis (Cu). Kaip matome visapusės stebėsenos metu, netręštų (kontrolinių) aikštelių dirvožemiuose vario (Cu) koncentracijos pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę (1.3.10 lentelė) kito mažų koncentracijų ribose, laukuose tręštuose ND 1 kartą, ir vidutinių – laukuose tręštuose 2 kartus (3.1.4.5 pav. A ir B). Nuotekų dumblu tręštose aikštelėse dirvožemiai taip pat buvo mažai Cu turintys ir svyravo toje pačioje vertinimo grupėje, juos tręšiant 1 kartą, bei vidutiniškai turintys – tręšiant 2 kartus. Svarbiausiai tai, kad nustatytos Cu koncentracijos dėl skirtingo tręšimo įtakos neviršijo DLK (50 mg kg^{-1}) (didžiausios leistinos koncentracijos), kurią nurodo „Nuotekų dumblo naudojimo trešimui bei rekultivavimui reikalavimai“. Tirtų laukų dirvožemiuose nustatytos koncentracijos dažniau viršijo tik foninio lygio (FN) ribą, kuri siekia 6 mg kg^{-1} (3.1.4.5 pav. A ir B).

Visapusės stebėsenos metu vario (Cu) koncentracijos nuotekų dumblu tiek netręštų, tiek tręštų nuotekų dumblu aikštelių dirvožemiuose kito gana siaurame reikšmių intervale. Netręštose kontrolinėse aikštelėse (tiek laukuose tręšiamuose ND 1 kartą, tiek 2 kartus) šio sunkiojo metalo koncentracijos mažėjo ir projekto pabaigoje dirvožemiuose, lyginant su projekto pradžioje tirtais, Cu

susikaupė – vidutiniškai 0,1 ir 1,1 mg kg^{-1} mažiau (3.1.4.5 pav. A ir B). Tikėtina, dalį vario buvo linkę pasisavinti želdiniai, taip tarsi atlikdami dirvožemio valymo funkciją.

Vertinant tręšimo įtaką Cu pokyčiams, nustatyta, kad nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiai po tręšimo nuotekų dumblu dažniausiai pasižymėjo kiek didesnėmis Cu koncentracijomis nei netręštų (3.1.4.5 pav. A ir B). Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, gauti Cu koncentracijos skirtumai tarp minėtų aikštelių buvo atitinkamai vidutiniškai 0,3 (tręštuose ND 1 kartą) ir 1,4 mg kg^{-1} (tręštuose ND 2 kartus) didesni.



3.1.4.5 pav. Vario (Cu) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

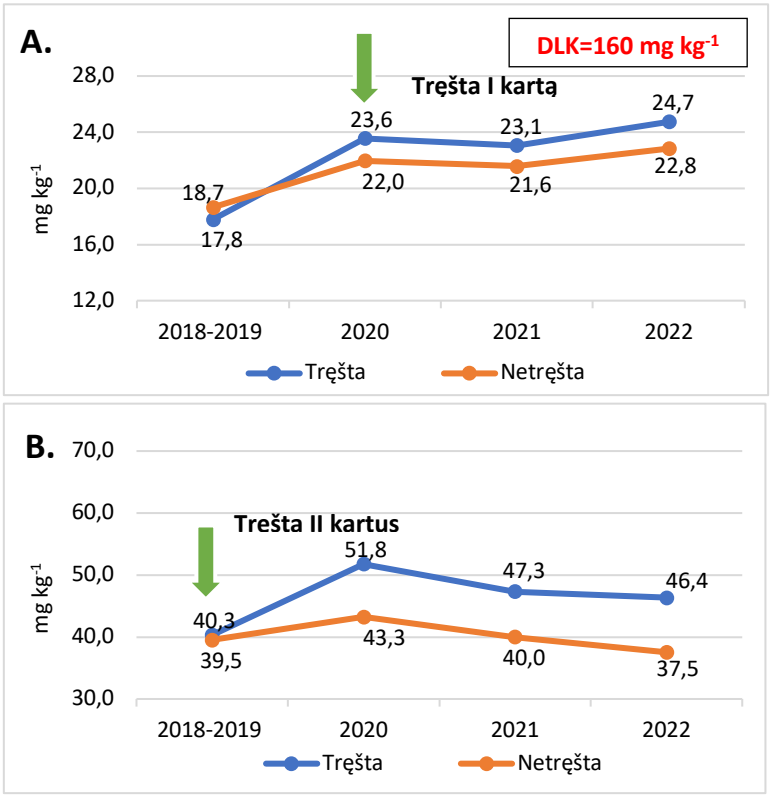
Pamečiui analizuojant sudarytas koncentracijų kitimo kreives, matyti, kad tręštose stebėsenos aikštelėse Cu po dumblo įterpimo kito nedėsningai: projekto pabaigoje laukuose tręštuose ND 1 kartą jo koncentracijos nežymiai padidėjo 0,01 mg kg^{-1} (3.1.4.5 pav. A), tačiau laukuose tręštuose 2 kartus – Cu tendencingai mažėjo ir projekto pabaigoje dirvožemiuose jo susikaupė mažesnės koncentracijos lyginant su projekto pradžioje nustatytomis – vidutiniškai 1,4 mg kg^{-1} (3.1.4.5 pav. B). Galima daryti prielaidą, kad pastarosiose tyrimo aikštelėse dalis vario iš dirvožemio buvo pasisavintas augalų ir cirkuliavo jų biomasės medžiagų apykaitos rate.

Cinkas (Zn). Visapusės stebėsenos metu, netręštų (kontrolinių) aikštelių dirvožemiuose cinko (Zn) koncentracijos pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę (1.3.10 lentelė) kito nuo mažų iki vidutinių, laukuose tręštuose ND 1 kartą, ir nuo didelių iki labai didelių – tręštuose 2 kartus (3.1.4.6 pav. A ir B). Nuotekų dumblu tręštos aikštelės pasižymėjo tokiomis pačiomis koncentracijų vertinimo reikšmėmis ir laukuose tręštuose ND 1 kartą kito nuo mažų iki vidutinių, o tręšiant 2 kartus – nuo didelių iki labai didelių. Svarbiausiai tai, kad nustatytos Zn koncentracijos dėl skirtingo tręšimo įtakos

neviršijo DLK (160 mg kg^{-1}) (didžiausios leistinos koncentracijos), kurią nurodo „Nuotekų dumblo naudojimo trešimui bei rekultivavimui reikalavimai“. Tirtų laukų dirvožemiuose nustatytos Zn koncentracijos daugumoje viršijo tik foninio lygio (FN) ribą, kuri siekia 19 mg kg^{-1} (3.1.4.2 pav. A ir B).

Visapusės stebėsenos metu cinko (Zn) koncentracijos nuotekų dumblu netręštų aikštelių dirvožemiuose kito netendencingai: projekto pabaigoje laukuose tręštuose ND 1 kartą jo koncentracijos padidėjo ženkliai 4,1 mg kg^{-1} (3.1.4.6 pav. A), tačiau laukuose tręštuose 2 kartus – Zn tendencingai mažėjo ir projekto pabaigoje netręštuose dirvožemiuose jo susikaupė mažesnės koncentracijos lyginant su projekto pradžioje nustatytomis – vidutiniškai 2,0 mg kg^{-1} (3.1.4.6 pav. B).

Vertinant tręšimo įtaką Zn pokyčiams, nustatyta, kad nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiai po tręšimo turėjo didesnes Zn koncentracijas nei netręštų (3.1.4.6 pav. A ir B). Ypač tai išryškėjo dirvožemiuose, kurie ND tręšiami 2 kartus, net foninės koncentracijos projekto pradžioje dirvožemiuose buvo ženkliai didesnės ir tikėtina dėl pirmojo tręšimo įtakos. Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, nustatyti Zn koncentracijos skirtumai tarp minėtų aikštelių buvo atitinkamai vidutiniškai 1,0 (tręštuose ND 1 kartą) ir 6,0 mg kg^{-1} (tręštuose ND 2 kartus) didesni.



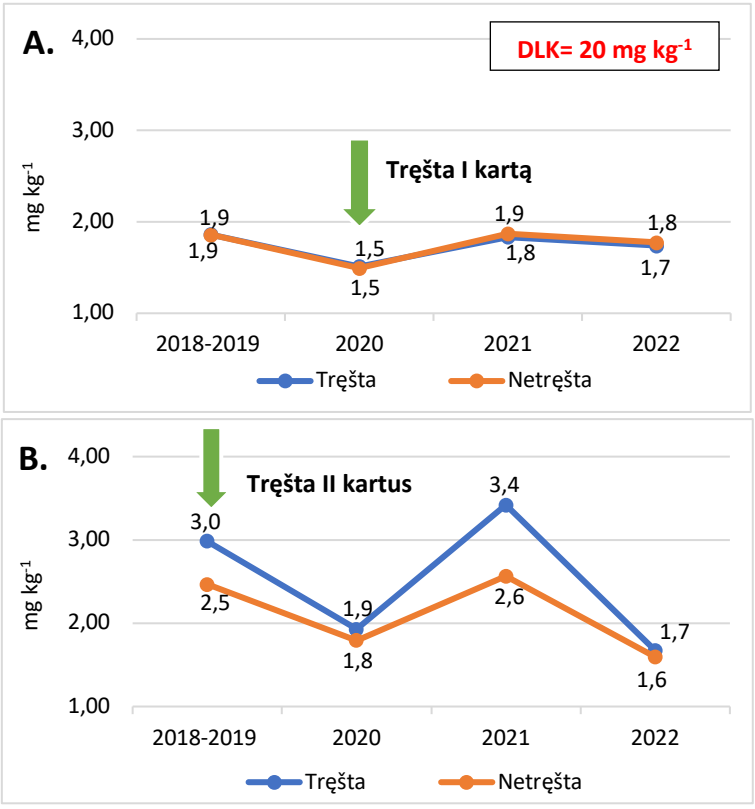
3.1.4.6 pav. Cinko (Zn) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

Pamečiui analizuojant sudarytas koncentracijų kitimo kreives, matyti, kad tręštose stebėsenos aikštelėse po dumblo įterpimo (tręšiant ND tiek 1 kartą), Zn turėjo tendenciją didėti ir projekto pabaigoje dirvožemiuose jo susikaupė daugiau 6,9 mg kg^{-1} lyginant su projekto pradžioje

nustatytomis koncentracijomis (3.1.4.6 pav. A). Priešingos tendencijos nustatytos tyrimų aikštelių dirvožemiuose, kurie ND buvo tręšti 2 kartus, nes po įterpimo pirmaisiais metais Zn buvo linkęs kauptis viršutiniame dirvožemio sluoksnyje, o vėlesniais – mažėti (3.1.4.6 pav. B).

Arsenas (As). Visapusės stebėsenos metu, netręštų (kontrolinių) aikštelių dirvožemiuose arseno (As) koncentracijos pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę (1.3.10 lentelė) kito vidutinių ribose, laukuose tręštuose ND 1 kartą, ir nuo vidutinių iki didelių – tręštuose 2 kartus (3.1.4.7 pav. A ir B). Nuotekų dumblu tręštos aikštelės pasižymėjo tokiomis pačiomis koncentracijų vertinimo reikšmėmis ir laukuose tręštuose ND 1 kartą kito vidutinių ribose, o trešiant 2 kartus – nuo vidutinių iki labai didelių. Nustatytos As koncentracijos dėl skirtingo trešimo įtakos neviršijo DLK (20 mg kg^{-1}) (didžiausios leistinos koncentracijos), kurią nurodo „Nuotekų dumblo naudojimo trešimui bei rekultivavimui reikalavimai“.

Netręštose aikštelėse projekto pabaigoje nustatytos As koncentracijos buvo mažesnės nei projekto pradžioje nustatytos ir sumažėjimas siekė atitinkamai 0,1 (laukuose tręštuose ND 1 kartą) ir 0,9 mg kg^{-1} (tręštuose 2 kartus).



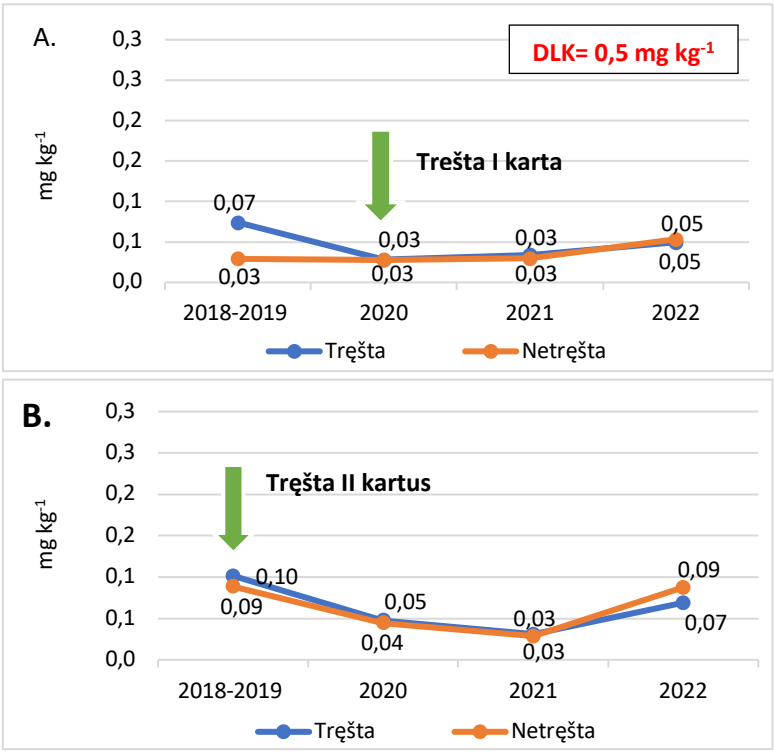
3.1.4.7 pav. Arseno (As) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

Vertinant trešimo įtaką As pokyčiams, nustatyta, kad nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiai po trešimo didesnėmis As koncentracijomis pasižymėjo tik laukuose tręštuose 2 kartus (3.1.4.7 pav. B). Šiose aikštelėse As dėl trešimo įtakos padidėjo tik praėjus 2 metais po įterpimo, o sekančiais paskutiniaisiais vėl sumažėjo. Be to, foninės koncentracijos projekto pradžioje šiuose dirvožemiuose buvo ženkliai didesnės ir tikėtina dėl pirmojo trešimo įtakos. Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, nustatytas As koncentracijos vidutinis skirtumas tarp minėtų aikštelių buvo atitinkamai 0,4 mg kg^{-1} (tręštuose ND 2 kartus)

didesnės. Laukuose tręštuose ND 1 kartą fiksuoti koncentracijų pokyčiai buvo minimalūs ir tręšimo nuotekų dumblu įtaka nepasireiškė.

Pamečiui analizuojant sudarytas koncentracijų kitimo kreives, matyti, kad tręštose stebėsenos aikštelėse po dumblo įterpimo (tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus), As kito netendencingai: tai didėjo, tai mažėjo. Tačiau projekto pabaigoje dirvožemiuose jo nustatyta visais atvejais mažiau atitinkamai 0,2 (tręštuose ND 1 kartą) ir 1,3 mg kg^{-1} (tręštuose ND 2 kartus) lyginant su projekto pradžioje nustatytomis koncentracijomis (3.1.4.7 pav. A ir B). Tikėtina, Ar buvo linkęs kauptis augalų biomasėje.

Gyvsidabris (Hg). Visapusės stebėsenos metu, netręštų (kontrolinių) aikštelių dirvožemiuose gyvsidabrio (Hg) koncentracijos pagal jų vertinimo dirvožemyje skalę (1.3.10 lentelė) kito foninio lygio (0,005–0,08 mg kg^{-1}) ribose (3.1.4.8 pav. A), laukuose tręštuose ND 1 kartą, o tręštuose 2 kartus – kartais viršijo šią ribą ir siekė 0,09 mg kg^{-1} (3.1.4.8 pav. B). Nuotekų dumblu tręštos aikštelės pasižymėjo panašiomis koncentracijų vertinimo reikšmėmis ir laukuose tręštuose ND 1 kartą kito foninio lygio ribose, o tręšiant 2 kartus – projekto pradžioje tirtuose dirvožemiuose nežymiai viršijo šią ribą ir siekė 0,10 mg kg^{-1}, kai FL=0,08 mg kg^{-1} (3.1.4.8 pav. A ir B). Nustatytos Hg koncentracijos dėl skirtingo tręšimo įtakos neviršijo DLK (0,5 mg kg^{-1}) (didžiausios leistinos koncentracijos), kurią nurodo „Nuotekų dumblo naudojimo trešimui bei rekultivavimui reikalavimai“.



3.1.4.8 pav. Gyvsidabrio (Hg) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

Vertinant tręšimo įtaką Hg pokyčiams, matyti, kad fiksuoti koncentracijų pokyčiai buvo minimalūs ir tręšimo nuotekų dumblu įtaka šio sunkiojo metalo kaupimuisi tręštų aikštelių dirvožemiuose nepasireiškė. Netręštuose dirvožemiuose projekto pabaigoje Hg padidėjo 0,02 mg kg^{-1} (laukuose tręšiamuose ND 1 kartą) lyginant su projekto pradžioje nustatyta koncentracija, o

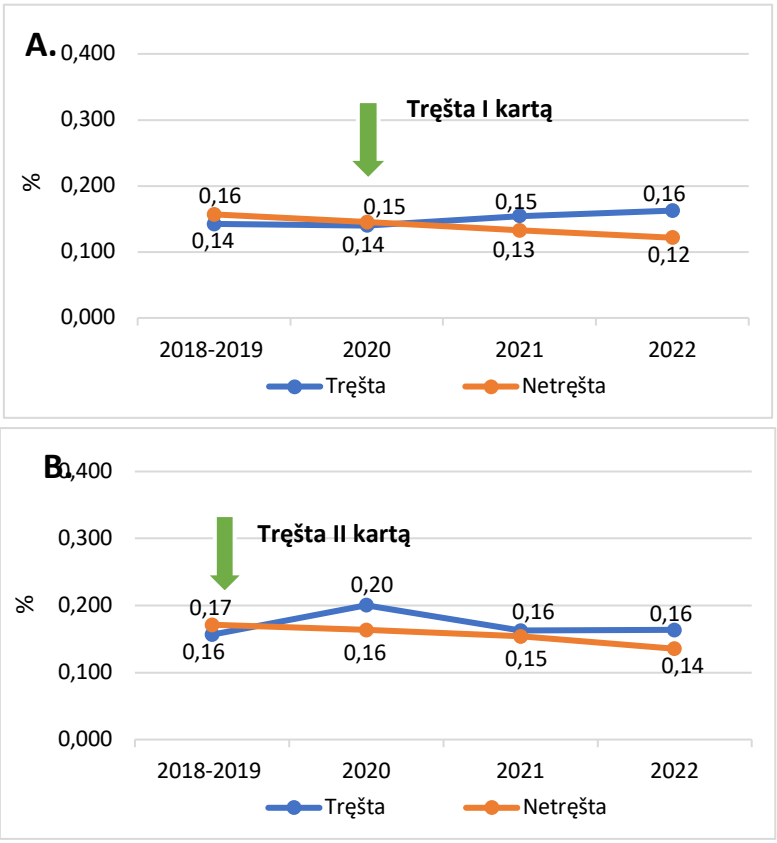
tręšiamuose 2 kartus – buvo linkęs mažėti, nors tyrimų pabaigoje vėl grįžo į pirminį lygmenį (3.1.4.8 pav. A ir B).

3.1.5 Bendrieji makroelementai (azotas, fosforas, kalis, siera)

Suminis azotas (N_{sum}). Azotas yra pagrindinis augalų mitybos elementas, todėl labai svarbu žinot jo atsargas dirvožemyje. Didžioji dalis azoto yra sukaupta organinėje formoje – humuse ir augalinėse liekanose. Suminis azotas (Ns_{um}) apibūdina dirvožemio azoto potencines atsargas ir sukultūrinimo laipsnį, o jo koncentracija labiau susijusi su humuso (C_{org}) kiekiu. Suminio azoto dirvožemio armenyje būna nuo 0,05–5 %. Suminio azoto koncentracija Lietuvos dirvožemiuose pakankama ir didelė, kai ji siekia 0,4 % ir daugiau, vidutinė – 0,2–0,4 %, maža – 0,1–0,2 %, labai maža – mažiau nei 0,1 %

Visapusės stebėsenos metu, netręštų (kontrolinių) aikštelių dirvožemiuose suminio azoto (N_{sum}) koncentracijos pagal jų turtingumo dirvožemyje vertinimo skalę daugumoje kito mažų reikšmių ribose (3.1.5.1 pav. A ir B). Nuotekų dumblu tręštos aikštelės taip pat pasižymėjo panašiomis koncentracijų vertinimo reikšmėmis ir kito tame pačiame reikšmių intervale.

Nuotekų dumblu netręštose kontrolinėse aikštelėse N_{sum} tendencingai mažėjo, tiek laukuose tręšiamuose 1 kartą, tiek 2 kartus, ir projekto pabaigoje šio bendrojo makroelemento koncentracijos buvo atitinkamai 0,04 ir 0,03 % vnt. mažesnės už koncentracijas dirvožemiuose nustatytas projekto pradžioje.

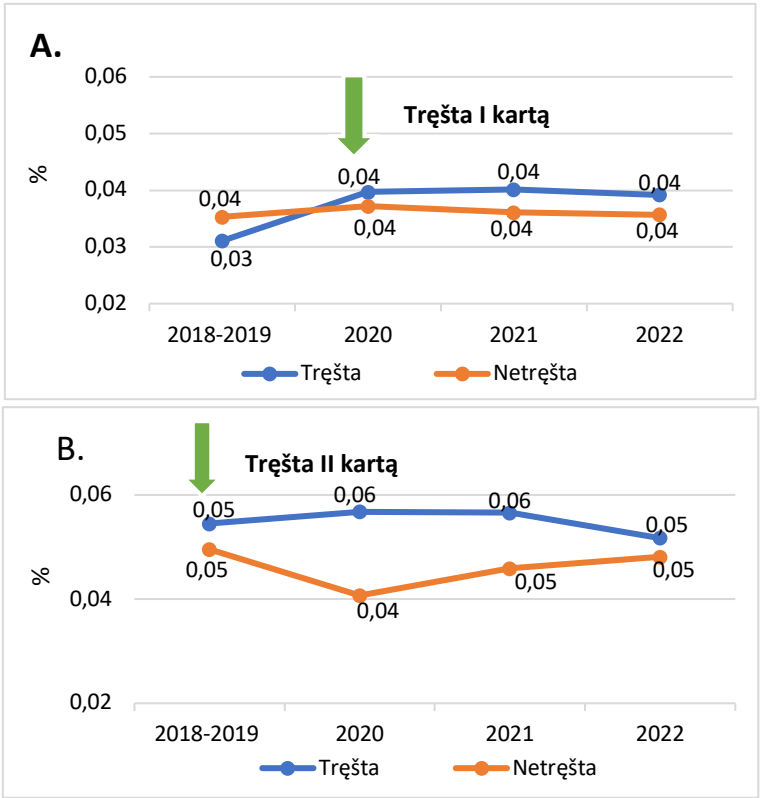


3.1.5.1 pav. Suminio azoto (N_{sum}) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

Dėl tręšimo nuotekų dumblu N_{sum} buvo linkęs nežymiai didėti ir šios tendencijos nustatytos jau praėjus vieneriems metams po minėtos organinės trąšos įterpimo. Nors laukuose ND tręšiamuose 2 kartus, vėlesniais tyrimo metais jis vėl buvo linkęs po truputį mažėti, tačiau nenukrito žemiau koncentracijų nustatytų projekto pradžioje. Lyginant pokyčius tarp netręštų ir ND tręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose suminio N koncentracijos buvo minimaliai didesnės nei netręštuose ir gauti vidutiniai skirtumai tarp minėtų aikštelių buvo: tręšiant ND 1 kartą – vidutiniškai 0,01, o tręšiant 2 kartus – 0,02 % vnt. didesni. Taigi tręšimo nuotekų dumblu efektyvumas buvo minimalus. Apibendrinant galima teigti, kad nors ir tręšimas nuotekų dumblu neturėjo esminės įtakos, tačiau šią organinę trąšą naudojant želdinių tręšimui, ilgalaikėje perspektyvoje būtų galima papildyti suminio azoto atsargų kaupimąsi dirvožemiuose, kartu padidinant ir jo našumą.

Suminis fosforas (P). Lietuvos dirvožemiuose suminio fosforo koncentracija svyruoja nuo 0,04 iki 0,3 %, o ariamajame sluoksnyje jo dažniausiai randama 0,1–0,2 %. Dirvožemyje fosforas įeina į mineralinių ir organinių junginių sudėtį. Tačiau iš organinių junginių jo augalai pasisavinama labai nedaug, ir tik tuomet kai intensyviai vyksta organinių medžiagų mineralizacija (Staugaitis, Vaišvila, 2019).

Visapusės stebėsenos metu, netręštų (kontrolinių) aikštelių dirvožemiuose suminio fosforo (P) koncentracijos svyravo labai siaurame intervale ir buvo ties apatine riba, aptinkama dirvožemiuose (0,04 %). Nuotekų dumblu tręštos aikštelės taip pat pasižymėjo panašiomis šio bendrojo elemento koncentracijomis (3.1.5.2 pav. A ir B).



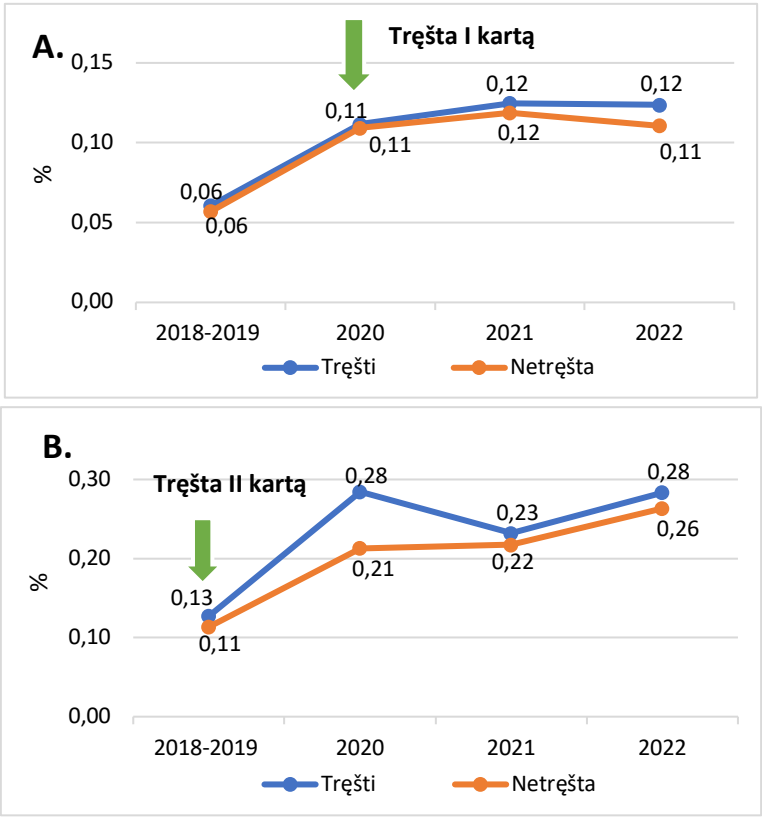
3.1.5.2 pav. Suminio fosforo (P) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

Dėl tręšimo nuotekų dumblu suminio P dirvožemiuose nežymiai didėjo, tiek tręštuose 1 kartą, tiek 2 kartus, nors projekto pabaigoje jau buvo fiksuotos mažėjimo tendencijos. Lyginant pokyčius tarp netręštų ir ND tręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose suminio P koncentracijos buvo kiek didesnės nei netręštuose dirvožemiuose, nors skirtumai paklaidų ribose ir vos apčiuopiami. Taigi tręšimo nuotekų dumblu efektyvumas neišryškėjo. Apibendrinant galima teigti, kad nors ir tręšimas nuotekų dumblu neturėjo esminės įtakos, tačiau šią organinę trąšą naudojant želdinių tręšimui, ilgalaikėje perspektyvoje būtų galima papildyti suminio fosforo atsargų kaupimąsi dirvožemiuose, kartu padidinant ir jo našumą.

Suminis kalis (K). Suminio kalio koncentracija dirvožemyje labai priklauso nuo dirvožemio granuliometrinės sudėties: smėliuose jo būna 1,6–2,2 %, priesmėliuose ir lengvuose priemoliuose – 1,9–3,1 %, sunkiuose priemoliuose – 2,9–4,2 % (Staugaitis, Vaišvila, 2019).

Visapusės stebėsenos metu, netręštų (kontrolinių) aikštelių dirvožemiuose suminio kalio (K) koncentracijos svyravo kiek platesniame reikšmių intervale, nei suminis fosforas (P). Nuotekų dumblu tręštos aikštelės taip pat pasižymėjo panašiomis šio bendrojo elemento koncentracijomis (3.1.5.3 pav. A ir B).

Nuotekų dumblu netręštose kontrolinėse aikštelėse suminis kalis (K) tendencingai didėjo, tiek laukuose tręšiamuose tiek 1 kartą, tiek 2 kartus, ir projekto pabaigoje šio bendrojo makroelemento koncentracijos buvo atitinkamai 0,05 ir 0,15 % vnt. didesnės už koncentracijas dirvožemiuose nustatytas projekto pradžioje. Teigiamo pokyčiai sietini su želdinių nuokritomis, tokiu būdu dalis suminio kalio, vėl grįžo į dirvožemį, taip papildydamos netręštų dirvožemių atsargas.

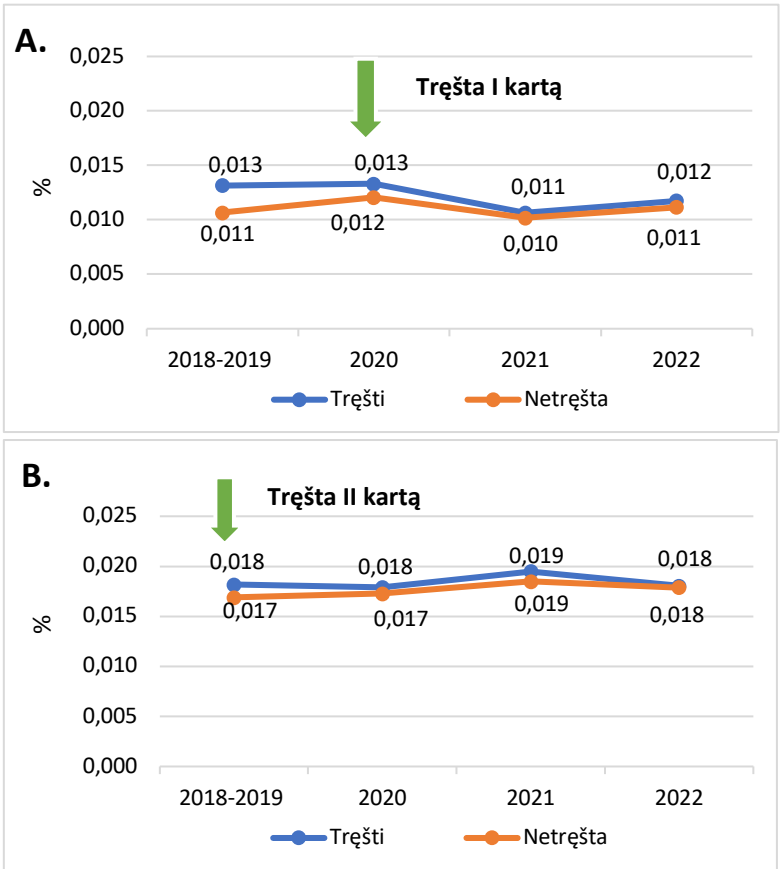


3.1.5.3 pav. Suminio kalio (K_{sum}) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

Dėl tręšimo nuotekų dumblu suminis kalis K buvo linkęs didėti, nors pokyčiai nėra labai ženklūs. Ypač laukuose ND tręšiamuose 2 kartus, šio elemento pokyčiai nebuvo nuoseklūs: po tręšimo K dirvožemiuose didėjo, vėlesniais tyrimo metais vėl buvo linkęs po truputį mažėti, bet nenukrito žemiau koncentracijų nustatytų projekto pradžioje, tačiau paskutiniaisiais – vėl pastebėtos didėjimo tendencijos. Lyginant pokyčius tarp netręštų ir ND tręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose suminio K koncentracijos buvo didesnės nei netręštuose ir gauti vidutiniai skirtumai tarp minėtų aikštelių buvo didesni. Apibendrinant galima teigti, kad nors ir tręšimo nuotekų dumblu įtaka minimali, tačiau šią organinę trąšą naudojant želdinių tręšimui, ilgalaikėje perspektyvoje būtų galima papildyti suminio kalio atsargų kaupimąsi dirvožemiuose, kartu padidinant ir jų našumą. Taip pat dalis kalio į dirvožemį sugrįžtų kartu su želdinių nuokritomis, kurios taip pat papildytų šio elemento atsargas dirvožemiuose.

Suminė siera (S). Daugiau kaip 3/4 sieros yra sukaupta dirvožemio organinėje formoje, likęs kiekis – mineraliniuose junginiuose. Beveik visa siera organiniuose junginiuose yra nejudri ir augalų neįsavinama. Suminės sieros mineraliniuose dirvožemiuose yra 0,01–0,8 %, gausiai jos yra durpynuose – iki 1 %.

Visapusės stebėsenos metu, tiek netręštų (kontrolinių), tiek tręštų aikštelių dirvožemiuose suminės sieros (S) koncentracijos svyravo labai siaurame reikšmių intervale, ties apatine riba, aptinkama mineraliniuose dirvožemiuose (0,01 %), nors laukuose ND 2 kartus jos buvo kiek didesnės tiek tręštuose, netręštuose laukuose (3.1.5.4 pav. A ir B).



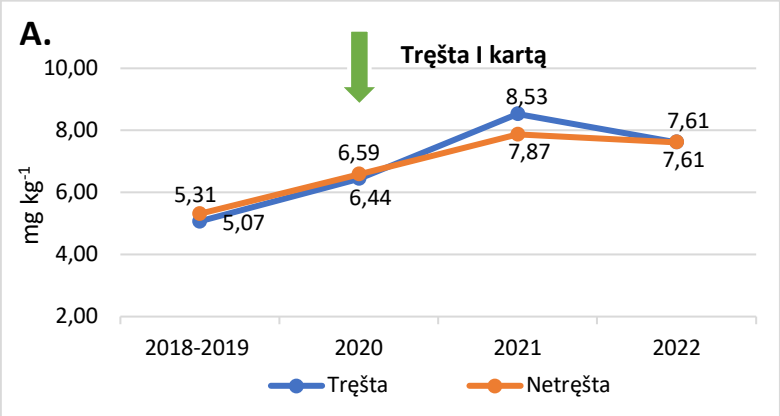
3.1.5.4 pav. Suminės sieros (S) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

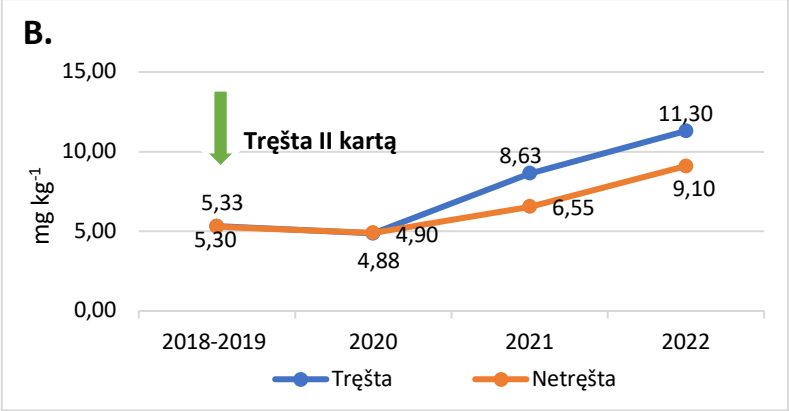
Dėl tręšimo nuotekų dumblu suminės S pokyčiai minimalūs ir dirvožemiuose nustatyta per tūkstantąsias vieneto dalis daugiau lyginant su netręštomis aikštelėmis. Lyginant pokyčius tarp netręštų ir ND tręštų aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose suminės S koncentracijos buvo paklaidų ribose didesnės nei netręštuose. Taigi tręšimo nuotekų dumblu efektyvumas taip pat neišryškėjo. Apibendrinant galima teigti, kad nors ir tręšimas nuotekų dumblu neturėjo esminės įtakos, tačiau šią organinę trąšą naudojant želdinių tręšimui, ilgalaikėje perspektyvoje būtų galima papildyti suminės sieros atsargų kaupimąsi dirvožemiuose, kartu padidinant ir jo našumą. Taip pat dalis šio elemento į dirvožemį sugrįžtą kartu su želdinių nuokritomis, kurios taip pat papildo sieros atsargas dirvožemiuose.

3.1.6 Chloridai (Cl^-), elektrinis laidumas (EL)

Chloridai (Cl). Chloridų kaupimasis dirvožemyje – viena svarbiausių fiziologinių grėsmių kylančių ekosistemoms. Chloridų kiekis dirvožemyje sumažina maistingųjų medžiagų pasisavinimą, trikdo augalų fiziologines funkcijas ir tai trukdo vystytis augalams. Tai taip pat turi poveikį dirvožemio organizmų medžiagų apykaitai, dėl to mažėja dirvožemio derlingumas. Dėl didelio chloridų kiekio dirvožemis tampa netinkama augalams augti. Chloridų kiekį dirvožemyje labiausiai lemia keturi veiksniai: chloridų koncentracija dirvožemio tirpale; iš atmosferos patekę chloridai; chloridų koncentracija drėkinimo vandenyje (lietuje); chloridų kiekis, patekęs iš trąšų (tiek mineralinių, tiek organinių) (Strėlkutė, Bradulienė, 2014).

Visapusės stebėsenos metu, tiek netręštų (kontrolinių), tiek tręštų aikštelių dirvožemiuose chloridų (Cl^-) koncentracijos pagal chloridų ribinių verčių dirvožemyje (HN 60:2004; Strėlkutė, Bradulienė, 2014.) vertinimo skalę (1.3.13 lentelė), nei vienais tyrimų metais neviršijo DLK (didžiausios leistinos koncentracijos), kuri lygi 60 mg kg^{-1} (3.1.6.1 pav. A ir B). Tiek nuotekų dumblu netręštose, tiek tręštose aikštelėse chloridų koncentracijos kito panašiame reikšmių intervale. Laukuose tręštuose ND 1 kartą, chloridų koncentracijos tendencingai didėjo nuo pat projekto pradžios ir piką pasiekė trečiaisiais tyrimų metais, o projekto pabaigoje buvo linkusios mažėti (3.1.6.1 pav. A). Tačiau minėtos tendencijos nustatytos tiek netręštose kontrolinėse, tiek tręštose aikštelėse. Todėl tikėtina, kad šie pokyčiai buvo labiau įtakoti natūraliai aplinkoje vykstančių procesų iš atmosferos, o ne tręšimo nuotekų dumblu, nes 2021 m. palyginus tręštas aikšteles su netręštomis, skirtumas tarp jų tesiekė 0,66 mg kg^{-1}. Todėl tręšimas nuotekų dumblu neturėjo ženklios įtakos chloridų kaupimuisi.



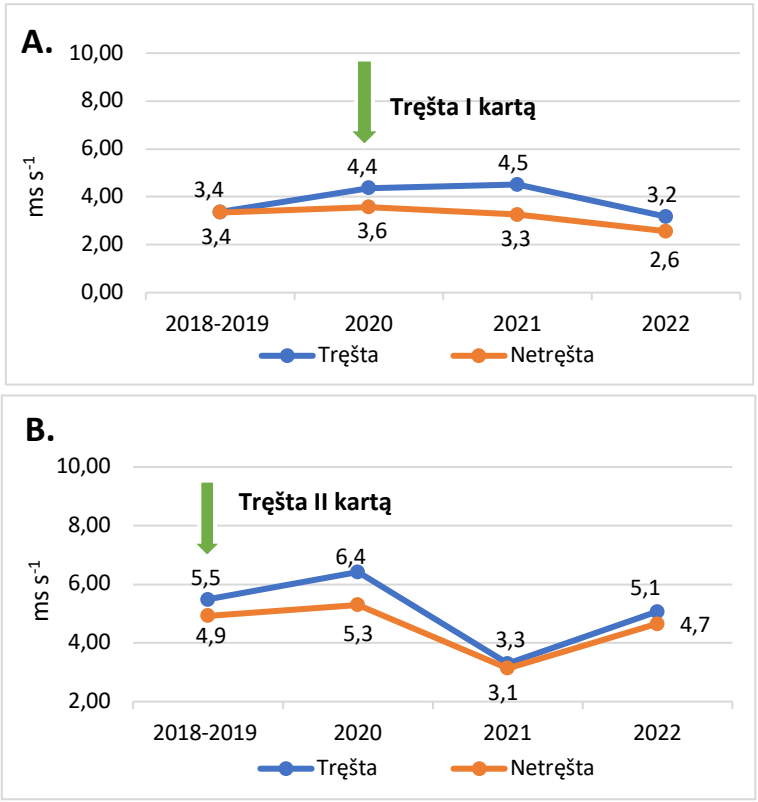


3.1.6.1 pav. Chloridų (Cl^-) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

Priešingai, laukuose tręštuose ND 2 kartus, chloridai projekto pradžioje tiek netręštose kontrolinėse, tiek tręštose aikštelėse tendencingai mažėjo, tačiau trečiaisiais tyrimo metais pradėjo didėti, kaip ir laukuose ND tręšiamuose 1 kartą, ir piką pasiekė projekto pabaigoje (3.1.6.1. pav. B.). Lyginant pokyčius tarp netręštų ir ND tręštų aikštelių, paskutiniais dvejais tyrimų metais, tręštuose dirvožemiuose chloridų koncentracijos buvo didesnės nei netręštuose ir gauti vidutiniai skirtumai tarp minėtų aikštelių buvo 2,08 ir 2,20 mg kg^{-1} didesni. Kadangi chloridų pokyčių tendencijos buvo nustatytos tiek tręštuose, tik netręštuose dirvožemiuose, todėl taip pat galime daryti prielaidą, kad juos labiau įtakojo natūraliai aplinkoje vykstantys procesai, o nuotekų dumblas tik šiek tiek sustiprino šias tendencijas, nes skirtumai tarp tręštų ir netręštų aikštelių buvo kiek didesni, nei ND 1 kartą tręštuose laukuose.

Elektrinis laidumas (LE). Augalų augimo intensyvumas priklauso nuo dirvožemio elektrinio laidumo, kuris susijęs su dirvožemio druskingumo nustatymu. Dirvožemio elektrinį laidumą lemia ne tik druskingumas, bet ir kitos dirvožemio savybės: granuliometrinė sudėtis (molio dalelių dalis), dirvožemio drėgmės kiekis, tankis, organinių medžiagų kiekis (humusas) ir temperatūra. Tad vertinant tyrimų rezultatus, laikomasi taisyklės: jei EC > 100 $mS \cdot m^{-1}$, tai EC matavime dominuoja druskingumas; jei EC < 100 $mS \cdot m^{-1}$, tai EC matavime dominuoja dirvos molio dalelių kiekis, drėgnis, organinių medžiagų kiekis ir tankis. Žinoma, kad dirvožemio elektrinis laidumas stipriai koreliuoja su molio dalelių kiekiu (kuo daugiau molio dalelių, tuo didesnis EC) (Corwin ir kt., 2005). dirvožemio temperatūrą.

Visapusės stebėsenos metu, tiek netręštų (kontrolinių), tiek tręštų aikštelių dirvožemiuose elektrinio laidumo vertės buvo mažesnės nei 100 mS s^{-1}, o tai reiškia, kad dirvožemyje dominuoja ne druskos, o molio dalelės ir organinės medžiagos. Tyrimų aikštelės tręštos ND 1 kartą, visais tyrimų metais pasižymėjo kiek didesniu elektriniu laidumu nei kontrolinės netręštos aikštelės – skirtumas vidutiniškai sudarė 0,7 mS s^{-1}. Šiuose laukuose, tręštuose ND 1 kartą, elektrinis laidumas tendencingai didėjo nuo pat projekto pradžios ir piką pasiekė trečiaisiais tyrimų metais, o projekto pabaigoje vėl buvo linkęs mažėti (3.1.6.2 pav. A). Minėtos tendencijos nustatytos tiek netręštose kontrolinėse, tiek tręštose aikštelėse. Todėl tręšimas nuotekų dumblu neturėjo ženklios įtakos elektrinio laidumo pokyčiams tirtuose dirvožemiuose.



3.1.6.2 pav. Elektrinio laidumo (EL) pokyčiai nuotekų dumblu tręštose ir netręštose stebėsenos aikštelėse

Kiek kitokios pokyčių tendencijos nustatytos laukuose, tręštuose ND 2 kartus. Elektrinis laidumas, projekto pradžioje tiek netręštose kontrolinėse, tiek tręštose aikštelėse tendencingai didėjo, tačiau trečiaisiais tyrimo metais fiksuotas staigus sumažėjimas, o ketvirtaisiais – vėl buvo linkęs didėti. (3.1.6.2. pav. B.). Lyginant pokyčius tarp netręštų ir ND tręštų aikštelių, taip pat visais tyrimų metais, tręštuose dirvožemiuose elektrinis laidumas buvo didesnės nei netręštuose ir skirtumas siekė vidutiniškai 0,6 mS s^{-1}. Kadangi tos pačios pokyčių tendencijos buvo nustatytos tiek tręštuose, tik netręštuose dirvožemiuose, todėl taip pat galime daryti prielaidą, kad tręšimas nuotekų dumblu neturėjo ženklios ir esminės įtakos elektrinio laidumo pokyčiams, nors minėto rodiklio didėjimo tendencijos dirvožemyje buvo matomos tiek tręštose, tiek netręštose aikštelėse, laukus tręšiant ND tiek 1, tiek 2 kartus.

3.1.7 Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAA) ir polichlorbifenilai (PCB)

Nuotekų dumblo tręšimas kaip trąša yra įprastas būdas pagerinti dirvožemio savybes. Tačiau daugybė tyrimų įrodė, kad dumble yra daug organinių teršalų tokių kaip policiklinių aromatinių angliavandenilių (PAA) ir polichlorbifenilų (PCB), kurie kelia potencialų pavojų žmonių sveikatai. Nuotekų dumble gali būti įvairių organinių teršalų. Susirūpinimas dėl PAA ir PCB yra pagrįstas, kadangi pasižymi toksiškomis, mutageninėmis, kancerogeninėmis savybėmis, kaupiasi dirvožemyje, neigiamai veikia dirvožemio mikroorganizmus, jų gausą ir įvairovę (García-Delgado et al. 2013; Banach-Szott et al. 2014; Nikolic et al. 2017). Dėl mutageninių ir kancerogeninių PAA savybių dirvą patręšus nuotekų dumblu gali kilti pavojus žmonių sveikatai. Todėl labai svarbu nustatyti ar naudojant

tręšimui džiovintą nuotekų dumbą, šie organiniai teršalai gali patekti į dirvožemį. Tyrimais nustatyta, kad tręšiant dumblu šių teršalų koncentracijos dirvožemyje priklauso nuo panaudoto dumblo kiekio (Stabnikova ir kt., 2005, Oleszczuk, 2006). Mūsų atliktais tyrimais nustatyta, kad naudojant nuo 11 iki 33 t ha^{-1} džiovinto granuliuoto nuotekų dumblo, tarša organiniais teršalais nepasireiškė. Vertinant organinių teršalų koncentracijas atskirai (naftalenas, acenaftenas, fluorenas, fenantrenas, antracenas, fluorantenas, pirenas, benz(a)antracenas, chrizenas, benzo(b)fluorantenas, benzo(k)fluorantenas, benzo(a)pirenas, benzo(g,h,i)perilenas, dibenzo(a,h)antracenas, indeno (1,2,3-cd) pirenas), tiek suminę jų koncentraciją (Σ PAA) visuose dirvožemio ėminiuose nustatyta, kad PAA koncentracija buvo žemiau nustatymo ribos – <0,01 mg kg^{-1}. Nustatant atskirus PCB (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 138 +163, PCB 153, PCB 180), tiek suminę jų koncentraciją (Σ PCB), taršos dirvožemio ėminiuose taip pat nenustatyta. Visuose ėminiuose koncentracija buvo žemiau nustatymo ribos – <0,005 mg kg^{-1}.

3.1 skyriaus IŠVADOS

1. Visapusės stebėsenos aikštelėse vertinant tręšimo įtaką nuotekų dumblu **mineralinio azoto (N_{min})** ir **judriosios sieros** (S_{min}) pokyčiams, didėjimo tendencijos nustatytos tik laukuose, tręštuose nuotekų dumblu 1 kartą, nes šioje atliekoje esančios organinės medžiagos mineralizacijos metu transformavosi į N_{min} bei S_{min} ir papildė jų atsargas, lengvai prieinamas augalams, praėjus metams po įterpimo. Priešingi rezultatai gauti laukuose tręštuose ND 2 kartus, kai nustatyti šių judriųjų medžiagų kiekiai daugumoje buvo mažesni nei kontrolinėse aikštelėse. N_{min} ir S_{min} kiekius dirvožemyje ženkliai įtakoja aplinkos veiksniai, ypač krituliai, kurie gali paskatinti šiuos junginius migruoti į gilesnius dirvožemio sluoksnius, taip pat organinių medžiagų mineralizacijos intensyvumas ir mikrobiotos veikla. Be to, šiuose laukuose augo 6–7 metų senumo drebulės, kurių poreikis maisto medžiagoms tikėtina buvo didesnis nei 4–5 metų amžiaus tuopų, ir tai atsispindėjo dirvožemiuose. Galime daryti prielaidą, kad tiek tręštose, tiek netręštose aikštelėse esantis organinių medžiagų kiekis dirvožemyje, negalėjo užtikrinti minėtų judriųjų medžiagų ilgalaikių atsargų dirvožemyje, todėl sistemingas tręšimas nuotekų dumblu yra naudingas, siekiant padidinti dirvožemio derlingumo potencialą.
2. Tręšimas nuotekų dumblu tendencingai didino **organinės anglies (C_{org})** koncentracijas tirtuose dirvožemiuose, tik nevienodu intensyvumu. Ryškesni pokyčiai stebimi aikštelėse, kuriose želdiniai buvo tręšti ND 1 kartą. Lyginant pokyčius tarp tręštų ir netręštų kontrolinių aikštelių, visais tyrimų metais po dumblo įterpimo, tręštuose dirvožemiuose C_{org} koncentracijos buvo didesnės, tręšiant ir 1, ir 2 kartus. Netręštuose dirvožemiuose C_{org} koncentracija per tyrimų laikotarpį (2018–2022 m.) tendencingai mažėjo, nes dirvožemių nepapildant organinėmis medžiagomis, mažėja jų atsargos, tame tarpe ir C_{org}. Tręštuose dirvožemiuose mažesnius C_{org} pokyčius galėjo lemti intensyvesnė mikroorganizmų veikla ir spartesnė organinių medžiagų mineralizacija į mineralinius junginius, be to, C_{org} buvo linkusios kaupti ir pačios tuopos ar drebulės. Taip pat C_{org} kaupimuisi yra svarbu ir pačio dirvožemio fizikinės bei cheminės savybės ir aplinkos veiksniai.
3. Nuotekų dumblas neturėjo įtakos dirvožemio **pH_{KCl}** pokyčiams, kurie buvo nedėsningi ir minimalūs. Tręšimas nuotekų dumblu teigiamai įtakojo **judriųjų fosforo (P_2O_5), kalio (K_2O) ir kalcio (CaO),** iš dalies ir **judriojo magnio (MgO)** kaupimąsi dirvožemiuose. Po nuotekų dumblo įterpimo, sekančiais metais tiek tręštuose 1 kartą, tiek 2 kartus dirvožemiuose judriųjų junginių koncentracijos didėjo, o vėlesniais metais jau buvo linkusios mažėti, nes nemažus jų kiekius pasisavino ir patys želdiniai savo augimo funkcijoms užtikrinti. Bet kokiu atveju nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiai pasižymėjo didesnėmis judriųjų P_2O_5, K_2O, CaO ir MgO koncentracijomis nei netręštų, ir ypač ND 2 kartus tręštuose laukuose. Kaip matome, ilgalaikėje perspektyvoje nuotekų dumblas gali užtikrinti judriųjų junginių kaupimąsi dirvožemyje, ne tik organinėje formoje, bet ir augalams prieinamoje mineralinėje.
4. Vertinant tręšimo įtaką **judriesiems mikroelementams (B, Cu, Zn, Fe, Mn, Mo)**, nustatyta, kad nuotekų dumblu tręštų aikštelių dirvožemiai sukaupė didesnes šių elementų koncentracijas nei netręštų. Be to, didesnės, o kartais ir ženkliai (Cu, Zn, Mn, iš dalies ir Fe), jų koncentracijos susikaupė laukų dirvožemiuose, nuotekų dumblu tręštuose 2 kartus. Pamečiui analizuojant sudarytas elementų kitimo dirvožemiuose kreives, tręštose stebėsenos aikštelėse (tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus) po dumblo įterpimo sekančiais metais daugelio judriųjų mikroelementų (Cu,

Fe, Mn ir Mo) koncentracijos tendencingai didėjo, tačiau paskutiniaisiais tyrimų metais vėl buvo linkę mažėti, nes želdiniai nemažus jų kiekius naudojo savo augimo funkcijos užtikrinti. Todėl projekto pabaigoje tiek tręštuose, tiek netręštuose dirvožemiuose, daugumos mikroelementų (išskyrus Cu) koncentracijos buvo mažesnės nei pradžioje. Tai leidžia daryti prielaidą, kad mikroelementų su dumblu į dirvožemį pateko nepakankamai arba dėl nepalankių aplinkos veiksnių sulėtėjus organinių medžiagų mineralizacijai, jie dirvožemyje liko organinėse medžiagose, kurios augalams yra neprieinamos.

5. Dirvožemiai tręšti nuotekų dumblu daugumoje sukaupė didesnes **sunkiųjų metalų** (**Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn**, išskyrus **Hg** ir iš dalies **As**) koncentracijas nei netręšti. Kiek didesnės (Cr, Ni, Cu, Zn, As), sunkiųjų metalų koncentracijos susikaupė laukų dirvožemiuose, nuotekų dumblu tręštuose 2 kartus. Pamečiui analizuojant sudarytas sunkiųjų metalų kitimo dirvožemiuose kreives, tręštose stebėsenos aikštelėse (tręšiant ND tiek 1 kartą, tiek 2 kartus) daugelio šių elementų (išskyrus As ir iš dalies Cu) koncentracijos projekto pabaigoje dirvožemiuose buvo tendencingai didesnės nei tyrimų pradžioje nustatytos. Sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemiuose neviršijo didžiausių lestinų koncentracijų (DLK) ir daugumoje buvo tik didesnės už jų foninį lygį (FL), nurodomą „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimų“ apraše. Nustatytos vidutinės sunkiųjų metalų koncentracijos lyginant su DLK dirvožemyje, buvo nuo kelių iki keliolikos kartų mažesnės, todėl tarša sunkiaisiais metalais dėl tręšimo nepasireiškė.
6. **Suminės azoto (N), fosforo (P), kalio (K)** bei **sieros (S)** koncentracijos dirvožemiuose kito labai siaurose ribose. Praėjus metams po nuotekų dumblo įterpimo, kiek ryškesni pokyčiai išryškėjo tik suminiam N ir K, kai šių elementų dirvožemiuose nežymiai padidėjo. Suminis P ir suminė S kito paklaidų ribose. Tręšti dirvožemiai pasižymėjo didesnėmis koncentracijomis nei netręšti. Be to, netręštuose dirvožemiuose šių elementų koncentracijos taip pat buvo linkusios didėti, tikėtina dėl į juos su želdinių nuokritomis patenkančių organinių medžiagų poveikio. Todėl nors ir tręšimo nuotekų dumblu įtaka minimali, tačiau šią organinę trąšą-atlieką naudojant želdinių tręšimui, ilgalaikėje perspektyvoje būtų galima papildyti suminių N, P, K ir S atsargų kaupimąsi dirvožemiuose, kartu padidinant ir jų našumą. Taip pat dalis suminių elementų į dirvožemį sugrįžtų kartu su želdinių nuokritomis, kurios taip pat papildytų šių elementų atsargas dirvožemiuose.
7. Tiek netręštų (kontrolinių), tiek tręštų aikštelių dirvožemiuose **chloridų (Cl^-)** koncentracijos nei vienais tyrimų metais neviršijo didžiausios leistinos koncentracijos (DLK=60 mg kg^{-1}). Tiek nuotekų dumblu netręštose, tiek tręštose aikštelėse (tręšiant 1 ar 2 kartus) chloridų koncentracijos tendencingai didėjo, kiek intensyviau laukuose tręštuose ND 2 kartus. Todėl tikėtina, kad chloridų kaupimąsi įtakojo tiek natūraliai aplinkoje vykstantys procesai iš atmosferos, tiek tręšimas nuotekų dumblu, kuris šiek tiek sustiprino minėtas tendencijas.
8. Tręšimas nuotekų dumblu neturėjo ženklios įtakos **elektrinio laidumo** pokyčiams dirvožemiuose. Šis rodiklis buvo kiek didesnis tręštuose dirvožemiuose, tiek tręštuose 1, tiek 2 kartus, tačiau nustatytos vertės buvo mažesnės nei 100 mS s^{-1}, o tai reiškia, kad dirvožemyje dominuoja ne druskos, o molio dalelės ir organinės medžiagos.
9. Tręšiant nuotekų dumblu **organinių teršalų** (policiklinių aromatinių angliavandenilių (PAA) ir polichlorbifenilų (PCB)) koncentracijos dirvožemyje priklauso nuo panaudoto dumblo kiekio. Projekto laukuose želdinių tręšimui naudojant nuo 11 iki 33 t ha^{-1} džiovinto granuliuoto nuotekų dumblo normas, tarša organiniais teršalais nepasireiškė. Vertinant organinių teršalų koncentracijas tiek atskirai (naftalenas, acenaftenas, fluorenas, fenantrenas, antracenas, fluorantenas, pirenas,

benz(a)antracenas, chrizenas, benzo(b)fluorantenas, benzo(k)fluorantenas, benzo(a)pirenas, benzo(g,h,i)perilenas, dibenzo(a,h)antracenas, indeno (1,2,3-cd) pirenas), tiek suminę jų koncentraciją (Σ PAA) visuose dirvožemio ėminiuose nustatytos PAA koncentracijos buvo žemiau nustatymo ribos (<0,01 mg kg^{-1}). Tos pačios tendencijos pasireiškė vertinant tiek atskirus PCB (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 138 +163, PCB 153, PCB 180), tiek suminę jų koncentraciją (Σ PCB), taršos dirvožemiuose taip pat nenustatyta, nes koncentracijos buvo žemiau nustatymo ribos (<0,005 mg kg^{-1}). Todėl tręšimas apdorotu nuotekų dumblu buvo saugus ir neturėjo neigiamo poveikiui tiek aplinkai, tiek žmonėms.

10. Termiškai apdorotu nuotekų dumblu tręšti mažesnio našumo dirvožemiai ilgalaikės visapusės stebėsenos metu sukaupė daugiau organinės anglies, mineralinio azoto, judriųjų fosforo, kalio, kalcio ir magnio, bei mikroelementų. Be to, dėl tręšimo apdorotu nuotekų dumblu, dirvožemiuose nebuvo nustatyta jokio pobūdžio tarša (sunkiaisiais metalais, chloridais, organiniais junginiais) ir taip pat nekilo vandens telkinių eutrofikacijos pavojus dėl galimo pertręšimo azoto junginiais. Todėl nuotekų dumblas yra kokybiška ir vertinga organinė atlieka (trąša), ilgalaikėje perspektyvoje jį naudojant, galinti pagerinti mažiau našių dirvožemių kokybę, ypač anglies ir maisto medžiagų balansą, bei prisidėti įgyvendinant žiedinę ekonomiką šalyje.

REKOMENDACIJOS

Nuotekų dumble yra gausu organinių medžiagų, makro- ir mikroelementų, todėl šios organinės kilmės atliekos gali būti plačiai naudojamos žemės ir miškų ūkio dirvožemiuose, įvairių augalų ir želdinių tręšimui. Tačiau nuotekų dumblo panaudojimas yra neatsiejamas nuo aplinkosaugos problemų, nes dažnai jo sudėtyje esantys teršalai (nitratai, sunkieji metalai, organiniai junginiai ir kiti patogenai), iš dirvožemio pasišalina migruodami į gilesnius jo sluoksnius, o iš ten į gruntinius vandenis, arba pasisavinami pačių augalų ir taip gali patekti į maisto grandinę.

Tačiau ES šalyse, tame tarpe ir Lietuvoje, galioja įvairūs teisės aktai, kurie apibrėžia ir garantuoja saugų nuotekų dumblo naudojimą tręšimui, taip siekiant išvengti galimų grėsmių ir rizikų. Lietuvoje nuotekų dumblo naudojimą reglamentuoja LAND 20-2005 „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimai“, nurodantys didžiausias leistinas sunkiųjų metalų koncentracijas dirvožemyje (DLK) (2 lentelė), kurias viršijus tręšimas tokiu dumblu draudžiamas. Todėl labai svarbu ir būtina toliau laikytis šių rekomendacijų, kad išvengtume galimos taršos. Prieš naudojant šias organines atliekas tręšimui ir siekiant išlaikyti aukštą trumpos rotacijos želdinių bei padidinti dirvožemio derlingumo lygį, būtina atlikti ne tik dirvožemio (sunkiųjų metalų, pH_{KCl}), bet ir dumblo, naudojamo tręšimui, tyrimus, ir pagal tai parinkti tręšimo normas, kurios užtikrintų ne tik želdinių maisto medžiagų poreikius, bet ir saugotų dirvožemius bei aplinką nuo galimos taršos.

Vykdant Nutribiomass4Life projektą, būtent šiuos tikslus ir pavyko pasiekti, nes termiškai apdorotu nuotekų dumblu tręšti mažesnio našumo dirvožemiai tiek pagrindinės, tiek ilgalaikės visapusės stebėsenos metu sukaupė daugiau organinės anglies, mineralinio azoto, judriųjų fosforo, kalio, kalcio ir magnio, mikroelementų. Be to, dėl tręšimo apdorotu nuotekų dumblu, dirvožemiuose nebuvo nustatyta jokio pobūdžio tarša ir taip pat nekilo vandens telkinių eutrofikacijos pavojus dėl galimo pertręšimo azoto junginiais. Sunkiųjų metalų koncentracijos skirtingų tipų ir granuliometrinės sudėties dirvožemiuose per ketverius projekto vykdymo metus nė karto neviršijo didžiausių leistinų koncentracijų (DLK) ir svyravo tik foninio lygio ribose, o gyvsidabris daugeliu atvejų netgi buvo žemiau šių ribų. Nustatytos koncentracijos buvo nuo kelių iki keliolikos kartų mažesnės, nei DLK. Tarša chloridais ir organiniais teršalais (policikliniais aromatiniais angliavandeniliais (PAA) ir polichlorbifenilais (PCB)) taip pat nepasireiškė, o pastarųjų junginių nustatytos koncentracijos dirvožemiuose buvo žemiau nustatymo ribos. Dalį sunkiųjų metalų savo biomasėje sukaupė trumpos rotacijos energetiniai želdiniai, nors ir tarša jais iš nuotekų dumblo nebuvo nustatyta, tačiau tokiu būdu galima sumažinti anksčiau dirvoje natūraliai sukauptų sunkiųjų metalų koncentracijas. Todėl, ar nuotekų dumblas yra daugiau galimybė, ar grėsmė, priklausė nuo pačio dumblo kokybės ir tręšimo normos paisymo.

Taigi atlikti tyrimai įrodo, kad projekto laukuose želdinių tręšimui naudojamas, tinkamai termiškai apdorotas, nuotekų dumblas yra kokybiška ir vertinga organinė atlieka (trąša), mažesnio našumo žemės ūkio paskirties dirvožemius papildanti ne tik organinėmis medžiagomis bei organine anglimi, bet ir kitomis augalams labai svarbiomis maisto medžiagomis, ir kuri gali būti prilyginama tręšiamiesiems produktams, tokiems kaip medienos biokuro pelenai, iš kurių gaminamos granuliuotos mineralinės-organinės trąšos.

Šalia visų privalomų laikytis rekomendacijų, nurodomų LAND 20-2005 „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimuose“, prieš tręšiant nuotekų dumblu, labai svarbu atsižvelgti ir

į pačio dirvožemio chemines ir fizikines savybes, jo tipą ir granuliometrinę sudėtį, pH, užmirkimą, nes šie veiksniai turi didelės įtakos įvairių medžiagų akumuliacijai, prieinamumui, judriųjų junginių (kaip azoto ir sieros), kurių nesorbuoja pats dirvožemis, migracijai į gilesnius dirvožemio sluoksnius, o iš jų į gruntinius vandenis. Taip pat svarbu auginamų augalų rūšis (energetiniai želdiniai ar žemės ūko augalai, pievos ganyklos), jų paskirtis ir poreikis maisto medžiagoms, nes nuo to priklauso ir tręšimo šia organine atlieka - trąša normos. Todėl tręšimas nuotekų dumblu, laikantis visų rekomendacijų, yra ne mažiau efektyvus už tręšimą kitomis organinėmis trąšomis (pvz. galvijų, paukščių mėšlą) ir nekeliantis grėsmių aplinkai. Ilgalaikėje perspektyvoje nuotekų dumblas žemės ūkyje, auginant trumpos rotacijos želdinius, rekomenduojamas naudoti kaip dirvožemio gerinimo priemonė gali būti traktuojamas, kaip trąša ar tręšiamasis produktas, papildantis dirvožemį organinėmis medžiagomis, pagerinantis dirvožemio kokybę, ypač anglies ir maisto medžiagų balansą bei galintis prisidėti įgyvendinant žiedinę ekonomiką šalyje.

Trumpos rotacijos želdiniai kartu su nuotekų dumblu buvo tręšiami ir medienos biokuro pelenais, kurie gaunami sudeginus projekto laukuose užaugintas hibridines tuopas ir drebules, ir taip buvo užbaigiamas šiame projekte diegiamas žiedinės ekonomikos modelio ciklas.

Pirmiausia, biokuro medienos pelenais buvo siekiama pašarminti dirvožemių rūgštoką reakciją, tačiau kalkinimo efekto tręštuose projekto laukuose nepavyko pasiekti, nes naudotas pelenų kiekis buvo per mažas (0,5 t ha^{-1}). Todėl siekiant neutralizuoti dirvožemių rūgštoką reakciją, rekomenduotume padidinti naudojamų pelenų normą, remiantis „Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklėmis“ (Taisyklės), kuriose yra nurodomi galimi naudoti pelenų kiekiai (1 lentelė), esant skirtingai dirvožemių pH, įvairios granuliometrinės sudėties dirvožemiuose.

1 lentelė. **Leidžiamas naudoti žemės ūkyje pelenų kiekis (t ha^{-1})**

Dirvožemio ariamojo sluoksnio granuliometrinė sudėtis	pH					
	< 4,6	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	6,1–6,5	6,6–7,0
Priesmėliai	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	-
Lengvi ir vidutinio sunkumo priemoliai	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Sunkūs priemoliai ir moliai	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5

Tręšiant medienos kuro pelenais kartu su nuotekų dumblu dirvožemiai praturtinami augalams reikalingais makroelementais (Ca, K, P, S ir Mg) ir mikroelementais. Tačiau kartu su šiomis maisto medžiagomis į dirvožemį gali patekti ir sunkieji metalai, kurie taip pat kaip ir nuotekų dumblo, taip ir pelenų naudojimui, yra ribojantis veiksnys, kurį kontroliuoja „Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklės“. Todėl tręšiant didesne pelenų norma ir siekiant užtikrinti saugų jų naudojimą, kuris neturėtų neigiamų padarinių aplinkai ir dirvožemiui, tektų atlikti sunkiųjų metalų koncentracijų, granuliometrinės sudėties, pH_{KCl}, judriųjų kalio (K_2O) ir fosforo (P_2O_5) kiekių dirvožemiuose tyrimus, kaip ir nurodo taisyklės. Nes pelenų, kaip ir dumblo, naudojimas yra draudžiamas, jeigu sunkiųjų metalų koncentracija dirvožemyje viršija 70 % didžiausiosios leidžiamosios sunkiųjų metalų koncentracijos, nurodytos 2 lentelėje.

2 lentelė. **Didžiausioji leidžiamoji sunkiųjų metalų koncentracija (DLK) dirvožemyje**

Dirvožemio granulio-metrinė sudėtis	Sunkiųjų metalų koncentracija, mg/kg						
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Hg
Smėliai, priesmėliai	50	1,0	50	50	50	160	0,6
Priemoliai, moliai	80	1,5	80	80	60	260	1,0

Projekto laukų tręšimas medienos kuro pelenais kartu su nuotekų dumblu buvo efektyvus, nes dirvožemiai daugiau sukaupė mineralinio azoto, judriųjų fosforo ir kalio, organinės anglies, lyginant tik su dumblu tręštais. Sunkiųjų metalų – chromo, nikelio, vario ir cinko – taip pat nustatyta daugiau, tačiau šių metalų koncentracijos neviršijo dirvožemyje didžiausių leidžiamų koncentracijų (DLK), svyravo foninio lygio ribose ir buvo nuo kelių iki keliolikos kartų mažesnės už DLK. Todėl medienos kuro pelenų naudojimas rūgštokuose dirvožemiuose (balkšvažemiuose, išplautžemiuose) kaip kalkinimo priemonės yra ne tik tikslingas, bet naudingas ir rekomenduotinas, siekiant ne tik neutralizuoti rūgštesnę reakciją, kurioje dažnai padidėja sunkiųjų metalų judrumas, o taip pat praturtinti dirvožemius maisto medžiagomis ir užtikrinti jų derlingumo potencialą.

Prieš tręšiant medienos biokuro pelenais, ypač didesniais kiekiais, visgi rekomenduotume atsižvelgti į želdinių amžių, nes jaunų medelių šaknys gali jautriau sureaguoti į šarminę pelenų aplinką, kuri juos gali nudeginti ir sutrikdyti tolesnį augimą bei vystymąsi arba visai sunykti. Todėl vertėtų neskubėti energetinių želdinių tręšti pelenais 1–2 jų augimo metais. Taip pat pelenai turi būti išbarstomi, želdinių šakų vainiko plote, nes būtent tokiame plote yra išsidėsčiusios jų šaknys.

Literatūra

1. Achkir A., Aouragh A., El Mahib M., Lotfi El M., Labjar N., El Bouch M., Ouahidi M. L., Badza T., Farhane H., EL Moussaoui T. 2023. Implication of sewage sludge increased application rates on soil fertility and heavy metals contamination risk. Emerging Contaminants, 9, 1, 100200. https://doi.org/10.1016/j.emcon.2022.100200
2. Aggelides S., Londra P. (2000). Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. Bioresource Technology, 71, 3, 253-259. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00074-7
3. Angin I, Aslantas R, Kose M, Karakurt H, Ozkan G. 2012. Changes in chemical properties of soil and sour cherry as a result of sewage sludge application. Horticultural Science, 39, 2, 61-66. https://doi.org/10.17221/4/2011-HORTSCI
4. Atsu D., Agyemang E. O., Tsike S. A. K. 2016. Solar electricity development and policy support in Ghana. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 53: 792–800.
5. 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), 984. https://doi.org/10.3390/f13070984.
6. Banach-Szott M., Debska B., Rosa E. (2014). Effect of soil pollution with polycyclic aromatic hydrocarbons on the properties of humic acids. *J Soils Sediments*, 14, p. 1169–1178. doi: 10.1007/s11368-014-0873-9.
7. 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, Sci. Total Environ. 578: 47e55, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.083
8. Cogger C. G., Bary A. I., Sullivan D. M., Myhre E. A. 2004. Biosolids processing effects on first-and second-year available nitrogen. Soil Science Society of America Journal, 68(1): 162-167. https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1620
9. Deviatkin I., Lyu L., Chen S., Havukainen J., Wang F., Horttanainen M., M. Mänttäri. 2019. Technical implications and global warming potential of recovering nitrogen released during continuous thermal drying of sewage sludge. Waste Management, 90, 132-140. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.031
10. Diacono M., Montemurro F. 2011. Long-term effects of organic amendments on soil fertility, Sustainable Agriculture, 2, 761–786. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0394-0_34
11. El Moussaoui T., Belloulid M.O., Elharbili R., El Ass K., Ouazzani N. 2022. Simultaneous assessment of purification performances and wastewater byproducts management plans towards a circular economy: case of Marrakesh WWTP. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 6, 100228. https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100228
12. Falayi T. 2019. Alkaline recovery of phosphorous from sewage sludge and stabilisation of sewage sludge residue. Waste Management, 84, 166-172. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.041
13. García-Delgado C., Yunta F., Eymar E. (2013). Methodology for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Extraction from Either Fresh or Dry Spent Mushroom Compost and Quantification by High-Performance Liquid Chromatography-Photodiode Array Detection. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 44, p. 817–825. doi:10.1080/00103624. 2013.749439.

14. Goulding K. W. T. 2000. Nitrate leaching from arable and horticultural land. Soil Use and Management, 16 (1): 145–151
15. Grušauskas V, Dauknys R. 2010. Aerobinio proceso taikymo pertekliniam dumblui stabilizuoti tyrimas. 13-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ 2010 metų teminės konferencijos „Pastatų inžinerinės sistemos“ straipsnių rinkinys. Vilnius. 35–40 p.
16. Hauptvogl, M. 2013. Increase of biomass production of fast-growing willows in the first year of the second harvest cycle. Acta regionalia et environmentalica 10 (2): 34–37.
17. Jabloun M., Schelde K., Tao T., Olesen E. J. 2015. Effect of temperature and precipitation on nitrate leaching fromorganic cereal cropping systems in Denmark. European Journal of Agronomy, 62: 55–64.
18. Hengl T, Mendes de Jesus J, Heuvelink GBM, Ruiperez Gonzalez M, Kilibarda M, Blagotić A., Shangguan W., Wright M. N., Geng X., Bauer-Marschallinger B., Guevara M. A., Vargas R., MacMillan R. A., Batjes N. H., Leenaars J. G. B., Ribeiro E., Wheeler I., Mantel S, Kempen B. 2017. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. PLOS ONE 12(2), e0169748. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748
19. Ito, A., Wagai, R., 2017. Global distribution of clay-size minerals on land surface for biogeochemical and climatological studies. Scientific Data 4, 170103.
20. Jama-Rodzeńska A., Nowak W., 2012. Nickel and lead uptake by willows (*Salix viminalis* L.). Polish Journal of Agronomy. 11: 29–33.
21. Kacprzak M., Ociepa A., Bien J. 2010. The influence of soil fertilization on the amounts of ashes and contents of heavy metals in biomass ashes. Archivum Combustionis. 30 (3): 125–13
22. Khan M. H., Kaleem M. 2017. Effect of sewage sludge on soil properties, productivity and accumulation of nutrients and heavy metal in fenugreek (Trigonella foenum-graceum) and their availability in soil. Annals of Plant and Soil Research, 19, 1, 100–104. https://www.gkvsociety.com/control/uploads/MOHAMMAD%20HALIM%20KHAN%20AND%20MOHD.%20KALEEM.pdf
23. Lietuvos biomasės energetikos asociacija LITBIOMA. 2008. Lietuvos atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo skatinimo veiksmų planas 2010–2010 m. Taikomasis mokslinis tyrimas. Ataskaita (galutinė). Vilnius, 215 p. Prieiga per internetą: http://www.lsta.lt/files/studijos/2008/B-51_LITBIOMA%20galutine%20ataskaita%20FINAL.pdf
24. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2001 m. birželio 29 d. įsakymas Nr. 349 „Dėl normatyvinio dokumento LAND 20-2005 „Dėl Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimų patvirtinimo“ (Suvestinė redakcija nuo 2022-11-29 iki 2024-12-31).
25. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2011 m. sausio 5 d. įsakymas Nr. D1-14 „ Dėl Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklių patvirtinimo“. (Suvestinė redakcija nuo 2018-07-01)
26. Liu H. B., Wu W. L., Zhang J. 2005. Regional differentiation of non-point source pollution of agriculture-derived nitrate nitrogen in groundwater in northern China. Agriculture, Ecosystems and Environment, 107: 211–220.
27. Mašauskas V. 2009. Aplinkosauga ir tręšimo planavimas. Vilnius, 97 p.

28. Mažvila J., Staugaitis G., Vaišvila Z., Aleknavičius P., Juozokas A., Mockevičius R. ir Lukšienė L. 2011. Lietuvos žemės našumas. Monografija. Akademija, Kėdainių r. 280 p.
29. Mclay C.D.A., Dragten R., Sparling G., Selvarajah N. 2001. Predicting groundwater nitrate concentrations in a egion of mixed agricultural land use: a comparison of three approaches. Environmental Pollution, 115: 191–204
30. Najmadeen H. Hamarashid, Mohammad A. Othman, Mohamed – Amin H. Hussain. 2010. Effects of soil texture on chemical compositions, microbial populations and carbon mineralization in soil. The Egyptian Journal of Experimental Biology (Botany), 6: 59-64.
31. Ngwu O., Ezike Ch., Okechukwu, G. (2021). Influence of Different Rates of Sewage Sludge on Soil Phyisco Chemical Properties, Growth and Yield of Bambara Groundnut (Vigna Subterranean) In an Ultisol. Agrotechnology, 10, 9, 223, 1-8. https://www.researchgate.net/journal/Agrotechnology-2168-9881
32. Nikolic J. S., Stankov Jovanovic V. P., Dimitrijevic M. V. et al. (2017). Dispersive solid-phase extraction clean up combined with Soxhlet extraction for the determination of 16 PAHs in soil samples by GC-MS. *Int J Environ Anal Chem*, 97, p. 112–123. doi: 10.1080/03067319.2017.1290801.
33. Nishiwaki A1, Mizuguti A, Kuwabara S, Toma Y, Ishigaki G, Miyashita T, Yamada T, Matuura H, Yamaguchi S, Rayburn AL, Akashi R, Stewart JR. 2011. Discovery of natural *Miscanthus* (*Poaceae*) triploid plants in sympatric populations of *Miscanthus sacchariflorus* and *Miscanthus sinensis* in southern Japan. American journal of botany. 98(1): 154–9.
34. Njakou Djomo S., El Kasmioui O., De Groote T., Broeckx L. S., Verlinden M. S., Berhongaray G., Fichot R., Zona D., Dillen S. Y., King J. S., Janssens I. A., Ceulemans R. 2013. Energy and climate benefits of bioelectricity from low-input short rotation woody crops on agricultural land over a two-year rotation. Applied Energy. 111: 862–870.
35. Nichols, J. D., 1984. Relation of organic carbon to soil properties and climate in the southern Great Plains. Soil Science Society of America Journal, 48(6), 1382–1384.
36. Nyamangara J., Mzezewa J. 2001. Effect of long-term application of sewage sludge to a grazed grass pasture on organic carbon and nutrients of a clay soil in Zimbabwe. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 59, 13-18. https://doi.org/10.1023/A:1009811618018
37. Quaye A.K., Volk T.A. 2013. Biomass production and soil nutrients in organic and inorganic fertilized willow biomass production systems. Biomass and Bioenergy, 57: 113–125.
38. Ofverstrom S., Sapkaitė I., Dauknys R. 2010. Piminio – perteklinio dumblo mišinio anaerobinio pūdimo tyrimai. 13 – osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ 2010 metų teminės konferencijos „Pastatų inžinerinės sistemos“ straipsnių rinkinys. Vilnius. 72-75.
39. Oleszczuk, P. (2006). Persistence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sewage sludge-amended soil. *Chemosphere*, *65*(9), 1616-1626. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.03.007
40. Pažusis R., Rimeika M. 2010. Dumblo kompostavimo įrenginių efektyvumo tyrimai. 13–osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ 2010 metų teminės konferencijos „Pastatų inžinerinės sistemos“ straipsnių rinkinys. Vilnius, 76–79.
41. Phillips C.J., Marden M and Suzanne L.M. 2014. Observations of root growth of young poplar and willow planting types. New Zealand Journal of Forestry Science, 44: 1–15.

42. Schoenau J. J. Monitoring the long-term effects of repeated manure applications in crop production. Soil and Environmental Quality in Saskatchewan, 2005.
43. Seleiman M. F., Santanen A., Kleemola J., Stoddard F. L., Mäkelä P. S. A. 2013. Chemosphere Improved sustainability of feedstock production with sludge and interacting mycorrhiza, Chemosphere 91: 1236e1242. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.02.004
44. Sevel L., Nord-Larsen T., Ingerslev M., Jørgensen U., Raulund-Rasmussen K. 2013. Fertilization of SRC Willow, I: Biomass Production Response. BioEnergy Research, 7(1): 319-328.
45. Simon L., Szabó B. (compilers) Biomob Consortium. 2011. Willow growing as an energy crop in Sweden 2011. WP 2: Benchmark the international aspects of the regional challenges: Biomass resources, RTD capabilities and Biomass-RTD deficits. WP 2.1–2.2 Case Report. 19 p.
46. Sodsai P., Rachdawong P. 2012. The current situation on CO2 emissions from the steel industry in Thailand and mitigation options. International Journal of Greenhouse Gas Control, 6: 48–55.
47. Sokka L., Sinkko T., Holma A., Manninen K., Pasanen K., Rantala M., Leskinen P. 2016. Environmental impacts of the national renewable energy targets – A case study from Finland. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59: 1599–1610.
48. Stabnikova, O., Goh, W., Ding, H., Tay, J., & Wang, J. (2005). The use of sewage sludge and horticultural waste to develop artificial soil for plant cultivation in Singapore. *Bioresource Technology*, *96*(9), 1073-1080. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.09.024
49. Staugaitis G., Vaišvila J. Z. Dirvožemio agrocheminiai tyrimai. 2019. 111 p.
50. Stevenson F. J. Humus Chemistry: genesis, composition, reactions. John Wiley & Sons, 1994.
51. Strėlkutė A., Bradulienė J. 2014. Chloridų koncentracija dirvožemyje, užterštame žiemos metu naudojamu bišofitu, ir poveikis žoliniams augalams. Aplinkos apsaugos inžinerija/ Environmental Protection Engineering, 6(4): 386–391. file:///C:/Users/LAMMC-ATL%20-%20Aiste/Downloads/3568-Article%20Text-7808-1-10-20180629-1.pdf
52. Sun, T., Wang, Y., Hui, D., Jing, X., Feng, W. 2020. Soil properties rather than climate and ecosystem type control the vertical variations of soil organic carbon, microbial carbon, and microbial quotient. Soil Biology and Biochemistry, 148, 107905.
53. Titova J. 2016. Tręšimo nuotekų dumblo kompostu įtaka energinių augalų biomasės formavimuisi ir cheminių elementų kaitai. Daktaro disertacija, LAMMC. Akademija, 182 p.
54. Tong Y. A., Shi W., Lu D. Q., Emteryd O. 2005. Relationship between soil texture and nitrate distribution and accumulation in three types of soil profile in Shaanxi. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 11: 435–441.
55. Zhao, Q., Chu, S., He, D., Wu, D., Mo, Q., & Zeng, S. (2021). Sewage sludge application alters the composition and co-occurrence pattern of the soil bacterial community in southern China forestlands. *Applied Soil Ecology*, *157*, 103744. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103744
56. Zinn, Y.L., Lal, R., Bigham, J.M., Resck, D.V.S., 2007. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian cerrado: texture and mineralogy. Soil Science. Society American Journal, 71 (4), 1204–1214.

57. Wiesmeier M., Urbanski L., Hobley E., Lang B., von Lützow M., Marin-Spiotta E., van Wesemael B., Rabot E., Ließ M., Garcia-Franco N., Wollschläger U., Vogel H., Kögel-Knabner I. (2019). Soil organic carbon storage as a key function of soils –A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma*, *333*, 149–162. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.026