VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Mantas PRANSKEVIČIUS

SKIRTINGOS ŽEMĖNAUDOS DIRVOŽEMIŲ
BENDROSIOS ANGLIES KIEKIO
IR ANGLIES DIOKSIDO EMISIJOS
TYRIMAI BEI VERTINIMAS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
APLINKOS INŽINERIJA IR KRAŠTOTVARKA (04T)

LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2011

Disertacija rengta 2007–2011 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Mokslinis vadovas

prof. habil. dr. Pranas BALTRĖNAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T).

Konsultantas

prof. dr. Arvydas LIETUVNINKAS (Tomsko universitetas, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T).

VG TU leidyklos TECHNIKA 1878-M mokslo literatūros knyga
<http://leidykla.vgtu.lt>

ISBN 978-9955-28-859-6

© VG TU leidykla TECHNIKA, 2011
© Mantas, Pranskevičius, 2011
mantas.pranskevicius@vgtu.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Mantas PRANSKEVIČIUS

RESEARCH AND ASSESSMENT
OF THE TOTAL CARBON CONTENT
AND CARBON DIOXIDE EMISSIONS
FROM SOILS OF DIFFERENT LAND-USE
PURPOSE

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
ENVIRONMENTAL ENGINEERING (04T)

LEIDYKLA

Vilnius TECHNIKA 2011

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2007–2011.

Scientific Supervisor

Prof Dr Habil Pranas BALTRĖNAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T).

Consultant

Prof Dr Arvydas LIETUVNINKAS (Tomsk University, Technological Sciences, Environmental Engineering – 04T).

Reziumė

Disertacijoje nagrinėjamas bendrosios anglies kiekio dirvožemyje ir iš dirvožemio išskiriamo anglies dioksido dydžio sąryšis. Pagrindiniai tyrimo objektai yra bendrosios anglies kiekis ir anglies dioksido emisijos Neries regioninio parko, Paluknio, Užpalių ir Pailiepio vietovėse.

Darbe sprendžiami uždaviniai: bendrosios anglies kiekio ir anglies dioksido emisijos įvertinimas skirtingos žemėnaudos dirvožemiuose; anglies dioksido išsiskyrimo iš dirvožemio dėsningumai ir sąsaja su bendrosios anglies kiekiu. Trečias uždavinys – modeliavimu įvertinti bendrosios anglies pokyčius ir anglies dioksido emisijos prognozinis kiekius bei priklausomybė nuo klimato rodiklių.

Disertaciją sudaro įvadas, šeši skyriai, rezultatų apibendrinimas, literatūros sąrašas ir autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašas.

Įvadiniamе skyriuje aptariama tiriama problema, darbo aktualumas, aprašomas tyrimų objektas, formuluojamas darbo tikslas bei uždaviniai, aprašoma tyrimų metodika, darbo mokslinis naujumas, darbo rezultatų praktinė reikšmė, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pristatomos disertacijos tema autoriaus skelbtos publikacijos ir konferencijų pranešimai bei disertacijos struktūra.

Pirmasis skyrius skirtas literatūros analizei. Analizuojama informacija apie dirvodaros energetiką, medžiagų balansą, organinės medžiagos susidarymo ir skaidymosi keliai. Įvertinama, kas nulemia dirvožemio dujų sorbcines savybes ir anglies dioksido emisijos kiekį. Aptariami modeliai, kurie taikomi bendrosios anglies kiekiui prognozuoti ir anglies dioksido emisijos pokyčiams įvertinti. Skyriaus pabaigoje formuluojamos išvados.

Antrajame skyriuje pateikti bendrosios anglies tyrimai, atlikti Neries regioniniame parke, Paluknio, Užpalių ir Pailiepio vietovėse, taip pat atliktų tyrimų metodika ir suformuluotos išvados.

Trečiajame analizuojami bendrosios anglies kiekio pH, sunkiųjų metalų ir dirvožemio tyrimai.

Ketvirtajame skyriuje pateikti anglies dioksido išsiskyrimo iš dirvožemio tyrimai atlikti Neries regioniniame parke.

Penktajame pateikiami bendrosios anglies kiekio ir anglies dioksido emisijos prognoziniai modeliavimo rezultatai, atlikti DNDC modelių. Šeštame skyriuje pateikiamas išradimo patobulinimas, skirtas dirvožemio ėminiams.

Disertacijos tema yra paskelbti 5 moksliniai straipsniai: du – mokslo žurnale „ISI Web of Science“ duomenų bazėje; vienas – mokslo žurnale, įtrauktame į Thomson ISI sąrašą; vienas – mokslo žurnale, referuojamame tarptautinėse duomenų bazėse; vienas – tarptautinės ir respublikinės konferencijos medžiagoje.

Abstract

The thesis dealt with the single carbon in the soil and carbon dioxide emission level of the soil relationship. The main research objects of Neris Regional Park Paluknio, Užpaliai Pailiepio and location. The primary aim – to create a total carbon and methodologies to assess what amount of carbon are in soils and carbon dioxide emissions amount.

There are few major challenges: the single-carbon and carbon dioxide emissions by different land use soils. Will create on-task formulated in the light of carbon dioxide release from the soil in conjunction with dėsningumamas bandrosios carbon emissions. The third relates to the modeling, which evaluated changes in single carbon to carbon dioxide emission levels and predictors of dependence on climatic variables.

The thesis consists of an introduction, six chapters, summary and bibliography of publications on the dissertation topic.

Introductory chapter discusses the research problem, the relevance of the description heard shall be the object of research formulates the purpose and objectives, describes the research methodology, scientific novelty, the results of the practical significance of hypotheses. Practical significance of the dissertation sub-published author of publications and conferences, reports and thesis structure.

The first chapter reviews the literature. An overview of information about soil formation energy, materials balance. Assess what determines gas sorption properties of soil and carbon dioxide emissions. Discuss the models used for forecasting the single carbon to carbon dioxide emissions to evaluate the changes. End of this chapter the conclusions are formulated.

The second chapter presents the studies of Neris regional park, Paluknio, and Užpaliai, Pailiepio areas. Available to carry out the research methodology, based on a select sub-objects of research and formulation of conclusions.

The third and fourth section examines the single-carbon, the pH and carbon dioxide emissions from soil tests. The fifth chapter gives a general carbon and carbon dioxide emissions, forecast the results of a simulation model DNDC. In the sixth chapter present the invention for improvement of soil sampling.

5 articles are published on the dissertation topic: two in ISI Web of Science refereed journal, one in Thomson ISI list, one in reviewed Lithuanian conferences materials, one in not reviewed Lithuanian conferences material. 4 conference reports were made in Lithuania on the topic of dissertation.

Žymėjimai

Simboliai

-O-CH₃ – metoksilinė grupė;

A, A1, O1, O2, O3 – dirvožemio genetiniai horizontai;

A_x – biologinio įsisavinimo koeficientas;

C:N – anglies ir suminio azoto santykis;

Ca⁺² – kalcio jonas;

CaCl₂ – kalcio chloridas;

CaCO₃ – kalcio karbonatas;

C_{an} – analizės CO₂ koncentracijos vienetas μmols s⁻¹;

CH₄ – metano dujos;

C_cⁱ – cheminio elemento *i* koncentracija dirvodarinėse uolienose, mg/kg;

C_jⁱ – cheminio elemento *i* koncentracija dirvožemio horizonte *j*, mg/kg;

C_{sa}ⁱ – cheminio elemento *i* koncentracija superakvalinio landšafto dirvožemyje;

C_{te}ⁱ – cheminio elemento *i* koncentracija transeliuvinio landšafto dirvožemyje;

CO₂ – anglies dioksidas;

-COOH – karboksilinė grupė;

C_{ref} – standartinis CO₂ koncentracijos vienetas μmols s⁻¹;

Eh – dirvožemio elektrinio laidžio matas;

H_2S – vandenilio sulfido dujos;

K^+ – kalio jonas;

K_{ld}^i – lateraliosios diferenciacijos elemento i koeficientas;

K_{rd}^i – radialios diferenciacijos elemento i koeficientas atitinkamame elementariame
landšafte;

K_k – cheminio elemento koncentracijos koeficientas;

K_p – pasiskirstymo koeficientas;

l_x – elemento x kiekis augalų pelenuose;

Mg^{+2} – magnio jonas;

Na^+ – natrio jonas;

NH_4^+ – amonio jonas;

n_x – elemento x kiekis dirvožemyje;

-OH – hidroksilo grupė;

pH – vandenilio jonų (H^+) koncentracijos tirpale matas;

U – srautas į kamerą $\mu\text{mol s}^{-1}$;

W_{ref} – dirvožemio drėgnis.

Santrumpos

AAS – atominės absorbcijos spektrofotometras;

AVS – automatinio valdymo sistema;

DLK – didžiausia leistina koncentracija;

DNDC – DeNitrification-DeComposition, denitrifikacijos-skilimo skaitinis modelis;

EKKP – Europos klimato kaitos programa;

ES – Europos Sąjunga;

ISO – International Organization for Standardization, Tarptautinė standartų organizacija.

Sąvokos

Autonominis landšaftas – geochemiškai dominuojantis vandenskyrų eliuvinis landšaftas, kurio ribose gimsta tęsiantys šlaitais žemyn medžiagų migracijos srautai.

Dirvodarinė uoliena – Žemės plutos sluoksnio uoliena, kurioje per dūlėjimo ir dirvodaros procesus susidarė dirvožemis.

Katena – dėsningas elementariųjų gamtinių kompleksų (elementariųjų geocheminių landšaftų, biogeocenozių) arba dirvožemio tipų šlaituose arba aplink vandens telkinius išsidėstymas. Sin. kaskadinė geocheminių landšaftų sistema.

Landšaftas (kraštovaizdis) – 1) dinaminė gamtinių ir antropogeninių teritorijos komponentų erdvinė sistema; 2) gamtinis geografinis kompleksas, kuriame visi jo pagrindiniai komponentai (geologinis fundamentas, reljefas, klimatas, paviršiniai ir požeminiai vandenys, dirvožemis, augalija ir gyvūnija bei pažemio atmosfera) yra sudėtingoje sąveikoje ir bendrame sąlygotume, sudarant evoliucijos sąlygų atžvilgiu vienalytę ir vientisinę sistemą; 3) didelė ir sudėtinga nepusiausvira ir savaime reguliuojančiosi dinaminė Žemės paviršiaus sistema, kurioje gyvoji medžiaga sąveikauja su lito-, hidro- ir atmosfera.

Lateralioji diferenciacija – cheminių elementų arba komponentų pasiskirstymas horizontaliaja (lateraliaja) kryptimi tarp vienalyčių elementariųjų geocheminių landšaftų sudedamųjų komponentų, pavyzdžiui, moliuotajame išplautžemių horizonte.

Radialioji diferenciacija – cheminių elementų arba komponentų pasiskirstymas dirvožemio profilyje vertikaliaja (radialiaja) kryptimi, t. y. tarp jo genetinių horizontų.

Superakvalinis landšaftas – vietinių reljefo žemumų su negiliu gruntinio vandens slūgsojimu ir aiškia jo įtaka dirvožemiams ir augalijai elementarus landšaftas, kurio dirvožemiuose neretai pasireiškia drėgmės perteklius ir susiję su juo deguonies deficitas, glėžiškumas, sulėtėję organinių medžiagų skaidymo mikrobiologiniai procesai, įdurpėjimas. Gruntiniai ir paviršiniai vandenys atgabena tirpių mineralinių ir organinių medžiagų, išplaunamų iš vandenskyrų dirvožemių ir uolienų cheminio dūlėjimo žievės.

Transeliuvinis landšaftas – šlaitų landšaftas, derinantis eliuvinių ir superakvalinių landšaftų požymius.

Turinys

IVADAS	1
Problemos formulavimas.....	1
Darbo aktualumas.....	2
Tyrimų objektas.....	2
Darbo tikslas.....	3
Darbo uždaviniai	3
Tyrimų metodika	3
Darbo mokslinis naujumas	3
Darbo rezultatų praktinė reikšmė	3
Ginamieji teiginiai.....	4
Darbo rezultatų aprobavimas.....	4
Disertacijos struktūra.....	5
 1. DIRVOŽEMIO TYRINĖJIMAI, KLASIFIKAVIMAS IR ANGLIES APYKAITA	
DIRVOŽEMYJE	7
1.1. Dirvožemio tyrinėjimų istorija užsienyje ir Lietuvoje, Lietuvos dirvožemiai.....	7
1.2. Dirvodaros energetika	10
1.3. Dirvodaros balansas	11
1.4. Dirvožemio organinė medžiaga.....	14
1.5. Dirvožemio oksidacinės-redukcinės savybės	19
1.6. Anglies apykaitos ciklas dirvožemyje	20
1.7. Dirvožemio dujinė fazė	23

1.8. Mikroorganizmų vaidmuo dirvožemio susidarymui	24
1.9. Lietuvos dirvožemių humusingumas	28
1.10. Žemdirbystės poveikis dirvožemio elementų balansui ir įtaka klimato kaitai	29
1.11. Miško reikšmė bendrosios anglies didinimui dirvožemyje	33
1.12. Bendrosios anglies kitimo matematiniai modeliai	36
1.13. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas	39
 2. SKIRTINGOS PANAUDOS DIRVOŽEMIŲ BENDROSIOS ANGLIES KIEKIO NATŪRINIAI TYRIMAI IR VERTINIMAS	41
2.1. Dirvožemio bendrosios anglies kiekio tyrimų skirtingos panaudos dirvožemiuose metodika	42
2.2. Dirvožemio bendrosios anglies kiekio natūrinių sezoninių tyrimų Neries regioniniame parke 2009–2010 m. duomenys ir analizė	52
2.3. Bendrosios anglies kiekio natūrinių tyrimų Užpalių, Paluknio ir Pailiepio vietovių dirvožemiuose duomenys bei analizė	68
2.4. Antrojo skyriaus išvados	73
 3. DIRVOŽEMIO BENDROSIOS ANGLIES KIEKIO, PH IR SUNKIŲJŲ METALŲ NATŪRINIAI TYRIMAI	75
3.1. Dirvožemio pH, sunkiųjų metalų nustatymo bei ėminių paėmimo metodika....	76
3.2. Dirvožemio bendrosios anglies kiekio, pH ir sunkiųjų metalų natūriniai tyrimai Neries regioniniame parke duomenys ir analizė	78
3.3. Trečiojo skyriaus išvados	86
 4. ANGLIES DIOKSIDO EMISIJŲ IŠSISKYRIMO IŠ NERIES REGIONINIO PARKO DIRVOŽEMIŲ NATŪRINIAI TYRIMAI	87
4.1. Anglies dioksido emisijos tyrimo metodika	87
4.2. Anglies dioksido emisijų natūriniai tyrimai skirtingos panaudos dirvožemiuose Neries regioniniame parke duomenys ir analizė	91
4.3. Ketvirtro skyriaus išvados	99
 5. DIRVOŽEMIO BENDROSIOS ANGLIES KIEKIO KAITOS IR ANGLIES DIOKSIDO EMISIJŲ IŠ SKIRTINGOS PANAUDOS DIRVOŽEMIŲ MODELIAVIMAS.....	101
5.1. Dirvožemio bendrosios anglies kiekio kitimo, bei CO ₂ emisijų modeliavimas DNDC modeliu	102
5.2. Bendrosios anglies kiekio kitimo ir anglies dioksido emisijų modeliavimo duomenys ir analizė	105
5.3. Penktojo skyriaus išvados	119
 6. INŽINERINIAI TECHNINIAI SPRENDIMAI.....	121
6.1. Dirvožemio ėminių paėmimo metodika naudojant dirvožemio grąžtą.....	122
6.2. Dirvožemio ėminių paėmimo grąžto techninis aprašymas	122
6.2. Šešto skyriaus išvados	124

BENDROSIOŠ IŠVADOS	125
REKOMENDACIJOS	127
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI.....	129
AUTORIAUS PUBLIKACIJOS DISERTACIJOS TEMA	139

Contents

INTRODUCTION	1
Problem	1
Activity of the problem	2
Object of the work	2
Aim of the work	3
Task of the work	3
Research methodology	3
Scientific novelty of the work	3
Practical value	3
Defended propositions	4
Approbation of the scientific works	4
Scope of the scientific work	5
 1. SOIL INVESTIGATIONS, CLASSIFICATION AND CARBON	
CIRCULATION IN SOIL	7
1.1. Soil Exploration History abroad and in Lithuania, the Lithuanian soil	7
1.2. Soil formation energy	10
1.3. Balance of soil formation	11
1.4. Soil organic matter	14
1.5. Soil oxidative – reductive properties	19
1.6. The carbon cycle circuit circulation in the soil	20
1.7. Soil gas phase	23

1.8. The role of soil microorganisms formation	24
1.9 Lithuanian soil humus	28
1.10. Farming effect on soil elements in the balance of power and climate change. 29	
1.11. The general importance of forests increase soil carbon.....	33
1.12. Mathematical models of carbon change	36
1.13. Conclutions for Chapter 1 and formulating tasks for the dissertation	39
2. NATURAL INVESTIGATIONS AND ASSESSMENT OF THE TOTAL CARBON CONTENT IN SOILS OF DIFFERENT LAND-USE PURPOSE.....	41
2.1. Soil investigation total carbon in soils of different lending methodologies	42
2.2. Soil total carbon quantity seasonal studies of Neris Regional Park 2009–2010 data andanalysis	52
2.3. Total soil total carbon in situ studies of different areas Pailiepio Užpaliai and Paluknis soil data and analysis.....	68
2.4. Conclusions for Chapter 2	73
3. TOTAL SOIL CARBON CONTENT, PH AND HEAVY METALS IN SITU STUDIES OF THE NERIS REGIONAL PARK AND THE DATA ANALYSIS ..	75
3.1. Soil pH, heavy metals investigation and sampling methodology	76
3.2. Total soil carbon content and pH, heavy metals in situ investigation of the Neris Regional Park the data and analysis.....	78
3.3. Conclusions for Chapter 3	86
4. NATURAL INVESTIGATIONS OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM NERIS REGIONAL PARK SOILS	87
4.1. Carbon dioxide emissions investigation methodology	87
4.2. Carbon dioxide emissions in situ investigation of different land use soils in Neris Regional Park the data and analysis	91
4.3. Conclusions for Chapter 4	99
5. TOTAL CARBON AND CARBON DIOXIDE EMISSIONS MODELING CHANGE IN SOILS OF DIFFERENT LAND-USE PURPOSE	101
5.1. Total soil carbon and CO ₂ emissions simulation using model DNDC	102
5.2. Total carbon and carbon dioxide emissions modeling data and analysis	105
5.3. Conclusions for Chapter 5	119
6. ENGINEERING TECHNICAL SOLUTIONS	121
6.1. Soil sampling using a soil sampling drill technique	122
6.2. Soil sampling drill technical description	122
6.2. Conclusions for Chapter 6	124
GENERAL CONCLUSIONS	125
RECOMMENDATIONS	127

REFERENCES	129
AUTHOR PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF DISSERTATION.....	139

Įvadas

Problemos formulavimas

Dirvožemyje yra didžiausios anglies atsargos pasaulyje (1500 gigatonų). Jo atliekamos funkcijos tiesiogiai įtakoja žmogų ir gyvąją gamtą. Todėl šias funkcijas reikia saugoti dėl jų socialinės bei ekonominės svarbos, ir dėl reikšmės aplinkai. Tačiau dėl žmogaus veiklos dirvožemiai degraduoja, o tai įtakoja anglies ir anglies dioksido emisijų pokyčius.

Iš visų klimato atšilimą skatinančių dujų net 57% priskiriami CO₂ dujoms. Apie 20% viso CO₂ kiekio, į atmosferą išskiria dirvožemiai, todėl dirvožemiai daro nemažą įtaką CO₂ balansui. Apskaičiuota, kad intensyvaus žemės naudojimo laikotarpiu (tarp 1850 ir 1998 metų) dirvožemio organinės medžiagos nuostolių balanse vieną trečdalį (26 ± 9 Gt) sudarė nuostoliai dėl dirvožemio erozijos ir apie du trečdalius (52 ± 8 Gt) dėl mineralizacijos. Apskaičiuota, kad anglies (elemento) nuostoliai iš Europos dirbamų dirvų siekia 78 Mt per metus. Ryškiausi pokyčiai pasireškia lengvos granulimetrinės sudėties dirvožemiuose ir nusausinamose pelkėse.

Įvertinus anglies dioksido emisiją pasauliniu mastu ir apibendrinus tyrimus atliktus įvairiose šalyse, matyti, kad dar labai trūksta trumpalaikių (nuo kelių valandų iki kelių dienų ir (ar) mėnesių) bei ilgalaikių duomenų apie konkrečios

šalies anglies dioksido emisijas. Nei trumpalaikių, nei ilgalaikių tyrimų duomenų apie CO₂ emisijos mastą, Lietuvoje taip pat nėra.

Būtina vertinti anglies kiekius dirvožemyje, siekiant laiku užkirsti kelią dirvožemio degradacijai, išsaugant dirvožemių derlingumą ir užtikrinti biologinę įvairovę bei palankias gyvenimo sąlygas. Įvertinus dirvožemyje anglies kiekius ir dėl mineralizacijos procesų išsiskiriantį anglies dioksido emisijų dydį, įmanoma pritaikyti priemones, mažinančias arba užkertančias tolesnei dirvožemio degradacijai.

Darbo aktualumas

Kioto protokole pabrėžiama, kad dirvožemyje yra pagrindinės anglies atsargos, kurias reikia apsaugoti ir kiek įmanoma didinti. Atliekami tyrimai vertinant tradicinę žemės dirbimo sistemą į neariamąją ir kaip tai įtakoja anglies kiekį dirvožemyje. Prieš 10 metų Dotnuvoje pradėti vieni iš pirmųjų Lietuvoje lauko bandymai, siekiant kompleksiškai ištirti skirtingas žemės dirbimo sistemas. Jų metu nustatyta dirvožemio degradavimo grėsmė. Tačiau, tokie tyrimai atliekami tik parengtuose bandymo laukuose. Apibendrintų duomenų apie CO₂ emisiją Lietuvos žemės ūkio ir miškų sektoriuje taip pat trūksta. Pasaulyje vis dažniau dėmesys krypta į esamą dirvožemių būklę, siekiant įvertinti jų įtaką klimato kaitai ir atvirkščiai.

Lietuvoje šia aktualią tematiką nagrinėja Lietuvos agrarinių ir miškų mokslo centro mokslininkai. Analizuojamas humuso kiekis dirvožemyje, nustatomi suminės anglies kiekiai ir anglies dioksido išskyrimo iš dirvožemio, arba emisijos, dydžiai (S. Marcinkonis, D. Feizienė, V. Feiza, V. Povilaitis, G. Kadžienė). Taip pat, atliekami miško paklotės suminės anglies tyrimai, nagrinėjami į dirvožemį patenkantys anglies srautai ir anglies dioksido išsiskyrimas į atmosferą (K. Armolaitis, P. Žemaitis).

Tyrimų objektas

Darbo tyrimų objektas – bendrosios anglies kiekio ir anglies dioksido emisijos Neries regioninio parko, Paluknio, Užpalių ir Pailiepio vietovių skirtingos panaudos dirvožemiuose.

Darbo tikslas

Įvertinti bendrosios anglies kiekį ir anglies dioksido emisijas skirtingos žemėnaudos dirvožemiuose.

Darbo uždaviniai

1. Atlikti bendrosios anglies kiekio ir anglies dioksido emisijos skirtingos žemėnaudos dirvožemiuose tyrimus.
2. Įvertinti anglies dioksido emisijos iš dirvožemio dėsninumus ir sąsają su bendrosios anglies kiekiu.
3. Modeliuojant įvertinti bendrosios anglies kiekio pokyčius ir anglies dioksido emisijos prognozes, taip pat priklausomybę nuo klimato rodiklių.

Tyrimų metodika

Darbe taikytos autoriaus patobulintos dirvožemio ėminių paėmimo ir bendrosios anglies kiekio tyrimo metodikos. Taip pat taikytos ISO standartais paremtos sunkiųjų metalų ir pH nustatymo metodikos. Autorius pritaikė anglies dioksido emisijos tyrimų metodiką. Dirvožemio bendrosios anglies kiekio ir anglies dioksido emisijos dinamika analizuota skaitinio modeliavimo programa DNDC.

Darbo mokslinis naujumas

Kompleksiniai eksperimentiniai dirvožemio bendrosios anglies kiekio bei anglies dioksido emisijos tyrimai ir kiekio pokyčių vertinimas modeliuojant.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Darbe sukaupta medžiaga gali būti taikoma tolesniems dirvožemio bendrosios anglies tyrimams. Sukaupti duomenys gali būti taikomi teritorinei analizei įvertinti anglies dioksido emisijas bei modeliavimui. Taip pat sukaupti duomenys gali būti panaudoti anglies ir anglies dioksido emisijai vertinti skirtingos panaudos dirvožemiuose. Modeliavimo rezultatai gali būti taikomi Lietuvos teritorinius dirvožemius vertinant pagal bendrąją anglį ir anglies dioksidą.

Ginamieji teiginiai

1. Pasirinktų anglies tyrimams teritorijų dirvožemiai pagal sunkiųjų metalų koncentracijų lygį artimi neužterštų (foninių) teritorijų dirvožemiams.
2. Didžiausi vidutiniai bendrosios anglies kiekiai ištirti superakvalinio landšafto pievų dirvožemiuose (iki 3,02%), autonominio landšafto pievos dirvožemyje (iki 1,37%), miško dirvožemio superakvaliniame dirvožemyje iki 4,54%, autonominio landšafto dirvožemyje (iki 1,39%), o mažiausi ariamame dirvožemyje (iki 2,25%).
3. Natūriniais tyrimais, kad didžiausia anglies emisija pasižymi ariamieji dirvožemiai (iki $0,263 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$) mažesne pievos (iki $0,149 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$) ir miško (iki $0,139 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$). Anglies dioksido emisija dirvožemiuose patikimai tiesiogiai koreliuoja su aplinkos oro temperatūra ($r=0,67$) ir jo santykinė drėgme ($r=0,51$) bei dirvožemio drėgnumu ($r=0,54$).
4. Modelio DNDC duomenimis didžiausia anglies dioksido emisija Lietuvos klimato sąlygomis pasižymi miško dirvožemiai ($3,18 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$ per para), pievų ($2,83 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$ per para), mažiausia – ariamieji dirvožemiai ($2,11 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$ per para), per metus daugiausiai anglies prarandama ariamame dirvožemyje (per pirmus metus 830 kgC/ha , po 10 metų 452 kgC/ha), pievų dirvožemyje (per pirmus metus 740 kgC/ha , po 10 metų 542 kgC/ha), o miško dirvožemiuose padidės (per pirmus metus 937 kgC/ha , po 10 metų 565 kgC/ha).

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema yra paskelbti 5 moksliniai straipsniai: vienas – mokslo žurnale, įtraukta į Thomson ISI sąrašą; du – mokslo žurnale „ISI Web of Science“ (citavimo rodiklis 1,508) duomenų bazėje; vienas – mokslo žurnale, referuojamame tarptautinėse duomenų bazėse; vienas – tarptautinės ir respublikinės konferencijos medžiagoje.

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti keturiuose mokslinėse konferencijose Lietuvoje ir pristatyti COST 639 programos „Greenhouse-gas budget of soils under changing climate and land use (BurnOut)“ valdymo komiteto posėdyje.

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro 6 skyriai, bendrosios išvados ir rekomendacijos, literatūros ir autoriaus publikacijos sąrašas. Bendra disertacijos apimtis 157 lapai, 74 paveiks-lai, 5 lentelės ir 6 formulės.

Dirvožemio tyrinėjimai, klasifikavimas ir anglies apytaka dirvožemyje

1.1. Dirvožemio tyrinėjimų istorija užsienyje ir Lietuvoje, Lietuvos dirvožemiai

Šiuolaikiniu gamtotyros supratimu, dirvožemis – ypatinga gamtinė biosferos formacija, ypatingas gamtinis kūnas, susidaręs Žemės plutos paviršiuje, veikiant šiems veiksniams: klimatui, dirvodarinei uolienai, reljefui, augalams ir gyviems organizmams šalies vystymosi laikotarpiu (Bužas A. 1966). Išskirti prioritetinius dirvodaros veiksnius labai sudėtinga, nes jie tarpusavyje glaudžiai susiję. Skirtingų veiksmų visuma suformuoja skirtingus dirvožemius .

Dirvožemių aprašymų yra jau antikos (Teofrasto, Katono) darbuose. Mokslškai tirti dirvožemius pradėta XVIII amžiuje. XVIII pabaigoje ir XIX a. pradžioje dirvodaros raidą ypač paspartino A. Tëro (*Thear*) ir J. Lybigo (*Liebig*) darbai (humanistinė augalų mitybos ir augalų mineralinės mitybos teorijos). V. Dokučiajevas monografijoje „Rusijos juodžemis“ (1883) suformulavo genetinės dirvotyros svarbiausia teiginį: dirvožemis yra savarankiškas istorinis gamtos kūnas, dėl gyvųjų organizmų poveikio susidaręs paviršiniuose uolienos sluoks-

niuose. Dokučiajevas taip pat geografinės dirvodaros krypties pradininkas (Adams 1990). Rusijoje agronominė dirvotyros kryptis atsirado XIX a. pabaigoje (pradininkas P. Kostyčevas; ištyrė augalų ir mikroorganizmų įtaką dirvožemių raidai, derlingumui), XX a. pradžioje – chemijos kryptis (K. Gedroicas; sukūrė dirvožemių koloidų chemijos pagrindus ir tuo padėjo geriau suprasti dirvodaros procesų esmę). XX a. 3 dešimtyje atsirado dirvodaros biocheminė kryptis (V. Vernadskis; tyrė, kaip dirvodarą veikia gyvieji organizmai). XX a. 4 dešimtyje atsirado naujos dirvotyros šakos (dirvožemio chemija, fizika, mineralogija, mikrobiologija). Po to susikūrė pasaulyje garsios JAV, Vokietijos, Prancūzijos dirvožemininkų mokyklos.

Lietuvoje dirvotyra atsirado 1819 m., kai Vilniaus universitete buvo įsteigta ž. ū. mokslų katedra, kurios profesorius A. Očapovskis tyrė dirvožemių susidarymą, jų granulimetrinę sudėtį, suklasifikavo krašto dirvožemius pagal jų tinkamumą auginti tam tikrus ž. ū. augalus (1825). XIX a. pabaigoje Lietuvos dirvožemius tyrė V. Časlavskis, XX a. pr. – S. Miklaševskis, 1922–1940 Kauno universitete, Ž. ū. akademijoje – J. Tonkūnas. 1930 m. V. Ruokis suklasifikavo Lietuvos dirvožemius pagal drėgmės režimą, reljefą, granulimetrinę sudėtį, 1936 m. parengė Pietų Lietuvos dirvožemių žemėlapi. 1930 m. išleista jo knyga „Dirvožemio mokslas“, 1933 m. – „Lietuvos dirvožemių reakcija“, 1939 m. – „Pietų Lietuvos dirvožemiai“. Bandymų stočių dirvožemius tyrė B. Baginskas ir M. Žemaitis (Baginskas 1984).

Po II pasaulinio karo Lietuvoje dirvožemius tirti ir kartografuoti pradėjo Ž. ū. institutas (įkurtas 1946 m.). 1952–1956 tą darbą dirbo Žemdirbystės ir dirvožemio institutas, nuo 1956 m. Žemdirbystės institutas, jo Vokės filialas, bandymų stotys, nuo 1961 m. ir Žemėtvarkos institutas. Dirvožemius tiria ir šalies universitetų dirvožemininkai. 1946–1953 buvo parengta Lietuvos dirvožemių genetinė klasifikacija. 1951 m. išleistas pirmasis Lietuvos dirvožemių žemėlapis. 1961 m. baigta rengti Lietuvos dirvožemių bonitavimo metodika. Iki 1970 m. parengtas Lietuvos žemės kadastras, iki 1973 sudaryti visų Lietuvos ūkių dirvožemių žemėlapiai, parengtos dirvų kalkinimo ir jų maisto medžiagų kartogramos. Lietuvos dirvožemiai tiriami dar ir Vandens ūkio institute (melioracijos ir dirvožemių erozijos stabdymo problemos). Miškų institutas parengė dirvožemių tyrimo, kartografavimo ir bonitavimo metodiką, sudarė miškų dirvožemių ir miško augaviečių klasifikacijas (Buivydaite 2001, 1990).

Lietuvos teritorijos paviršių, išskyrus nedidelį pietinės dalies plotą, suformavo paskutiniojo Valdajaus apledėjimo periodo ledynų nuogulos, kurias paliko ištirpęs ledynas maždaug prieš 12–20 tūkst. metų. Pagal reljefo genetinį tipą Lietuvoje apie 30% užima dugniniai ledyno dariniai, 27% – ledyno pakraščio dariniai, 23% – limnoglacialiniai dariniai, 11% – fluvialiniai dariniai, 7% – fluvio-glacialiniai dariniai, o likusią dalį – eoliniai, marininiai, organogeniniai, karstiniai ir eroziniai dariniai (Griciūtė 1979).

Iš skirtingų dirvodarinių uolienu, veikiant įvairiems veiksniams, susiformavo labai nevienodi savo savybėmis dirvožemiai. Dabartinės dirvožemių dangos bruožai atsirado subatlantinių laikotarpiu, išaugus mišriųjų miškų bendrijoms (Motuzas 1996, Jankauskas 2006, 1996). Nuo to laiko reiškiasi visi pagrindiniai dirvodaros procesai: jaurėjimas, velėnėjimas ir pelkėjimas, kurių sąveika arba vieno kurio proceso vyravimas lėmė dirvožemio dangos įvairumą. Subatiantiniu laikotarpiu beveik visą Lietuvos teritoriją dengė miškai (Šleinyš 1994). Todėl dirvožemių pagrindines savybes suformavo dėl spygliuočių augalijos poveikio vykę jaurėjimo procesai (Lietuvos dirvožemiai ... 2001). Iki 1999 metų Lietuvos teritorijos dirvožemiai buvo skirstomi į tokias dirvožemių grupes: jaurinius, velėninius karbonatinius, velėninius glėžinius, jaurinius pelkinius, pelkinius, aliuvinus, eliuvinus, nuardytus (Lietuvos dirvožemių... 1998).

Šiuo metu nauja Lietuvos dirvožemių klasifikacija dar tobulinama, bet pagrindinės vyraujančių Lietuvoje dirvožemių grupės jau nustatytos. Lietuvos teritorijoje yra. tokie dirvožemiai: balkšvažemiai (*Albeluvisols*), durpžemiai (*Histosols*), išplautžemiai (*Luvissols*), jaurazemiai (*Podzols*), kalkžemiai (*Lepto-sols*), palvažemiai (*Planosols*), pradžiazemiai (*Regosols*), rudžemiai (*Cambisols*), salpžemiai (*Fluvisols*), smėlžemiai (*Arenosols*), šlynžemiai (*Gleysols*), trąšažemiai (*Anthrosol*) (Lietuvos dirvožemiai... 2001).

1.2. Dirvodaros energetika

Svarbiausias ir praktiškai vienintelis patenkančios į dirvožemį energijos šaltinis yra Saulės radiacija. Visas Žemės paviršius per metus gauna iš Saulės $21 \cdot 10^{20}$ J šilumos. Daugiausia šios energijos sunaudojama klimato veiksniams ir vandeny-
nų srovėms suformuoti. Autotrofiniai žalieji augalai pasisavina tik nuo 0,5 iki 5 proc. Saulės energijos (Motuzas 1996).

Vykstant natūraliai dirvodarai, Saulės energijos sunaudojimą iš esmės lemia radiacijos balansas, drėkinimo koeficientas (kritulių kiekio ir išgaravimo nuo atviro vandens santykis) ir ekosistemos biologinis aktyvumas (1 lentelė).

Žemės ūkio naudmenų dirvožemiuose ši dydį taip pat lemia dirvožemio šilumos imlumas, faktinis drėgnumas (ypač drėkinant) ir žemės ūkio augalų derlingumas. Taigi išryškėja energetinių ir ekonominių derlingumo parametrų tam tikri ryšiai. Tai lemia ta aplinkybė, kad dirvožemio energetinis balansas priklauso ne tik nuo Saulės energijos patekimo, transformavimosi ir grąžinimo į atmosferą intensyvumo, bet ir nuo biocheminės medžiagų akumuliacijos ir migracijos pobūdžio. Žinoma, kad visoje Žemės sausumos biomasėje sukaupta $6,15 \cdot 10^{19}$ kJ, o jos humusinio sluoksnio „plėvelėje“ – $5,33 \cdot 10^{19}$ kJ energetinių atsargų. Vykstant dirvodarai ar dūlėjimui, taip pat esti nemažai energetinių pokyčių ir dirvožemio mineralinėje dalyje. Pirmiausia jie sietini su pirminių elementų ardymu

bei antrinių elementų susidarymu ir pirminių kalnų uolienų dalelių sorbuojamojo paviršiaus didėjimu (Šleinytis 1994).

Bendrą energijos kiekį dirvožemyje lemia energijos atsargos, sukauptos pagrindiniuose jo komponentuose: organinėse ir mineralinėse medžiagose, dirvožemio tirpale, dirvožemio ore ir gyvojoje fazėje. Kadangi drėgmės ir oro kiekis, taip pat ir organinės medžiagos masės elementai dinamiškai rodikliai, todėl dirvožemio energetinį režimą reikia sieti su konkrečiais vegetacijos tarpsniais.

1.1 lentelė. Energijos atsargos humuse ir augaluose, kJ cm^{-2} (Motuzas 1996)

Table 1.1. The energy reserves of humus and plants, kJ cm^{-2} (Motuzas 1996)

Kraštovaizdžio zona, dirvožemiai	Humusinis sluoksnis	Dirvožemio sluoksnis (0–100)	Sausumos augalai
Dykuma, juosvažemiai (<i>Phaeozems</i>)	4920	13940	2870
Sausoji stepė, kaštonžemiai (<i>Kastanozems</i>)	11890	35260	6150
Stepė, juodžemiai (<i>Chernozems</i>)	29520	54300	10250
Pietinė taiga, išplautžemiai (<i>Luvissols</i>)	15990	22140	58425
Taigos plačialapiai miškai, rudžemiai (<i>Cambisols</i>)	22140	48380	–
paatogrąžių miškai, geltonžemiai (<i>Lixisols</i>)	19270	39770	292125
Kserofitiniai paatogrąžių miškai, geležialiuminžemiai (<i>Ferralsols</i>)	26240	62730	–

Energetinis dirvodaros balansas susideda iš energijos: 1) sunaudotos fizikiam dūlėjimui; 2) sunaudotos mineralams ardyti vykstant cheminiam dūlėjimui (nuo 2 iki 62 J cm^{-2} per metus); 3) sunaudotos biomasei produkuoti (nuo 103 iki 800 J cm^{-2} per metus įvairiose zonose), kurios tik maža dalis akumuliuojasi humuse; 4) sąnaudų drėgmei išgarinti (nuo $12\,300 \text{ J cm}^{-2}$ tundrose iki $246\,000 \text{ J cm}^{-2}$ per metus tropikuose); 5) nuostolių dėl mechaninės smulkžemio dalelių ir druskų migracijos; 6) sunaudotos vykstant šilumos kaitos procesui sistemoje dirvožemis – atmosfera (Motuzas 1996, Орлов 1990).

Taigi natūraliomis sąlygomis mažiausiai energijos dirvodarai sunaudojama tundroje ($8\text{--}20 \text{ kJ cm}^{-2}$ per metus) ir dykumoje, šiek tiek daugiau – vidutinių platumų zonoje ($40\text{--}60 \text{ kJ cm}^{-2}$ per metus) ir daugiausia – drėgnuose tropikuose ($246\text{--}287 \text{ kJ cm}^{-2}$ per metus) (Motuzas 1996, Орлов 1990).

Antropogeniniuose šių landšaftinių zonų dirvožemių variantuose šie skaičiai dėl žemdirbystės intensyvumo, suprantama, gali būti visiškai.

Tam tikra prasme į dirvodarą galima žiūrėti kaip į medžiagų išplovimo ir akumuliacijos (santykinės ir absoliučiosios) santykį dirvodaros paveiktime litosferos sluoksnyje.

Absoliučioji medžiagų akumuliacijas vykstant dirvodarai – tai dirvodarinės uolienos gausinimas junginiais iš atmosferos ir hidrosferos bei šių junginių kaupimasis besiformuojančiame dirvožemyje. Taip dirvožemiuose kaupiasi anglis (fotosintezė – biomasės sintezė – mirimas – suirimas – humifikacija – humuso kaupimasis), azotas (azoto fiksavimas – organizmų pasisavinimas – biomasės mirimas – nitrifikacija – amonifikacija), lengvai tirpios druskos – gipsas, karbonatai, geležies junginiai, silicis (iš gruntinio vandens). Absoliučiajai medžiagų akumuliacijai turi įtakos ir dujinio azoto, anglies, sieros režimas (Motuzas 1996). Nustatyta, kad augalų vegetacijos metu nuo dirvožemio paviršiaus išgauna ženklius ($5\text{--}30\text{ kg ha}^{-1}$ per valandą, arba $600\text{--}700\text{ kg ha}^{-1}$ per parą) CO_2 kiekius. Trečdalį šio kiekio gamina augalų šaknys, o likusiąją – mikroorganizmai ir mezofauna. Į atmosferą išsiskiria ne daugiau nei 10 proc. Dirvožemyje esančios angliarūgštės kiekio. Likusioji jos dalis kaupiasi dirvožemio porose, ištirpsta dirvožemio tirpale, dalyvauja karbonatinių medžiagų susidarymo ir tirpimo reakcijose (Feizienė 2009).

1.3. Dirvodaros balansas

Dirvodaros procese išskiriami šie 4 medžiagų ir energijos balanso komponentai: 1) medžiagų ir energijos prietaka į dirvožemį; 2) medžiagų ir energijos pokyčiai dirvožemyje; 3) medžiagų ir energijos persiskirstymas dirvožemyje; 4) medžiagų ir energijos pasišalinimas iš dirvožemio. Visos šios balanso dalys glaudžiau-siai tarpusavyje susijusios ir veikia viena kitą. Šie 4 komponentai lemia ir bendrą dirvožemio susidarymo kryptį, ir dirvožemio profilio sandarą, sudėtį ir savybes. Konkrečiai šis kompleksas išreiškiamas kaip dirvodaros medžiagų balansas – medžiagų prietakos į dirvožemį ir jų netekimo per tam tikrą laikotarpį santykis. Iš jo pirmiausia ir sprendžiama apie dirvodaros pobūdžio pokyčius. Pavyzdžiui, pažemėjus gruntiniams vandenims ir išgarinamajam drėgmės režimui pasikeitus į išplaunamąjį (arba periodiškai išplaunamąjį) bei prasidėjus druskų išplovimui iš įdruskėjusių dirvožemių, teigiamas druskų balansas tampa neigiamas. Pagal laikotarpio trukmę išskirtos šios medžiagų balanso formos: a) trukmę, prilygstančią geologiniam amžiui; b) periodinį (ciklišką), paprastai trunkantį 11–25 metų ir, matyt, lemiamą Saulės aktyvumo periodiškumo ciklą; c) teritorijos metinio hidrologinio balanso trukmės laikotarpį; d) drėkinamos žemdirbystės rajonuose išskiriamus trumpalaikius tarp dviejų artimiausių lietinių hidrologinio balanso periodus (Motuzas 1996, Janušienė 1994, Vaišvila 1999).

Kokybiškai skiriasi organinių medžiagų, azoto, drėgmės, mineralinių elementų, tarp jų ir tirpių druskų balansas. Sakysime, organinių medžiagų ir azoto balansą daugiau lemia gyvų organizmų aktyvumas, o ne abiotiniai srantai (atmosferos krituliai, paviršinis nuotėkis). Drėgmės režimo ir mineralinių elementų balansui vienodai reikšmingi tiek biotiniai, tiek abiotiniai (visgi pastarieji dažniausiai lemia drėgmės balanso pobūdį) veiksniai (Danilevičius 1977).

Dirvožemio medžiagų balanso pajamų dalį sudaro: 1) anglis, azotas ir pelenų elementai, patenkantys su nuokritomis ir apmirusiomis augalų ir gyvūnų liekanomis; 2) tų pačių elementų kiekis, patenkantis iš šaknų išskyrų ir per augalų lajų ardą prasisunkusių kritulių; 3) azoto kiekis, mikroorganizmų fiksuotas iš atmosferos; 4) medžiagos, patenkančios su krituliais; 5) medžiagos, patenkančios su atmosferos dulkėmis; 6) medžiagos, patenkančios su paviršinio nuotėkio kietomis dalelėmis; 7) medžiagos, susikristalizavusios iš paviršinio nuotėkio skystosios fazės; 8) medžiagų prietaka dėl šoninės požeminės tėkmės; 9) medžiagų kiekis, kapiliarais pakilęs iš gruntinių vandenų horizonto; 10) medžiagos, patenkančios su trąšomis, meliorantais bei drėkinimo vandeniu (Jankauskas 2006, 2003, Vaišvila 1999).

Dirvožemio medžiagų balanso išlaidų dalį sudaro: 1) kasmečiam metiniam augalų prieaugini sunaudotas azoto ir pelenų elementų kiekis; 2) anglies nuostoliai mineralizuojantis organinei medžiagai ir humusui; 3) azoto nuostoliai dėl denitrifikacijos; 4) medžiagų išplovimas su prasisunkiančia drėgme iš dirvožemio profilio į gruntinius vandenis; 5) medžiagų išplovimas su šoninio požeminio nuotėkio vandenimis; 6) medžiagų išplovimas su kietomis paviršinio nuotėkio dalelėmis; 7) medžiagų išplovimas su paviršinio nuotėkio vandenimis; 8) medžiagų nuostoliai dėl nupustymo (defliacijos); 9) azoto ir mineralinių elementų, sukauptų žemės ūkio produkcijoje ir medienoje, išvežimas (Jankauskas 2006).

Medžiagų balansui didžiausios įtakos turi bioklimatinės sąlygos ir reljefas.

Skirtingų bioklimatinių zonų dirvožemiuose skiriasi tiek medžiagų balanso pajamų, tiek išlaidų dalys. Pavyzdžiui, anglies su augalinėmis liekanomis į dykumų dirvožemį patenka $<1\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$, drėgnų atogrąžų miškuose – $>14\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$; mikroorganizmų sujungto (fiksuoto) azoto kiekis įvairių gamtinių zonų dirvožemiuose gali būti įvairios nuo 10 iki $5\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$, medžiagų nuostoliai dėl paviršinio nuotėkio – nuo 0 iki $300\ \text{kg ha}^{-1}$ (Bridges 1998).

Ypač svarbios biogeninės medžiagos dirvodaros maisto medžiagų elementai, kadangi augalai į biologinę apykaitą įtraukia ir sugrąžina dirvožemiui elementų kelis kartus daugiau palyginti su tuo jų kiekiu, kuris patenka į dirvožemį ir vėl iš jo pašalinamas abiogeniškai. Pavyzdžiui, juodžemiuose per metus biogeninio azoto sujungiama ir vėliau išvežama $\sim 14\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$, išplaunama su paviršiniu nuotėkiu ir t. t. tik $400\ \text{kg ha}^{-1}$. Minėtuose drėgnų tropikų miškuose šie skaičiai per metus, atitinkamai, sudaro $25\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$ ir $900\ \text{kg ha}^{-1}$ (Paškauskas 2001).

Medžiagų balansas dirvožemyje, kaip minėjome, priklauso ir nuo reljefo sąlygų, t. y. kokiam šlaito elemente formuojasi dirvožemis – jo viršuje (eliuviniam elementariajame arba išplaunamajame, geocheminiame landšafte), viduryje (tranzitiniame eliuviniam elementariajame geocheminiame landšafte) ar apačioje (akumuliaciniame elementariajame geocheminiame landšafte) (Jankauskas 2006).

Medžiagų balansas dirvožemyje būna teigiamas, neigiamas arba nulinis. Pažymėtina, kad įvairių medžiagų balansas tame pačiame dirvožemio profilyje gali būti visiškai elementų pobūdžio. Esant teigiamam balansui, dirvožemyje vyksta medžiagų akumuliacija, kuri gali būti absoliutinė, santykinė ir likutinė.

Labai svarbi dirvožemyje atmosferos anglies ir azoto absoliutinė akumuliacija, vykstanti dėl žaliųjų augalų ir azotą fiksuojančių mikroorganizmų gyvybinės veiklos. Nėra nė vieno dirvožemio, kuriame nevyktų absoliutinis C ir N kaupimasis. Nors šie elementai daugiausia kaupiasi miško paklotėje arba stepių veltinyje ir humusiniame horizonte, tačiau nemažai jų galima aptikti ir visuose likusiuose dirvožemio profilio horizontuose. Absoliučiai medžiagos į dirvožemį gali akumuliuotis ir iš gruntinio vandens, taip pat dėl paviršinio ar šoninio vandens prietakos. Tokio pobūdžio akumuliacija vyksta sausringo klimato dirvožemiuose. Absoliutinę akumuliaciją taip pat gali lemti kietų dirvožemio dalelių priemaiša su potvynių ar deliuvinio nuotėkio vandenimis vykstant defliacijai bei išsiveržus vulkanams, t. y. formuojantis salpžemiams (*Fluvisols*), vulkanžemiams (*Andosols*) ir supustytiesiems eoliniams smėlžemiams (*Arenosols*) (Janušienė 2004).

Vykstant santykiniai akumuliacijai, viršutiniuose dirvožemio profilio horizontuose pastebimai padidėja mineralinių biofilinių elementų, augalų iš apatinių horizontų, nors į dirvožemį apskritai jokių medžiagų iš šalies ir nebuvo įnešta. Apie įvairių elementų santykinės akumuliacijos intensyvumą galima spręsti iš biologinio įsisavinamumo koeficiento A_x reikšmių (1.1):

$$A_x = \frac{l_x}{n_x}, \quad (1.1)$$

čia l_x – elemento x kiekis augalų pelenuose; n_x – elemento x kiekis dirvožemyje, kur auga augalai.

Panašų koeficientą galima apskaičiuoti iš elemento klarko. Didžiausias biologinis įsisavinamumas tokių elementų, kaip P ir S (100 n), Ca, K, Mg (10 n), Mn, Cu, Mo (1 n), o mažiausias – Si, Al, Fe, Ti, V (0,1 n – 0,001 n) (A. И. Перельман, 1991).

Neigiamas medžiagų balansas esti tuomet, kai medžiagų išnešama daugiau negu įnešama. Tai dažniausiai vyksta drėgno klimato, ypač eroduojamuose kalnų šlaitų dirvožemiuose. Medžiagų sumažėjimas gali būti dalinis arba bendrasis. Bendrasis mažėjimas yra tuo atveju, kai tam tikro komponento pastebimai mažėja visame dirvožemio profilyje, pvz., jaurazemių (*Podzols*) profilyje katijonų.

Dalinis mažėjimas – tai tam tikro komponento mažėjimas tik viršutiniame dirvožemio horizonte, o ne visame profilyje.

Nulinis balansas būdingas tiems dirvožemiams, kuriuose medžiagų išnešimas ir įnešimas yra subalansuotas (Motuzas 1996).

1.4. Dirvožemio organinė medžiaga

Organinė medžiaga yra vienas iš svarbiausių elementų, darančių įtaką dirvožemio potencialiam derlingumui. Dirvožemio organinė medžiaga, kaip pagrindinis Saulės energijos akumuliatorius, struktūriškai ir funkcionaliai dalyvaujantis ekosistemų fundamentiniuose procesuose, lemia dirvožemio fizikines ir chemines savybes, kurios turi įtakos augalų mitybos režimui ir yra gyvybiškai svarbios augalų augimui (Danilevičius 1977).

Organines medžiagas dirvožemiuose kaupia gyvieji organizmai. Augalai fotosintezės dėka iš aplinkinio oro ir vandens (93,5%), taip pat iš dirvožemio mineralinių medžiagų (6,5%) sintetina organines medžiagas. Augalams numirus, jų sukauptos organinės medžiagos lieka viršutiniuose dirvožemio sluoksniuose, kur jas perdirba sudėtingas dirvožemio mikroorganizmų pasaulis (Čaikauskas 1985). Susintetintomis augalų maisto medžiagomis minta ir visi kiti gyvieji organizmai, kurie, baigę savo gyvenimą, taip pat lieka dirvožemio paviršiuje. Visų augalų susintetintą ir gyvūnų liekanų organinę medžiagą dirvožemio mikroorganizmai perdirba į sudėtingą, labai aktyvią dirvožemio organinę – mineralinę medžiagą – humusą, arba puvenas. Humusas – svarbiausias dirvožemio derlingumo rodiklis (Žalakevičius 2005, Janušienė 1992 ir Janušienė 1994, Brandy 1999).

Organinių medžiagų kaupimasis dirvožemyje labai priklauso nuo jau aptartos dirvožemių granulometrinės sudėties o tai pat nuo klimatinų sąlygų. Lengvos granulometrinės sudėties dirvožemiuose mažiau organinių medžiagų sukaupiama dėl blogesnių augalų augimo sąlygų. Kita vertus, organinės medžiagos čia sparčiai ardomos dėl aktyvios aerobinių mikroorganizmų veiklos, greitesnio jų išilimo, o mineralizuotas medžiagas lengvai išplauna vanduo (Lipson 2000). Tokiuose dirvožemiuose susikaupia nedaug humuso, dėl to menkas jų derlingumas. Pelkiniuose dirvožemiuose, kur organinės medžiagos dėl anaerobinių mikroorganizmų veiklos (trūksta oro, žemesnė temperatūra) irsta lėčiau, jos ilgai išlieka tarpinėse irimo stadijose. Šios medžiagos sparčiai kaupiasi, bet jų maisto medžiagos dėl lėtos mineralizacijos augalų sunkiai pasisavinamos. Tokiuose dirvožemiuose natūraliai gali augti tik nedaugelis ten prisitaikiusių augalų (Janauskas 2005, Antanaitis 1996, Janušienė 1994).

Dirvožemio organines medžiagas 80–85% sudaro humusas, 10–15% nesuirusios augalų liekanos ir šaknys ir iki 5% – gyvieji organizmai (1.1. pav.). Pagrindinis dirvožemio organinės medžiagos šaltinis ekosistemoje – tai organinės

medžiagos, produkuojamos augalų fotosintezės metu ir nedideliu mastu autotrofinėmis dirvožemio bakterijomis (Janušienė 2004, Jenkyn 2001). Žemės ūkio naudmenose tai gali būti ir gyvulinės kilmės organinės trąšos. Įvairiose klimatinėse zonose metinis fitomasės prieaugis ir nuokritų masė yra nuo 1,0 iki 24,5 t ha⁻¹ sausųjų medžiagų (Danilevičius 1977). Patekusios į dirvožemio ekosistemą organinės medžiagos gali: 1) visiškai mineralizuotis ir tokiu būdu praturtinti anglies dioksido ir mineralinių medžiagų atsargas; 2) būti panaudotos mikroorganizmų mitybai ir asimiliuoti mikrobiniėje biomasėje; 3) būti įjungtos į naujai susidariusias humusines medžiagas, tai yra humifikuotis (Baginskas 1984). Šių pokyčių greitis ir kryptis priklauso nuo daugelio veiksnių, tarp jų nuo dirvožemio mikroorganizmų kiekio ir jų veiklos intensyvumo, nuo dirvožemio ir klimato sąlygų, nuo augalų liekanų kiekio ir jų cheminės sudėties ir kt. Humuso medžiagų susidarymas - tai ne paprastas organinių liekanų utilizavimas, kuris būtinas biosferoje. Svarbiau tai, kad šio proceso eigoje susidaro nauja grupė gamtinių, neegzistuojančių gyvuose organizmuose, junginių, kurie būtini, kad užtikrintų nenutrūkstamą šiuolaikinių gyvųjų formų egzistavimą (Baginskas 1984, Kaboneka 2000).

Organinės medžiagos irimas – tai ilgas ir sudėtingas mechaninių, biologinių ir cheminių reiškinių procesas. Bakterijos aktyviai ardo ląstelieną ir angliavandenius, aktinomicetai – pektino medžiagas, celiuliozę, riebiąsias rūgštis, grybai – ligniną ir taninus, dirvožemio gyvūnai smulkina augalų liekanas ir padaro jas tinkamesnes mikroorganizmams ardyti. Bakterijos, aktinomicetai, bestuburiai gyvūnai ir augalai dirvožemyje pagausina fermentų, kurie yra labai svarbūs cheminių reakcijų katalizatoriai, spartinantys organinės medžiagos irimo ir sintezės procesus. Žuvę mikroorganizmai ir gyvūnai dirvožemyje organinės medžiagos per metus pagausina vidutiniškai 100–200 kg ha⁻¹ (Lampkin 1999).

Dirvožemio susidarymo eigoje vyko azoto ir organinės medžiagos akumuliacija viršutiniame horizonte. Jos kiekis dirvožemyje – vienas iš svarbiausių dirvožemio derlingumo rodiklių ir daro įvairiapusę įtaką dirvožemio agrocheminėms, fizikinėms savybėms, biologiniam aktyvumui, buferingumui. Organinėje medžiagoje akumuluota 98 % dirvožemio azoto, 80 % sieros, 60 % fosforo, didelis kiekis kitų makro ir mikroelementų. Sujungti organiniuose junginiuose šie elementai apsaugoti nuo išplovimo ir yra svarbiausias maistingųjų elementų šaltinis augalams. Didžiąją dalį dirvožemio organinės medžiagos sudaro humusas, kuris formuojasi iš augalų liekanų, dalyvaujant gyvūnams, mikroorganizmams. Tai sudėtingas biocheminis procesas, kurio metu susidaro specifiniai organiniai junginiai – humuso rūgštys (Tripolskaja 2005).

1.1. pav. Dirvožemio organinės medžiagos sudėtis (patikslinta pagal J. A. Baldock ir J. O. Skjemstad) (Tripolskaja 2005)

Fig. 1.1. Soil organic matter composition (modified according to the JA Baldock and JO Skjemstad) (Tripolskaja 2005)

Specifinės dirvožemio humuso rūgštys yra huminės rūgštys, fulvorūgštys ir nehidrolizuotoji liekana, arba huminas. Huminės rūgštys – tai didelės molekulinės masės organinės rūgštys, turinčios azoto, netirpios vandenyje ir mineralinėse rūgštyse (1.1. pav.). Jų sudėtyje anglies yra 50–62 %, deguonies 31–40 %, vandenilio 2,8–6,6% ir azoto 2–6% (Tripolskaja 2005). Laisvos huminės rūgštys dirvožemyje daugiausia yra gelių pavidalo, kurie, šarminių junginių paveikti, lengvai peptizuoja ir sudaro molekulinis ir koloidinius tirpalus. Laisvos huminės rūgštys turi po kelias karboksilines ($-\text{COOH}$), metoksilines ($-\text{O}-\text{CH}_3$), hidroksilines ($-\text{OH}$) laisvas grupes, kurios, reaguodamos su esančiais dirvožemyje katijonais, sudaro druskas, vadinamas humatais. Vienvalenčių katijonų (Na^+ , K^+ , NH_4^+) humatai gerai tirpsta vandenyje, todėl kritulių vanduo juos lengvai išplauna iš humusingo horizonto gilyn. Dvivalenčių katijonų (Ca^{+2} , Mg^{+2}) humatai vandenyje netirpsta ir sudaro patvarius gelius, kurie plona plėvele apgaubia mineralines dirvožemio daleles ir jas sulipdydami sudaro vandeniui atsparią dirvožemio struktūrą. Huminės rūgštys ir humatai su mineralinėmis dirvožemio dalelėmis, ypač molio mineralais, sudaro sudėtingus organinius-mineralinius mikroagregatus (Орлов 1990, Nelson 1982).

Fulvorūgštys – didelės molekulinės masės organinės rūgštys, turinčios azoto, tirpstančios vandenyje, rūgštyse ir šarmuose. Fulvorūgštyse yra žymiai mažiau anglies (40–52%), o daugiau deguonies (40–48%) negu huminėse rūgštyse (Эйдукиявичене 1993). Fulvorūgštys su katijonais sudaro įvairias druskas – fulvatus. Na^+ , K^+ , NH_4^+ fulvatai gerai tirpsta vandenyje, o šarminių žemės metalų (Ca, Sr, Ba) fulvatai vandenyje netirpsta tik esant labai šarminei terpei. Fulvorūgštys, būdamos labai stiprios rūgštys, aktyviai ardo dirvožemio mineralus, sudarydamos naujus junginius (Tripolskaja 2005, Возбуждая 1964).

Huminas (nehidrolizuotoji liekana) – pati inertiškiausia humuso dalis, netirpstanti silpnuose šarmuose. Huminas savo prigimtimi artimas huminėms rūgštims, tačiau labiau susijęs su dirvožemio molio mineralais. Šioje humuso frakcijoje akumuliuota 20–30% dirvožemio suminio azoto kiekio. Huminas mažiausiai skaldomas dirvožemio mikroorganizmų (Danilevičius 1997, Tripolskaja 2005).

Pagrindinis humuso kokybės rodiklis yra jo sudėtyje esančių huminių ir fulvorūgščių santykis: kuo jis didesnis, tuo geresnės kokybės humusas. Lietuvos dirvožemiuose fulvorūgščių dažniausiai yra daugiau nei huminių rūgščių, ypač rūgščiuose išplautžemiuose ir balkšvažemiuose. Įvairios agrotechnikos priemonės gali turėti skirtingą įtaką huminių rūgščių santykiui. Tokios agrotechnikos priemonės, kaip rūgščių dirvožemių kalkinimas, tręšimas mėšlu, daugiamečių žolių auginimas, skatina huminių rūgščių sintezę ir jų kaupimąsi dirvožemyje.

Labiau humusingi yra sunkesnės granulometrinės sudėties dirvožemiai – moliai, priemoliai, mažesniu humusingumu pasižymi priesmėliai ir smėliai. Šį skirtumą lemia nevienodas kiekis molio dalelių, kurios su organiniais koloidais sudaro organinius mineralinius derinius bei aktyvesnę organinės medžiagos mineralizaciją, dėl kurios organinės medžiagos suskyla iki paprastų junginių (Krištaponytė 1996, Воронин 1986).

Smėliai, kuriuose fizinio molio dalelių mažiau kaip 10%, labai laidūs vandeniui, bet dėl menko jų rišlumo, susidarius vandens nuotėkiui, jie lengvai pasiduoda vandens erozijai, labai greitai išdžiūsta. Tada jiems pavojinga vėjo erozija. Smėlio dirvožemiuose mažai organinių ir mineralinių maisto medžiagų. Jas lengvai išplauna besisunkiantis vanduo. Dėl to smėlio dirvose skursta dauguma augalų. Todėl ir nuo erozijos jie menkai tesaugo (Krištaponytė 1996, Danilevičius 1997).

Molio dirvožemiuose fizinio molio dalelių yra daugiau kaip 50%. Dėl to jie gana rišlūs, bet menkai laidūs vandeniui. Ilgesnių ir gausesnių liėtų metu jų paviršiuje susikaupia ir ilgai telkšo vanduo. Kalvose jis teka į žemesnes vietas ir pamažu ardo dirvožemį (Ežerinskas 1996). Smulkios molio dirvožemių poros dažnai būna pilnos vandens, juose trūksta oro, plinta anaerobiniai mikroorganizmai, sulėtėja organinių medžiagų mineralizacija. Sausringu periodu viršutinis tokių dirvožemių sluoksnis pasidengia kieta pluta, jis suskeldėja, augalai dūsta dėl oro trūkumo, šaknys sunkiai pasiekia gilesnius jo sluoksnius (Mažvila 1992).

Priesmėliuose fizinio molio dalelių būna nuo 10 iki 20%. Dėl to jie rišlesni už smėlius, gali sukaupiti daugiau maisto medžiagų ir organinės anglies, mažiau laidūs vandeniui. Juose augalų augimo sąlygos palankesnės, bet jie gana lengvai praleidžia vandenį, nedaug jo ir sukaupia, todėl jų erozija gana didelė (Krištaponytė 2002, Lohnston 1986).

Išaiškinti molio kiekį dirvožemiuose naudojamosi Fere trikampiui (1.2 pav.). Šioje klasifikacijoje dirvožemio granulimetrinė sudėtis nustatoma pagal viso smulkžemio: smėlio (2–0,05 mm), dulkių (0,05–0,005 mm) ir dumblo (< 0,002 mm) kiekio, išreikšto procentais, santykį. Be to, skirtingai nuo N.Kačinskio klasifikacijos, dumblo frakcijai priskiriamos dalelės, mažesnės kaip 0,002 mm, o ne 0,001 mm (Motuzas 1996, Dirvožemio agrocheminio tyrimo medžiaga 1963–1993).

1.2. pav. Fere trikampis dirvožemio granulimetrinei sudėčiai nustatyti (Juodžio, 1998)

Fig. 1.2. Fere soil texture triangle to determine the composition (Juodžio, 1998)

Pagal modifikuotą Fere trikampį Lietuvos dirvožemiai pagal granulimetrinę sudėtį skirstomi į 15 klasių (Motuzas 1996): smėlis, rišlus smėlis, priesmėlis, smėlingas lengvas priemolis, smėlingas sunkus priemolis, vidutinio sunkumo priemolis, sunkus priemolis, dulkiškas priesmėlis, dulkės, dulkiškas lengvas priemolis, dulkiškas vidutinio sunkumo priemolis, dulkiškas sunkus priemolis, smėlingas molis, dulkiškas molis, molis.

1.5. Dirvožemio oksidacinės-redukcinės savybės

Plačiai paplitęs oksidacijos procesas – organinių medžiagų irimas dirvožemyje. Pavyzdžiui, dirvožemyje tirozinas ir kitos aromatinės amino rūgštys oksiduojamos į melaninus; būna dervų oksidacija; taip pat vyksta rauginių medžiagų, cukrų, amino rūgščių, baltymų ir kitų medžiagų oksidacija. Humifikacija irgi yra oksidacijos procesas (Apalia 1982).

Dauguma dirvožemio organinių medžiagų oksidacijos reakcija yra negrįžtamoji. Grįžtamoji oksidacijos-redukcijos reakcija dirvožemyje yra geležies, mangano, azoto oksidacijos ir redukcijos reakcija. Kadangi dauguma šių reakcijų yra biocheminės ir labai susietos su mikrobiologiniais procesais, tai suprantama, kad jie turi tiesioginę įtaką oksidacijos-redukcijos procesams (Tripolskaja 2005, Мпшустпн 1978, Алексеев 1987).

Pagrindinis oksidatorius dirvožemyje yra dirvožemio oro ir dirvožemio tirpalo molekulinis deguonis. Dėl to oksidacijos-redukcijos procesai dirvožemyje labai susiję su aeracija, t. y. su visomis dirvožemio savybėmis, lemiančiomis – dujų apytaką (struktūra, gludumas, mechaninė sudėtis ir t. t.).

Svarbiausios sąlygos, lemiančios oksidacijos-redukcijos procesus, yra dirvožemio drėgnumas ir aeracija, taip pat organinių medžiagų kiekis dirvožemyje bei temperatūra.

Sumažėjus aeracijai, padidėjus dirvožemio drėgnumui, gludumui, susidarius plutelei, oksidacijos-redukcijos procesai susilpnėja, sumažėja jų potencialas. Potencialas labai sumažėja tada, kai dirvožemio drėgnumas būna lygus pilnam vandens imlumui, kai sutrinka dirvožemio ir atmosferos dujų apytaka. Dėl to labai sumažėja velėninių jaurinių dirvožemių humusingų horizontų (A, A1) potencialas, kai dirvožemio drėgnumas būna didesnis negu 90% pilno vandens imlumo. Drėgnumui didėjant nuo 10 iki 90% pilno vandens imlumo, potencialas mažėja pamažu. Kai temperatūra ir drėgnumas optimalūs, velėninių jaurinių dirvožemių ariamajame horizonte aerobinės sąlygos virsta anaerobinėmis tada, kai dirvožemio ore deguonies būna 2,5–5,0%. Velėniniuose jauriniuose priemolio dirvožemiuose, apaugusiuose daugiametėmis žolėmis, anaerobiniai procesai vyksta tada, kai drėgnumas būna daugiau kaip 80% pilno vandens imlumo, o poringumas – 6%. Daug įtakos oksidacijos-redukcijos procesams turi organinių medžiagų kiekis bei forma. Per drėgną dirvožemių potencialas labai sumažėja tik humusingų horizontų (Motuzas 1996, Beliauskas 1976).

Oksidacijos-redukcijos potencialas nustatomas įstačius į dirvožemį platininį elektrodą. Oksidacijos-redukcijos potencialas matuojamas milivoltais (mV). Dauguma augalų normaliai auga ir vystosi tada, kai dirvožemio E_h yra 200–700 mV. Sumažėjus dirvožemio drėgnumui, susidarius plutai ar dėl kitokių priežasčių pablogėjus dirvožemio aeracijai, oksidacijos-redukcijos potencialas gali smarkiai sumažėti. Kai E_h mažesnis kaip 200 mV, dirvožemyje prasideda inten-

syvūs redukcijos procesai ir atsiranda glėjiškumo požymių, nitrifikaciją pakeičia denitrifikacija, kadangi nitrifikacijai optimaliausias potencialas 350–500 mV. Žinant oksidacijos-redukcijos potencialą, galima spręsti, kokie procesai vyksta dirvožemyje (Bundinienė 2002, Motuzas 1996, Воронин 1986, Гилярова 1975).

1.6. Anglies apykaitos ciklas dirvožemyje

Anglies apykaitos ciklas – biogeocheminis ciklas, apimantis įvairius cheminius, fizinius, geologinius ir biologinius procesus, kuriais anglis juda Žemės biosferoje, geosferoje, hidrosferoje ir atmosferoje (kiti astronominiai kūnai taip pat gali turėti atitinkamus ciklus, tačiau šiuo metu tai nėra žinoma) (Batjes 1996, Ягодина 1982).

Patekusios į Žemės paviršių (formuojantis Žemės plutai, išsiveržiant vulkanams ir t.t.) pirminės kalnų uolienos pradeda dūlėti, irti. Paviršiniame šio dūlo sluoksnyje pradeda formotis dirvožemis kaupdamas reikiamas maisto medžiagas gyviems organizmams. Tos medžiagos iš dirvožemio pasisavinamos augalų ir po to vėl per tarpinius trofinius ciklus (augalai – gyvūnai – mikroorganizmai) grįžta atgal į dirvožemį – mažoji biologinė medžiagų apykaita. Iš dirvožemio dalis medžiagų su infiltracinių atmosferos kritulių srautu išplaunama ir per hidrografinį tinklą patenka į pasaulinį vandenyną. Čia iš jų susidaro nuosėdinės uolienos, kurios dėl geologinių procesų gali grįžti į planetos paviršių, ir vėl jose formosis dirvožemis, ar pasilikti vandenyno gelmėse ir iš esmės pagrįsti (metamorfizuotis) – didžioji geologinė medžiagų apykaita. Pradžioje, t.y. abiotiniame laikmetyje, šie globaliniai medžiagų migracijos – transformacijos srautai buvo tik kaip geocheminiai ciklai. Žemėje atsiradus gyvybei, jie tapo biogeocheminiais ciklais, kurie civilizacijos eigoje palaipsniui transformavosi į technogeninius ciklus. Pastarųjų ciklų svarba globalinėje medžiagų migracijoje nuolat didėja. Tarkime, tokių globalinių ciklų, kaip anglies, vandens, azoto, sieros ir daugelio kitų elementų bei medžiagų intensyvumą, šiandien jau itin lemia žmogaus, tapusio savotišku geologijos veiksnium, veikla. Technogeninė veikla keičia ne tik gamtinių ciklų intensyvumą, bet ir jų pobūdį, t. y. medžiagų persiskirstymo Žemės paviršiuje tvarką (Lal 1998, Bazzaz 1997, Motuzas 1996, Danilevičius 1977, Bohn 1976).

Bendras technobiogeocheminės medžiagų apytakos Žemėje ciklas susideda iš daugelio atskirų biogeninių, abiotinių, geologinių ir technogeninių ciklų, sudarančių didžiąją geologinę medžiagų apykaitą (1.3 pav.).

Savo ruožtu pastaroji susideda iš šių svarbiausių ciklų (etapų): magminių uolienų Žemės paviršiuje pasirodymas – dūlėjimas – dirvodara – ardymas ir denudacija – nuosėdų kaupimasis sausumoje ir vandenynuose – kritulių metamor-

fizacija – Žemės paviršiuje pasirodymas nuosėdinių uolienų su naujai prasidėjusiais jų dūlėjimo, dirvodaros, denudacijos bei nuosėdų kaupimosi ciklais, arba jų nugrimzdymas geosinklinose į mantiją, perlydymas ir pakartotinis pasirodymas Žemės paviršiuje.

Šią aptartą bendrą didžiosios geologinės medžiagų apykaitos schemą labai komplikuoja Žemės plutos ir joje vykstančių tektoninių procesų savitumai. Tam tikrą dalį didžiąją geologinę medžiagų apytaką sudarančių elementariųjų ciklų jau galima įvertinti ir kiekybiškai. Tai itin svarbu ir nustatant jų reikšmę dirvodaroje ir įvertinant dirvožemio svarbą šiuose cikluose. Apskritai visi šie elementarieji ciklai yra labai sudėtingi ir šiuo metu kiekybiškai juos įvertinti galime dažniausiai tik preliminariai. Be to, jie dėl vis didėjančio antropogeninio poveikio nuolat kinta (Motuzas 1996).

1.3. pav. Didžiosios geologinės medžiagų apykaitos gamtoje schema (Motuzas 1996)

1.3. pav. Great geological nature of metabolic scheme (Motuzas 1996)

Svarbiausi didžiojoje geologinėje medžiagų apykaitoje yra mažieji biologiniai ir technosferiniai ciklai, kadangi į juos patekę elementai ilgam pašalinami iš globalinio geocheminio srauto ir daug kartų dalyvauja niekad nenutrūkstančiuose įvairių medžiagų kitimo procesuose. Itin svarbi dirvodarai yra mažoji biologinė medžiagų apykaita, lemianti ciklišką dirvodaros biogeocheminę dinamiką. Šios apykaitos esmę, kaip minėjome, lemia augalų įsisavinimas peleninių elementų iš dirvožemio, jų įtraukimas į biocheminius procesus ir grąžinimas į dirvožemį apmirus augalams (dalį jų pasisavina gyvuliai ir grąžina dirvožemiui po žūties). Daug sudėtingesni yra anglies ir azoto ciklai, apimantys ir atmosferą.

Dalis po organizmų apmirimo išsilaisvinusių elementų per atmosferą ir hidrosferą vėl grįžta į didžiąją geologinę apykaitą, bet, antra vertus, dėl vykstančių dūlėjimo ir dirvodaros procesų į biologinę apytaką įtraukiamos ir naujos elementų porcijos.

Žmogaus ūkinė veikla labai keičia biologinės medžiagų apykaitos pobūdį dėl šių veiksnių kompleksinio poveikio: a) natūralių gyvųjų organizmų bendrųjų sunaikinimo ir pakeitimo nauja sukultūrinta; b) biologinės produkcijos išvežimo ir sunaudojimo už tos ekosistemos, kurioje ji buvo išauginta, ribų; c) dirbtinių trąšų ir kitų cheminių medžiagų įterpimo; d) dirvožemio režimo ir biogeocheminės elementų migracijos sąlygų pasikeitimo (pH, Eh, sausinimo, drėkinimo ir pan.) (Bundinienė 2000).

Bet kurio elemento apykaitos intensyvumas arba imlumas priklauso nuo to, kiek jo reikia organizmams (elemento biofiliskumo) ir nuo jo prieinamų organizmams atsargų kiekio aplinkoje. Įvairios gamtinės ekosistemos labai skiriasi viena nuo kitos ir bendru biologinės apykaitos intensyvumu, ir į ją įtrauktų elementų kiekiu. Iš esmės šiuo požiūriu, pavyzdžiui, skiriasi spygliuočių ir lapuočių miškai. Ploto vienetai pirmieji sunaudoja beveik 4 kartus mažiau kalio, 2,5 karto kalcio, 3 kartus mažiau magnio, tačiau pagal azoto, fosforo ir sieros sunaudojimą šie miškai mažai skiriasi (Bundinienė 2000).

Apie didžiosios geologinės medžiagų apykaitos ir dūlėjimo procesų intensyvumą orientaciškai galima spręsti iš bendro sausumos žemėjimo masto.

Pagal V. Kovdą ir B. Rozanovą, denudacinį Žemės rutulio metinį balansą (57,0 mlrd. t) sudaro; egzogeninės (iš šalies) prienašos (4 mlrd. t), medžiagų išnašos į vandenyną (27,1 mlrd. t), į žemynų vandenį (18,2 mlrd. t) ir į atmosferą (7,7 mlrd. t). Atliekant šiuos skaičiavimus, nebuvo atsižvelgta į endogenines (vidines) prienašas, susidariusias vykstant didžiąjai geologinei medžiagų apykaitai, t. y., į galimą medžiagų prietaką iš planetos gelmių (Danilevičius 1977).

Pateiktos vidutinės denudacijos reikšmės visgi nieko konkretaus nepasako apie jos mastą įvairiuose Žemės paviršiaus taškuose. Viena vertus, iš viso medžiagų iš kalnuotų teritorijų turėtų būti išnešta bent 3 kartus daugiau nei iš lygumų (jos užima 77 proc. Žemės sausumos). Antra vertus, suintensyvėjusi antropogeninė lygumų denudacija lemia tai, kad bendra sausumos paviršiaus denudacija būna intensyvesnė lygumose nei kalnuose. Manoma, kad bendra antropogeninė sausumos denudacija šiuo metu vidutiniškai viršija fono 1,5 karto. Dėl itin intensyvios žmogaus veiklos tam tikruose Žemės paviršiaus sausumos taškuose geologinė denudacija padidėja ne mažiau kaip 1 000 kartų, palyginti su erdvėmis, nepatyrusiomis šios veiklos (Feiza 2004, Eitminavičiūtė 1997).

Ypač reikšmingi paviršiaus žemėjimo pokyčiai vyksta žmogui pakeitus augalijos sudėtį. Gamtinio sausumos fono žemėjimą kompensuoja vis naujų pirminių kalnų uolienų sluoksnių iškilimas į paviršių vykstant dūlėjimui. Kaip tik dėl to iki šiol pavyksta išlikti vienodam planetos dirvožemio dangos storiui. Taip pat

palaikomas ir jos biogeocheminis atsparumas, nes į dūlėjimą ir dirvodarą įtraukiami vis nauji kalnų uolienų pirminiai mineralai (nepaisant to, kad elementai nuolat išplaunami į vandenyną).

Vykstant antropogeninei denudacijai, kuri savo intensyvumu vidutiniškai kelis kartus viršija gamtinį foną, išryškėja, viena vertus, kad dūlėjimas atsilieka nuo denudacijos ir nekompensuoja patirtų elementų nuostolių, dėl to mažėja, visos biosferos stabilumas ir produktyvumas. Antra vertus, vykstant antropogeninei denudacijai, sunaikinami patys humusingiausi ir daugiausia biofilinių elementų turintys paviršiniai dirvožemių horizontai, todėl dar labiau pažeidžiamas biosferos funkcionavimas. Visa tai sudaro sąlygas plėstis antropogeninių dykumų plotams, kurie šiuo metu užima ne mažiau kaip 30 proc. Žemės rutulio sausumos (Jankauskas 1996, 2004).

1.7. Dirvožemio dujinė fazė

Dirvožemio oras (dujinė fazė) yra viena iš dirvožemio sudedamųjų dalių. Jis yra deguonies šaltinis augalų "šaknims ir aerobiniams mikroorganizmams: oras dirvožemyje trejopas: a) laisvas, užimantis-tuščias (be vandens) poras arba jų dalį; b) sorbuotas dirvožemio dalelių paviršiaus; c) ištirpęs dirvožemio vandenyje.

Dirvožemio oro sudėtis nepastovi. Ji priklauso nuo jo kiekio ir judėjimo dirvožemyje, nuo biocheminių ir kitokių procesų ir labai skiriasi nuo atmosferos oro sudėties. Ypač kinta deguonies kiekis intensyvios augalų vegetacijos ir biologinių procesų periodu, pavyzdžiui, dėl intensyvios nitrifikacijos. Kai labai padaugėja nitratų, tai sumažėja deguonies, ypač per drėgnuose dirvožemiuose. Optimalios sąlygos augalams vystytis būna tada, kai dirvožemio ore deguonies yra apie 20% (Feizienė 2009, Arlauskienė 2002).

Dėl organinių junginių oksidacijos labai padaugėja anglies dioksido dirvožemio ore. Deguonies dirvožemio ore randame mažiau tada, kai jo daug naudojama, kai augalai gerai vystosi ir kai mikrobai būna aktyvūs. N. Cholodnovas įrodė, kad dirvožemio ore ir pažemės ore yra lakių organinių junginių, kuriuos kaip maisto medžiagas įsivaina bakterijos ir aukštesnieji augalai (Feizienė 2009, ASA, 1990 ir 1993, Воронин 1986).

Dirvožemio oro sudėtis kinta einant gilyn: kuo giliau, tuo daugiau būna anglies dioksido, o mažiau deguonies. Kai kada 150–200 cm gylyje anglies dioksido būna 10–12% (ASA, 1990 ir 1993)

Dujas ir vandens garus sorbuoja dirvožemio kietosios dalelės, ir išsiskiria sorbcijos, arba drėkimo, šiluma. Dujos dirvožemio kietųjų dalelių sorbuojamos pagal tokią eilę: $H_2O > NH_3 > CO_2 > O_2 > H_2C > CH_4$. Dujų daugiau sorbuoja toks dirvožemis, kuriame daugiau humuso, geležies hidroksido. Pakilus temperatūrai, dirvožemio dujų sorbcijos galia sumažėja (Batjes, 1996, Bennema 1974).

Vanduo dirvožemyje tirpina dujas, kurių tirpumas padidėja sumažėjus vandens temperatūrai ir atvirkščiai. Jei padidėja dujų slėgis, tai jų tirpumas irgi padidėja. Jei įdruskėjusių dirvožemių tirpalo koncentracija padidėja, tai dujų juose sumažėja (Анцпок 1991).

Dirvožemio oro sudėtis nuolat kinta dėl dujų apytakos tarp atmosferos, vykstančios dėl paros ir metų temperatūros svyravimo, vėjo stiprumo ir krypties, vandens filtracijos ir kitų reiškinių. Dirvožemio oro sudėties kitimas priklauso ir nuo biocheminių procesų. Dujų apytaka tarp dirvožemio ir atmosferos vyksta dėl difuzijos, dėl atmosferos slėgio kitimo, dėl gruntinio vandens gylio kitimo. Dieną, kai dirvožemis išsyla, oro tūris padidėja ir dalis jo su CO_2 iš dirvožemio išeina, o naktį, atvirkščiai, atmosferos oras, kuriame daug deguonies, skverbiasi į dirvožemį. Oro apytaka vyksta nekapiliarinėmis poromis (Kutzbach 2007).

Dirvožemio oro kitimas priklauso nuo augalų, gamtinių sąlygų, į dirvožemį įterptų trąšų ir t. t. Anglies dioksido dirvožemio ore daugiau vasarą ir mažiau žiemą. Dėl dirvožemio per didelio drėgnumo pavasarį ir vasaros pradžioje vystosi anaerobiniai procesai. Jie gali vykti ir dėl didelės lietinimo normos. Dėl tos priežasties velėniniuose pievų dirvožemiuose yra daugiau CO_2 negu didesnių žemių dirvožemiuose (Feizienė 2008, Batjes, 1999).

Padaugėjus anglies dioksido dirvožemyje, kinta ir jo reakcija. Trūkstant dirvožemyje deguonies, vystosi denitrifikacijos procesai, susidaro kenksmingos CH_4 , H_2S ir kitos dujos. Padaugėjus anglies rūgšties dirvožemio tirpale, padidėja ir vandenilio jonų koncentracija, todėl padidėja CaCO_3 ir kitų druskų tirpumas.

Dirvožemio oro imlumas (talpumas) priklauso nuo jų poringumo ir drėgnumo. Sauso dirvožemio oro imlumas būna didžiausias, nes jo visas poras užima oras. Dirvožemio didžiausias oro imlumas lygus poringumui. Lauko oro imlumas – kintamas dydis, priklausąs nuo gamtinių ir agromelioracinių sąlygų, labiausiai nuo dirvožemio drėgnumo. Dirvožemyje vandens daugėjant, mažėja oro, ir atvirkščiai (Ingram 2001).

1.8. Mikroorganizmų vaidmuo dirvožemio susidarymui

Dirvožemio mikroorganizmų vaidmuo yra didžiulis. Jie į aplinką išskiria fermentus ir kitas veikliąsias medžiagas. Jos sukelia chemines reakcijas – organinius junginius paverčia mineraliniais. Šitaip yra skaidomos augalinės ir gyvūninės dirvožemio liekanos. Jos paverčiamos azoto, fosforo, kalcio, sieros ir kitais junginiais, kuriuos savo kūno statybai (mineralinė mityba) naudoja aukštesnieji augalai (Jankevičius, Liužinas, 2007).

Organizmai uolienas ardo mechaniškai ir chemiškai. Aukštesnieji augalai uolienas ardo chemiškai, per šaknis išskirdami anglies dioksidą, organines rūgštis, kurios, veikdamos uolienų mineralus, taip jas ardo (Tripolskaja 2005).

Mikroorganizmams priskiriami pirmuonys, dumbliai, kerpės, grybai ir bakterijos.

Pirmuonys (Protozoa). Dirvoje plačiai išplitę pirmuonys priskirti šakniakojų, žiuželių, blakstienotųjų klasėms. Pirmuonių daugiausiai randama šlapiuose ir užmirkusiose dirvose, bet jų yra ir normalaus drėgnumo žemės plotuose. Pirmuonys minta bakterijomis, tai apie jų reikšmę dirvožemio derlingumui nėra vieningos nuomonės. Pirmuonių gausumas nemažina bakterijų skaičiaus, nes jos labai greitai dauginasi. Be to, žuvę pirmuonys tampa geru maistu bakterijomis ir taip sudaro sąlygas joms daugintis ir gyventi (Eitminavičiūtė 1997, Janušienė 1992, Aplalia 1982, Гев 1989).

Pirmuonių, ypač infuzorijų veiklą reikėtų vertinti teigiamai, nes virškindami netirpius organinius junginius kartu su mikroorganizmais dirvožemyje greitina medžiagų apytaką.

Dumbliai kaip fototrofai, labiausiai išplitę dirvos paviršiuje ir iki 30 cm gylyje. Jų skaičius 1 g dirbamos žemės paviršiuje gali siekti iki 100 tūkst. Tai daugiausiai žaliadumbliai, mesvadumbliai ir diatominiai dumbliai, o šiltesnio klimato dirvožemiuose dar ir gleivadumbliai (Eitminavičiūtė 1997, Danilevičius 1977).

Dumblių reikšmė dirvos biocheminiams procesams yra labai didelė. Fotosintezės dėka jie anglies dioksidą paverčia jų sintetinamais organiniais junginiais, kurie dumbliams žuvus dirvą praturtina organinėmis medžiagomis, palyginti greitai mineralizuojasi ir sudaro sąlygas mikroorganizmams, tarp jų – azotą fiksuojančioms bakterijoms, daugintis ir egzistuoti. Dėl dumblių vyksta fotosintezė, dirva praturtinama ne tik organinėmis medžiagomis, bet ir deguonimi, reikalingu aerobiniams mikroorganizmams kvėpuoti. Be to, kai kurie dumbliai gali įsisavinti laisvąją atmosferos azotą (Janušienė 1994, Бафров 1981).

Daugiausiai dumblių dirvožemyje būna pavasarį, mažiausiai žiemą.

Simbiozėje su chemotrofinėmis bakterijomis dumbliai gali gyventi ant kietų uolų, pagreitina jų dūlėjimą.

Kerpės gali gyventi ir daugintis ant plikų uolų, nes geba siurbti iš jų mineralines medžiagas ir jomis maitintis. Kadangi dauguma kerpių turi tenkintis atmosferos vandeniu, tai jų daugiausia yra drėgnesnio klimato šalyse. Ant uolų palaipsniui formuoja dirvožemio sluoksnį, kuriame kaupiasi azotas, fosforas, kalis, kalcis ir kiti elementai, sudarantys sąlygas gyventi samanoms, o vėliau ir aukštesniems augalams (Eitminavičiūtė 1997, Janušienė 1994). Bakterijų reikšmė nepaprastai didelė žmogaus gyvenime ir visoje gamtoje. Dauguma jų atlieka skaidytojų „darbą“ – nuokritų organinę medžiagą suskaido iki mineralinių medžiagų, kurias jau gali pasisavinti organinių medžiagų gamintojai – augalai. Bak-

terijos yra ne tik mūsų planetos „sanitarai“, bet ir daugiausia prisideda prie derlingo dirvožemio susidarymo. Pūdydamos ir skaidydamos daugybę tonų įvairiausių nuokritų, organizmų lavonų, įvairių organinių atliekų, dirvožemyje pagausina puvenų (humuso). Kai kurios bakterijos dalyvauja azoto junginių apytakos cikle, kuris be jų veiklos nebūtų įmanomas (Danilevičius 1977, Eitminavičiūtė 1997, Мипчинк 1979).

Dirvožemyje vyksta nenutrūstamas vadinamasis mažosios biologinės medžiagų apykaitos ratas, kuriame mikroorganizmai skaido augalų ir gyvūnų liekanas į paprastesnius organinius darinius ir mineralinius komponentus, kurie biologiškai sujungiami ir vėl patenka į naują šios apykaitos ciklą. Mikroorganizmai naudoja anglies junginius energijai ir mitybai, o azotas yra būtinas DNR baltymų sintezei ir fermentams. Pasisavindami vieną dalį azoto vidutiniškai jie sunaudoja aštuonias dalis anglies. Tik trečdalį pasisavintos anglies mikroorganizmai panaudoja kūno statybai, likusi dalis išskiriama CO₂ pavidalo. Dėl to maistui ir energijai jiems reikia 24 dalių anglies vienai daliai azoto. Tai sąlygoja du labai svarbius dirvodaros biologinius reiškinius (Eitminavičiūtė 1997):

- 1) jeigu organinėse liekanose C:N kiekių santykis >25, mikroorganizmai skaidys ir naudos dirvožemio azotą savosioms reikmėms patenkinti,
- 2) jeigu mikroorganizmai stokos azoto, jie lėtai skaidys organines liekanas, todėl nedaug mineralinio azoto pateks į dirvožemio sorbuojamąjį kompleksą ir dirvožemio tirpalą.

Dirvožemyje keičiantis organinės ir mineralinės medžiagos kiekiui, keičiasi ir mikroorganizmų kiekis bei rūšinė sudėtis. Mažosios biologinės medžiagų apykaitos metu dirvožemyje vyksta azoto išlaisvinimas ir sujungimas.

Esant storesnei dirvožemio paklotei, apatiniai sluoksniai būna labiau perpuvę negu viršutiniai. Skiriasi ir tuose sluoksniuose gyvenančių organizmų sudėtis. Pagal dirvožemio genetinius horizontus:

O1 – sluoksnyje gyvena paklotiniai gyvūnai ir mikroorganizmai. Tarp mikroorganizmų dominuoja epifitai, patekę į paklotę su krintančiais lapais. Gausios nespordinės bakterijos ir grybai. Mikroartropodai gausūs, dominuoja oribatidinių erkių ir kolembolų paklotinės rūšys. Šiame sluoksnyje skaidosi angliavandeniai, pektinai ir baltymai.

O2 – sluoksnyje mikroorganizmų yra gausiausiai, tai rodo kvėpavimo intensyvumas. Dominuoja bazidiomicetai ir celiuliozės skaidytojai *Chaetonium*, *Trichoderma*, *Mycogone*, sacharolitinio komplekso atstovai: mielės ir grybai *Mucor*. Paplitusios ir bakterijos. Šiame sluoksnyje dominuoja oribatidinės erkės ir kolembolos. A1 sluoksnyje toliau skaidomos organinės medžiagos: celiuliozė, chitinas, ligninas, vyksta humusinių medžiagų sintezė.

O3 – sluoksnyje pastebimai mažėja dirvožemio kvėpavimo intensyvumas. Pagrindinė priežastis – grybų komplekso sumažėjimas. Dominuoja aktinomicetai

ir sporinės bakterijos. Tarp mikroartropodų dominuoja humusinio sluoksnio gyventojai ir makrofauna, ypač sliekai, kaprolitai. Mineralizacijos procesai baigiasi. Šiame sluoksnyje vyksta sudėtingesnių humusinių junginių sintezė.

Mikroartropodų ir mikroorganizmų gausumas labai sumažėja baigiantis humusiniam ir prasidedant mineraliniam dirvožemio sluoksniui. Mikrofaunoje dominuoja dirvožeminės ir gilesnių sluoksnių rūšys (Eitminavičiūtė 1997).

Augalinės ir gyvūninės liekanos skaidomos dirvožemio paviršiuje (lapai, žolė, negyvi gyvūnai, grybų vaisiakūniai) ir gilesniuose jo sluoksniuose (šaknys, svogūnai, grybiena, gumbai ir pan.). Miške iš nukritusių lapų formuojasi miško paklotė, iš nudžiūvusių žolių – velėna. Mineralizacijos pobūdis ir intensyvumas priklauso nuo trijų veiksnių – liekanų sudėties, hidroterminio režimo, destruktorių komplekso. Organinių liekanų destrukcijos procesas gali vykti trimis kryptimis: 1) visiška mineralizacija, 2) humifikacija, 3) ne visai suskaidytų organinių liekanų konservacija (Čaikauskas 1985).

Mineralizacijos procese išlaisvinami augalinėje biomasėje sutelkti cheminiai elementai, sudarantys sąlygas nenutrūkstamai medžiagų apykaitai, vykstančiai ekosistemoje.

Labai svarbi grybų reikšmė mineralų dūlėjimo procese. Skaldant augalines liekanas grybai utilizuoja visus pagrindinius augalo ląstelės komponentus – pradedant paprastais angliavandeniais ir baltymais ir baigiant sunkiai įsisavinamais lasteliena ir celiulioze. Šių medžiagų skilimo metu susidaro įvairios Krebsso ciklo rūgštys (rūgštynių, citrinų, obuolių ir kitos), ligninui skylant rezultate – vanilinė, paraoksibenzoinė ir kitos rūgštys. Grybų medžiagų apytakos savybė – kad šios rūgštys toliau neįsavinamos, o kaupiasi dirvožemyje. Tos rūgštys plaunamos gilyn, veikia mineralines uolienas ir skatina jų dūlėjimą (Berger 1996).

Jei dirvožemio organinėse liekanose C : N kiekių santykis nedidelis (apie 4), jos intensyviai skaidomos, išsiskiria NH_3 , bet dauguma mikroorganizmų su naudoto mineralinio azoto patenka į humifikaciją, jei C : N kiekių santykis apie 20–25, išlaisvinama daug mineralinio azoto, o jei C : N kiekių santykis 80–100, vyksta biologinis azoto sujungimas. Kalcinguose dirvožemiuose C : N kiekių santykis yra nedidelis, rūgščiuose – net iki 30, juos pakalkinus, lieka apie 12. Intensyvūs mikrobiologiniai procesai dirvožemyje gali būti naudingi, tačiau greitas organinės medžiagos skilimas, nitratinio azoto kaupimasis, jo išsiplovimas į gruntinį vandenį, aktyvi denitrifikacija ir azoto išgaravimas sukelia dirvožemio taršą ir degradavimą. Vakarų šalyse mokslininkai nustatė azoto sujungimo skirtumus dėl nevienodo C : N kiekių santykio miežių šiauduose priklausomai nuo įterpimo vietos, laiko ir auginimo technologijos. Atrodo, kad skirtumai yra susiję pirmiausia su mineralinio azoto buvimu. Dirvose, kuriose auginami eraičiniai ar liucernos aparti šiaudai sujungia mažiau azoto nei paviršiuje palikti šiaudai. Tai tikriausiai yra todėl, kad tarp augalų šaknų ir liekanose esančių skaidytojų vyksta konkurencija dėl esančio azoto. Azoto sujungimas sutampa su

pradiniu grybų micelio įaugimu į pūvančius miežių šiaudus. Nustatyta, kad grybų nauda azoto sujungimui yra maždaug tris su puse karto didesnė nei bakterijų nauda, nors dauguma sujungto azoto yra šalutiniuose mikroorganizmų produktuose, o ne jų biomasėje (Grigaliūnienė 2005, Eitminavičiūtė 1997).

1.9. Lietuvos dirvožemių humusingumas

Organinės medžiagos kiekio dirvožemyje nustatymo laboratoriniai metodai yra palyginti brangūs ir sudėtingi. Dėl šių priežasčių detalių ir sistemingų Lietuvos dirvožemių humusingumo tyrimų, kaip rūgštumo, fosforingumo ir kalingumo, daryta nebuvo. Tik 1982–1990 metais LŽI Agrocheminių tyrimų centras pagal vieningą metodiką atliko platesnius humuso kiekio tyrimus 37 rajonų ūkiuose, o septynių rajonų buvo tirti 2–4 ūkių dirvožemiai (Lietuvos dirvožemiai 2001).

1.2. lentelė. Dirvožemių humusingumo vertinimas (Lietuvos dirvožemiai 2001)

Table 1.2. Evaluation of soil humus content (Lietuvos dirvožemiai 2001)

Dirvožemio humusingumas	Humusas %		
	smėliai	priesmėliai, priemoliai, moliai	miško dirvožemis
Labai mažo humusingumo	Mažiau kaip 0,5	Mažiau kaip 1,0	Mažiau kaip 1,0
Mažo humusingumo	0,6–1,5	1,1–2,0	1,1–2,0
Vidutinio humusingumo	1,6–2,5	2,1–3,0	2,1–4,0
Humusingi	2,6–3,5	3,1–4,0	4,1–6,0
Didelio humusingumo	Daugiau kaip 3,5	Daugiau kaip 4,0	Daugiau kaip 6,0

Lietuvos dirvožemiai pagal humuso kiekį suskirstyti į 5 grupes (1.2. lentelė). Visapusiška tyrimų duomenų analizė rodo, kad Lietuvos dirvožemiuose humuso kiekis labiausiai priklauso nuo jo įmirkimo laipsnio, granulimetrinės sudėties ir sukultūrinimo.

Rytų bei Pietryčių Lietuvoje humuso kiekis dirvožemyje labai įvairuoja, bet daugeliu atvejų jo yra nedaug ir skiriasi pagal dirvožemių granulimetrinę sudėtį: smėliuose dažniausiai jo yra 0,5–1,2%, priesmėliuose 1,3–1,5%, priemoliuose 1,5–1,9%, o moliose 2,0–3,5%. Mažiausiai humuso yra vidutiniškai bei stipriai erozijos paveiktuose dirvožemiuose (0,4–1,2%). Vakarų Lietuvoje panašių pagal kilmę dirvožemių humusingumas dėl nevienodų klimatinų sąlygų (didesnis kritulių kiekis ir vidutinė metinė temperatūra), dirvodarinių uolienų sudėties, skirtingo reljefo yra didesnis. Išplautžemiuose, priklausomai nuo

granulimetrinės sudėties, humuso būna 1,0–2,8%, balkšvažemiuose – 2,5–4,0%. Vidurio Lietuvos žemumoje dirvožemiai susiformavę ant karbonatinių įvairios granulimetrinės sudėties dirvodarinių uolienų, organinė medžiaga kaupiasi intensyviau, todėl šios zonos dirvožemiai yra humusingesni už kitų gamtinių regionų dirvožemius (Lietuvos dirvožemiai 2001).

Apibendrinus visų rajonų humusingumo tyrimų duomenis nustatyta, kad Lietuvoje labai mažo humusingumo dirvožemių yra 1,3%, mažo humusingumo – 32,9%, vidutiniško humusingumo – 37,2%, humusingų – 17,7% ir labai humusingų – 11,4%. Atskirų rajonų dirvožemių humusingumas labai skiriasi. Labai daug mažo ir labai mažo humusingumo dirvožemių (70–90%) yra Zarasų, Molėtų, Lazdijų, Trakų, Utenos, Varėnos rajonuose. Vidurio Lietuvoje mažo humusingumo dirvožemių yra tik 17,3% (Buivydaitė 2001, Lietuvos dirvožemiai 2001, Bakšienė 2004).

Galima spėti, kodėl dabartiniu metu Lietuvos dirvožemių humusingumas dar labiau diferencijavosi, daugelyje ūkių sumažėjo. Tokius procesus sąlygoja pasėlių struktūros pokyčiai, gyvulių skaičiaus sumažėjimas, dirvožemių rūgštėjimas ir kitos priežastys. Dėl siauresnės ūkių specializacijos rinkos ekonomikos sąlygomis plinta specializuotos javų ar kitų augalų sėjomainos, sėjomainose nebeauginamos daugiameinės žolės, nes, sumažėjus gyvulių skaičiui, tapo mažiau reikalingi žoliniai pašarai, ne visi ūkininkai laiko pakankamai gyvulių, kad sukauptų reikalingą laukams tręšti mėšlo kiekį. Sumažėjus gyvulių skaičiui, dalis šiaudų tapo nereikalingi kaip kraikas, todėl plinta laukų tręšimas šiaudais, kurie, neprisilaikant tręšimo rekomendacijų, gali suaktyvinti organinės medžiagos mineralizaciją arba padidinti dirvožemio azoto biologinę imobilizaciją bei daryti neigiamą įtaką humuso akumuliacijos dirvožemyje procesams (Lietuvos dirvožemiai 2001, Bieliauskas 1985, Birietienė 1984).

1.10. Žemdirbystės poveikis dirvožemio elementų balansui ir įtaka klimato kaitai

Sumažėjus dirvožemio organinės anglies kiekiui, sumažėja jo gebėjimas sugerti vandenį, o tai paskatina nuotėkį bei eroziją. Erozija taip pat mažina organinių medžiagų kiekį, nes nuplaunamas trąšus viršutinis dirvos sluoksnis. Pusiau sausringo oro sąlygomis tai gali nulemti dykumėjimą (Baldock 1999).

Numatoma, kad pasaulinis atšilimas pagreitins organinių medžiagų puvimą, kurio metu išsiskiria daugiau CO₂ ir greičiau vyksta klimato pokyčiai. Dėl to dykumėjimas gali pasislinkti į šiaurę. Iš anglies atsargų, palaikomų šalto oro ir drėgno klimato sąlygų, šiltesnėmis sąlygomis į atmosferą išsiskirs daug CO₂ ir metano (CH₄). Taip atsitinka ir tada, kai nusauginamos pelkės arba kasamos durpės. Pavyzdžiui, nuolat sausinant likusius Europos durpynus, kasmet išsiskirtų

30 milijonų tonų anglies dioksido – tiek pat, kiek iš dar 40 milijonų automobilių Europos keliuose (Olsen 2002, Beliauskas 1976).

Dirvožemio organinės anglies kaitos sąsajos su jo erozija. Dirvožemio organinė anglis veikia daugelį dirvožemio savybių: dirvožemio drėgmės imlumą, dirvožemio bazingumą, dirvožemio maisto medžiagų prieinamumą, dirvožemio struktūringumą, struktūros patvarumą, dirvožemio oro ir šilumos savybes. Dirvožemio organinė anglis pripažįstama dirvožemio kokybės indikatoriumi ir biosferos ekologinės pusiausvyros bei stabilumo rodikliu, turinčiu įtakos klimato kaitai Žemėje. Dirvožemio organinė anglis, kaip pagrindinis dirvožemio komponentas, susideda iš mikroorganizmų ląstelių, įvairaus suirimo laipsnio augalų ir gyvūnų liekanų, stabilaus „humuso“ (sintezuoto iš organinių liekanų) ir iš labai karbonizuotų medžio anglies, grafito ar akmens anglies (Jankauskas 2003) (1.4 pav.). Istant įvairioms žemdirbystės atliekomis, susidarančiomis nuimant derlių, bei organinėmis trąšomis vyksta humifikaciją, kurios metu tik iki 20 % sukaupiama dirvožemyje. Dalis medžiagų yra nuplaunamos veikiant vandens erozijai. Taip pat dalis organinių medžiagų yra pernešama veikiant ir vėjo erozijai. Veikiant dirvožemio eroziniais procesams iš ariamo lauko pasišalina į vandens telkinius arba pašlaites iki 0,6 Gt dirvožemio organinės anglies. Dalis šios anglies virsta į anglies dioksido, o anaerobinėmis sąlygomis iki metano (Bukantis 2001, Богдезич 2000, Богдевч 1998).

Palyginus su žemės ūkio naudmenomis, pušynuose dėl miško paklotės mineralizacijos išplautžemių viršutiniame 5 cm mineraliniame sluoksnyje kaupiasi C ir N, lėčiau vyksta organinės anglies junginių skaidymas. Apskaičiuota, kad išplautžemiuose (iki 1 m gylio) C sankaupos pušynuose, dobilų žolyne ir vasariniuose rapsuose iš esmės nesiskyrė ir sudarė 61–75 t/ha. Tik dėl miško paklotės susikaupimo išplaušžemių N sankaupos pušynuose yra 13–18 kartų didesnės (82–98 kg/ha) negu žemės ūkio naudmenose (apie 5–6 kg/ha). Tačiau ariamame Ap horizonte tiek pušynuose, tiek žemės ūkio augalų pasėliuose N sankaupos įvairuoja panašiose, 2,5–3,3 kg/ha, ribose (Jankauskas 2003).

Išplautžemių vidutinis suminis mikrofloros gausumas pušynuose buvo vidutiniškai 7–33% mažesnis negu dobilų pasėliuose, tačiau 27–39% didesnis negu rugiuose, o palyginus su lubinų pasėliais, iš esmės nesiskyrė. Mikrofloros gausumas ant modifikuotos lignino monomerais mitybinių terpių, daugeliu atveju, buvo didesnis žemės ūkio naudmenose. Tai parodo, kad palyginus su pušynais, žemės ūkio naudmenose intensyviau kaupiasi organinė C. Tačiau miškų išplautžemiuose dėl to, kad intensyviau kaupiasi organinė C, žymiai intensyviau mikroflorai kvėpuojant, gali būti iškiriami didesni CO₂ kiekiai (Kiburyš 1995, Bakšienė 2006, Račinskas 1990).

1.4. Pav. Procesai, veikiantys dirvožemio organinės medžiagos (DOM) dinamiką. Rodyklės į viršų rodo CO₂ emisiją (išgaravimą) į atmosferą. Anglis dar gali išgaruoti CH₄ forma, esant anaerobinėms sąlygoms ar iš gerai drenuotų dirvų (Lal 2004)

Fig. 1.4. Processes affecting soil organic matter (DOM) dynamics. Up Arrow shows the CO₂ emissions (evaporation) into the atmosphere. Coal can not evaporate in the form of CH₄, with anaerobic conditions or in well-drained soils (Lal 2004)

Suarus dirvą ir pradėjus joje auginti žemės ūkio augalus, itin pakinta dirvožemio maisto medžiagų balanso pobūdis dėl šių priežasčių: 1) pakinta biologinės apykaitos parametrai, kai natūrali biocenozė pakeičiama dirbtine agrocenoze. Dėl to dirvožemis gauna daug mažiau anglies, sorbuotos augalų iš atmosferos, iš dirvožemio su derliumi išnešama daug N, P, K, Ca, Mg, S ir kitų biofilinių elementų. Šalto ir vidutinio klimato miškų ekosistemose kasmet į dirvožemį patenka 8–12 t ha⁻¹ nuokritų ir virtėlių, pievų bendrijose – 20 t ha⁻¹, agrocenozėse – tik 3–8 t ha⁻¹; 2) į dirvožemį įterpiami biofiliniai elementai su trąšomis ir meliorantais, o drėkinamoje žemdirbystėje su laistomais įvairios mineralizacijos vandenimis; 3) ariami dirvožemiai netenka dalies medžiagų dėl plokštuminės ir linijinės (griovų) vandeninės erozijos; 4) pirmaisiais dešimtmečiais po suarimo dirvožemis netenka didelės dalies anglies dėl miško paklotės, stepės veltinio ir humuso intensyvesnės mineralizacijos. Taip į atmosferą papildomai patenka anglies CO₂ forma; 5) nusauginus ar po ilgo lietinio pakinta dirvožemio, drėgmės, kartu ir visų cheminių elementų balansas (Bukantis 2001, Tylienė 1974).

Visų šių pokyčių mastas būna skirtingas suarus stepę ar miško kirtavietę. Pavyzdžiui, jeigu iškirsto spygliuočių ar plačialapių miško vietoje imtume versit vidutinio intensyvumo žemdirbystę, tai kasmet susintetintume 1,5–2 kartus daugiau organinių medžiagų. Suarus stepę, į apytaką įsijungtų 1,5 karto mažiau

anglies. Tačiau ir vienu, ir kitu atveju biogeninės anglies su augalinėmis liekanomis į dirvožemį patektų mažiau, nes didesnė dalis žemės ūkio augalų susintetintos organinės medžiagos (60–70%) būtų išvežama su derliumi (Jones 2005, Lal 2004). Taip staiga sumažėjus kasmet patenkančio į dirvožemį organinės medžiagos kiekiui, suprantama, jame kaupiasi ir mažiau humuso. Be to, ši mažėjimą, lemia ir pakitusios organinės medžiagos skaidymosi sąlygos bei mikroorganizmų rūšinė sudėtis (Soil Atlas... 2005).

1.5. pav. Žemėlapis, kuriame parodytas tikrasis organinės anglies kiekis 27 valstybių narių žemės ūkiui naudojamuose dirvožemiuose (Lal 2004)

Fig. 1.5. A map showing the actual organic carbon content of 27 Member States of the agricultural soils (Lal 2004)

Didesnė dalis humuso suyra lengvuose dirvožemiuose, mažesnė sunkiuose. Suirusi dalis humuso priklauso ir nuo žemės dirbimo intensyvumo, t. y. nuo įvairių augalų auginimo technologijos, sėjomainos ir pasėlių struktūros (1.5. pav.). Žvelgiant 1.5 pav. matyti, kad pietų šalyse esantis organinės anglies kiekis ariamame dirvožemyje siekia < 20 t C/ha. Tik vidurio Europoje organinės anglies kiekis ariamame dirvožemyje siekia nuo 61 iki 200 t C/ha. Humuso mažėjimas

pastebimas ir derlingiausiuose Rusijos juodžemiuose (*Chernozems*), kuriuose humuso kiekis, praėjus 100 metų nuo jų naudojimo žemdirbystėje, sumažėjo nuo 20–30 iki 56–69% pirminio kiekio. Toks neigiamas humuso balansas būdingas ne tik ariamiems juodžemiams, bet ir mūsų zonos vyraujantiems išplautžemiams (*Luvisols*), jeigu nesiimama reikiamų priemonių (IPCC 2001, Braukyla 1984, Kogut 1998).

Mūsų dirvožemiuose auginant daugiametes žoles, per metus suyra apie 0,7–0,9%., auginant bulves arba cukrinius runkelius – 4,1–4,5%., o vidutiniškai – apie 2–2,7% dirvožemyje esamo humuso. Vidutiniškai iš įvairių dirvožemių, auginant skirtingus žemės ūkio augalus, kasmet su derliumi iš 1 ha netenkama 65–285 kg azoto (N), 26–27 kg fosforo (P_2O_5) ir 42–235 kg kalio (K_2O). Be to, išvežama ir dešimtys bei šimtai kilogramų iš ha tokių elementų – biofilų, kaip Ca, Mg, S. Suprantama, šiuos nuostolius reikia kompensuoti tręšiant dirvožemį organinėmis ir mineralinėmis trąšomis (Bundinienė 1998).

Laikoma, kad normalaus drėgnumo (nusausintuose) Lietuvos žemės ūkio naudmenų mineraliniuose dirvožemiuose per metus vidutiniškai suyra (mineralizuojasi) apie 6–8 t ha⁻¹ humuso (vidutinis svertinis humuso kiekis – apie 2%). Humuso netenkama ir dėl vandeninės bei dirvožemio vėjinės erozijos. Todėl, kultūrinant dirvožemius pirmiausia svarbu išlaikyti teigiamą arba bent nulinį humuso balansą. Tai šiulaikinėje intensyviojoje žemdirbystėje pasiekama šiomis agrotechnikos priemonėmis: organinių trąšų įterpimas, sėjomaina su daugiametėmis ankštinėmis žolėmis, sideracinių ir tarpinių augalų įsėjimas, augalų derlingumo didinimas siekiant ne tik gauti daugiau produkcijos, bet ir palikti dirvožemyje daugiau augalinių liekanų, antierozinių priemonių taikymas (Organic agriculture... 2002, Bundinienė 1998).

1.11. Miško reikšmė bendrosios anglies didinimui dirvožemyje

Tiriant augalinės biomasės kaupimąsi laiko atžvilgiu, įrodyta kad visu poledynmečiu Baltijos regione, drauge ir Lietuvoje, biomasės kaupimasis smarkiai kito. Kito ir gamtinis regioninės sistemos tvarumas. Lietuvos teritorijoje regioninė sistema geriausią tvarumo rodiklį turėjo maždaug prieš 6 tūkst. metų atlantinėje chronozonoje, kai čia vyravo plačialapiai miškai. Tuomet mūsų teritorijoje būta 320 t ha⁻¹ fitomasės ir beveik 12 t ha⁻¹ kasmetinio prieaugio. Stojus subborealinei chronozonai ir įsivyravus spygliuočių miškams, fitomasės mažėjo. Kartu silpnėjo ir regioninės sistemos ekologinis tvarumas, kuris savo minimumą pasiekė šio amžiaus viduryje, kai fitomasės sumažėjo iki 34 t ha⁻¹, o jos prieaugis – iki 7,2 t ha⁻¹ (Bukantis 2001, Hagedorn 2001).

Naudojantis analogų metodu ir tiesiogiai apskaičiuojant fitomasę, pagal to meto temperatūrą ir kritulių kiekį mokslininkai: T. Bumblauskis, V. Mikšys, L. Kairiūkštis, A. Raguotis, J. Tamošaitis, P. Matulionio nustatė, kad per visą poledynmetį (maždaug 13 200 metų) nuo arktinės iki dabartinės – antrosios pusės subatlantinės chronozonos Lietuvos teritorijoje vidutiniškai 1 ha būta 180 t fitomasės ir 7,1 t kasmetinio prieaugio. Mažiausias prieaugis – 0,03 t ha⁻¹ – buvo esant arktinei ir didžiausias – 11,9 t ha⁻¹ – esant atlantinei chronozonai. Dabar, antrojoje subatlantinės chronozonos pusėje, jis lygus 8,3 t ha⁻¹ (Jankauskas 2004, 1996).

Taigi Lietuvos teritorijoje per visą poledynmetį kaip metinių prieaugių suma buvo sukaupta apie 662,6 mlrd. t absoliučiai sausos organinės medžiagos. Analizuojant fitomasės ir prieaugio mažėjimą nuo 800 m. iki 1950 m., kai fitomasė sumažėjo nuo 180 iki 33,4 t ha⁻¹, o prieaugis nuo 9,0 iki 7,5 t ha⁻¹, pasirodė, kad fitomasės ir prieaugio mažėjimą praeityje lėmė klimato sąlygų kaita. Tik per šį tūkstantmetį ryškiai pasireiškė žmogaus veikla naikinant miškus ir keičiant žemės naudojimo būdą. Pažymėtina, kad miškų plotai mažėjo ne tik dėl miškų "lydymo", išdeginant miškingas teritorijas ir plečiant laukus, bet ir dėl plotų be jokios augalijos (gyvenvietės, miestai, keliai ir t.t.) didėjimo. Visa tai mažino antropogeninės taršos natūralaus apsivalymo galimybes ir silpnino visų teritorijoje esančių gyvųjų sistemų ekologinį tvarumą (Partyka 2010, Kiburys 1995).

Sumažėjęs krašto miškingumas atpalaidavo ir fizinių veiksnių, ardančių regioninės sistemos tvarumą, poveikį. Ryškiai pasireiškė dirvų erozija. Dažni vėjai sudarė prielaidas intensyviai dirvožemių nupustymui, ypač Pajūrio žemumoje, kur kasmet vidutiniškai netenkama 3–10 t ha⁻¹ humusingesnio dirvožemio.

Regioninės sistemos savaiminį tvarumą daugiau palaikė tik ta aplinkybė, kad teritorijoje poledynmečiu buvo susikaupę dideli negyvosios organinės medžiagos kiekiai, daug kartų didesni už dabartinės augalų fitomasės išteklis. Bet ir fitomasės ištekliai seko neadekvačiai jų naudojimui. Ryškus to pavyzdys – durpynai. Juose mažėjo organinės medžiagos dėl pelkių sausimo, durpių ir humuso mineralizacijos. Dėl to ir mūsų šalyse pradėjo reikštis neigiamas CO₂ poveikis ir deguonies balansui atmosferoje. Pažymėtina, kad daugelis mokslininkų šiandieninį CO₂ koncentracijos didėjimą atmosferoje ir su tuo susijusius klimato pokyčius sieja ne tik su organinio kuro naudojimu, bet ir su atogrąžų miškų naikinimu. Taigi vandenynai ir miškai yra didžiausias rezervas, galintis sugerti didėjančią CO₂ kiekį, kad būtų išvengta ryškaus globalinio atšilimo ir jo katastrofiškų padarinių didžiajai daliai (60–70%) žmonijos (Brown 1982).

CO₂ balanso atžvilgiu mūsų miškų vaidmuo krašto ekologinėje sistemoje atlikus skaičiavimus pagal programą ECOSLIT, paaiškėjo, kad 1955 m., iki prasižėdant sparčiam krašto industrializavimui, kasmet į atmosferą iš Lietuvos teritorijos buvo išmetama apie 12 mln. t CO₂. Vėliau šis kiekis eksponentiškai augo, kol 1985–1990 m. pasiekė 42 mln. tonų. Nuo 1955 m. labai sumažėjus pagrindi-

nių kirtimų apimtims (1961 m. pagrindiniais kirtimais iškirsta tik 0,77 mln. m³) ir labai padidėjus naujų želdinių plotams (1948–1955 m. želdyta net 15,7–19,8 tūkst. ha kasmet), smarkiai didėjo miškų plotai ir fitomasės kaupimasis juose. Teritorijos miškingumas 1958 m. besudaręs 23,9%, iki 1990 m., skaičiuojant pagal FAO metodiką, padidėjo iki 32,3 procento. Per tą patį laikotarpį (1958–1993) vidutinis fitomasės kiekis 1 ha padidėjo apie 40%, o bendras fitomasės kiekis Lietuvos miškuose padidėjo net 65 procentais. Kadangi kiekvienam absoliučiai sausos fitomasės kilogramui susidaryti absorbuojama 1,84 kg CO₂, per minimą laikotarpį visi Lietuvos miškai vidutiniškai absorbuodavo apie 30 mln. t CO₂ kasmet (16,6 t CO₂ ha⁻¹) (Partyka 2010, Lietuvos miškų... 2009).

Iš fitomasės kitimo duomenų matyti, kad 1958–1993 m. laikotarpiu miškų fitomase padidėjo apie 103 mln. t ir pasiekė, skaičiuojant vidutiniškai visai teritorijai, 50 t ha⁻¹, o jos prieaugis buvo kone 8 t ha⁻¹. Taigi miškų ekosistemų fitomasėje buvo papildomai absorbuota 190 mln. t CO₂, arba vidutiniškai 54 mln. t per metus. Drauge padidėjo sistemos savaiminio apsivalymo pajėgumas.

Pridėjus dar iš miškų per visus kirtimus išimtą medienos tūrį (apie 120 mln. m³), kuriame buvo absorbuota daugiau kaip 200 mln. t CO₂, matysime, kad Lietuvos teritorinė sistema pagal CO₂ balansą artėja prie nulinės ribos. Visoje krašto teritorijoje išskiriamas CO₂ kiekis yra asimiliuojamas augančių miškų.

Dabar Lietuvos teritorijoje yra susikaupę apie 300 mln. t fitomasės, kurios daugiausia (apie 250 mln. t) miškuose. Žemės ūkio naudmenų plotuose bendras metinis fitomasės prieaugis (apie 30 mln. t absoliučiai sausos medžiagos), neskaitant humuso, beveik nekaupia fitomasės, nes čia jos apyvartos periodas apie 1–1,5 metų.

Asimiliuodami iš atmosferos CO₂ dujas miškai kaupia anglį, kurios medienoje yra apie 50%. Neatsitiktinai Kyoto protokolą, kurį pasirašė ir Lietuva, miškingumo didinimas laikomas kaip kiekvienos šalies indėlis klimato kaitos mažinime. Dėl to Ukraina siekia papildomai įveisti 2,5 mln. ha miškų ar net apželdinti apie 10 mln. ha nederlingų žemių (dr. V. Pasternak, I. Bukša, Ukrainos miškų ūkio ir miškų melioracijos institutas). Akad. L. Kairiūkštis yra pažymėjęs, kad Lietuvoje po II – ojo Pasaulinio karo Lietuvos miškingumas padidėjo nuo 19,7% (1984 m.) iki 32,7% (2007 m.). Priešingai, nuo 1990 m. CO₂ ištakos (emisijos) sumažėjo 2 kartus. Todėl dabar Lietuvos miškai savo biomasėje „užkonservuoja“ net 55–55% vietinių CO₂ emisijų arba virš 2 – kartų daugiau negu reikalauja Kyoto protokolas (20–22%) (Lietuvos miškų... 2009).

Miškuose su medžių ir kitos augalijos nuokritomis bei atmirštant šaknims organinė C kaupiasi dirvožemiuose. Europos mastu taip atmosferos CO₂ dujų miško dirvožemiuose sukaupta apie 1,5 karto daugiau negu medžių stiebų masėje. Tyrėjai dr. K. Armolaitis, J. Aleinikovienė dr. I. Varnagirytė – Kabašinskienė atliko pušnyuose tyrimus, kurių metu nustatė, kad daugiausia (50–80%) organinės anglies sukaupta mineralinių horizontų viršutiniame 30 cm

storio sluoksnyje, 20–25% - normalaus ir laikinojo drėkinimo augaviečių miško paklotėje.

Vienareikšmiškai vertinti miškus sekvestruojant anglį negalima. Medžiai ir kita miško augalija, kaip ir kiekvienas gyvas organizmas, „kvėpuoja“. Nemaži kiekiai CO₂ į atmosferą tai pat sugrįžta, kai mikroorganizmai skaido virtėlius, miško paklotę bei dirvožemio organines medžiagas. Tokių tyrimų trūksta. Prof M. Mareko (Brno Mendelio žemės ūkio universitetas, Čekija) atliko tyrimus pastatydamas miškuose bokštėlius, kur skirtingame aukštyje (virš dirvožemio, medžių arde ir virš medyno) nuolatos fiksuojamos CO₂ ir H₂O ore koncentracijos, meteorologinius rodiklius. Tai leido įvertinti fofosintetiškai aktyvios Saulės spinduliuotės, oro temperatūros, vėjo įtaką CO₂ akumuliacijai miško ekosistemose. Įrodyta, kad miškai C sukaupia 3–5 kartus daugiau negu gražina CO₂ dujomis atgal į atmosferą (Bukantis 2001, Verma 2005).

Atlikus miškų vaidmens klimato kaitai analizę nustatyta, kad Lietuva ne tik savo mažu dydžiu, bet ir absoliučiais skaičiais bei uždaru balansu neprisideda prie šiltnamio efekto.

1.12. Bedrosios anglies kitimo matematiniai modeliai

Bendrosios anglies kiekiui modeliuoti globaliu, regioniniu mastu yra naudojami šie modeliai: Biome-BGC, Century, TEM, PnET, LoTEC.

Biome-BGC (*BioGeochemical Cycles/Biogeocheminis ciklas*) modelis imituoja NPP daugialypes biomasas. Kadangi NPP yra apskaičiuotas kaip skirtumas tarp imituoto GPP ir kvėpavimo fotosintezės metu. Nors modelyje buvo pridėta azoto kitimo dinamika, Biome-BGC pasitiki pirmiausiai hidrologiniu ciklu nuo kurio priklauso C sunaudojimas ir laikymas. CO₂ išsiskyrimą apsprendžia NPP, pagal kurį nustatomas išgaravimo, jungto su pažemintu lapo laidumu, o ne grįžtamaisiais ryšiais nuo maistingų medžiagų transformacijos ciklo. Biome-BGC turi kasdieninį laiko žingsnį ir aiškų erdvinį mastą (Ruddiman 2003, Batjes 1999).

Century (*Šimtmetis*) modelis imituoja anglį, maistingą medžiagą, ir vandeningą dinamiką skirtingiems ekosistemos tipams. Century apima dirvožemio organinę medžiagą, bei irimo submodelį, vandeninį biudžeto submodelį, du augalo augimo submodelius (pieva ir miškas). Modelis skaičiuoja srautus: anglies, azoto, ir (pasirinktinai), fosforo, ir sieros. Anglies sunaudojimas Century modelyje yra kontroliuotas pirmiausiai azoto sunaudojimu. Pievos/derliaus submodelis ir miško augimo submodelis mano, kad mėnesinė maksimali augalo biomasės gamyba yra kontroliuota drėgmės ir temperatūros, ir kad maksimalios augalo gamybos normos priklauso nuo maistingų medžiagų tinkamumo. Century modelis naudoja mėnesinį laiko žingsnį (Soil Resources of Europe, second edition 2005).

1.3. lentelė. Modeliavimo programų duomenų įvestis**Table 1.3.** Simulation programs data input

Pavyzdinės įvestys	Century	Biome– BGC	TEM	PnET	LoTEC
Klimatas	Kas mėnesį	Kasdien	Kas mėnesį	Kas mėnesį / kasdien	Kasdien / kas valandą
Vidutinė oro temp.	-	-	X	X	X
Maksimali oro temp.	X	X	-	X	-
Minimali oro temp.	X	X	-	X	-
Santykinis oro drėgnumas	-	X	-	-	-
Slėgis	-	X	-	-	X
Saulės spinduliuotė	-	Vidurkis	X	Vidurkis	X
Fotodirbtinai aktyvi radiacija	-	X	-	-	-
Dienos ilgumas	-	X	-	-	-
Dirvožemio ypatybės					
Dirvožemio tankis	X	X	X	X	-
Struktūra % smėlis/molis	X	-	X	-	-
Gylis	X	X	-	-	-
Vandens sulaikymo geba	-	X	-	X	-
Azoto kiekis dirvožemyje	X	Gautas	-	-	-
Anglies kiekis dirvožemyje	X	Gautas	-	-	-
Augmenijos ypatybės					
Biomo tipas	-	X	-	-	X
Augmenijos tankis	X	X	X	X	-
Kitos maistingos medžiagos (pavyzdžiui, P, S, Lignin)	Laisvai pasirinkamas	-	-	-	-
Gylio įsišaknijimas	X	X	-	-	-
Fotosintezė	-	-	-	X	-
Erdvinės ypatybės					
Platuma	X	X	X	X	-
Ilguma	X	-	X	X	-
Albedas	-	X	-	-	-

TEM The Terrestrial Ecosystem Model. Žemės Ekosistemos Modelis yra pagrįstas ekosistemos modelis, kuris apibūdina anglies ir azoto dinamiką Žemės ekosistemos augaluose ir dirvožemiuose. Šis modelis imituoja GPP apribojimą, esant daugialypiems faktoriams. Kadangi augalo kvėpavimas yra aiškiai modeliuotas, NPP yra imituotas kaip skirtumas tarp GPP ir anglies sunaudojimo kvėpavimo procese. TEM aiškiai imituoja azoto mineralizaciją ir imobilizacijos dinamiką. Tačiau, TEM nesvarsto fotosintezės ir slėgio sąryšio. TEM panaudoja erdviškai nurodytą informaciją apie klimatą, dirvožemius, augmeniją ir vandeninį sunaudojimą. Taip pat analizuoja dirvožemį – ir specifinius augmenijos parametrus, kad padarytų mėnesinius anglies ir azoto srautų ir baseino dydžių apytikrius apskaičiavimus. TEM veikia mėnesiniu laiko žingsniu. TEM modelis yra globalinis modelis su erdviiniu 0,5 laipsnių platumos ir ilgumos sprendimu (McGuire 2004).

I *PnET* modelių komplektą įeina anglies kitimo imitavimas, vandens ir miško ekosistemų azoto dinamika. Algoritmai tokie kaip fotosintezė yra identiški tarp pavyzdinių versijų. PnET – diena naudoja specifinį lapo svorį, N koncentraciją, temperatūrą ir radiaciną srautą, kad numatytų kasdieninę grynąją visų miško uždangų fotosintezę. PNET analizuojamas anglies ir kvėpavimo ciklus, taip pat vandeninį balansą, kad numatytų NPP. Empiriniai dirvožemžio kvėpavimo ciklai leidžia prognozuoti visos anglies ekosistemos balansą su supančiomis sąlygomis. Ši versija yra naudojama, kad numatytų jungtinius klimato pasikeitimo padarinius ir padidėjusį atmosferinį CO₂ kiekį. PnET–CN skiriama sumedėjusiai biomasei ir dirvožemžio organinei medžiagai algoritmais ir dirvožemio irimui, kad parodytų anglies ir azoto ciklų skaičiavimą. Originalus PnET naudoja mėnesinį laiko žingsnį. PnET modeliai neturi aiškaus erdvinio masto, bet jie taikomi kaip regioniniai (Ollinger 2002, 1996, Postek 1995).

LoTEC yra mechaninis CO₂ bei H₂O srauto tarp dirvožemio – augalo ir atmosferos modelis. Fotosintezė yra apibūdinta "Bigleaf" ar C3 ar C4 biocheminiu modeliu pagrindu. Anglinė dirvožemžio dinamika yra imituota mėnesiniu laiko žingsniu. Šis modelis naudoja empirinį Majamio modelį, apimdamas faktorių, kuris analizuoja CO₂ kitimą. LoTEC naudojimas yra geriausiai pateisintas, kai šviesa yra apribojimo faktorius (Garten 1999, 2000, Hanson 2000).

Apžvelgus programas matyti, kad dauguma programų pagrindiniai įvesties parametrai s sutampa. Duomenis, kurių reikia atlikti modeliavimui galima suskirstyti grupėmis. Klimatinių rodikliai įvedami arba valandiniai arba mėnesio vidutiniai. Sekantys duomenys įvedami apie dirvožemį, bei augalijos ypatybes. Įvedamų duomenų tipai ir kiekis vėlgi yra labai skirtingi. Tačiau tokiems modeliams kaip LoTEC įvesties duomenų kiekis yra ganėtinai mažas. Dirbti tokiomis programomis yra paprasčiau, nors gauti rezultatai ne visuomet yra tikslesni.

1.13. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

1. Literatūros analizė atskleidė, kad anglies kiekis dirvožemiuose nuolatos mažėja. Labiausiai pažeidžiami yra lengvos granuliometrinės sudėties dirvožemiai. Pagrindinės problemos, sąlygojančios anglies kiekių mažėjimą dirvožemiuose, yra dirvožemio erozija, neracionalus ūkininkavimas, miškų kirtimas. Taip pat atskleista, kad nėra pakankamai vykdomų anglies dioksido emisijų tyrimų arba jie atliekami pasenusiais metodais.
2. Vienareikšmiškai vertinti miškus sekvestruojant anglį negalima. Medžiai ir kita miško augalija, kaip ir kiekvienas gyvas organizmas, „kvėpuoja“. Nemaži kiekiai CO_2 į atmosferą tai pat sugrįžta, kai mikroorganizmai skaido virtėlius, miško paklotę bei dirvožemio organines medžiagas. Tokių tyrimų trūksta.
3. Dirvožemyje organinių medžiagų apykaitai įtakos turi klimato veiksniai, bakterijos, kurios skaidydamos daugybę tonų įvairiausių nuokritų, organizmų lavonų, įvairių organinių atliekų, dirvožemyje pagausina puvenų (humuso).
4. Atsižvelgiant į faktorius įtakojančius organinės anglies skaidymąsį ir oksidaciją iki anglies dioksido, išskiriami pagrindiniai veiksniai: drėgmė, temperatūra, mikroorganizmų aktyvumas. Anglies dioksido išsiskyrimą tai pat įtakoja augalų vegetacinis laikas bei paros laikas.
5. Apžvelgus modeliavimo programas nustatyta, kad į skaičiavimo algoritmus pagrindiniai įvesties duomenys sudaro atmosferinės sąlygos bei dirvožemio struktūriniai parametrai. Papildomai įvedami biomasės dinamikos duomenys, fotozintėsės aktyvumas, geografinė padėtis.
6. Pagrindinės problemos sąlygojančios anglies kiekių mažėjimą dirvožemiuose yra dirvožemio erozija, neracionalus ūkininkavimas, miškų kirtimas. Racionalus dirbamų laukų ir miško išteklių naudojimas sumažintų anglies kiekių praradimus dirvožemyje, tačiau problemos slypi giliau ir yra veikiamos ne tik žmogaus, bet ir klimato veiksnių.

Atsižvelgiant į literatūros analizę formuluojami įgyvendinti šie uždaviniai:

1. Atlikti bendrosios anglies kiekio ir anglies dioksido emisijos skirtingos žemėnaudos dirvožemiuose tyrimus.
2. Įvertinti anglies dioksido emisijos iš dirvožemio dėsningumus ir sąsają su bendrosios anglies kiekiu.
3. Modeliuojant įvertinti bendrosios anglies kiekio pokyčius ir anglies dioksido emisijos prognozes, taip pat priklausomybę nuo klimato rodiklių.

Skirtingos panaudos dirvožemių bendrosios anglies kiekio natūriniai tyrimai ir vertinimas

Anglies kiekis dirvožemyje yra vienas pagrindinių veiksnių, pagal kuriuos nustatoma dirvožemio būklė. Dirvožemio degradacija yra rimta problema ir jos pasekmės neigiamai veikia dirvožemį, neleidžia jam atlikti daugybės funkcijų, reikalingų žmonėms ir ekosistemoms.

Bendrosios anglies tyrimais dirvožemyje siekiama spręsti organinės medžiagos praradimo iš dirvožemio problemą. Tinkamiausias būdas parenkamas atsižvelgiant į vietovės charakteristiką, medžiagų koncentraciją, teršalų kiekį ir pan. Bendrosios anglies kiekio skirtingos panaudos dirvožemiuose tyrimai atlikti Neries regioniniame parke bei Paluknio Užpalių ir Pailiepio vietovėse (Baltrėnas, Pranskevičius, Lietuvninkas 2008, 2010).

2.1. Dirvožemio bendrosios anglies kiekio tyrimų skirtingos panaudos dirvožemiuose metodika

Metodikos tikslai:

1. nustatyti dirvožemio paėmimo vietas;
2. nustatyti ėminių paėmimo kieki;
3. nustatyti dirvožemio mėginio paėmimo gylį, atsižvelgiant į dirvožemio panaudos sritį (miškas, pieva, dirbama žemė).

Dirvožemio ėminių paėmimas Neries regioniniame parke.

Neries regioninio parko vietovė pasirinkta siekiant išvengti antropogeninių faktorių įtakos (2.1 pav.). Dirvožemio pavyzdžiai buvo imami kovo, rugpjūčio ir rugsėjo mėnesį.

2.1 pav. Neries regioninio parko žemėlapis (Neries 2010)

Fig. 2.1 Neris Regional Park Map (Neries 2010)

Tyrimai atliekami siekiant sudaryti duomenų bazę, kuria vėliau būtų galima naudoti modeliavimui, o tai pat išanalizuoti skirtingos panaudos dirvožemių bendrosios anglies kitimą. Dirvožemio ėminiai buvo imti: pievoje, ariamame ir miško dirvožemyje. Tyrimo vietos parinktos taip, kad joms neturėtų įtakos ant-

ropogeniniai veiksniai, o taip pat atsižvelgiant į vietovės padėtį reljefe (elementariuose geocheminiuose landsaftuose).

Miško dirvožemio ėminiai paimti iš Panerių miško, pievos – netoli Čekonės upelio (dešinysis Neris krantas) ir pievoje Malavonės vietovėje (kairysis Neris krantas).

2.2 pav. Miško (P, PA, PB) ir ariamo (M, MA, MB) dirvožemio tyrimo vietų parinkimas (LKS koordinatės M (559418; 6071913); MA (559418; 6071924); MB (559431; 6071924); P (559519; 6071901); PA (55949; 6071889) PB (559500; 6071913)

Fig. 2.2. Forest (M, PA, PB) and arable (M, MA, MB) soil survey site selection (LKS coordinates M (559418; 6071913); MA (559418; 6071924); MB (559431; 6071924); P (559519; 6071901); PA (55949; 6071889) PB (559500; 6071913)

Ėminių vietose GPS prietaisu nustatytos koordinatės, vėliau konvertuotos į LKS koordinatinių sistemą. Aprašyta teritorija, ją supantys augalai ir reljefo ypatumai.

Miško dirvožemio ėminiams parinktas Panerių miškas. Ėminių vietoje vyravo eglynai ir nedidelis kiekis lapuočių medžių. Atsižvelgiant į landšaftą, buvo pasirinktos 3 (P, PA, PB) tyrimo vietos (2.2 ir 2.3 pav.). Gretimais paimti ariamo dirvožemio ėminiai tyrimo vietose M, MA, MB. Atstumas nuo ariamo dirvožemio – 71 metras (2.2 pav). Dirvožemio paimta reljefo nuolydžio kryptimi. Pirmoji, P ėminių tyrimo vieta, parinkta autonominiame landšafte. Antroji, PA ėminių tyrimo vieta, parinkta 20 metrų atstumu nuo P ploto, nuolydžio centre. Sekanti tyrimo vieta PB pasirinkta netoli upelio vagos superakvaliniame elementariajame landšafte 17 metrų atstumu nuo PA ploto. Reljefo nuolydžio kampas sudarė 18°.

Ariamo dirvožemio ėminiai paimti iš 3 tyrimo vietų (M, MA, MB) suartame lauke (2.2 pav.). Dirvožemyje tyrimo metu augo ankštiniai ir grūdiniai augalai. Dirvožemis tręštas organinės kilmės medžiagomis.

2.3 pav. Miško dirvožemio ėminių paėmimas P, PA, PB tyrimo plotuose Panerių miške

Fig. 2.3. Forest soil sampling P PA PB Paneriai forest investigation sites

Pievos dirvožemio ėminiai tyrimo vietose K ir KA paimti kaip parodyta 2.4 pav., Siviliškės vietovėje 100 x 40 metrų plote. Dirvožemio ėminiai paimti iš esančios užliejamos pievos, kurioje nešienaujama. Pagrindinę augaliją sudarė nekultūriniai, smilginiai augalai. Kai kuriose pievos vietose auga pušų jaunuolynas, bei pavieniai krūmynai.

KA dirvožemio tyrimo vieta yra 24 metrų atstumu nuo Neries kranto, K tyrimo vieta nuo KA nutolusi 50 m atstumu.

2.4 pav. Pievos dirvožemio ėminių paėmimo vieta (LKS koordinatės K tyrimo vieta (565949; 606554); KA tyrimo vieta (565933; 6065494))

Fig. 2.4 Grassland soil sampling location (LKS coordinates of the K investigation sites (565949; 606554); KA investigation sites (565933; 6065494))

Pievos ėminiai tyrimo vietose E, EA ir EB paimti dešiniajame Čekonės upelio krante 100 x 50 metrų plote. Vietovėje silpnai kalvota. Nuolydžiai Čekonės upelio link sudarė 40 metrų, vietomis iki 60 metrų su 32–47° nuolydžiu (2.5 pav.). Pievos ėminiai, paimti tyrimo vietose E ir EA, priklauso autonominiam landšaftui, tyrimo vieta EB – superakvaliniam elementariajam geocheminiam landšaftui. Tyrimo vieta EB nutolusi 60 metrų atstumu nuo EA tyrimo vietos. Tyrimo vietos EA ėminiai paimti gruntinio vandens lygyje. Pažymėtina, kad humusingas dirvožemio sluoksnis čia sudarė iki 40 cm.

2.5 pav. Pievos dirvožemio ėminių paėmimo vietos ties Čekonės upeliu (LKS tyrimo vietų koordinatės E (568088; 6065541); EA (568072; 6065514); EB (568066; 6065495))

Fig. 2.5. Grassland soil sampling at the local river Čekonė (LKS coordinates of the investigation sites s E (568088; 6065541); EA (568072; 6065514); EB (568066; 6065495))

Dirvožemio ėminiai bendrosios anglies kiekio nustatymui paimti Paluknyje, Užpaliuose ir Lazdijų rajono savivaldybės Pailiepio miške. Dirvožemio ėminiai imti birželio mėnesį. Šiose vietovėse atlikti sudėtinių ir nesuardytos struktūros ėminių bendrosios anglies tyrimai. Sudėtiniai ėminiai paimami iš visų tiriamų ėminių paėmimo vietų, esant vienodam gyliui, 1 kg dirvožemio ėminys. Nesuardytos struktūros ėminiai imti naudojantis specialiu grąžtu arba naudojant metalinį žiedą. Tokiu būdu buvo papildomai tiriama, kaip galima optimizuoti didelio kiekio dirvožemio ėminių paėmimą.

Raseinių rajono savivaldybės Paluknio vietovėje paimti ariamos žemės dirvožemio ėminiai, o Utenos rajono savivaldybės Užpalių vietovėje paimti pievos ėminiai (2.6 pav.).

Užpalių vietovėje tyrimo vietose G, GA ir GB paimti pievos dirvožemio ėminiai 50 x 50 metrų kvadrato plote. Pagrindinė augalija pievoje dobilai ir

smilginiai augalai. Pieva buvo šienaujama. Atstumas iki kelio nuo analizuojamo ploto sudarė 8 m.

2.6 pav. Užpalių pievos dirvožemio ėminių paėmimo vieta (tyrimo vietų LKS koordinatės G (599903; 6168951); GA (599876; 6168935); GB (599912; 6168924))

Fig. 2.6. Grassland soil of Užpaliai sampling site (investigation sites LKS coordinates G (599903; 6168951); GA (599876; 6168935); GB (599912; 6168924))

Paliepio miško dirvožemio ėminiai tyrimo vietose paimti pušyne, kuriame auga pavieniai lapuočiai ir krūmynai (2.7 pav.). Ėminiai paimti 50 x 50 metrų plote trijuose tyrimo vietose R, RA ir RB. Analizuojama vietovė buvo nutolusi nuo kelio 40 metrų atstumu. Vietovė lygi, reljefo įtakos tyrimo ėminiams nebuvo.

Ariamo dirvožemio ėminiai tyrimo vietose B, BA ir BB imti Paluknio vietovėje (2.8 pav.). Dirvožemis, iš kurio imti ėminiai, buvo suartas ir išakėtas, prieš tai jame auginti pašariniai miežiai. Ėminiai paimti 50 x 50 metrų kvadrato plote. Šis analizės plotas nuo pagrindinio kelio buvo nutolęs 10 metrų, o nuo šalutinio nuo 20 iki 7 metrų atstumu.

2.7 pav. Pailiepio miško dirvožemio ėminių paėmimo vieta (tyrimo vietų LKS koordinatės R (485862; 5984588); RA (485833; 5984553); RB (485883; 5984548))

Fig. 2.7. Pailiepio forest soil sampling site (LKS coordinates of the R investigation sites (485862; 5984588); RA (485833; 5984553); RB (485883; 5984548))

Užpalių Paluknio ir Pailiepio vietovėse dirvožemio sudėtiniai ėminiai imti kas 10 centimetrų trijuose gyliuose, o nesuardytos struktūros ėminiai imti iki 25 cm gylio kas 5 centimetrus. Viso paimta ir išanalizuota 72 dirvožemio ėminiai.

Neries regioniniame parke dirvožemio ėminiai imti naudojantis specialiu grąžtu iki 30 centimetrų gylio kas 10 centimetrų. Viso paimta ir ištirta dirvožemio ėminių – 297.

Imant dirvožemio ėminius naudojama tinkleliu. Tinklelis sudarytas iš 100 narvelių, kurių indentifikavimo numeris yra išdėstytas atsitiktine tvarka (2.9 pav.). Analizuojamas dirvožemio plotas, pažymėtas raudona linija, turi tilpti į tinklelį. Pasirinktas dirvožemio plotas gali būti stačiakampis arba bet kokios kitos formos. Jei analizuojamas plotas netaisyklingos formos, tuomet nustatomos ir tinklelio kampų koordinatės. Tai atliekama palengvinti narvelio matmenų nustatymą.

2.8 pav. Paluknio ariamo dirvožemio ėminių paėmimo vieta (tyrimo vietų LKS koordinatės R (587487; 6145119); RA (587463; 6145108); RB (587508; 6145102))

Fig. 2.8. Užpaliai arable soil sampling site (LKS coordinates of the R investigation sites (587487; 6145119); RA (587463; 6145108); RB (587508; 6145102))

Narvelio matmenys nustatomi tinklelio X ir Y ašių kraštinės padalijus iš 10. Mėginiai imami sistemingai, atsižvelgiant į analizuojamo ploto dydį. 2.7 paveiksle vaizduojami parinkti 1 ir 8 narveliai. Narvelio parinkimas priklauso nuo eilės numerio: imami mažiausią numerį turintys narveliai, patenkantys į analizuojamo dirvožemio plotą. Tie, kurie į analizuojamą plotą patenka iš dalies arba kurių mėginių paimti neįmanoma, neįtraukiami. Tokiu atveju parenkamas kitas, didesnis iš eilės numerio, narvelis. Dirvožemio ėminių paėmimo metu iš analizuojamo ploto imami trys narveliai.

Bendrosios anglies kiekis nustatomas prietaisu SSM–5000A. (2.10 pav.) Prietaiso veikimas pagrįstas sauso mėginio deginimu aukštoje temperatūroje, infraraudonųjų spindulių kamera matuojant išsiskyrusį anglies dioksido kiekį.

Šiame prietaise anglies oksidacijos reakcijos naudingumo koeficientas kinta priklausomai nuo mėginio tipo.

2.9 pav. Dirvožemio ėminių paėmimo pavyzdinis tinklėlis. Linija žymi analizuojamo dirvožemio ribas. 1 ir 8 numerio narveliai skirti dirvožemio mėginių paėmimui.

Fig. 2.9. The soil sampling grid model. Line indicates the limits of the analyzed soil. 1 and 8, the number of cages for the soil samples

2.10 pav. Dirvožemio mėginių paėmimo vietos: taškai - sudėtinio ėminio paėmimo vieta, kvadratas – nesuardytos struktūros ėminio paėmimo vieta

Fig. 2.10. Soil sampling locations: dots - the complex sampling location, the square – intact structure of the sample collection location

Taip pat duomenų patikimumas priklauso nuo dalelės dydžio, mėginio sausumo, svorio, nešamųjų dujų srovės greičio, mėginio indo (uždengtas ar ne), priedų, kalibravimo standartų tipų. Prieš mėginio analizę nustatomi optimalūs rodikliai. Bendrosios anglies kiekiui nustatyti naudojant kietųjų mėginių tyrimo sistemą, nešiklio dujos turi tekėti per 200 mm ir 0,1 mm NDIR (nedispersines infraraudonąsias) kameras. SSM–5000A nešamųjų dujų srovė turi tekėti per 1,0 mm kamerą, kaip valomosios dujos. Matavimo metu bendrosios anglies kiekis negali viršyti 30 mg/l, todėl naudojamas skirtingas mėginio kiekis. Jeigu mėginyje yra per didelis anglies kiekis, naudojamas tyrimui medžiagos kiekis sumažinamas, bet jis negali būti mažesnis kaip 100 mg sausojo svorio. Bendrosios anglies kiekio nustatymo krosnyje darbinė temperatūra yra 900 °C. Tyrimo metu mėginio analizė pradedama tik prietaisui išsivalius nuo atmosferinio anglies dioksido.

2.11 pav. Shimadzu SSM–5000A bendrosios anglies nustatymo prietaisas

Fig. 2.11. Shimadzu SSM-5000 total carbon measure device

Mėginių ruošimas analizei:

1. Iš mėginio pašalinamos tyrimui nereikalingos medžiagos (pvz. akmenys, stambios šaknys).
2. Dirvožemio ėminiai prieš analizę homogenizuojami. Smulkintuvu ar grūstuvu vėliau ėminys kruopščiai susmulkinamas.
3. Susmulkintas ėminys persijojamas per reikiamo 1 mm tankumo sietą.
4. Neišsijotos dalelės susmulkinamos iš naujo.
5. Pakartojamas 3 ir 4 žingsnis, kad gauti galutinį mėginį, kuris persijojamas per 200 akučių sietą.

Prietaiso gamintojas kiekvienam mėginiui rekomenduoja naudoti naują indą. Tačiau jeigu tirtas mėginys neužteršė, nepakeitė ar nesugadino indo, jį galima vėl naudoti. Panaudoti indai prieš pakartotinį naudojimą turi būti išplaunami ir iškaitinami, kad pašalintų prikibę anglies elementai.

2.2. Dirvožemio bendrosios anglies kiekio natūrinių sezoninių tyrimų Neries regioniniame parke 2009–2010 m. duomenys ir analizė

Bendrosios anglies kiekio tyrimai atlikti trijuose skirtingose panaudos dirvožemyse: miško, pievos ir ariamame dirvožemyje. Tyrimų metu surinkti duomenys apdoroti pagal statistines programas ir nustatytos tyrimo metu gautos paklaidos. Tyrimai buvo atliekami 2009–2010 metais. Matavimai atlikti kovo, birželio, rugpjūčio mėnesiais. Dirvožemio pavyzdžių ėmimo metu taip pat buvo nustatytos meteorologinės sąlygos. Tyrimo metu kovo mėnesį aplinkos oro temperatūra buvo 14 °C; birželio mėnesį – 21 °C; rugpjūčio mėnesį – 18 °C.

Miško dirvožemis. Bendrosios anglies kiekio miško dirvožemyje tyrimai atlikti Tyrimo vietose P, PA, PB. (2.2 pav.) Tyrimo vietos parinktos taip, kad kartu būtų nustatyta reljefo įtaka bendrosios anglies kiekiui. P tyrimo vieta parinkta autonominiame landšafte, PA tyrimo vieta – transeliuviname elementariajame (šlaito) landšafte PB.

Tyrimo vietoje P nustatytas bendrosios anglies kiekis kovo mėnesį 0–10 cm gylyje buvo 1,26%. (2.11 pav.) Gilesniuose sluoksniuose jis kito nuo 0,7% (10–20 cm) iki 0,38% (20–30 cm).

Birželio mėnesį, kai aplinkos temperatūra pakilo (tyrimo metu nustatyta 21 °C), bendrosios anglies kiekis 0–10 cm gylyje pakilo iki 16% viso nustatyto kiekio; 10–20 cm gylyje – iki 50,4%; 20–30 cm gylyje – iki 66,3%. Vegetacinio periodo metu vystantis augalų šaknų sistemai ir intensyviai mineralizuojantis organinėms medžiagoms, gilesniuose sluoksniuose nustatytas didesnis bendrosios anglies kiekis. Temperatūrai krintant, organinių medžiagų skaidymosi procesai silpnėja, o temperatūrai pasiekus minusines reikšmes – sustoja.

Rugpjūčio mėnesį, kai baigėsi vegetacinis periodas ir aplinkos oro temperatūra buvo 18 °C, bendrosios anglies kiekis sumažėjo: 0–10 cm gylyje – 5% nuo birželį nustatyto kiekio; 10–20 cm gylyje – 38,1%; 20–30 cm gylyje – 39,4%.

Mažėjanti aplinkos temperatūra ir didėjanti drėgmė lėtina netik mikroorganizmų veiklą, bet mažina ir deguonies kiekis dirvožemyje. Padidėjusios drėgmės kiekis taip pat lėtina anglies dioksido išsiskyrimą, susidarantį yrant organinėms medžiagoms. Tačiau, esant 18 °C temperatūrai, organinių medžiagų irimo procesai nesustoja, ypač 0–10 cm gylyje. Viršutiniame dirvožemio sluoksnyje, paklo-

tėje susikaupia dideli kiekiai mortmasės. Dalis mineralizuotos masės patenka į dirvožemį, todėl 0–10 cm gylyje bendrosios anglies kiekis sumažėja palyginti nedaug.

2.12 pav. Dirvožemio bendrosios anglies kiekis miško dirvožemio P tyrimo vietoje

Fig. 2.12. Soil total carbon quantity of forest soil P investigation site

Bendrosios anglies kiekis, kovo mėnesį nustatytas tyrimo vietoje PA, 0–10 cm gylyje yra didesnis 1,3 karto; 10–20 cm gylyje – 2,7 karto; 20–30 cm gylyje – 3,1 karto negu nustatytas autonominiame landšafte (2.12 pav.). Jei analizuotume bendrosios anglies kiekį tik pagal gylį tai nustatyta, kad didžiausias bendrosios anglies kiekis yra 10–20 cm gylyje – 1,92%. 0–10 cm gylyje bendrosios anglies kiekis yra 1,6% t. y. 1,2 karto mažiau. 20–30 cm gylyje bendrosios anglies kiekis nustatytas 1,18% t. y. 1,6 karto mažiau.

Kuomet vyksta vandens erozija viršutinis dirvožemio sluoksnis yra nuplaunamas ir susikloja pašlaitėse ar reljefo mikroįdubimuose. Dalis bendrosios anglies yra „palaidojama“ ir kartais labai ilgam laikui „užkonservuojama“, erozijos nešmenimis padengus pašlaičių dirvožemius.

2.13 pav. Dirvožemio bendrosios anglies kiekis miško dirvožemio
PA tyrimo vieta

Fig. 2.13. Soil total carbon quantity of forest soil
PA investigation site

Birželio mėnesį nustatyti bendrosios anglies kiekiai taip pat didesni nei lyginant su kovo mėnesio duomenimis. Birželio mėnesį bendrosios anglies kiekis padidėjo lyginant su nustatyto kovo mėnesį 0–10 cm gylyje iki 1,8 karto, 10–20 cm gylyje 1,7 karto, o 20–30 cm gylyje iki 2,1 karto. Didžiausi bendrosios anglies kiekiai nustatyti 10–20 cm gylyje 3,33%.

Rugsjūčio mėnesį nukritus temperatūrai dėl sezoninio bendrosios anglies kiekio pasiskirstymo, organinių medžiagų mineralizacijos, humifikacijos ir anglies pasisavinimo biomase, bendrosios anglies kiekis PA tyrimo vietoje pasiskirstė tolygiai mažėjančia tvarka gilyn. Skirtumas tarp 10–20 ir 20–30 cm gylis tapo nežymus. Viršutiniame sluoksnyje bendrosios anglies kiekio nustatyta kaip ir kituose miško dirvožemiuose daugiau.

Analizuotoje tyrimo vietoje PB nustatytas bendrosios anglies kiekis didesnis, palyginti su vietomis P ir PA, dėl vandens erozijos. Sunėštos organinės medžiagos ėminiuose buvo daugiausia net vizualiai. Žemas gruntinio vandens lygis taip pat atliko svarbų vaidmenį bendrosios anglies kiekiui dirvožemyje. Santyki-

nei oro drėgmei padidėjus per 20%, prasideda anaerobiniai procesai, kurių metu anglis dirvožemyje konservuojama.

2.14 pav. Dirvožemio bendrosios anglies kiekis miško dirvožemio PB tyrimo vieta

Fig. 2.14. Soil total carbon quantity of forest soil PB investigation site

Iš atliktų tyrimų matyti, kad pavasarį, nutekant sniego tirpsmo vandeniui, bendrosios anglies kiekis paviršiniame dirvožemio sluoksnyje yra net 2,7 karto didesnis negu 20–30 cm gylio sluoksnyje (2.14 pav.). Taip yra todėl, kad vasarą paprastai vyksta anglies perskirstymas dirvožemio profilyje, tai ir mechaninis jo dalelių įplovimas gilyn, ir tirpinimas-nusodinimas, ir naujo humuso susidarymas. Imant dirvožemio ėminių vizualiai nustatyta, kad gilesniuose sluoksniuose esamo smėlio bei žvirgždo yra žymiai daugiau, nei paviršiniuose sluoksniuose.

Be to, 20–30 cm gylyje atsirado bendrosios anglies, kurios nebuvo kovo mėnesį. Bendrosios anglies kiekis šiame sluoksnyje padidėjo net 2,4 karto. Rugpjūčio mėnesį bendrosios anglies kiekis 0–10 cm gylyje skyrėsi nuo birželio mėnesį nustatyto 1,6% nuo bendro nustatyto kiekio, 10–20 cm gylyje 11,3%, o 20–30 cm gylyje 6,6%. Tačiau prasidėjus kovo mėnesio atlydžio sezonui

didžioji dalis bendrosios anglies kiekio 20–30 cm gylyje sumažėjus lyginant su 0–10 cm gyliu iki 2,7 karto.

Pagal atliktus Lietuvos miškų instituto tyrimus nusatatyta, kad Lietuvos teritorijoje sudaro apie 13% smėlžiamiai ir net 25–30% miškų yra pušynai. Instituto tyrimais nustatyta, kad šio tipo dirvožemiuose yra nuo 0,83% iki 1,21% humuso (Lietuvos miškų... 2010). Anglies, esančios dirvožemyje net 90 procentų sukaupiama humuse. Pagal atliktus tyrimus Neries regioniniame parke matyti, kad nustatyti bendrosios anglies kiekiai kinta nuo 1,5% iki 4,9%. Tačiau reikia pabrėžti, kad daugiausia bendrosios anglies nustatyta superakvalinių elementariųjų geocheminių landšaftų sąlygomis, t. y. kada ryškiai pasireiškia mechaninė nuplauto nuo šlaitų humuso akumuliacija, padidinta vietinės gausios biomasės prieaugiu.

Ariamas dirvožemis. Ariamas dirvožemis išsiskiria iš kitų tuo, kad jame beveik neįmanoma atskirti horizontų, o organinės medžiagos yra susimaišiusios per visus sluoksnius. Be to, tokie dirvožemiai tręšiami tiek organinės, tiek neorganinės kilmės trąšomis. Tai įtakoja ir tyrimo rezultatus.

Tyrimų vietos M, MA ir MB pavaizduotos 2.1 paveiksle. Visos vietos buvo analizuojamo lauko centre.

Kovo mėnesį tyrimo vietoje M nustatytas bendrosios anglies kiekis 0–10 cm gylyje buvo 1,2 karto didesnis negu 10–20 cm gylyje ir 1,8 karto didesnis negu 20–30 cm gylyje. (2.15 pav.) Bendrosios anglies kiekis dirvožemyje pasiskirstė tolygiai.

Birželio mėnesį vykstant augalų vegetacijai didžiausias bendrosios anglies kiekis dirvožemyje buvo nustatytas 0–10 cm gylyje – 4,413%. 20–30 cm gylyje nustatytas bendrosios anglies kiekis buvo mažesnis iki 1,8 karto.

Birželį intensyviausiai vyksta mikroorganizmų veikla, jeigu tik dirvožemyje pakanka drėgmės. Ypač organinių medžiagų skaidymosi procesai pagreitėja tręšiant, nes mikroorganizmai turi pakankamai mitybos medžiagų. Tai paskatina net anglies dioksido emisiją. Be to, dėl tankio ir didesnių aeracinių savybių ariamame dirvožemyje organinės medžiagos greičiau mineralizuojasi. Tačiau susikaupęs anglies kiekis ariamame dirvožemyje būna mažiausias, nes šis dirvožemis yra veikiamas ne tik vėjo, bet ir vandens erozijos. Rytinėse Lietuvos regionuose sniego dangos tyrimais nustatyta, kad nuo ariamo dirvožemio nupustoma iki 11 t ha⁻¹ dirvožemio, kurio dalelių dydis iki 1 mm (Bundinienė 2002, 2000, 1998). Taip pat nustatyta, kad auginant daugiameses svidres bei dobilus organinės anglies kiekis dirvožemyje nežymiai padidėja. Analizei buvo imti glėjiškieji jaurazemiai, kuriuose organinės anglies kiekis kito nuo 4,68% iki 5,36%.

2.15 pav. Dirvožemio bendrosios anglies kiekis ariamo dirvožemio
M tyrimo vieta

Fig. 2.15. Soil total carbon quantity of arable soil
M investigation site

Tyrimą vietoje M atliekant rūgijūčio mėnesį, dirvožemis jau buvo suartas. Tyrimo duomenys rodo, kad arimas daro didelę įtaką bendrosios anglies kiekio pasiskirstymui: skirtumas tarp visų trijų analizuojamų gylių buvo sumažėjęs. Ryškiai didesnis išliko tik 0–10 cm gylio rodiklis; skirtumas tarp kitų analizuojamų gylių buvo palyginti mažas. Jei palygintume su birželio mėnesio gautais duomenimis tai bendrosios anglies kiekis padidėjo 0–10 cm gylyje net iki 1,8 karto lyginant su kovo mėnesiu.

Ryškiausią bendrosios anglies kiekio kitimą ariamame dirvožemyje atspindėjo tyrimo vieta MA. Kovo mėnesį bendrosios anglies kiekis 0–10 cm gylyje čia buvo didesnis, palyginti su birželio mėnesio duomenimis. Jeigu lygintume tyrimo vietų M ir MA rodiklius, tai matytume, kad 0–10 cm gylyje vidutinis bendrosios anglies kiekis buvo: vietoje M – 3,55%; vietoje MA – 1,76% (2.16 pav.).

2.16 pav. Dirvožemio bendrosios anglies kiekis ariamo dirvožemio
MA tyrimo vieta

Fig. 2.16. Soil total carbon quantity of arable soil
MA investigation site

Bendrosios anglies tyrimams didelę įtaką daro lauko tręšimas organinės kilmės trąšomis. Tai lemia duomenų netolygumą. Tyrimo vietoje MA nustatyta, kad 10–20 cm gylyje per visą analizės laikotarpį bendrosios anglies kiekis keitėsi palyginti mažai ir svyravo apie 1,18%. 20–30 cm gylyje bendrosios anglies kiekis kito daugiau, bet irgi palyginti nežymiai: vidutinė jo reikšmė ~1,24%.

Tiriant ploto MB ėminių nustatyta, kad bendrosios anglies kiekis kovo mėnesį 0–10 cm gylyje buvo 0,88%; 10–20 cm gylyje – 0,93%; 20–30 cm gylyje – 0,93% (2.17 pav.).

Atlikus bendrosios anglies tyrimus birželio mėnesį, duomenys gauti daug didesni: 0–10 cm gylyje bendrosios anglies kiekio reikšmės nuo pavasario padidėjo 2,3 karto; 10–20 cm gylyje – 2 kartus; 20–30 cm gylyje – 1,5 karto. Pasi-skirstymas pagal gylį, palyginti su kovo mėnesiu, buvo tolygus. Be to, kovo mėnesį dirvožemis nebuvo tręštas.

Rugsjūtį gauti duomenys parodė, kad bendrosios anglies kiekio pasiskirstymas pagal gylį išliko tolygus: reikšmės kinta nuo 0,89% iki 1,43%, o palyginus gautas reikšmes su birželio mėnesiu nustatyta, kad 0–10 cm gylyje bendro-

sios anglies kiekis buvo 1,4 karto didesnis nei rugpjūčio mėnesį. 20–30 cm gylyje bendrosios anglies pokytis tarp birželio ir rugpjūčio mėnesių buvo 1,5, o 20–30 cm gylyje 1,6 karto. Iš atliktų tyrimų matyti, kad bendrosios anglies kiekio pasiskirstymas tiek pačiame lauke tiek pagal gylius yra labai įvairus. Tokiai duomenų sklaidai turėjo įtakos netik arimas, bet ir tręšimas, kuris buvo netolygus.

2.17 pav. Dirvožemio bendrosios anglies kiekis ariamo dirvožemio MB tyrimo vieta

Fig. 2.18. Soil total carbon quantity of arable soil MB investigation site

Teigiama, jog žemės dirbimo būdas lemia CO₂ emisiją tokiu mastu, kokių gylių ir intensyvumu yra mechanškai dirbama žemė. JAV nustatyta, kad dirvas giliai ariant CO₂ emisija siekia 134%, jas tik lėkščiuojat – 58, o taikant tiesioginę sėją – vos 27%. Į dirvą įterptų augalų turimo anglies kiekio. Tai rodo, kad intensyvus žemės dirbimas tiesiogiai didina CO₂ emisiją. Skirtingais skaičiavimais, vidutinio klimato sąlygomis ne mažiau kaip 15–25 t ha⁻¹ mėšlo, įskaičiuojant ir lauke paliekamas augalų liekanas, turi būti įterpiama į dirvą, kad atsistatytų anglies nuostoliai dėl dirvų arimo. Taip pat nustatyta, kad CO₂ emisija iš dirvožemio yra proporcinga mechanškai supurento dirvožemio tūriui. Suarus

dirvą 28 cm gyliu, CO₂ emisija siekė 2,445 g CO₂ m⁻², o 20, 15 ir 10 cm – atitinkamai 1,939, 1,588 ir 891 g CO₂ m⁻² (Žemės dirbimo... 2010).

Ariamo dirvožemio duomenis palyginus su kitais analizuotais dirvožemiais nustatyta, kad bendrosios anglies kiekis dirvožemyje išsiskyrė tik M plotas. MA ir MB plotuose nustatytas bendrosios anglies kiekis yra mažiausias lyginant su kitų dirvožemių autonominiiais landšaftais. Kovo mėnesį vidutinės ariamo dirvožemio reikšmės buvo mažesnės už miško dirvožemio bendrosios anglies kiekį iki 1,5 karto, o su pievos dirvožemiu iki 1,2 karto. Birželio mėnesį bendrosios anglies kiekiai ariamame dirvožemyje padidėjo, tačiau jie buvo mažesni 1,2 karto nei miške ir pievoje. Rugsjūčio mėnesį bendrosios anglies kiekis ariamame dirvožemyje buvo iki 1,1 karto mažesnis nei miško dirvožemyje ir 1,2 karto mažesnis nei pievos dirvožemyje.

Pievos dirvožemis. Pievos dirvožemis buvo analizuojamas senose pievose, kurios dažnai nešienaujamos. Tokiose pievose po augalų danga, viršutiniame dirvožemio sluoksnyje, susiformuoja sudžiūvusių augalinių liekanų. Tyrimais nustatyta, kad pievose esančios pernykštės žolės liekanos mineralizuojasi apytiksliai per trejus metus. Analizei parinktos penkios tyrimo vietos. Trijose vietose buvo analizuojama reljefo įtaka bendrosios anglies kiekio pokyčiams, o dvi vietos buvo lygioje pievoje.

Bendrosios anglies kiekio tyrimo vieta EB priklauso superakvaliniam landšaftui (2.18 pav.). Bendrosios anglies kiekis kovo mėnesį buvo didesnis, palyginti su birželio ir rugsjūčio mėnesiais. 0–10 cm gylyje šis kiekis kovą buvo 1,5 karto didesnis negu nustatytas birželį ir 1,4 karto – negu nustatytas rugsjūtį. Bendrosios anglies kiekis per visą tyrimo laikotarpį 0–10 cm gylyje sumažėjo 1,074%; 10–20 cm gylyje padidėjo 0,771%.

Anglies kiekis dirvožemio 10–20 cm sluoksnyje kovo mėnesį buvo 1,4 karto mažesnis negu birželio mėnesį ir 1,6 karto mažesnis, negu rodo rugsjūčio tyrimų duomenys. Birželio ir rugsjūčio mėnesiais bendrosios anglies kiekio kitimas artimas, todėl galima daryti prielaidą, kad vasarą pusiausvyrą dirvožemyje išlieka.

20–30 cm gylyje bendrosios anglies kiekis birželio mėnesį buvo 1,4 karto mažesnis negu kovo ir 1,25 karto mažesnis negu rugsjūčio mėnesį. Iš gautų duomenų matyti, kad bendrosios anglies kiekio kitimas analizuojamuose gyliuose panašus, mažiausias kitimas yra 20–30 cm gylyje.

Analizuojamoje tyrimo vietoje E bendrosios anglies kiekio kitimo tendencijos artimos pievos dirvožemio EB ėminiams. (2.19 pav.) Pievos tyrimo vieta EA, esanti autonominiame landšafte, yra arčiausiai superakvalinio landšafto. Bendrosios anglies kiekis 0–10 cm gylyje, pagal tyrimo E duomenis, kovo mėnesį buvo 1,4 karto didesnis negu birželio ir 1,05 karto didesnis negu rugsjūčio mėnesį – taigi, tiriamuoju laikotarpiu sumažėjo. Vėl galima daryti prielaidą, kad organinės medžiagos pievos dirvožemyje skaidosi tik pasibaigus rugsjūčio mė-

nesiui, todėl tik atlikus tyrimą žiemos pradžioje galima sužinoti bendrosios anglies kiekį.

2.18 pav. Dirvožemio bendrosios anglies kiekis pievos dirvožemio EB tyrimo vieta

Fig. 2.18. Soil total carbon quantity of meadow soil EB investigation site

10–20 cm gylyje pastebima neryški mažėjimo tendencija: nuo kovo mėnesio bendrosios anglies kiekis, birželio ir rugpjūčio tyrimų duomenimis, buvo sumažėjęs atitinkamai 1,1 ir 1,15 karto. Tai ganėtinai mažas kitimas: nuo pavasario iki pirmo vasaros mėnesio – tik 0,148%, iki paskutinio vasaros mėnesio – 0,201%. Ypač šis pokytis menkas antruoju stebėjimo laikotarpiu: per vasarą bendrosios anglies kiekis viduriniame pievos gylyje tepakito 1,05 karto.

20–30 cm gylyje bendrosios anglies kiekis taip pat liko mažai pakitęs: vasaros mėnesiais jis sumažėjo 1,057–1,084 karto, palyginti su kovo mėnesio duomenimis.

Pastarojo tyrimo duomenis lyginant su EB, matyti, kad bendra tendencija pievų dirvožemyje panaši, nors tyrimo vietoje EB nuo birželio iki rugpjūčio bendrosios anglies kiekis didėjo.

2.19 pav. Dirvožemio bendrosios anglies kiekis pievos dirvožemio
E tyrimo vieta

Fig. 2.19. Soil total carbon quantity of meadow soil
E investigation site

Analizuojant tyrimo vietą EA, kuri išskirtinai priklauso autonominiam landšaftui, nustatyta, kad bendrosios anglies kiekis pievos dirvožemyje kinta pagal miško ir ariamo dirvožemio tendencijas (2.20 pav.). Kovo mėnesį nustatytas bendrosios anglies kiekis čia buvo gerokai mažesnis negu vasaros metu: 0–10 cm gylio ėminio rodiklis nuo kovo iki birželio mėnesio padidėjo 2,2 karto (0,796%); nuo kovo iki rugsjūčio mėnesio – 2,5 karto. Kiek mažesnis padidėjimas nustatytas lyginant birželio ir rugsjūčio tyrimų duomenis – 0,129%. Nors pastaruoju laikotarpiu bendrosios anglies kiekis didėjo nežymiai, vis dėlto didėjimas užfiksuotas abiem analizuojamais laikotarpiais. Tuo tarpu miško ir ariamo dirvožemio bendrosios anglies kiekis didėjo tik pirmuoju tyrimo laikotarpiu, o antruoju – iki rugsjūčio, šiek tiek sumažėja.

10–20 cm gylyje tiriamuoju laikotarpiu bendrosios anglies kiekis nuo kovo mėnesio padidėjo 2,5–2,8 karto; 20–30 cm gylyje kovo mėnesį buvo 2 kartus mažesnis negu birželį ir 2,1 karto mažesnis negu rugsjūtį. Lyginant pievų dirvožemį, bendrosios anglies kiekis autonominio landšafto vietose kinta apie 1,5%, o superakvalinio landšafto – net iki 3,795%.

2.20 pav. Dirvožemio bendrosios anglies kiekis pievos dirvožemio
EA tyrimo vieta

Fig. 2.20. Soil total carbon quantity of meadow soil
EA investigation site

Analizuojant pievos dirvožemį, paimtą iš tyrimo vietų KA ir K, bendrosios anglies kiekis buvo gautas artimas EB rodikliams, tačiau kitimo tendencijomis labiau panėšėjo į miško bei ariamą dirvožemius. Grafikas KA rodo nežymią bendrosios anglies sumažėjimo tendenciją per visą tiriamą laikotarpį 0–10 cm gylyje (2.21 pav.). Tačiau tas sumažėjimas ganėtinai nežymus – tik 0,134%. Didžiausias bendrosios anglies kiekis šiame pievos dirvožemyje buvo susikaupęs birželį – 1,1 karto didesnis negu kovą ir 1,14 karto didesnis negu rugsjūtį.

20–30 cm gylio duomenimis, abiem laikotarpiais nustatytas bendrosios anglies kiekio augimas, tačiau jo tempas lėtas – tik 0,243% per visą tiriamą laikotarpį. Analizuojama pievos vieta priklauso superakvaliniam landšaftui, skirtingai negu vieta L, kuri yra autonominiame landšafte.

20–30 cm gylyje bendrosios anglies kiekis tyrimo vietoje K kito tik didėjimo kryptimi (2.22 pav.). Iš ėminio vietos nustatyta, kad tai – buvusi užliejama pieva: dėl nešmenų bendrosios anglies kiekis sluoksniuojasi ir metai po metų susidaro sluoksniai su organiniais tarpais.

2.21 pav. Dirvožemio bendrosios anglies kiekis pievos dirvožemio
KA tyrimo vieta

Fig. 2.21. Soil total carbon quantity of meadow soil
KA investigation site

Tyrimo vietos KA ir K buvo parinkti autonominiame landšafte, kuris išsiskiria dirvožemio struktūra: pievose E, EA ir EB vyraavo stambus žvirgždas, o imant K ir L dirvožemio nustatyta humusingų intarpų.

Lyginant 0–10 cm gylio duomenis, nustatyta, kad autonominio landšafto miško dirvožemyje bendrosios anglies kiekis kovą buvo 1,26%, o to paties landšafto pievos dirvožemyje 0,6–1,6%. Iš 10–20 cm gylio ėminių miško dirvožemyje bendrosios anglies nustatyta 0,7%, o pievos 1,2–1,5%. 20–30 cm gylio duomenys parodė, kad miško dirvožemyje bendroji anglis sudaro 0,38%, pievos 1,2–1,9%. Taigi, miško dirvožemyje kovo mėnesį bendrosios anglies buvo žymiai mažiau negu pievos dirvožemyje. Birželio mėnesį bendrosios anglies kiekis 0–10 cm gylyje pievos dirvožemyje taip pat buvo didesnis.

Analizuojant kitus gylius, nustatyta, kad pievos dirvožemio plote EB bendrosios anglies kiekiai didesni negu miško dirvožemyje. Rugpjūčio mėnesį autonominio landšafto pievos dirvožemis pagal bendrosios anglies kiekius pranoko miško dirvožemį. Tačiau, tiriant dirvožemio ėminius, kuriems didelę įtaką darė reljefas, paaiškėjo, kad didesni bendrosios anglies kiekiai yra miško dirvožemyje.

Tik paviršiniame 0–10 cm pievos dirvožemio sluoksnyje bendrosios anglies buvo iki 2,2 karto daugiau negu miško. Analizuojant gilesnius sluoksnius, nustatyta, kad miško dirvožemyje dėl reljefo įtakos bendrosios anglies kiekis didesnis iki 1,1 karto. Tokiems skirtumams didelę įtaką daro nuokritos ir jų įrimo greitis. Moksliniais tyrimais nustatyta, kad lapai ir kitos nesumedėjusios augalinės kilmės medžiagos dirvožemio paviršiuje suyra apytikriai per 1,5 metų. Tuo tarpu sumedėjusios augalinės kilmės medžiagos (šakos, smulkios šakelės) yra daug lėčiau – jų irimo greitis siekia iki 7 metų.

2.22 pav. Dirvožemio bendrosios anglies kiekis pievos dirvožemio K tyrimo vieta

Fig. 2.22. Soil total carbon quantity of meadow soil K investigation site

Iš superakvalinio landšafto duomenų nustatyta, kad bendrosios anglies kiekiai didžiausi miško dirvožemyje. Išsiskiria tik kovo mėnesio duomenys, ir tik 20–30 cm gylyje. Kituose gyliuose ir kitais analizuotais mėnesiais bendrosios anglies kiekiai miško dirvožemyje buvo didesni iki ~1,6 karto. Šie duomenys patvirtina reljefo įtaką bendrosios anglies kiekiui ir tai, kad miško dirvožemyje bendrosios anglies susikaupia daugiau.

Pievos tyrimo duomenis lyginant su kitų mokslininkų gautais duomenimis, nustatyta, kad daugiamečiame pievoje Joniškėlio tyrimo stotyje organinės anglies

kiekis kito nuo 2,76% iki 3,75%. Daugiausiai organinės anglies aptikta plote, kuriame vyrauja paprastųjų motiejukų kultūros (Liaudanskienė 2010). Todėl daroma prielaida, kad smilginiai augalai, turintys kuokštinę šaknų sistemą, pasižymi didesnėmis galimybėmis kaupti anglį dirvožemyje.

Ariamas dirvožemis. Tiriant bendrosios anglies kiekį ariamame dirvožemyje, 0–10 cm gylyje rugpjūčio mėnesį nustatyti rodikliai 0,755% pranoko kovo mėnesio rodiklius. Birželį bendrosios anglies buvo sukaupta 0,076 karto daugiau negu kovą. 10–20 cm gylyje tiriamuoju laikotarpiu nustatytas bendrosios anglies kiekio padidėjimas iki 0,38 karto. Rugpjūčio mėnesio ėminiuose bendrosios anglies kiekis buvo padidėjęs 0,290%. Birželio mėnesio duomenimis, jis buvo 0,120% didesnis, palyginti su rugpjūčio. Tačiau 20–30 cm gylyje bendrosios anglies sumažėjo: rugpjūčio ėminiuose jos buvo nustatyta 0,172% mažiau ir 1,63 karto mažiau, palyginti su kiekiu, nustatytu 10–20 cm gylyje.

Miško dirvožemis. Miško dirvožemyje visuose tyrinėtuose gyliuose nustatytas bendrosios anglies kiekio padidėjimas: 0–10 cm gylyje – 0,179%; 10–20 cm gylyje – 0,252% (1,41 karto); 20–30 cm gylyje akivaizdus – 1,089%. Birželio mėnesį bendrosios anglies kiekis buvo didesnis negu rugpjūčio atitinkamai pagal gylį: 0,253% (0–10 cm); 0,809% (10–20 cm); 0,422% (20–30 cm gylyje).

Pievos dirvožemis. Pievos dirvožemyje 0–10 cm gylyje nustatytas bendrosios anglies sumažėjimas, iki 0,094%. Tačiau 10–20 cm gylyje bendrosios anglies kiekis birželio mėnesį buvo didesnis net 5,12 karto, arba 0,483%. 20–30 cm gylyje pirmą vasaros mėnesį bendrosios anglies kiekis tik 0,21 karto pranoko kovo mėnesio duomenis – 0,1% padidėjo. Taip pat nustatyta, kad birželio mėnesį bendrosios anglies mažiau negu rugpjūtį buvo visuose analizuojamuose gyliuose: 0,128% (0–10 cm); 0,128% (10–20 cm); 0,118% (20–30 cm gylyje). Analizuojant kitų pievos ėminių duomenis, 0–10 cm gylyje taip pat nustatytas bendrosios anglies sumažėjimas – jis sudaro 0,016%. Tačiau birželio mėnesį anglies buvo padaugėję nuo 0,251% (0–10 cm) iki 0,145% (10–20 cm). 20–30 cm gylyje pirmą vasaros mėnesį bendrosios anglies kiekis 0,072% buvo mažesnis negu rugpjūčio mėnesį.

Lietuvos agrarinių tyrimų centro tyrimais nustatyta, kad dirvožemio panaudos tyrimo aikštelėse per visą tyrimo laikotarpį nuosekliai mažėjo org. C kiekis: po pirmųjų 5 tyrimų metų – vidutiniškai 24%; po 10 metų – net 38% nuo pradinio lygio (0,98% org. C). Skirtumai tarp aikštelių labiausiai išryškėjo 1999 m. (0,22% org. C): jauno pušyno aikštelės dirvožemyje sumažėjimas buvo ~0,1%, o vienoje iš pievos aikštelių (II Pa) – net 0,33%. Per kitus 5 metus anglies mineralizacija sulėtėjo ir 2004 m. org. C kiekis bandymo aikštelėse tesiekė vidutiniškai 0,6% ($\pm 0,14\%$). Lygiagrečiai šiems pokyčiams beveik visose tyrimų aikštelėse atvirkščiai kito bendrojo N kiekis. Per 10 metų lauko sėjomainos aikštelėje N pagausėjo ~22–31%; liucernos dirvožemyje ~63–66% (abiems atvejais labiau –

trėštuose plotuose); dirvone – 34%. Nors dirvožemių renatūralizacija – vienas iš kelių būdų pagausinti ar bent palaikyti organinių medžiagų kiekį dirvožemyje, nurodoma, kad tai palyginti lėtas šių medžiagų akumuliacijos procesas.

Įvairiose stacionariose aikštelėse per 10 metų dėl žemėnaudos skirtumų susiformavusios fitocenozės nežymiai skyrėsi agrocheminiais rodikliais: org. C skirtumai siekė 0,14%; bendrojo N – 0,024%; C/N ~1,30 vnt. Taigi, skirtingai negu teorinė prielaida, kad org. C turi akumuliuotis renatūralizuojamame dirvožemyje, per visus 10 tyrimo metų org. C dirvožemyje mažėjo. Dešimtais tyrimo metais (2004 m.) mažiausiai org. C ir bendrojo N buvo nustatyta jauno pušyno (IV Mk) aikštelėje; daugiausiai – brandaus miško (V Mb) aikštelėje; ten pat nustatytas ir didžiausias C/N – 15,2 vnt. Tyrimo pradžioje lauko sėjomainos vietoje C/N buvo 12–14/1 ir atitiko teorinį natūraliai rūgštaus pakalkinto dirvožemio kiekį; per dešimtmetį šis santykis beveik pasiekė 4/1, kai intensyviai skaidoma organinė medžiaga ir išsiskiria daug NH_3 (Saulius 2007).

Skirtingų bioklimatinių zonų dirvožemiuose labai skiriasi tiek medžiagų balanso pajamų, tiek išlaidų dalys. Pavyzdžiui, anglies, turinčios augalinių liekanų, į dykumų dirvožemį patenka $<1\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$, drėgnų atogrąžų miškuose $>14\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$; mikroorganizmų sujungto (fiksuoto) azoto kiekis įvairių gamtinių zonų dirvožemiuose gali būti įvairus – nuo 10 iki $5\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$; medžiagų nuostoliai dėl paviršinio nuotėkio – nuo 0 iki $300\ \text{kg ha}^{-1}$.

Ypač svarbios biogeninės medžiagos dirvodaros maisto medžiagų balansui, nes augalai į biologinę apykaitą įtraukia ir grąžina į dirvožemį elementų kelis kartus daugiau, palyginti su tuo, kiek jų patenka į dirvožemį ir iš jo pašalinami abiogeniškai. Pavyzdžiui, juodžemiuose per metus biogeninio azoto sujungiama ir vėliau išvežama $\sim 14\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$, o išplaunama su paviršiniu nuotėkiu ir t. t. tik $400\ \text{kg ha}^{-1}$. Minėtuose drėgnų atogrąžų miškuose šie skaičiai per metus atitinkamai yra $25\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$ ir $900\ \text{kg ha}^{-1}$ (Bridges 1998).

Sudėjus visų gylių duomenis ir apibendrinus rezultatus, nustatyta, kad bendrosios anglies kiekis didžiausias yra miško dirvožemyje – 1,520%; kiek mažesnis – 1,223% ariamame dirvožemyje; pievos dirvožemyje mažiausias – 0,419%. Lyginant tyrimo metu gautus duomenis pagal literatūrinę apžvalgą, daroma prielaida, kad ariamame dirvožemyje auginant tam tikras kultūras bendrosios anglies kiekis galėtų būti didesnis negu daugiamečių augalų dirvožemyje. Tokie tyrimai buvo atlikti JAV: nustatyta, kad anglies kiekis dirvožemyje sumažėjo dėl intensyvesnio daugiamečių augalų kvėpavimo, palyginti su dirvos augalais (Žemės dirbimo... 2010).

2.3. Bendrosios anglies kiekio natūrinių tyrimų Užpalių, Paluknio ir Pailiepio vietovių dirvožemiuose duomenys bei analizė

Atliktų tyrimų duomenimis, bendrosios anglies kiekis pievos dirvožemyje nesuardytos struktūros mėginiuose iš ploto G kito nuo 1,392% iki 3,585% (2.23 pav.). Nesuardytos struktūros ėminiai buvo imami metaliniu žiedu, o sudėtiniai ėminiai – iš visų vietų tam tikro gylio. Sudėtinųjų ėminių rezultatai atspindi geresnį bendrosios anglies kiekio pasiskirstymą pagal gylį.

2.23 pav. Užpalių pievos tyrimo vietos G bendrosios anglies kiekis

Fig. 2.23. Soil total carbon quantity of Užpaliai meadow
G investigation site

Iš atliktų tyrimų matyti bendrosios anglies kiekio mažėjimo tendencija, didėjant gyliui. Didžiausias bendrosios anglies kiekis nustatytas viršutiniame dirvožemio sluoksnyje – 3,585%. 20–25 cm gylyje jis buvo sumažėjęs 2,6 karto. Sudėtinųjų mėginių bendrosios anglies kiekis dirvožemyje kito nuo 2,397% iki 3,147%. Palyginti su nesuardytos struktūros dirvožemio mėginių duomenimis, rezultatas skiriasi: 1,1 karto mažiau ties paviršiumi; 1,8 karto daugiau 20–30 cm gylyje.

2.24 pav. Užpaliai pievos tyrimo vietos GA bendrosios anglies kiekis

Fig. 2.24. Soil total carbon quantity of Užpaliai meadow
GA investigation site

Pievos tyrimo vietoje GA bendrosios anglies kiekis nesuardytos struktūros ėminiuose mažėjo nuo 4,435% paviršiuje iki 2,528% 15–20 cm gylyje. (2.24 pav.). Palyginti su sudėtinio mėginio tyrimais, bendrosios anglies kiekis ties paviršiumi buvo mažesnis 1,4 karto. 20–30 cm gylyje skirtumas tarp sudėtinio ir nesuardytos struktūros mėginio buvo labai mažas. Tendencingas bendrosios anglies kiekio mažėjimas sudėtinuose ėminiuose pievos plote GA nėra ryškus.

2.25 pav. Užpaliai pievos tyrimo vietos GB bendrosios anglies kiekis

Fig. 2.25. Soil total carbon quantity of Užpaliai meadow
GB investigation site

Bendrosios anglies kiekis tyrimo vietoje GB, didėjant gyliui, kito nuo 2,014% iki 0,385%. Maksimalus kiekis nustatytas 10–20 cm gylyje tiek sudėtiniuose, tiek nesuardytos struktūros dirvožemio ėminiuose. Skirtumas tarp jų neviršija 1,04 karto (2.25 pav.).

Pievos dirvožemio tyrimo plotuose GA bendrosios anglies kiekis nesuardytos struktūros ėminiuose kito nuo 1,39% iki 4,43%; sudėtiniuose ėminiuose – nuo 2,4% iki 3,1%. Pievos dirvožemio tyrimo ploto GB bendrosios anglies kiekis nesuardytos struktūros ėminiuose buvo mažesnis ir kito nuo 0,38% iki 2%.

2.26 pav. Pailiepio miško tyrimo vietos R bendrosios anglies kiekis

Fig. 2.26. Soil total carbon quantity of Pailiepis forest R investigation site

Miško dirvožemio tyrimo vietoje R maksimalus bendrosios anglies kiekis buvo 5–20 cm gylyje: nuo 0,504% iki 0,567% (2.26 pav.). Mažesniame ir didesniame gyliuose jis buvo gerokai mažesnis. Minimalus kiekis (0,324%) nustatytas 0–5 cm gylyje. Sudėtinių ėminių mėginiuose bendrosios anglies kiekis mažai priklauso nuo gylio (0,428–0,438%).

2.27 pav. Pailiepio miško tyrimo vietos RB bendrosios anglies kiekis

Fig. 2.27. Soil total carbon quantity of Pailiepis forest RB investigation site

Tyrimo vietos RB nesuardytos struktūros ėminių mėginiuose bendrosios anglies kiekis svyruoja tarp 0,385% ir 0,743%, o mažiausias (0,385%) yra 10–15 cm gylyje. Sudėtinių ėminių mėginiuose didžiausias bendrosios anglies kiekis (0,675%) nustatytas 0–10 cm gylyje, minimalus (0,364%) nustatytas 20–30 cm gylyje (2.27 pav.).

2.28 pav. Paliepio miško RA tyrimo vietos bendrosios anglies kiekis

Fig. 2.28. Soil total carbon quantity of Pailiepis forest
RA investigation site

Didžiausias svyravimas, analizuojant miško dirvožemį, nustatytas tyrimo vietoje RA, nors bendra jo tendencija nesikeičia: minimali anglies koncentracija fiksuojama 10–20 cm gylyje. Neaiški priežastis, kodėl didelis koncentracijos skirtumas nustatytas nesuardytos dirvožemio struktūros ir sudėtiname ėminiuose iš 20–30 cm gylio: atitinkamai 1,166% ir 0,429% (2.28 pav.).

Ariamame dirvožemyje, kurio ėminiai imti Paluknyje nustatyta, kad bendrosios anglies kiekis nesuardytos struktūros ėminiuose iki 10 cm gylio vidutinė reikšmė buvo 1,59% (2.29 pav). Nuo 10 cm gylio bendrosios anglies kiekis ariamajame dirvožemyje ženkliai sumažėjo. Vidutinis bendrosios anglies kiekis 10–25 cm gylyje siekė 1,16%. Sudėtinuose ėminiuose bendrosios anglies kiekis kito tolygiai mažėjant. 0–10 cm gylyje bendrosios anglies kiekis buvo 1,1 karto didesnis nei nesuardytos struktūros ėminiuose. Tuo tarpu 10–20 cm ir 20–30 cm gylyje skirtumas tarp ėminių siekė 1,3 karto.

Ariamo dirvožemio BA tyrimo vietos bendrosios anglies kiekis nesuardytos struktūros ėminiuose kito tolygiai mažėjant (2.30 pav.). Vidutinė viso tyrineto profilio nesuardytos struktūros ėminių bendrosios anglies kiekis lygus 1,13%.

Tuo tarpu sudėtiniuose ėminiuose bendrosios anglies kiekis profilyje buvo 1,51%. Skirtumas tarp analizuotų profilių siekė 1,3%.

2.29 pav. Paluknio arimo B tyrimo vietos bendrosios anglies kiekis

Fig. 2.29. Soil total carbon quantity of Paluknis arable soil B investigation site

2.30 pav. Paluknio arimo BA ir BB tyrimo vietos bendrosios anglies kiekis

Fig. 2.30. Soil total carbon quantity of Paluknis arable soil BA and BB investigation site Single carbon

Vidutinis bendrosios anglies kiekis BB tyrimo vietoje nesuardytos struktūros ėminiuose siekė 1,24%, o sudėtiniuose ėminiuose – 1,23% (2.30 pav.). Iš atliktų tyrimų nustatyta, kad bendrosios anglies kiekis nesuardytos struktūros ariamo dirvožemio ėminiuose buvo mažesnis nei sudėtiniuose ėminiuose.

Bendrosios anglies kiekis miško dirvožemyje buvo daug mažesnis negu pievos. Dirvožemio ėminiai buvo paimti pušyne, o paviršinės augalijos pušynuose būna mažai, daugiausia ten auga nereiklūs drėgmės atžvilgiu augalai. Miško dirvožemio ėminiuose nuo 15 cm gylio prasideda smėlio sluoksnis. Iš miško dirvožemio profilio duomenų, nustatyta, kad bendrosios anglies kiekis nesuardytos struktūros ėminiuose kito nuo 2,4% iki 3,74%; sudėtiniuose – nuo 1,3% iki 1,9%. Pievos dirvožemio profilio duomenis, nustatytas bendrosios anglies kiekis kito nuo 6,92% iki 16,47%; sudėtiniuose ėminiuose – nuo 3,9% iki 8,46%. Palyginti su miško dirvožemiu, pievos bendrosios anglies kiekiai profilyje net iki 4,4 karto mažesni ir nesuardytos struktūros, ir sudėtiniuose ėminiuose. Ariamajame dirvožemyje skirtumas tarp nesuardytos struktūros ir sudėtinių ėminių siekė iki 1,3 karto.

Pasitvirtino bendra anglies pasiskirstymo dirvožemiuose tendencija – koncentracijos mažėjimas, didėjant gyliui. Tačiau ši tendencija ryškesnė pievos dirvožemio tyrimui naudojant nesuardytos struktūros ėminius (pasiskirstymo koeficientas $K_p=2,2$), palyginti su sudėtiniais ($K_p=1,3$); miško dirvožemyje – atvirkščiai (atitinkami pasiskirstymo koeficientai 1,3 ir 2,6). Tikėtina, kad tai priklauso nuo pievos ir miško dirvožemio sudėties skirtingo tolygumo pagal gylį ir horizontaliai.

2.4. Antrojo skyriaus išvados

1. Natūriniais tyrimais nustatyta, kad bendrosios anglies kiekiui didelės įtakos turi reljefas. Todėl tyrimai atlikti imant ėminius įvairiuose reljefo aukščiuose. Miško dirvožemyje maksimalus bendrosios anglies kiekis autonominiame landšafte buvo iki 1,5%. Superakvaliniame landšafte bendrosios anglies kiekis buvo iki 5%. Pievos dirvožemyje maksimalūs bendrosios anglies kiekiai autonominiame landšafte siekė iki 1,6%, o superakvaliniame landšafte – iki 3,8%.
2. Įvertinus Neries regioninio parko metinius vidutinius bendrosios anglies kiekius miško dirvožemyje rasta iki 2,43%, pievos dirvožemyje bendrosios anglies kiekis siekė iki 1,9%, o ariamajame dirvožemyje bendrosios anglies nustatyta iki 1,7%.
3. Visais analizuojamais laikotarpiais ariamo dirvožemio bendrosios anglies kiekis buvo mažiausias. Palyginus su kitais analizuotais dirvožemiais nustatyta, kad bendrosios anglies kiekis buvo mažiausias lyginant su kitų dirvožemių auto-

nominiais landšaftais. Kovo mėnesį vidutinės ariamo dirvožemio bendrosios anglies kiekio reikšmės buvo mažiausios už miško dirvožemio bendrosios anglies kiekį iki 1,5 karto, o už pievos dirvožemio iki 1,2 karto. Birželio mėnesį bendrosios anglies kiekiai ariamame dirvožemyje nežymiai didesni, tačiau jie buvo mažesni 1,2 karto nei miške ir pievoje. Rugsjūčio mėnesį bendrosios anglies kiekis ariamame dirvožemyje buvo mažiausias. Iki 1,1 karto mažesnis nei miško dirvožemyje ir 1,2 karto mažesnis nei pievos dirvožemyje.

4. Nustačius dirvožemyje esančios bendrosios anglies kiekius gauta, kad dirvožemyje gyliuose iki 30 cm gylio kovo mėnesį: miško dirvožemyje buvo – 5,79%, ariamame dirvožemyje – 4,33%, pievos dirvožemyje – 4,33%, o užliejamos pievos dirvožemyje – 3,89%. Birželio mėnesį bendrosios anglies kiekiai gauti: miško dirvožemyje – 8,79%, ariamame dirvožemyje – 5,58%, pievos dirvožemyje – 4,44%, o užliejamos pievos dirvožemyje – 7,39%. Rugsjūčio mėnesį atliktais tyrimais nustatyta, kad bendrosios anglies kiekis miško dirvožemio gyliuose buvo – 7,31%, ariamo dirvožemio profilyje – 5,55%, pievos dirvožemio gyliuose – 4,82%, o užliejamoje pievoje – 7,1%. Iš atliktų tyrimų galima daryti išvadą, kad bendrosios anglies kiekis didžiausias miško dirvožemyje.

5. Nustatyta, kad dirvožemio profiliuose bendrosios anglies kiekis miško dirvožemyje, nesuardytos struktūros ėminiuose, kito nuo 2,4% iki 3,74%, o sudėtinių ėminių profiliuose gylyje iki 30 cm nuo 1,3% iki 1,9%. Pievos dirvožemio profiliuose bendrosios anglies kiekiai kinta nuo 6,92% iki 16,47%, o sudėtiniuose ėminiuose nuo 3,9% iki 8,46%. Atliktais tyrimais įvertinta, kad nesuardytos struktūros ėminiai pateikia detalesnę informaciją apie bendrosios anglies kiekius dirvožemyje. Todėl tolesniuose tyrimuose taikytas nesuardytos struktūros ėminių ėmimas.

Dirvožemio bendrosios anglies kiekio, pH ir sunkiųjų metalų natūriniai tyrimai

Dirvožemio pH, pagal įprastą terminą – dirvožemio reakcija (Motuzas J. 2005), pripažinta viena iš svarbiausių dirvožemio savybių, lemiančių cheminius-geocheminius procesus, nuo kurių priklauso dirvožemio buferingumas, galiausiai dirvožemio ir visos geosistemos jautrumas cheminiam ir mechaniniam poveikiui. Dirvožemio funkcionavimo kokybė didele dalimi priklauso nuo jame susiformavusios mikroorganizmų bendrijos. Mikroorganizmų ir bendrosios anglies kaupimasi dirvožemyje be pH tai pat didele dalimi įtakoja sunkieji metalai. Sunkieji metalai, patekę į dirvą, stabdo augalui reikalingų maisto medžiagų įsisavinimą, šaknų augimą, sukelia jaunų augalų chlorozes, lapų nekrozes, įvairius augalų fiziologijos sutrikimus (Baltrėnas P., Pranskevičius M. 2009).

3.1. Dirvožemio pH, sunkiųjų metalų nustatymo bei ėminių paėmimo metodika

Dirvožemio ėminiai bendrosios anglies kiekiui nustatyti paimti šalia Neries regioninio parko Buivydų gyvenvietės (3.1 pav.). Analizei surinkti dirvožemiai iš skirtingos panaudos dirvožemių. Buvo paimti pievos, ariamo lauko ir miško dirvožemių.

3.1 pav. Dirvožemio pH erdvinės struktūros margumas (Volungevičius 2006) ir ėminių paėmimo vieta šalia Buivydų gyvenvietės

Fig. 3.1. Soil pH spatial structure of diversity (Volungevicius 2006) and sampling location near the village Buivydai

Pievos dirvožemio ėminiai paimti dviejose vietose išnagrinėti bendrosios anglies kiekius, esant reljefo įtakai. Pirmoji tyrimo vieta parinkta autonominiame landšafte (LKS koordinatės 560633; 6077199), o antroji tyrimo vieta parinkta superakvaliniame landšafte (LKS koordinatės 560537; 6077097). Ariamo dirvo-

žemi ėminiai paimti iš lauko, kuriame buvo augintos bulvės (LKS koordinatės 560579; 6077245). Miško ėminiai paimti iš Karmazinių teritorijos (LKS koordinatės 560350; 6076563).

Dirvožemio pH nustatymo metodika parengta pagal ISO standartą ISO 10390:2005(E). Nustatymo metodas pagrįstas naudojant stiklinį elektrodą, esant distiliuoto vandens ir mėginio santykiui 5 : 1,1 mol/l kalio chlorido (pH kalio chloride KCl) arba 0,01 mol/l kalcio chlorido tirpale (pH kalcio chloride CaCl₂). Analizei naudojama 2 mm dirvožemio frakcija. Ėminį prieš analizę džiovinti nedidesnėje nei 40 °C. Mėginiai ruošiami pH analizei laikantis ISO 11464 standarto. Imti 5 ml paruošto dirvožemio ir supilti į konusinę kolbutę. Mėginį užpilti 25 ml kalio chlorido arba kalcio chlorido tirpalu. Mėginį maišyti 10±60 min, naudojant laboratorinį kratytuvą.

Matavimas atliekamas, esant 2±20 °C temperatūrai. pH reikšmė pateikiama dviejų ženklų po kablelio tikslumu (pH=0,02).

Sunkiųjų metalų bendro kiekio dirvožemyje mėginio paruošimas atominės absorbcijos spektrometrijos (AAS) metodui deginant „Karališkajame vandenyje“ 10 g kieto mėginio džiovinama 105 °C temperatūroje 2 val. Išdžiovintas mėginys sijojamas per sietus su 1 mm skersmens akutėmis. 5 g išdžiovinto mėginio vėl džiovinama 105 °C 30 min. Ataušinama eksikatoriuje, pasverama 0,0001 g tikslumu 1–1,5 g. Atsvertas mėginys supilamas į plastikinį indelį. Sudrėkinamas 0,5–1,0 ml dejonizuoto vandens ir maža srovele pilamos rūgštys: 21 ml konc. HCl, 7 ml konc. HNO₃.

Po mineralizavimo indelis su mėginiu atvėsinamas iki 50–70 °C. Tada tirpalas iš indelio filtruojamas per stiklo filtrą į 50 ml kolbutę. Indelis maža srovele praplaunamas 5 ml praskiesta 1:1 HNCh, o po to – 5 ml dejonizuoto vandens. Šie praplovimo skysčiai filtruojami per stiklo filtrą. Nufiltravus iki žymės kolbutėje skiedžiama su dejonizuotu vandeniu. Po to tyrinėjamos metalų koncentracijos spektrometru Buck Scientific 210 VGP su oro – acetileno liepsna. Jeigu mėginys labai užterštas organinėmis medžiagomis, tuomet atsveriamo 10–20 g mėginio į porcelianinius tiglius ir mufelyje deginama prie 450 °C 12 val. Po to 1,0–1,5 g dirvožemio mineralizuojama mineralizatoriuje su „karališka degtine“. Metodus remiasi elemento koncentracijos matavimais mėginyje naudojant liepsnos atominę absorbcinę spektrometriją. Nustatymo sąlygos pateiktos 3.2 lentelėje. Sunkiųjų metalų nustatymui naudoti Atominis absorbcinis spektrometras „Buck Scientific“ 210 VGP ir Mikrobanginis mineralizatorius „Milestone Ethos“.

Analizuojamų sunkiųjų metalų diferenciacija landšaftinėje pievos katoje gana aiškiai pasireiškia tiriant jų lateralsios diferenciacijos koeficientus, kurie apskaičiuojami pagal formulę:

$$K_{ld}^i = C_{sa}^i / C_{te}^i, \quad (3.1)$$

čia K_{ld}^i – lateraliosios diferenciacijos elemento i koeficientas; C_{sa}^i – cheminio elemento i koncentracija superakvalinio landšafto dirvožemyje (atitinkamame gylyje), mg/kg; C_{te}^i – cheminio elemento i koncentracija horizontaliame landšafto dirvožemyje (tame pat gylyje), mg/kg.

Cheminių elementų elgesį vertikaliame dirvožemių profilyje galima apibūdinti jų radialios diferenciacijos koeficientais, surandamais pagal formulę:

$$K_{rd}^i = C_j^i / C_c^i, \quad (3.2)$$

čia K_{rd}^i – radialios diferenciacijos elemento i koeficientas atitinkamame elementariame landšafte; C_j^i – cheminio elemento i koncentracija dirvožemio horizonte j , mg/kg; C_c^i – cheminio elemento i koncentracija dirvodarinėse uolienose, mg/kg.

3.2. Dirvožemio bendrosios anglies kiekio, pH ir sunkiųjų metalų natūriniai tyrimai Neries regioniniame parke duomenys ir analizė

Atlikinėjant dirvožemio bendrosios anglies ir pH tyrimus nustatyta, kad pievos dirvožemio ėminiuose bendrosios anglies kiekis pasiskirstė tolygiai mažėjančia tendencija didėjant gyliui sudėtinuose ėminiuose. Sudėtiniai ėminiai imami iki 1 kg dirvožemio masės. Šie ėminiai imti iš kiekvienos ėminių paėmimo vietos ir to paties gylio. Paimtas ėminiai homogenizuojamas siekiant gauti detalesnius tyrimo duomenis. Giluminiame ėminyje paimti ėminiai naudojant grąžtą. Juo paimami dirvožemio ėminiai iki 1 metro gylio. Analizės metu atskleidžiamas dirvožemio bendrosios anglies pasiskirstymas pagal gylį.

Žvelgiant į 0–10 cm gylį nustatyta, kad tiek sudėtiniam tiek ir giluminio ėminio 0–20 cm tyrimo duomenys kinta. Tačiau, skirtumas buvo tik 0,196%. 10–20 cm gylyje bendrosios anglies kiekis taip pat atitinka sudėtinio ėminio bendrosios anglies kiekis su nedideliu skirtumu. Didžiausias bendrosios anglies kiekis nustatytas 60–80 cm gylyje ir siekė – 4,416%. Palyginus su paviršinio luoksnio tyrimo duomenimis matyti, kad bendrosios anglies kiekis 60–80 cm yra didesnis 0,348%. Tolesni tyrimai atskleidė staigų bendrosios anglies kiekio sumažėjimą 80–100 cm gylyje. Atlikus tyrimus padaryta išvada, kad bendrosios anglies kiekis šiame dirvožemyje pasiskirstęs iki 80 cm gylio su tendencija kauptis (3.2 pav.).

pH tyrimo duomenis nustatyta, kad sudėtinuose ėminiuose iki 30 cm gylio pH reikšmė kinta ribose nuo 7,4 iki 7,51. Nežymus padidėjimas nustatytas 10–20 cm gylyje. Giluminiame ėminyje nustatyta, kad pH reikšmė didėjant gyliui

palaipsniui didėjo iki 60 cm gylio. Nuo 60 cm gylio pH reikšmės kito sąlyginai mažose ribose ir vidutinė vertė siekė 7,3 (3,2 pav.).

Atlikus bendrosios anglies tyrimus transeliuvinio landšafto pievoje nustatyta, kad bendrosios anglies kiekiai giluminiuose ėminiuose kito tolygiai mažėjant. Sudėtiniuose ėminiuose šie kiekiai kito taipogi mažėjimo kryptimi. Tačiau, palyginus abi ejužminių bendrosios anglies kiekius nustatyta, kad bendrosios anglies kiekis kito mažai iki 1%. Iš ankstesnių tyrimų nustatyta, kad didžiausis bendrosios anglies kiekiai gaunami superakvalinio landšafto ėminiuose. transeliuviniai landšaftai veikiami vėjo ir vandens erozijos netenka dirvožemyje esančios anglies. Dėl to bendrosios anglies tyrimai parodo mažesnius kiekius, kadangi dalis anglies kiekio yra išplaunama.

pH reikšmės nustatytos antroje pievos tyrimo vietoje gauta, kad sudėtiniuose ėminiuose pH reikšmės nuo 20 cm gylio palaipsniui didėjo, o 0–10 cm gylyje nustatyta didžiausia reikšmė – 5,57.

3.2 pav. Dirvožemio pH ir bendrosios anglies kiekis pirmoje pievos tyrimo vietoje: A – giluminiame ėminyje; B – sudėtiniame ėminyje

Fig. 3.2. Soil pH and total carbon quantity in first meadow investigation site: A – a abyssal sample B – a composite sample

Miško dirvožemyje bendrosios anglies kiekiai giluminiuose ėminiuose kito nuo 2,182 iki 2,282%, esant 40 cm gyliui (3.4 pav.). Paviršiniuose sluoksniuose bendrosios anglies kiekis sudėtiniuose ėminiuose 1,4 karto didesnis nei giluminiuose. Taip pat ir kituose gyliuose bendrosios anglies kiekis sudėtiniuose ėminiuose buvo didesnis nei giluminiuose. Vertinant landšafto bendrosios anglies kiekius, juos geriausiai atspindėjo giluminiai ėminiai.

pH reikšmės miško dirvožemyje taip pat pasiskirstė pagal gylį didėjančia tvarka. Nežymus pH kitimas nustatytas tik iki 60 cm gylio. Tačiau gilesniuose

sluoksniuose pH didėjimas priklauso nuo gylio. Tačiau reikia pastebėti, kad didžiausia nustatyta pH sudėtinio ėminio reikšmė atitiko 60 cm gylyje esančią reikšmę giluminiame ėminyje. Tačiau, bendra tendencija išliko ta pati: didėjant gyliui pH reikšmės didėja, o bendroji anglies mažėja (3.4 pav.).

3.3 pav. Dirvožemio pH ir bendrosios anglies kiekis antroje pievos tyrimo vietoje: A – giluminiame ėminyje; B – sudėtiniame ėminyje

Fig. 3.3. Soil pH and total carbon quantity in second meadow investigation site: A – a abyssal sample B – a composite sample

3.4 pav. Dirvožemio pH ir bendrosios anglies kiekis miško dirvožemyje: A – giluminiame ėminyje; B – sudėtiniame ėminyje

Fig. 3.4. Soil pH and total carbon quantity in forest soil: A – a abyssal sample B – a composite sample

3.5 pav. Dirvožemio pH ir bendrosios anglies kiekis ariamame dirvožemyje: A – giluminiame ėminyje; B – sudėtiniame ėminyje
Fig. 3.5. Soil pH and total carbon quantity in arable soil: A – a abyssal sample B – a composite sample

Ariamame dirvožemyje bendrosios anglies kiekis nustatytas mažiausias iš visų analizuotų dirvožemių ėminių (3.5 pav.). Šiame dirvožemyje anglies kiekis giluminiuose ėminiuose paviršiuose sluoksniuose siekė 1,486%. Gilesniuose sluoksniuose bendrosios anglies kiekiai staigiai sumažėjo. Imant dirvožemio ėminius nustatyta, kad nuo 30 cm gylio prasidėjo smėlis. Sudėtiniuose ėminiuose bendrosios anglies kiekis dirvožemio profilyje sumažėjo net iki 8,7 kartų.

Palyginus bendrosios anglies giluminių ėminių kiekius su analizuojamais dirvožemiais nustatyta, kad ariamo dirvožemio bendrosios anglies kiekis paviršiniame sluoksnyje mažesnis 2,7 karto nei autonominio landšafto pievos ėminyje ir 0,8 karto nei transeliuvinio landšafto pievoje, o miško dirvožemyje 1,5 karto daugiau.

Sunkiųjų metalų tyrimai atlikti siekiant įvertinti dirvožemių užterštumą. Atliekant tyrimus buvo įvertinti Zn, Cu ir Pb sunkieji metalai. Metalų pasirinkimą įtakojo jų judrumas dirvožemyje. Sunkieji metalai tokie kaip Mn, Zn, Cu yra judrūs metalai. Šie metalai prie atitinkamų pH reikšmių gali būti išplaunami iš dirvožemio į gilesnius sluoksnius. Švinas tuo tarpu parinktas kaip mažiausiai judrus metalas.

Miško dirvožemio analizės metu nustatyta, kad didžiausios vario ir cinko koncentracijos buvo kuomet dirvožemio buvo esant pH 6,39 ir siekė atitinkamai 36,1 ir 98,5 mg/l. Švino koncentracija didžiausia buvo esant pH 5,34–292 mg/l.

Ariamo dirvožemio sunkiųjų metalų pasiskirstymui įtakos turi mechaninis dirvožemio apdirbimas. Šiame dirvožemyje didžiausių koncentracijų maksimumai judriesiems metalams nustatyti esant pH reikšmėms: cinkui – 6,43 (96,5

mg/l), variui – 6,43 (37,9 mg/l). Didžiausia švino koncentracija nustatyta, esant pH reikšmei 6,53 (17,7 mg/l).

Pievos dirvožemyje didžiausios sunkiųjų metalų koncentracijos, esant pH reikšmėms: cinko 6 (67,7 mg/l), variu 6,2 (39,7 mg/l). Švino daugiausiai nustatyta tuomet kai pH buvo tarp 6,2 ir 6,6 ir kito nuo 14,6 iki 16,5 mg/l.

Kadangi analizuojamųjų sunkiųjų metalų koncentracija visuose mėginiuose žymiai mažesnė nustatytą HN–60:2004 ribinių dirvožemyje verčių, apie jų užterštumą metalais kalbėti neverta. Todėl toliau analizė lies tikrai metalų pasiskirstymą įvairiuose dirvožemiuose pagal žemėnaudos tipą, gylį.

3.6 pav. Lateralioji metalų diferencijacija pievos dirvožemiuose

Fig. 3.6. Horizontal heavy metal differentiation in grassland soils

Daugiau ar mažiau visų metalų koncentracijos priklausomos nuo atitinkamo žemės ploto paskirties. Taip paviršutiniame puveningame dirvožemio horizonte (gylis 0–20 cm) maksimalios cinko ir vario koncentracijos būdingos superakvalinio landšafto pievai, tuo tarpu kaip švino – miško dirvožemiui. Žemutiniame dirvožemio horizonte (60–80 cm) maksimalia cinko koncentracija išsiskiria miškas, vario – miškas ir dirbamoji žemė, švino – pieva superakvalinio landšafto pozicijoje (3.6 pav.).

Kaip tai atrodo ištirtuose pievos plotuose pateikta (3.1 pav). Daugelyje atvejų $K^i_{ld} > 1$, t. y. visi trys metalai superakvalinio pievų landšafto dirvožemyje rodo tendenciją kauptis. Nuosekliausiai šis pasireiškia cinko atžvilgiu, kurio K^i_{ld} mažėja nuo 2,56 gilyje 0–20 cm iki 1,21 gilyje 60–80 cm. Švino ir vario lateraliųjų diferenciacijos koeficientai su nedaugeliu sunkiai paaiškinamų išimčių rodo tą patį tendenciją. Ribota analitinė medžiaga kol kas neleidžia argumentuotai paaiškinti šio koeficiento mažesnes kaip 1,0 reikšmes.

Vertikaliąjį elementų diferenciaciją miško dirvožemyje pateikta (3.7 pav). Kaip matosi, ji gana skirtinga: geriau tirpūs ir judrūs rūgštinguose (pH=5,3–6,5) miško dirvožemiuose cinkas ir varis dirvodariniais procesais daugiausia iššarmi-

nami, eliminuojami iš dirvodarinių uolienų ($K_{rd}^i < 1$). Ypatingai aktyviai iššarminimas vyksta paviršutiniame dirvožemio horizonte ir kiek giliau, pasireiškiant jaurėjimo procesams. Švinas kaip geochemiškai mažiau judrus elementas skirtingai nuo cinko ir vario visuose dirvožemio horizontuose palyginant su dirvodarinėmis uolienomis kaupiasi, ypač praturtintame bendrosios anglies ir humuso puveniniame horizonte A1.

3.7 pav. Sunkiųjų metalų diferenciacija transeliuvinio landšafto pievos dirvožemio profilyje

Fig 3.7. Heavy metals differentiation transelluvial landscape meadow soil profile

Kiek kitaip vertikalioji Zn, Pb ir Cu diferenciacija pasireiškia pievos dirvožemyje transeliuvinio, artimo eliuviniam landšafto pozicijoje (3.8 pav.). Pirma, diferenciacija čia mažiau kontrastinga (K_{rd}^{Zn} vos viršija 1,6). Antra, skirtingai nuo miško dirvožemio tarp iššarminamų cheminių elementų čia yra ir švinas, minimali koncentracija kurio sutampa su minimaliąja bendros anglies koncentracija jauriniame dirvožemio horizonte A2. Padidėjusiomis švino ir vario koncentracijomis žymimas iliuvinis dirvožemio horizontas B.

3.8 pav. Sunkiųjų metalų diferenciacija miško dirvožemio profilyje

Fig. 3.8. Heavy metals in forest soil profile differentiation

Superakvaliniai H^+ – klasės vandens migracijos landšaftai, kaip žinoma, paprastai apibūdinami kaip išplautų iš eliuvinų ir transeliuvinų landšaftų dirvožemių cheminių elementų kaupimosi vieta. Šiam palanki yra bendra susidaranti juose geocheminė situacija: sustiprėjus mechaninis hidrodinaminis ir sorbcinis susijęs su molio mineralų ir humuso kaupimusi geocheminiai barjerai, pastovus paviršutinis ir intradirvožeminis tirpių vandenyje metalų junginių įplaukimas, padidintas dirvožemio storis ir veikiantis jame filtracinis geocheminis barjeras. Taip, paviršutiniuose dirvožemio horizontuose iki gylio 35–40 cm bendrosios anglies kiekis viršija jos atitinkamą kiekį transeliuvinio pievos landšafto pozicijoje nuo 2,9 iki 3,3 kartų, o iliuviniame horizonte B – net 18,2 kartų.

3.9 pav. Sunkiųjų metalų diferencijacija superakvalinio pievos dirvožemio profilyje

Fig. 3.9. Heavy metals differentiation supraqual landscape meadow soil profile

Nenuostabu, kad tokiose sąlygose ypač intensyviai kaupiasi ir sorbuojami humusu iš dirvožemio tirpalų metalai. Kaip išplaukia iš 3.9 pav., aktyviau yra kaupiami cinkas ir švinas, ypač puveningame dirvožemio horizonte. Tiesa, nevisai aiški priežastis anomaliai mažos švino koncentracijos viršutinėje šio horizonto dalyje. Turbūt kiek tai galima orientuotis apžvelgiamų metalų fulva-kompleksų silpnai rūgštingoje ($\text{pH} \approx 5,0$) terpėje stabilumu. Sulig R. Bruksio, tokiose sąlygose jų junginių stabilumas atitinka eilei $\text{Cu} > \text{Pb} > \text{Zn}$. Šis reikštų, kad transeliuvinio landšafto sąlygose organiniuose kompleksuose geriau migruotų Cu ir Pb (ir jų mažiau liktų šio dirvožemio sudėtyje). Be to, jie skirtingai nuo Zn lengviau įveiktų šarminį superakvalinio landšafto dirvožemio geocheminį barjerą, ypačingai švinas.

Kaip ir transeliuvinio landšafto atžvilgiu, čia taip pat matosi nevisai aiškos prigimtios geochemiškai judresnių Zn ir Cu betarpiškai aukščiau dirvodarinės molingos uolienos minimumas, kuris kaip ir ankščiau preliminariai siejamas su artimais sufozijai išplovimo ir padidėjusios vandens apykaitos procesais.

3.3. Trečiojo skyriaus išvados

1. Įvertinus giluminius ir sudėtinius ėminius nustatyta, kad vidutiniai bendrosios anglies kiekiai daugeliu atveju giluminių ėminių tyrimuose yra mažesni. Pievos ėminiuose skirtumas siekė 2,1 karto traneliuviniam landšafte. Miško dirvožemyje – 1,5 karto, o ariamame dirvožemyje 1,6 karto mažesni.
2. Ariamame dirvožemyje pagal atliktus tyrimus nustatyta, kad dėl dirvožemio apdirbimo buvo sunku įvertinti geocheminius barjerus, kadangi natūralų gamtinį humusingą A horizontą pakeičia AA tipo horizontas iki 26 cm gylio. Priklausomai nuo arimo pobūdžio suariama ir dalis po A₁ buvusio eliuvinio A₂ (E) horizonto. Nustatyta, kad anglies kiekis dėl sorcinių savybių yra labiau susijęs su švino kiekiu. Pagal kitus nustatinėjamus metalus, kurie dirvožemyje yra judresni nei švinas buvo nustatytas filtracinis geocheminis barjeras.
3. Lateralioji metalų diferenciacija pievos landšaftų katenoje transeliuvinis – superakvalinis landšaftai pasireiškia jų kaupimusi superakvalinio landšafto dirvožemyje, ypačingai jo paviršiniuose horizontuose, kuriuose reikšmingiausią diferenciacijos koeficientą rodo cinkas (2,56 gylyje 0–20 cm). Gilesniuose dirvožemio horizontuose lateralių diferenciacijos koeficiento reikšmės mažėja, daugelyje atvejų vis tiksliai nurodydamos į metalų kaupimosi tendenciją.
4. Išanalizavus sunkiųjų metalų migracija miško dirvožemyje nustatytas tendencingas geocheminis barjeras B horizonte, vadinamame iliuviniu. Dėl šio barjero nuo 40 cm gylio nustatytas sunkiųjų metalų ir bendrosios anglies kaupimasis.
5. Kaip kombinuotais geocheminis barjeras (filtracinis+sorbacinis) dirvožemiuose veikia jų iliuvinis (moliuotais) horizontas, pasižymintis humuso ir sunkiųjų metalų akumuliacija.

Anglies dioksido emisijų išsiskyrimo iš Neries regioninio parko dirvožemių natūriniai tyrimai

Tyrimų tikslas buvo nustatyti anglies dioksido emisijos dydį skirtingos panaudos tipo dirvožemiuose. Gauti duomenys bus naudojami dirvožemio bendrosios anglies ir anglies dioksido emisijų ryšį nustatant modeliavimo būdu. Matuojama prietaisu ADC SRS–1000, kurio veikimas pagrįstas infraraudonųjų spindulių absorbcija. Matavimai buvo atlikti rugsėjo ir rugpjūčio mėnesiais. Matavimo metu užfiksuotos anglies emisijos dydžio vertės, aplinkos rodikliai ir prietaisu įvertintas dirvožemio drėgnis (Baltrėnas P., Pranskevičius M., Lietuvninkas A. 2010).

4.1. Anglies dioksido emisijos tyrimo metodika

Anglies dioksido emisijos tyrimai buvo atliekami tose vietose (4.1 pav.), kuriose atlikti bendrosios anglies tyrimai. Šios tyrimo vietos parinktos, norit įvertinti bendrosios anglies ir anglies dioksido emisijų sąsają.

4.1 pav. Neries regioninio parko dirvožemio anglies dioksido emisijų matavimo vietos

Fig. 4.1. Carbon dioxide emissions measurement location in the Regional Park of Neris soils

Anglies dioksido išsiskyrimo iš dirvožemio prietaisą ADC SRS–1000 sudaro kompaktiška programavimo konsolė, dirvožemio kvėpavimo kamera ir metalinis žiedas, prie kurio tvirtinama matavimo kamera. Matuojant metalinis žiedas įsmeigiamas į dirvožemį. (4.2 pav.)

Anglies dioksido emisija buvo matuojama kas valandą visų trijų panaudos tipų dirvožemyje, siekiant fiksuoti tiesioginį duomenų ryšį su atmosferos sąlygomis.

Pasirinkus norimą analizės vietą, programavimo konsolė sujungiama su dirvožemio kvėpavimo kamera. Į parinktą vietą įsmeigiamas metalinis žiedas ir prie jo pritvirtinama kamera. Žiedas įsmeigiamas statmenai dirvožemiui ir paliekamas 20 minučių. Matavimo metu kameroje negali būti žolių ar kitų daiktams galinčių pakenkti elementų. Šalia žiedo smeigiamas dirvos temperatūros jutiklis, matuojantis dirvožemio temperatūrą 5 cm gylyje, ir sustumiamasis vamzdis. Pastaruoju prietaisas tiekia anglies dioksidą iš atmosferos 3 metrų aukštyje. Toks aukštis parinktas, kad matavimui įtakos daryti negalėtų matuojantis asmuo. Ma-

tuojama 20–30 minučių, stebint anglies dioksido emisijos svyravimus. Duomenys automatiškai įrašomi į atminties laikmeną

4.2 pav. Anglies dioksido emisijų išsiskyrimo iš dirvožemio matavimo prietaisas ADC SRS-1000

Fig. 4.2. Carbon dioxide emissions from the soil release measurement device ADC SRS-1000

Konsolę sudaro gaubtas su ventiliacijos ir slėgio vožtuvu. Temperatūros zondas skirtas išsamiai analizei. Jis įsmeigiamas į dirvožemį šalia gaubto. Nerūdijančio plieno žiedas skirtas matavimo kamerai į dirvožemį įsmeigti ir tvirtinti. Nominalus gaubto plotas – 111 cm^2 ; tūris – 995 cm^3 . Jeigu gaubto dangtis įsmeigiamas į dirvožemį, efektyvus jo tūris sumažėja. Faktinį tūrį galima apskaičiuoti esančios dirvožemyje dangčio dalies aukštį dauginant iš dirvožemio ploto ir šį skaičių atimant iš gaubto tūrio.

Tyrimų metu žiedas įsmeigiamas iki žymos, todėl maksimali jo talpa lygi $682,5 \text{ cm}^3$ ($\sim 682 \text{ cm}^3$). Bendras maksimalus analizuojamas tūris apskaičiuojamas gaubto tūrį sudėjus su apskaičiuotuoju žiedo tūriu, kuris yra lygus 1650 cm^3 . Bendras tyrimo metu analizuojamas tūris, kai nuo žiedo ribų lieka du centimetrai, yra 1163 cm^3 . (Prarastas tūris, kai neįsmeigti 2 cm, yra lygus 195 cm^3 . Analizuojamas tūris nustatomas prie nominalaus 968 cm^3 pridėjus prarastąjį – 195 cm^3 .)

Į dirvožemio gaubtą patenka įprastas oras. Gaubtas įleidžia analizuojamą orą į kamerą tokiu pat būdu kaip ir standartinėse kamerose. Oro srautas, patenkantis į dirvožemio gaubtą, kontroliuojamas funkcijos „Uset“, kuri yra konfigūracijos „LCi/Pro“ meniu. Srauto dydis tyrimo metu gali nežymiai kisti, iki 200 ribos. Oro perteklius nukreipiamas į gaubtą, o slėgio vožtuvas užtikrina, kad

kameroje būtų palaikomas normalus oro slėgis, kuris netrikdytų dujų apykaitos vykstant dirvožemio ir oro sąveikai.

Gaubto viduje esančio oro temperatūra ir drėgmė kontroliuojama įprastu būdu – kameros jutikliais T_{ch} , E_{an} , E_{ref} . Dirvožemio temperatūra matuojama specialiu temperatūros jutikliu, kuris sujungtas su rankenos lizdu. Jis turi tą patį termorezistorių kaip ir lapų temperatūros zondas, kuris pasižymi žema nelineine reakcija, kompensuojama analizatoriaus programinės įrangos.

Tyrimo metu žiedas į dirvožemį įsmeigiamas tokiu gyliu, kokio reikia difuzijai pašalinti. Jeigu, tarkim, dirvožemis purus, žiedą reikia įstumti kuo giliau, kad būtų sumažintas dujų prasiskverbimas ir užtikrinta geresnė gaubto atrama. Žiedą įsmeigus, uždedamas gaubtas. Pradėjus matuoti, atliekamas srauto kontrolės kalibravimas. Tai svarbu, nes dėl padidėjusio gaubte dirvožemio kiekio gali pakisti dujų nusėdimo laikas, ypač jeigu srautas mažas. Jeigu nusėdimo laikas trumpas, duomenys gali būti netikslūs. Bandymai parodė, kad kalibravimą geriausia atlikti tada, kai nustatytas srautas yra $100 \mu\text{mols s}^{-1}$ ir laiko dujoms nusėsti pakanka esant bet kokiam srauto greičiui, didesniau už $100 \mu\text{mols s}^{-1}$. Kalibravimas kartojamas tik tada, jeigu srauto greitis nesiekia $100 \mu\text{mols s}^{-1}$.

Perskaičiuoti galima pagal srauto matavimus, naudojantis U ir patenkančio į kamerą CO_2 koncentracija C_{ref} , bei išeinančio iš kameros CO_2 koncentracija C_{an} .

$$C_{an} - C_{ref} = \Delta C, \quad (4.1)$$

$$C_s = \Delta C \cdot U_{mol}, \quad (4.2)$$

$$U_{mol} = \frac{U}{10^6}, \quad (4.3)$$

čia C_{ref} – standartinis CO_2 koncentracijos vienetas, $\mu\text{mols s}^{-1}$; C_{an} – analizės CO_2 koncentracijos vienetas, $\mu\text{mols s}^{-1}$; U – srautas į kamerą, $\mu\text{mol s}^{-1}$.

Darbui lauke naudojamas teleskopinis zondas, kuriuo oras tiekiamas į prietaisą. Zondas sudarytas iš teleskopinio vamzdžio ir kuoliuko, naudojamo zondui tvirtinti dirvožemyje. Zondo paskirtis – tiekti šviežią orą, kuris nebūtų paveiktas matuotojo ar vietos augalijos. Zondo aukštis – 4 metrai.

Prieš paleidžiant prietaisą, įsitikinama, ar natrio kalcio silikato užpildas nepakeitė spalvos. Naujo, ką tik užpildo, natrio kalcio silikato užpildo spalva yra šviesiai žalsva. Pakitęs užpildas – gelsvai rudas.

4.2. Anglies dioksido emisijų natūriniai tyrimai skirtingos panaudos dirvožemiuose Neries regioniniame parke duomenys ir analizė

Tyrimai atlikti rugpjūčio, rugsėjo mėnesiais. Matavimo metu aplinkos oro temperatūra kito nuo 8,7 iki 18,6 laipsnio. Analizė buvo siekiama įvertinti emisijos dydžius ir tam įtaką darančius faktorius. Anglies dioksido išsiskyrimui įtakos turi tokie veiksniai, kaip drėgmė, temperatūra, mikroorganizmų aktyvumas, dirvožemio tipas. Buvo analizuojami smėlžemiai. Smėlžemiuose gausu žvirgždo ir smėlio – tokie yra tipiniai pušynai, kurių dirvožemio paviršiuje susikaupęs 20–30 cm puviningas sluoksnis.

4.3 pav. Aplinkos oro temperatūros kitimas anglies dioksido emisijos iš dirvožemio tyrimų metu 2010 m. rudenį

Fig. 4.3. Ambient air temperature variation of carbon dioxide emissions investigation from the soil sites in 2010 Autumn

Stebint aplinkos rodiklius nustatyta, kad rugpjūčio 31 dieną aplinkos oro temperatūra kito nuo 12 °C iki 18,6 °C laipsnių. (4.3 pav.) Aplinkos oro temperatūros pikas buvo nustatytas 11–17 valandomis. Šiomis valandomis vidutinė aplinkos oro temperatūra buvo 17,9 °C. Rugsėjo 2 dieną aplinkos oro temperatūra buvo žemiausia per visą matavimų laikotarpį – 8,7 °C, tačiau nuo 10 valandos ryto, sumažėjus debesuotumui, pakilo ir dieną svyravo apie 12,4 °C. Matavimo metu aplinkos oro temperatūra kelis kartus buvo šoktelėjusi iki 13 °C. Rugsėjo 10 dieną aplinkos oro temperatūra pasiskirstė tolygiai visos dienos metu ir kito nuo 9,2 °C iki 9,9 °C. Tyrimo metu buvo apsiniaukę, stiprus vėjas ir didelė tikimybė lietaus.

4.4 pav. Aplinkos oro drėgmės kitimas anglies dioksido emisijos iš dirvožemio tyrimų metu 2010 m. rudens sezonu

Fig. 4.4. Ambient air humidity variation of carbon dioxide emissions investigation from the soil sites in 2010 Autumn

Aplinkos drėgmės stebėjimas leido įvertinti aplinkos sąlygas ir lietaus tikimybę. Literatūros duomenys rodo, kad net silpnas lietus gali sumažinti anglies dioksido emisijos kiekius. Padidėjusi drėgmė dirvožemyje mažina poringumą, o tai neleidžia išsiskirti anglies dioksidui. Be to, didesnė drėgmė lėtina mikroorganizmų veiklą ir mažina dirvožemio temperatūrą. 20% dirvožemio drėgnis, atsižvelgiant į tipą, laikomas optimaliu: esant tokiam drėgmės kiekiui, mikroorganizmai aktyviausiai skaido organines medžiagas. Mažesnė dirvožemio temperatūra taip pat skatina dirvožemio oro tirpumą vandens plėvelėse ir kapiliaruose.

Aplinkos drėgmės duomenys rodo, kad rugpjūčio 31 d. aplinkos oro drėgmės vidutinė reikšmė buvo 62,4%. Apžvelgiant ankstesnes dienas, nustatyta, kad dirvožemis nebuvo visai išdžiūvęs po praėjusio lietaus. Literatūroje nurodoma, kad matuoti geriausia praėjus kelioms dienoms po lietaus, kai dirvožemio drėgmė normalizuojasi. Rugsėjo 2 d. tyrimų metu aplinkos oro drėgmė kito mažai – apie 46%. Rugsėjo 10 d. aplinkos oro drėgmės kitimas buvo didžiausias ir matavimui artėjant prie pabaigos pradėjo llynoti (17–18 val.).

Analizuojant drėgmės rodiklius matyti, kad dirvožemio drėgnumas atskirais dienos laikotarpiais buvo didesnis už aplinkos oro drėgnumą. Tyrimo metu rugpjūčio 31 d. dirvožemio drėgnumas siekė nuo 39,9% iki 65,1%. Didžiausias drėgmės kiekis dirvožemyje nustatytas tyrimų pradžioje. Nuo 8 iki 13 valandos dirvožemio drėgnis svyravo apie 57,9% vertę, o nuo 13 val. krito iki 43,5% vidutinės vertės.

4.5 pav. Dirvožemio drėgnis nustytas anglies dioksido emisijų matuokliu
Fig. 4.5. Soil moisture measured at carbon dioxide emissions measuring device

Iš tyrimo rodiklių matyti, kad aplinkos oro temperatūra išliko ganėtinai stabili ir vakarop nukrito tik apie 2 °C, tuo tarpu aplinkos oro drėgnumas nukrito 10%. Iš to galima daryti išvadą, kad didžiausia anglies dioksido emisija turėjo būti dienos viduryje ir vakarop.

4.6 pav. CO₂ emisija pievos dirvožemyje dienos metu 2010 metais rudens sezonu
Fig. 4.6. Daily CO₂ emissions from grassland soils the autumn season in 2010

Iš 4.6 paveikslo matyti, kad anglies dioksido emisija pievos dirvožemyje didžiausia buvo dienos metu. Nuo 15 valandos sumažėjus drėgniui ir aplinkos oro temperatūrai, anglies dioksido emisija sumažėjo tik $0,014 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Tokiam mažam anglies dioksido kitimui įtakos turi drėgmės, aplinkos oro temperatūra bei vėjo greitis. Esant drėgmės pertekliui, dalis anglies dioksido ištirpsta vandens tarpuose. Temperatūra tiesiogiai daro įtaką dujų tirpumui vandenyje ir jų plėtimosi koeficientui. Vėjo greitis veikia paviršiaus dujų tankį. Esant stipriam vėjui, vyksta intensyvesnis dujų maišymasis. Kadangi anglies dioksidas yra sunkesnis už orą, pučiant stipriam vėjui, anglies dioksidas garuoja intensyviau. Atmosferos slėgis taip pat daro poveikį dujų pasiskirstymui dirvožemyje: kai jis žemas, dujos kaupiasi; atmosferos slėgiui padidėjus, vyksta dujų sklaida. Temperatūros įtaka anglies dioksido kiekiui dirvožemyje pasireiškia tuo, kad jai sumažėjus mikroorganizmų veikla taip pat sulėtėja ir net gali nutrūkti. Lemiamą vaidmenį vaidina ir drėgmė, jos perteklius taip pat stabdo mikroorganizmų veiklą. Kadangi matavimai atlikti rudens sezonu, esant borealiniam klimatui, kritulių kiekis yra 1,6 karto didesnis už išgaravimą. Dominuoja medžiagų išplovimas ir išnešimas. Rudens sezonu vandens išgaravimas susilygina su patenkančiais į dirvožemį krituliais arba yra už kritulius net menkesnis.

Pievos dirvožemyje anglies dioksido matavimai atlikti tyrimo vietoje, pavaizduotoje 4.1 paveiksle. Matavimų metu aplinkos oro temperatūra kito nuo $8,7^\circ\text{C}$ iki 18°C laipsnių šilumos. Matavimo metu buvo mažai debesuota, nelijo. Aukščiausia nustatyta aplinkos temperatūra $18\text{--}18,6^\circ\text{C}$ nuo 13 iki 16 valandos. (4.3 pav.) Šiuo laiko tarpu taip pat nustatyta didžiausia anglies dioksido emisija, ji kito nuo $0,163$ iki $0,162 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$. 8 valandą ryto anglies dioksido emisija buvo $0,159 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$ (rugpjūčio 31 d.), vakare buvo lygi $0,158 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Skirtumas tarp ryte ir vakare atliktų tyrimų yra $\sim 0,001 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Kitą dieną vidutinis išsiskyrusių anglies dioksido dujų kiekis prilygo $0,146 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$ (rugsėjo 2 d.). (4.6 pav.) Kaip matyti, palyginti su pirmos dienos matavimais, anglies dioksido kiekis antrą dieną sumažėjo $0,016 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Aplinkos oro temperatūra antrą dieną buvo mažesnė $9,2\text{--}9,9^\circ\text{C}$ laipsnio. Nustatytas dirvožemio drėgnis tuomet buvo $51,1\%$ ($8\text{--}13$ val.). Didžiausia anglies dioksido emisija nustatyta $13\text{--}16$ valandomis – $0,160 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Šiomis valandomis taip pat nustatyti dirvožemio drėgnio skirtumai: drėgnumas pasikeitė nuo 48% iki 54% . Nuo 16 valandos fiksuotas anglies dioksido emisijos mažėjimas ir dirvožemio drėgnio šuolis iki 58% . Tyrimo metu buvo protarpiais debesuota, tačiau nelijo, aplinkos oro temperatūra kito nuo $8,7^\circ\text{C}$ iki $13,5^\circ\text{C}$ laipsnio (rugsėjo 10 d.). Gauti duomenys yra labai maži, palyginti su 1 ir 2 kreivėmis. Vidutinis išsiskyrusio anglies dioksido kiekis buvo $0,142 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Dieną prieš matavimą lijo. Matavimo metu buvo apsiniaukę ir trumpai nulijo. Dirvožemio drėgmė tyrimo metu buvo $25,1\%$. Didžiausia anglies dioksido emisija fiksuota $13\text{--}15$ valandomis – nuo $0,142$ iki $0,146 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Kaip matyti iš atliktų tyrimų, nu-

statyta priklausomybė nuo aplinkos oro temperatūros ir iš dirvožemio išsiskiriančio anglies dioksido kiekio. Taip pat analizuojant gautus duomenis nustatyta, kad dirvožemyje esanti drėgmė labai sumažina anglies dioksido emisiją. Analizuojamo ploto dirvožemio drėgnumui esant 58%, vidutinė anglies dioksido emisija sudarė $0,162 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, o esant 86% drėgniui – $0,139 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Dirvožemio drėgnumui padidėjus 1,1 karto, anglies dioksido emisija sumažėjo 1,2 karto. Vidutinių reikšmių kreivėje pateikiami vidutiniai anglies dioksido išsiskyrimo kiekiai, kurie tyrimų metu kito nuo $0,147$ iki $0,150 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

Lietuvos agrarinių ir miškų mokslo centro duomenimis, organinio ūkininkavimo sistemoje žieminių kviečių pasėlio dirvožemis į atmosferą per dieną išskyrė vidutiniškai $8,8 \text{ C g m}^{-2}$; raudonųjų dobilų žolyno dirvožemis – 9 C g m^{-2} ; vasarinių miežių pasėlio dirvožemis – $4,7 \text{ C g m}^{-2}$. Intensyvaus ūkininkavimo sistemoje – atitinkamai $5,5$; $6,5$; $4,1 \text{ C g m}^{-2}$. Pagal atliktus tyrimus nustatyta, kad pievos dirvožemyje esantis anglies dioksido kiekis tesudaro $1,8 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$ per dieną, o ariamame dirvožemyje – $3,7 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$ per dieną (Feizienė 2008, 2009).

4.7 pav. CO₂ išsiskyrimas ariamame dirvožemyje dienos metu 2010 m. rudens sezonu

Fig. 4.7. Daily CO₂ emissions of arable soils the autumn season in 2010

Lietuvos agrarinių ir miškų mokslo centras atliko tyrimus vidutinio sunkumo priemolio, giliau – karbonatinio seklaus glėjiško rudžemio, kuriame daugiau nei 10 metų taikoma skirtinga žemdirbystė. Įvertinus augalų dangą, nustatyta, kad ji lėmė vidutiniškai 68% didesnę dirvožemio paviršiaus kvėpavimą negu

vasarinių augalų dangą ir 25 kartus didesnę kvėpavimą negu juodasis pūdymas. Atsižvelgiant į Lietuvos žemdirbystės tyrimus, galima daryti prielaidą, kad anglies dioksido emisija ariamame dirvožemyje yra didesnė negu pievos dėl intensyvaus dirbimo, tai pat dėl augalų dangos (Feizienė 2008).

Ariamo dirvožemio plote anglies dioksido emisija kito nuo 0,301 iki 0,312 g CO₂ m⁻²h⁻¹. (Rugpjūčio 31 d.; 4.7 pav.) Tyrimo metu aplinkos oro temperatūra kito nuo 12 °C iki 18,6 °C laipsnių. Tačiau anglies dioksido emisija ariamame dirvožemyje nekinta kaip pievos dirvožemyje – ariamo dirvožemio emisija buvo nustatoma tolygi. Didžiausi anglies dioksido kiekiai nustatyti 11–14 valandų laikotarpiu, jie kito nuo 0,31 iki 0,312 g CO₂ m⁻²h⁻¹. Ryte nustatytas anglies dioksido kiekis buvo 0,302 g CO₂ m⁻²h⁻¹, o vakare – 0,301 g CO₂ m⁻²h⁻¹. Dirvožemio drėgnumas eksperimento metu sudarė 49%. Antroje kreivėje pateikiami kitos dienos matavimo duomenys, kai aplinkos oro temperatūra buvo žemesnė ir tesudarė 9,2–9,9 °C. Kaip matyti, anglies dioksido emisija sumažėjo vos 0,001 g CO₂ m⁻²h⁻¹ nuo vidutinės reikšmės. Didžiausias anglies dioksido emisijos kiekis nustatytas 11–15 valandomis – 0,309 g CO₂ m⁻²h⁻¹, o ryte ir vakare atliktų tyrimų metu skyrėsi labai nedaug – atitinkamai nuo 0,306 iki 0,304 g CO₂ m⁻²h⁻¹. Dirvožemiui įmirkus, CO₂ emisija sumažėjo perpus (Rugsėjo 10 d.). Dirvožemio įmirkimo gylis buvo apie 8 cm. Didžiausi anglies dioksido kiekiai čia nustatyti 12–14 valandomis. Rytiniai ir vakariniai matavimai rodo, kad anglies dioksido emisijos kitimo ribos buvo mažos – nuo 0,178 g CO₂ m⁻²h⁻¹ ryte iki 0,173 g CO₂ m⁻²h⁻¹ vakare. Dirvožemio drėgnis sudarė 84% (15–18 val.). Kaip ir pievos dirvožemyje, padidėjus drėgniui anglies dioksido emisija smarkiai sumažėjo. Vidutiniškai anglies dioksido emisija ariamame dirvožemyje yra didesnė negu pievoje 1,9 karto.

Kritulių kiekio padidėjimas dirvožemyje taip pat skatina intensyvesnę anglies dioksido emisiją. Lietuvos žemdirbystės institute atliktais tyrimais įrodyta, kad per augalų vegetacijos laikotarpį kritulių kiekiui padidėjus iki 11,2 mm dirvožemio kvėpavimas padidėjo vidutiniškai 0,041 g C m⁻² per dieną, o intensyvios žemdirbystės plotuose – 0,038 g C m⁻² per dieną.

Darytina prielaida, kad drėgmės kiekis yra svarbus anglies dioksido emisijai dirvožemyje. Tačiau tik augalų vegetacijos periodu jis gali padidinti anglies dioksido emisiją, nes vegetacinio periodo pabaigoje, esant žemai temperatūrai, tiek dėl mikroorganizmų veiklos, tiek dėl augalų augimo anglies dioksido emisija gali sumažėti.

Miško dirvožemio anglies dioksido emisija buvo tirta mišraus miško plote su vyraujančiais spygliuočiais. Miškas neretintas, vietovė gana kalvota, tankus hidrografinis tinklas. Tyrinėjant bendrosios anglies kiekį dirvožemyje, buvo nustatyti žymūs jos skirtumai, kuriuos, be kitų galimų veiksnių, veikė vandens plokštuminė erozija. Anglies dioksido emisija čia gali būti veikiamą paviršinės miško paklotės, todėl atliekant matavimus ji buvo šalinama iki dirvožemio. Ke-

lios dienos prieš tyrimus nelijo ir tyrimo metu dirvožemis nebuvo įdrėkęs. Dieną gauti duomenys išsiskiria stabilumu: anglies dioksido emisija kito nuo 0,259 iki 0,262 g CO₂ m⁻²h⁻¹. (4.8 pav.).

4.8 pav. CO₂ išsiskyrimas miško dirvožemyje
dienos metu 2010 m. rudens sezonu

Fig. 4.8. Daily CO₂ emissions of forest soil
the autumn season in 2010

Aktyviausia emisija nustatyta 13–15 valandomis – 0,266 g CO₂ m⁻²h. Tyrimo metu analizuojamo dirvožemio drėgnis, aplinkos temperatūrai esant 12–18,6 °C laipsnių, buvo 5,2%. Atliekant tyrimus, kai aplinkos oro temperatūra buvo 9,2–9,9 °C laipsnių, dirvožemio drėgnis sudarė 44,1–58,9%. Anglies dioksido emisija esant mažesnei aplinkos temperatūrai lyginta su rugpjūčio 31 dienos duomenimis. Rugsėjo 2 dienos duomenys atliekant tyrimus kito nuo 0,158 iki 0,164 g CO₂ m⁻²h⁻¹; anglies dioksido emisijos didėjimas nustatytas tarp 8 ir 12 valandos, jis sudarė 0,004 g CO₂ m⁻²h⁻¹. Rugsėjo 10 dienos duomenys kito nuo 0,145 iki 0,147 g CO₂ m⁻²h⁻¹; didžiausia anglies dioksido emisija nustatyta tarp 13 ir 15 valandos – 0,146 g CO₂ m⁻²h⁻¹. Apibendrinus atliktus tyrimus matyti, kad didžiausią įtaką anglies dioksido emisijai darė temperatūra. Vidutinė anglies dioksido emisija kito nuo 0,148 iki 0,147 g CO₂ m⁻²h⁻¹. Didžiausias kitimas nustatytas tarp 11 ir 15 valandos – 0,150 g CO₂ m⁻²h⁻¹. Beveik visais analizuojamais atvejais anglies dioksido emisija nuo 8 val. ryto iki 18 val. vakaro kinta mažame intervale.

Iš skirtingos panaudos plotų emituojamo anglies dioksido kiekio nustatyta, kad didžiausia emisija buvo ariamame dirvožemyje – 0,263 g CO₂ m⁻²h⁻¹; pievoje – 0,149 0,139 g CO₂ m⁻²h⁻¹; miške – 0,139 g CO₂ m⁻²h⁻¹.

Apskaičiuota, kad dirbamosiose pasaulio dirvose priešistoriniais laikais anglies kiekis dirvožemyje buvo 222 Pg, o mūsų dienomis dėl intensyvaus dirvožemių naudojimo sumažėjo iki 168 Pg. Nustatyta, kad beveik 10 proc. viso atmosferos anglies dioksido išskiriama iš dirvožemio. Mokslininkai mano, kad priešistoriniais laikais anglies dioksido kiekis Žemės atmosferoje buvo 270 ppm, 1990 m. padidėjo iki 350 ppm, o 2004 m. jau siekė 370 ppm (Feizienė 2008).

Taip pat manoma, kad augalų šaknų kvėpavimas sudaro apie 50 proc. viso dirvožemio kvėpavimo. Jo intensyvumas priklauso nuo auginamų augalų bei jų auginimo sąlygų. Taigi sudarant atitinkamas aplinkos sąlygas ir auginant skirtingus augalus galima kontroliuoti anglies emisiją. Nustatyta, kad dirvožemio kvėpavimą lemia dirvoje esantis anglies kiekis ir dirvožemio drėgmė. Be to, didėjant oro temperatūrai ir mažėjant dirvos drėgmei, dirvožemio kvėpavimas lėtėja. O laikotarpiams, kai dirvožemio drėgmės kiekis viršija 200 g kg^{-1} (20 %), dirvožemio kvėpavimas labai priklauso nuo dirvos temperatūros. Intensyviausiai dirva pradeda kvėpuoti vėlai kovo mėnesį ir tai trunka iki vasaros, per vasarą bei ankstų rudenį. Vieni autoriai teigia, kad net ir negausūs trumpalaikiai lietūs suaktyvina anglies dvideginio išsiskyrimą (taip pat ir kvėpavimą) iš dirbamosios dirvos, o kiti – kad krituliai gali tik trumpam (kelioms dienoms) suaktyvinti anglies dvideginio išsiskyrimą, o po lietaus maksimali anglies dioksido emisija nebūna tokia didelė, kaip manoma (Feizienė 2009).

Dirvožemio kvėpavimą lemia augalų dangos tipas. Labiau dirva kvėpuoja daugiamečių žolių lauke negu laukuose, kuriuose auga žemės ūkio augalai. JAV nustatyta, kad dirvose, kuriose auga augalai, dirvožemio kvėpavimas ~ 20 % didesnis negu juodajame pūdyme. Atskirais atvejais aukštesnė dirvos temperatūra juodojo pūdymo lauke didina dirvožemio kvėpavimą, todėl paliekant pūdymus anglies kaupimasis dirvoje mažėja ir šis būdas žemės ūkyje rekomenduotinas tik tuo atveju, jeigu negalima naudoti herbicidų nuo piktžolių (Feizienė 2008). Taigi, augalų rūšis turi nedidelę įtaką bendram dirvožemio kvėpavimo intensyvumui, o augalų dangos heterogeniškumas, nevienodas šaknų pasiskirstymas dirvoje ir dirvožemio fizinių savybių įvairovė tame pačiame lauke gali lemti didelius dirvožemio kvėpavimo intensyvumo skirtumus (Žemės dirbimo... 2010).

Nagrinėjant anglies dioksido emisijas nustatyta, kad jos patikimai koreliuoja su aplinkos temperatūra. Pievos dirvožemio anglies dioksido emisijos su aplinkos temperatūra koreliavo patikimai $r=0,6$. Miško dirvožemio anglies dioksido koreliacijos koeficientas lygus $r=0,5$, o ariamo dirvožemio $r=0,6$. Santykinės aplinkos drėgmės ir anglies dioksido koreliacijos koeficientai buvo neigiami. Tai rodo, kad šie parametrai yra atvirkščiai priklausomi. Pievos dirvožemio anglies dioksido emisijų koreliacijos koeficientas siekė $r=-0,3$, o miško ir ariamo dirvožemio $r=-0,4$. Be to, aplinkos santykinė drėgmė yra tiesiogiai priklausoma nuo aplinkos oro temperatūros. Dirvožemio drėgnio analizė parodė, kad anglies

dioksido emisijos, taip pat atvirkščiai priklauso nuo drėgmės kiekio dirvožemyje. Tačiau koreliacinis ryšys buvo stipresnis nei su aplinkos santikine drėgme. Pievos dirvožemio $r = -0,4$, miško $r = -0,5$, o ariamo dirvožemio $r = -0,5$.

Duomenų statistinė analizė atlikta naudojantis kompiuterine programa *Statistica 7*.

4.3. Ketvirtosios skyriaus išvados

1. Analizuojant anglies dioksido emisijų kiekius skirtingos panaudos dirvožemiuose nustatytas anglies dioksido emisijų kitimas. Žvelgiant į gautus duomenis nustatyta, kad daugiausiai anglies dioksido išsiskiria ariamame dirvožemyje $0,263 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$, o pievoje $0,149 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ir miške $0,139 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$.

2. Dirvožemio anglies dioksido emisijos turi tiesioginę priklausomybę nuo aplinkos oro temperatūros. Iš atliktų tyrimo rezultatų matyti, kad anglies dioksido emisijos sumažėjusios nuo 1,1 iki 1,6 kartų, esant temperatūros sumažėjimui nuo $18,6$ iki $8,7^\circ\text{C}$ laipsnių.

3. Nustatyta, kad dėl dirvožemio drėgmės anglies dioksido emisijos mažėja. Natūriniais tyrimais įrodyta, kad pievos dirvožemyje drėgniui padidėjus 1,1 karto anglies dioksido emisijos sumažėjo 1,2 karto. Ariamo dirvožemio drėgniui padidėjus 1,4 karto, anglies dioksido emisijos sumažėjo 1,7 karto. Miško dirvožemio drėgniui padidėjus 1,4 karto, anglies dioksido emisijos sumažėjo 1,8 karto.

4. Nagrinėjant anglies dioksido emisijas nustatyta, kad jos patikimai koreliuoja su aplinkos temperatūra. Pievos dirvožemio anglies dioksido emisijos su aplinkos temperatūra koreliavo patikimai $r = 0,6$. Miško dirvožemio anglies dioksido koreliacijos koeficientas lygus $r = 0,5$, o ariamo dirvožemio $r = 0,6$.

5. Santykinės aplinkos drėgmės ir anglies dioksido koreliacijos koeficientai buvo neigiami. Tai rodo, kad šie parametrai yra atvirkščiai priklausomi. Pievos dirvožemio anglies dioksido emisijų koreliacijos koeficientas siekė $r = -0,3$, o miško ir ariamo dirvožemio $r = -0,4$. Koreliacinis ryšys nuo dirvožemio drėgmės buvo stipresnis nei su aplinkos santikine drėgme. Pievos dirvožemio $r = -0,4$, miško $r = -0,5$, o ariamo dirvožemio $r = -0,5$.

Dirvožemio bendrosios anglies kiekio kaitos ir anglies dioksido emisijų iš skirtingos panaudos dirvožemių modeliavimas

Dirvožemio modeliavimas atliekamas naudojantis DNDC modeliavimo programa, kuri plačiai naudojama įvertinti bendrosios anglies kiekiams dirvožemyje ir išsiskiriantiems šiltnamio dujų kiekiams. Vertinimas buvo atliekamas trijų tipų dirvožemiams. Modeliavimo tikslas nustatyti išsiskyrusį anglies dioksido kiekį, įvertinti jo kaitą metų bėgyje atsižvelgiant į klimato kaitą. Vertinimo metu naudojami duomenys gauti analizuojant dirvožemio bendrosios anglies kiekius Neris regioniniame parke (Baltrėnas P., Pranskevičius M., Lietuvninkas A. 2010 m.).

5.1 Dirvožemio bendrosios anglies kiekio kitimo, bei CO₂ emisijų modeliavimas DNDC modeliu

DNDC modelis prognozuoja C ir N biogeocheminius procesus žemės ūkio ekosistemose. Modeliuojant regioniniu mastu DNDC modelis skaito įvestus duomenis iš duomenų bazės, kurioje informacija gali būti paskirstyta pagal erdvę. Modeliuojant minimalus vertinimas atliekamas imant vienerius metus, o maksimalus įvedamų duomenų kiekis gali apimti 100 metų laikotarpį.

Modelis prognozuoja augalų derlių, anglies kaupimosi, nitratų išplovimo nuostolius, anglies dioksido CO₂ išsiskyrimo kiekius. Taip pat įvertina metano CH₄, amoniako NH₃, azoto oksido NO, azoto suboksido N₂O ir diazoto N₂ dujų emisijas iš žemės ūkio dirvožemių (DNDC... 2010).

Modelis sudarytas iš dviejų komponentų (5.1 pav.). Pirmasis komponentas, sudarytas iš dirvožemio, klimato, žemės ūkio kultūrų augimo ir irimo modelio. Pirmajame komponente atliekami prognoziniai skaičiavimai: dirvožemio temperatūros, drėgmės, pH, redokso potencialo (Eh). Įvertinami klimato, dirvožemio, augmenijos ir žmonių veiklos faktoriai. Tai pat nurodomas modeliavimo laikotarpis. Modeliavimo metu buvo nurodoma meteorologiniai Vilniaus duomenys ir nurodoma, kad modeliavimas bus atliekamas 1 metus. Taipogi galima taikyti modeliavimą ir 100 metų. Tai maksimalus šio modelio vertinimo laikotarpis. Modelio minimalus vertinamas laiko tarpas – metai. Todėl modeliuojant būtina metinė meteorologija. Meteorologinę duomenų laikmeną sudaro: pradinė eilutė, kurioje nurodomi metai, ir stulpeliai, kuriuose pateikiami kasdieniniai meteorologiniai duomenys (oro temperatūra (vidutinė, minimali, maksimali), kritulių kiekis, saulės radiacija, vėjo greitis). Gauti duomenys atspindi anglies dioksido emisijų ir anglies dirvožemyje dinamiką esant blogiausiomis sąlygoms. Gauti duomenys pateikiami tekstiniame faile, kuriame duomenis grafikui sudaryti perkeliama į Excel programą. Modeliavimo metu gauti duomenys laikomi byloje, kurią sukuria pati programa. Duomenys pateikiami Excel lentelėse. Prieš modeliavimą teks nurodyti geografinę platumą t. y. buvo nurodyta 52° atitinkantis Lietuvos platumą.

Modeliavimo metu naudoti Vilniaus regiono aplinkos oro temperatūros, kritulių duomenys. Į meteorologę duomenų laikmeną įvesta vidutinė dienos temperatūra ir kritulių kiekis. Taip pat galima pasirinkti ir kitus parametrus: tokius kaip minimali ir maksimali dienos temperatūra pridedant saulės radiacijos duomenis ir vėjo greitį (5.2 pav.). Modeliuojant taip pat galima įvesti papildomus duomenis apie krituliuose esantį azoto kiekį.

Modelis vertina tik esamų metų anglies pokyčius ir anglies dioksido emisiją iš dirvožemio. Tam tikslui buvo sukurtos meteorologės laikmenos, kuriuose at-

sižvelgiant į meteorologinę prognozę pagal UTBalt7. Priimta, kad aplinkos vidutinė metinė oro temperatūra padidės 3 °C laipsniais, o vidutinis metinis kritulių kiekis 2,3%.

5.1 pav. DNDC modelio procesų modeliavimo vidinė struktūra
(DNDC... 2010)

Fig. 5.1. DNDC model for modeling the internal structure
(DNDC... 2010)

Antras komponentas sudarytas iš nitrifikacijos, denitrifikacijos modelių, prognozuoja išmetamo anglies dioksido (CO₂), metano (CH₄), amoniako (NH₃), azoto oksidas (NO), azoto suboksido (N₂O) ir diazoto (N₂) dujų kiekius išsiskiriančius iš žemės ūkio dirvožemių (5.1 pav.). Be dirvožemio organinės anglies analizuojami ir kiti anglies šaltiniai: augalų liekanos (pvz., kraikas), mikrobus biomasė, humatai (t. y. veikliosios humuso rūgštys) ir pasyvus humusas. Analizės metu atsižvelgiama į kiekvieno anglies šaltinio skilimo greičius, bei į molio ir azoto kiekį dirvožemyje. Taip pat atsižvelgiama į dirvožemio temperatūrą, drėgmę. Modelis įvertina dirvožemyje esančios anglies oksidacinius ir išplovimo procesus. C:N santykio modeliavimas antrosios dalies etape nusako vadinamąjį mažosios biologinės medžiagų apykaitos ratą, kuriame mikroorganizmai skaido augalų ir gyvūnų liekanas į paprastesnius organinius darinius ir mineralinius komponentus, kurie biologiškai sujungiami ir vėl patenka į naują šios apykaitos

ciklą. Mikroorganizmai naudoja anglies junginius energijai ir mitybai, o azotas yra būtinas DNR baltymų sintezei ir fermentams.

Pirmiausiai nurodomas dirvožemio tipas – smėlžemiai. Nurodomas nustatytas dirvožemio tankis iki 10 cm gylio. Konkrečiu atveju ariamo dirvožemio tankis buvo – $1,236 \text{ g/cm}^3$, miško dirvožemio tankis $1,198 \text{ g/cm}^3$, o pievos dirvožemio $1,425 \text{ g/cm}^3$. Įvedamas dirvožemio pH (ariamo dirvožemio buvo – 6, miško dirvožemio – 5,4 o pievos dirvožemio – 7,2). Pagal išanalizuotus bendrosios anglies kiekio duomenis vidutinė anglies koncentracija nuo 0 iki 10 cm ariamame dirvožemyje perskaičiuota iš procentinės dalies į kgC/kg dirvožemio buvo $0,022 \text{ kgC/kg}$, o pievos dirvožemyje $0,019 \text{ kgC/kg}$ ir miško dirvožemyje $0,027 \text{ kgC/kg}$.

Modelyje tai pat galima įvesti išsiskyrusį vidutinį metinį CO_2 dujų kiekį.

5.2 pav. Temperatūra, krituliai ir vėjo greičio, bei kryptių pasikartotinumai Vilniaus regione 2009 metais

Fig. 5.2. Temperature, precipitation, wind speed and directions of the Vilnius region 2009 year

Modelis įvertina skaidomos organinės anglies kitimą dirvožemyje. Vertindamas organinę anglį modelis atsižvelgia į jos transformavimą į anglies dioksidą ir ištirpusią organinę anglį, kuri susidaro kaip tarpinis organinės anglies skilimo produktas ir kuri iškarto sunaudojama mikroorganizmų. Mineralizuojantis organinei angliai ji yra dalinai verčiama į kitą organinių medžiagų grupę. Mineralizacijos metu aktyviai dalyvauja ir azotas. Modelis įvertina aerobines ir anaerobines sąlygas. Šių sąlygų metu modelis vertina dirvožemio aeracijos faktorių apskaičiuojant deguonies arba kitų oksidantų kiekį dirvožemio profilyje. Anali-

zuojama dirvožemio difuzijos matrica. Tai pat vertina fermentacijos procesus, kurių metu susidaro vandenilio sulfidas H_2S ir metanas CH_4 , kurie mažina dirvožemio Eh.

DNDC modelis leidžia tiksliai įvertinti augalų augimą. Nuo augalų augimo priklauso dirvožemyje esančio vandens kiekis ir azoto kaitos režimas. Modelis puikiai imituoja pasėlių auginimą. Įvertina didžiausią derlių, azoto poreikį dirvožemyje. Modeliavimo metu įvertinama fotosintezė, dirvožemio kvėpavimo, anglies pasiskirstymo dirvožemyje kaita, vandens ir azoto išsavinimas. Po derliaus nuėmimo modelis įvertina susidariusią šaknų biomasę dirvožemio profilyje, kitas antžemines augalų liekanas, kurios vėliau yra skaidomos ir mineralizuojamos mikroorganizmų.

5.2 Bendrosios anglies kiekio kitimo ir anglies dioksido emisijų modeliavimo duomenys ir analizė

Ariamas dirvožemis. Ariamajame dirvožemyje modeliavimo laikotarpis apėmė dešimties metų laikotarpį. Pateikti pirmųjų ir po dešimties metų laikotarpio duomenys.

5.3 pav. Bendrosios anglies kiekio pokytis po 10 metų ariamame dirvožemyje gilyje nuo 0 iki 50 cm

Fig. 5.3. Total carbon change after 10 years of arable soil depths ranging from 0 to 50 cm

Atlikus modeliavimą pirmųjų metų anglies kiekiuose nustatyta, kad bendrosios anglies kiekis 0–10 cm gylyje sumažės 8,22% t. y. 1,1 karto (5.3 pav.). Gyliuose nuo 10 iki 50 cm bendrosios anglies kiekis dirvožemyje sumažės vidutiniškai po 5,57% kas 10 cm. Lyginant su tyrimo rezultatais gautos vertės po dešimties metų turėtų sumažėti iki 1,12 karto arba procentais – 10,7%. Nesutapimas tarp tyrimo duomenų ir duomenų pateiktų modelio, esant pirmiesiems metams yra 2,7%. Bendrosios anglies kiekis 1 hektare ariamo dirvožemio per pirmus metus sumažėja nuo 87394 kgC/ha iki 86564 kgC/ha t. y. 830 kgC/ha (5.4 pav.). Po dešimties metų šiame dirvožemyje bendrosios anglies metinis kiekis sieks nuo 82339 kgC/ha iki 81887 kgC/ha (metinis skirtumas 452 kgC/ha). Po dešimties metų ariamajame dirvožemyje bendrosios anglies sumažės nuo 830 iki 452 kgC/ha t. y. 378 kgC/ha.

5.4 pav. Bendrosios anglies kiekio pokytis po 10 metų ariamame dirvožemyje

Fig. 5.4. Total carbon change after 10 years of arable soil

Anglies dioksido vidutinės emisijos iš ariamo dirvožemio pirmaisiais metais per parą iš hektaro išsiskyrė 2,28 kgCO₂/ha per parą. Didžiausios emisijos per parą nustatytos prasidėjus pavasariui – 6,84 kgCO₂/ha. Vegetaciniu periodu anglies dioksido emisijos siekė iki 4,89 kgCO₂/ha per parą. Anglies dioksido emisijų kitimą tuo metu labai įtakojo kritulių kiekis (5.5 pav.).

Mineralizacijos procesams palaikyti būtina drėgmė. Dirvožemio drėgniui sumažėjus, sumažėja ir mikrobiologinis aktyvumas. Rudenį padidėjus drėgmės

kiekiui dirvožemyje anglies dioksido emisijos taipogi padidėja. Atlikus koreliacinę analizę nustatyta, kad kritulių kiekis ir anglies dioksido emisijos koreliacijos koeficientas siekė 0,3.

5.5 pav. Anglies dioksido emisijų pokytis per parą po 10 metų ariamame dirvožemyje

Fig. 5.5. Carbon dioxide emissions per day change after 10 years of arable soil

Vidutinė anglies dioksido emisija po dešimties metų siekė $1,24 \text{ kgCO}_2/\text{ha}$. Mažėjantis bendrosios anglies kiekis paskatino ir mažesnius anglies dioksido emisijų kiekius. Anglies dioksido priklausomybė nuo kritulių kiekio išliko ta pati. Koreliacijos koeficientas siekė $-0,35$ (5.6 pav.). Patikimiausiai anglies dioksido emisijos koreliuoja, esant išmetimams $0,5 - 2 \text{ kgCO}_2/\text{ha}$ per parą. Temperatūros atžvilgiu anglies dioksido emisijos koreliacijos koeficientas siekė 0,51.

5.6 pav. Anglies dioksido emisijų priklausomybė nuo kritulių kiekio ariamame dirvožemyje, esant pirmiesiems modeliavimo metams

Fig. 5.6. Carbon dioxide emissions dependence on rainfall arable soil in the first year of modeling

5.7 pav. Bendrosios anglies kiekio priklausomybė nuo anglies dioksido emisijų ariamame dirvožemyje

Fig. 5.7. Total carbon dependence on carbon dioxide emissions of arable soils

Modeliuojant taip pat buvo įvertintas ryšys tarp bendrosios anglies kiekio dirvožemyje ir anglies dioksido emisijų. Ariamajame dirvožemyje tarp duomenų nustatytas atvirktinė koreliacija $r=-0,74$ (5.7 pav.). Statistinei analizei buvo imtos vidutinės bendrosios ir anglies dioksido reikšmės dešimties metų laikotarpyje. Taip pat, nustatyta, kad ryšys yra tendencingas. Grafike nuo 8429 kgC/ha iki 84347 kgC/ha, nuo 84347 kgC/ha iki 84618 kgC/ha ir nuo 84618 kgC/ha iki 84883 kgC/ha nustatyti tendencingi ryšio išsibarstymai. Esant daugiausiai anglies dirvožemyje išsiskyrė maksimalios emisijos anglies dioksido, kas atitinka pavasario metu vykstančius mineralizacijos procesus. Kol aplinkos oro temperatūra nėra didelė anglies dioksido emisijos kyla plaipsniui, bet vėliau dėl klimatinų rodiklių įtakos anglies dioksido emisijos pradeda mažėti. Vidurinė dalis grafiko atspindi vegetaciniu periodu vykstančius apykaitos procesus. Ir metų pabaigoje silpnėjanti medžiagų apykaita dirvožemyje atsispindi kai anglies kiekiams mažėjant mažėjo ir anglies dioksido emisijos.

Klimato kaitos atžvilgiu ariamajame dirvožemyje bendrosios anglies kiekis nežymiai padidėjo. 0–10 cm gylyje dėl padidėjusios aplinkos oro temperatūros ir kritulių kiekio bendrosios anglies kiekis padidėjo 0,9%, esant pirmiesiems metams. Po 10 metų šis padidėjimas 0–10 cm gylyje sieks 6,1% (5.8 pav.). Dėl pasislenkančių klimatinų juostų Lietuvos teritorijoje žvelgiant į šias prognozes turi

padidėti biomasės prieaugis. Modelis įvertino padidėjusios vidutinės metinės temperatūros įtaką, o taip pat įvertino ir kritulių kiekio pokytį. Tačiau šis modelis nevertina neigiamų klimatinų sąlygų, tokių kaip potvyniai ir užsitęsios sausras padarinių.

5.8 pav. Bendrosios anglies kiekio pokytis po 10 metų ariamame dirvožemyje gylyje nuo 0 iki 50 cm, įvertinus klimato įtaką

Fig. 5.8. Total carbon change after 10 years of arable soil depths ranging from 0 to 50 cm, the assessment of climate change

Kituose gyliuose bendrosios anglies kiekis pirmaisiais metais padidėjo vidutiniškai 1%. Po dešimties metų gauti duomenys parodė, kad bendrosios anglies kiekis gyliuose nuo 10 iki 50 cm turėtų padidėti vidutiniškai 7,2% (5.9 pav.). Kaip matome klimato kaitos įtaką ariamam dirvožemiui nurodė didėjančią bendrosios anglies kiekį. Tačiau, daroma prielaida, kad arčiau pusiaujo esantys dirvožemiai patirs bendrosios anglies kiekio mažėjimą, dėl mažėjančio kritulių kiekio pusiaujo klimatinėse zonose.

Anglies dioksido emisijos ariamajame dirvožemyje pagal sumodeliuotus duomenis esamoje padėtyje po 10 metų naudojimo sumažėja 379 kgCO₂/ha/metus. Mažėjimo priežastimis yra nualintas dirvožemis, kuriame bendrosios anglies per 10 naudojimo metų sumažėjo 378 kgC/ha. Prognozuojamoje padėtyje anglies dioksido emisijos dėl palankių klimatinų sąlygų augalams augti padidės per antrus metus iki 57 kgCO₂/ha/metus. Tačiau, jau nuo 3 metų naudojimo anglies dioksido emisijos mažės.

5.9 pav. Anglies dioksido emisijų pokytis ariamame dirvožemyje po 10 metų, įvertinus klimato kaitą

Fig. 5.9. Carbon dioxide emissions from arable soils change after 10 years, the assessment of climate change

Pievos dirvožemis. Pievos dirvožemyje sumodeliuoti bendrosios anglies kiekiai palyginti, su išmatuotas natūriniais tyrimais, buvo – 1,6% mažesni (0–10 cm gylys) (5.10 pav.). Nustatyta, kad per pirmus metus bendrosios anglies kiekis pievos dirvožemio profilyje (0–50 cm) sumažės 1,1 kartą. Po dešimties metų pievos dirvožemyje bendrosios anglies 0–10 cm gylyje sumažės iki 7,94% arba 1,1 karto. Gyliuose nuo 10 iki 50 cm bendrosios anglies sumažėjimas sieks 5,34%. Vidutiniškai lyginant pirmus ir dešimtus metus visuose gyliuose bendrosios anglies kiekis sumažėja iki 1,1 karto. Palyginus dešimtųjų modeliavimo duomenis su tyrimais nustatyta reikšmė gauta, kad skirtumas bus lygus 9,4%.

5.10 pav. Bendrosios anglies kiekio pokytis po 10 metų pievos dirvožemyje gylyje nuo 0 iki 50 cm

Fig. 5.10. Total carbon change after 10 years of grassland soil depths ranging from 0 to 50 cm

Pievos dirvožemiuose per pirmuosius metus vieno hektaro plote bendrosios anglies mažės iki 740 kgC/ha (5.11 pav.). Tuo tarpu dešimtaisiai metais šis sumažėjimo kiekis pasieks 542 kgC/ha. Taigi per dešimtį metų bendrosios anglies turėtų sumažėti iki 198 kgC/ha.

5.11 pav. Bendrosios anglies kiekio pokytis po 10 metų pievos dirvožemyje

Fig. 5.11. Total carbon change after 10 years of grassland soil

5.12 pav. Anglies dioksido emisijų pokytis per parą po 10 metų pievos dirvožemyje

Fig. 5.12. Carbon dioxide emissions per day change after 10 years of grassland soil

5.13 pav. Bendrosios anglies kiekio priklausomybė nuo anglies dioksido emisijų pievos dirvožemyje

Fig. 5.13. Total carbon dependence on carbon dioxide emissions of grassland soils

Pagal koreliacinius ryšius bendrosios anglies kiekiai ir anglies dioksido emisijos pievos dirvožemyje yra tapatūs ariamajam dirvožemiui. Šiame dirvožemyje taip pat išskiriami panašūs koreliacinių ryšių išsidėstymas. Kaip ir ariamajame dirvožemyje pievos dirvožemio anglies dioksido emisijos pradeda didėti tik pavasario sezonu. Tačiau, pievos dirvožemis į aplinkos orą išmeta daugiau anglies dioksido (ariamas – 1,24 kgCO₂/ha, pievos – 1,53 kgCO₂/ha) (5.13 pav.). Daugiausiai anglies dioksido pavasarį buvo išmesta iki 2,4 kgCO₂/m². Vegetaciniu periodu anglies dioksido emisijos siekė iki 3,51 kgCO₂/ha. Tuo tarpu metų pabaigoje šios emisijos sumažėjo iki 2,51 kgCO₂/ha (5.12 pav.). Palyginus su ariamu dirvožemiu anglies dioksido emisijos vegetaciniu ir rudens laikotarpiu buvo panašios. Labiausiai ariamasis dirvožemis išsiskyrė pavasarį. Tokiam pokyčiui didelės įtakos turi ariamo lauko pavasariniai žemės darbai.

Klimato kaitos poveikis pievos dirvožemiui įtakos turėjo gilesniuose sluoksniuose. Šiuose sluoksniuose (10–30 cm gylys) nustatytas bendrosios anglies padidėjimas (5.14 pav.). Jei per pirmuosius metus bendrosios anglies pievos dirvožemyje 0–10 cm gylyje siekė 0,019 kgC/kg, tai dešimtaisiais metais jis sumažėjo iki 1,01 karto. Tačiau pirmaisiais analizės metais bendrosios anglies kiekis gilesniuose sluoksniuose padidėjo labai mažai. Tuo tarpu dešimtųjų metų duomenys 10–30 cm gylyje padidėjo iki 1,1 karto. Lyginant gautus duomenis 0–10 cm gylyje su išmatuotais tyrimo metu nustatyta, kad jie padidėjo 1%. Dešim-

tųjų metų analizės duomenimis, modelio ir natūrinių tyrimų rezultatai sutapo. Pagal gylius nustatyta, kad vidutinis bendrosios anglies kiekis pirmųjų metų duomenyse siekė 0,018 kgC/kg. Sulyginus su dešimtaisiais metais skirtumas buvo didesnis 2,81%.

5.14 pav. Bendrosios anglies kiekio pokytis po 10 metų pievos dirvožemyje gylyje nuo 0 iki 50 cm, įvertinus klimato įtaką

Fig. 5.14. Total carbon change after 10 years of grassland soil depths ranging from 0 to 50 cm, the assessment of climate change

Anglies dioksido emisijos esamoje padėtyje didėja tik iki antrųjų metų iki 1,2 karto (159 kgCO₂/ha/metus) (5.15 pav.). Vėlesniuose laikotarpiuose anglies dioksido emisijos mažėjo. Lygiant su esamos padėties pirmaisiais metais, anglies dioksido emisijos sumažės iki 200 kgCO₂/ha/metus. Tačiau pievos dirvožemio prognozuojamoje padėtyje anglies dioksido emisijos didės. Ryškiausias padidėjimas bus per pirmus keturis metus – 443 kgCO₂/ha/metus. Tuo tarpu vėlesniais metais padidėjimas stabilizuosis.

Jei ariamajame dirvožemyje anglies dioksido emisijos ir bendrosios anglies kiekis mažės, tai pievos dirvožemyje vyks priešingai. Taip yra todėl, kad ariamas dirvožemis yra alinamas kai tuo tarpu pievos dirvožemio modeliavimo sąlygos buvo pritaikytos nenaudojamai pievai. Galima daryti prielaidą, kad nenaudojamos žemės plotai vešės, kadangi bus palankesnės augimo sąlygos. Į dirvožemį pateks daugiau susidariusios biomasės, o tai paskatins bendrosios anglies augimą gilesniuose sluoksniuose ir anglies dioksido emisijas.

5.15 pav. Anglies dioksido emisijų pokytis pievos dirvožemyje po 10 metų, įvertinus klimato kaitą

Fig. 5.15. Carbon dioxide emissions from grassland soils change after 10 years, the assessment of climate change

Miško dirvožemis. Bendrosios anglies kiekiai miško dirvožemyje taip pat kaip ir pievos dirvožemyje padidės gilesniuose dirvožemio sluoksniuose. Šis padidėjimas geriausiai turi atsispindėti po dešimties metų. Pirmaisiais metais bendrosios anglies kiekis tik labai nežymiai padidės 10–30 cm gyliuose. Tuo tarpu dešimtaisiais metais bendrosios anglies kiekis pievos dirvožemyje lyginant su 0–10 cm gylio duomenimis padidės iki 1,05 kartų arba iki 4,04% (5.16 pav.). Natūrinių tyrimų duomenimis pirmaisiais metais 0–10 cm gylio duomenys yra 0,4% didesni, o dešimtaisiais metais 0,4% mažesni.

5.16 pav. Bendrosios anglies kiekio pokytis po 10 metų miško dirvožemyje gylyje nuo 0 iki 50 cm

Fig. 5.16. Total carbon change after 10 years of forest soil depths ranging from 0 to 50 cm

Bendrosios anglies kiekiai miško dirvožemyje esamoje padėtyje linę kaup-
tis metų pabaigoje. Žvelgiant į grafiką matyti, kad nuo lapkričio mėnesio ben-
drosios anglies kiekis dirvožemyje padidėja 812 kgC/ha po 1 metų, o po 10 metų
šis padidėjimas siekia iki 4623 kgC/ha (5.17 pav.). Tačiau metinis balansas rodo,
kad bendrosios anglies kiekis miško dirvožemyje per pirmus metus padidės 937
kgC/ha, o po dešimties metų 565 kgC/ha kasmet. Bet po dešimties metų miško
dirvožemyje bus vidutiniškai 144447 kgC/ha, kai pirmaisiais metais buvo
140955 kgC/ha. Po dešimties metų bendrosios anglies miško dirvožemyje turi
padidėti iki 4058 kgC/ha.

5.17 pav. Bendrosios anglies kiekio pokytis po 10 metų miško dirvože-
myje

Fig. 5.17. Total carbon change after 10 years of forest soil

Vidutiniškai per pirmus metus miško dirvožemyje bus išmetama iki 2,82
kgCO₂/ha per parą. Dešimtųjų metų laikotarpiu anglies dioksido emisijos suma-
žės iki 2,58 kgCO₂/ha per parą (5.18 pav.). Grafike matyti, kad pirmaisiais me-
tais anglies dioksido emisijos buvo labai įtakotos aplinkos parametrų. Dešimtai-
siais metais anglies dioksido emisijos kito tolygiau. Didžiausia modeliavimo
būdu nustatyta anglies dioksido emisija per pirmus metus siekė 6,52 kgCO₂/ha
per parą, o po dešimties metų pievos dirvožemyje emisijos sumažėjo 4,71
kgCO₂/ha per parą.

5.18 pav. Anglies dioksido emisijų pokytis per parą po 10 metų miško dirvožemyje

Fig. 5.18. Carbon dioxide emissions per day change after 10 years of forest soil

Išanalizavus kaip bendrosios anglies kiekis priklausomas nuo anglies dioksido emisijos nustatyta, kad $r=-0,58$ (5.19 pav.). Anglies dioksido emisijos metų pradžioje yra ganėtinai mažos. Ariamajame dirvožemyje nustatytas anglies dioksido emisijos siekė iki $1,7 \text{ kgCO}_2/\text{ha}$ per parą, o pievos dirvožemyje $1,65 \text{ kgCO}_2/\text{ha}$ per parą. Vegetaciniu periodu anglies dioksido emisijos buvo miško dirvožemyje kito nuo $0,48 \text{ kgCO}_2/\text{ha}$ per parą iki $5,08 \text{ kgCO}_2/\text{ha}$ per parą.

5.19 pav. Bendrosios anglies kiekio priklausomybė nuo anglies dioksido emisijų miško dirvožemyje

Fig. 5.19. Common dependence on carbon dioxide emissions of carbon in forest soils

Bendrosios anglies kiekis miško dirvožemyje pirmaisiais metais imituojant klimato kaitą iki 30 cm gylio kito mažai. Lyginant gautus natūrinius tyrimais duomenis nustatyta, kad skirtumas su modeliavimo gautomis reikšmėmis yra lygus 0,7%. Duomenys po dešimties metų gylyje 0–10 cm skiriasi iki 6,6% su tyrimo duomenimis (5.20 pav.). Miško dirvožemyje nustatyta, kad bendrosios anglies kiekis po dešimties metų iki 30 cm didės (iki 1,04 karto). Tačiau prognozuojami kiekiai bus mažesni nei pirmaisiais metais. Žvelgiant į esamos situacijos bendrosios anglies kitimo grafiką matome, kad anglies kiekiai yra nežymiai didesni. Vidutinis bendrosios anglies kiekio sumažėjimas po dešimties metų bus lygus siekia 2,09% (10–50 cm gylis).

5.20 pav. Bendrosios anglies kiekio pokytis po 10 metų miško dirvožemyje gylyje nuo 0 iki 50 cm, įvertinus klimato įtaką

Fig. 5.20. Total carbon change after 10 years of forest soil depths ranging from 0 to 50 cm, the assessment of climate change

Anglies dioksido emisijos priešingai nei pievos dirvožemio esamoje padėtyje pirmaisiais metais mažės nuo 1027 kgCO₂/ha/metus iki 565 kgCO₂/ha/metus (sumažės 462 kgCO₂/ha/metus) (5.21 pav.). Bet jau nuo antrųjų metų anglies dioksido emisijos didės. Dešimtaisiais metais miško dirvožemis išmes 87 kgCO₂/ha/metus mažiau. Prognozuojamoje padėtyje situacija pasikeičia. Nuo pirmų iki antrų metų stebimas anglies dioksido emisijų augimas 1,2 karto (97 kgCO₂/ha/metus). Tačiau šis padidėjimas yra laikinas. Miško dirvožemis į klimato kaitos įtaką kreguoja mažiausiai. Stabilus anglies ciklas leidžia patikimai mažinti anglies dioksidą, verčiant jį biomase ir užrakinant dirvožemyje ir medžiuose. Vidutiniškai nuo 3 iki 10 metų anglies dioksido kasmet bus išmesta iki 202 kgCO₂/ha/metus.

5.21 pav. Anglies dioksido emisijų pokytis miško dirvožemyje po 10 metų, įvertinus klimato kaitą

Fig. 5.21. Carbon dioxide emissions from forest soils change after 10 years, the assessment of climate change

Ariamame dirvožemyje dėl mažėjančio bendrosios anglies kiekio anglies dioksido emisijos taip pat yra mažos. O pievos dirvožemyje anglies dioksido emisijos prognozuojamoje padėtyje ženkliai padidės, kadangi šis dirvožemis nepasirūpina geromis anglies dioksido imobilizavimo galimybėmis.

5.1 lentelė. Bendrosios anglies kiekis nustatytas tyrimais ir sumodeliuotas su DNDC modeliu

Table 5.1. Total carbon amount estimated and modelled with the DNDC model

Išmatuotas bendrosios anglies kiekis, kgC/kg	Sumodeliuotas bendrosios anglies kiekis, kgC/kg	Skirtumas, %
Pievos dirvožemis		
0,149	0,144	3,4
Ariamas dirvožemis		
0,022	0,021	4,5
Miško dirvožemis		
0,139	0,137	1,4

Apskaičiavus gautus natūrinių tyrimų rezultatus nustatyta, kad modeliavimo duomenys pievos dirvožemyje buvo mažesni 3,4%. Ariamame dirvožemyje sumodeliuotas bendrosios anglies kiekis pievos dirvožemyje buvo mažesnis net 4,5% tuo tarpu miško dirvožemyje šis skirtumas siekė 1,4%. Vidutinis neatitikimo procentas bendrosios

5.2 lentelė. Anglies dioksido kiekis nustatytas tyrimais ir sumodeliuotas su DNDC modeliu

Table 5.2. Carbon dioxide in the research and modeled whit the DNDC model

Išmatuotas anglies dioksido kiekis, kgCO ₂ /ha	Sumodeliuotas anglies dioksido kiekis, kgCO ₂ /ha	Skirtumas, %
Pievos dirvožemis		
0,149	0,185	24
Ariamas dirvožemis		
0,263	0,331	26
Miško dirvožemis		
0,139	0,176	27

Anglies dioksido emisijų kiekių skirtumai tarp tyrimais nustatytų ir nustatytų modeliavimo būdu vidutinis neatitikimo procentas buvo – 26%. Didžiausias duomenų skirtumas nustatytas miško dirvožemio duomenyse ir siekė 27%. Ariamajame dirvožemyje duomenų tyrimo duomenų neatitikimo procentas siekė 26, o pievos dirvožemyje 24%. Skirtumus tarp nustatytų reikšmių taip pat gali įtakoti tai, kad tyrimo rezultatai gauti matuojant tik 11 valandų. Tuo tarpu modelis pateikia visos paros rezultatą. Be to, vertinimui imti tik natūrinių tyrimų laikotarpio vidutinė reikšmė, o ne metinis vidurkis. Apibendrinus tyrimo rezultatus nustatyta, kad modelis pateikia ganėtinai artimas reikšmes, todėl šis modelis gali būti taikytas tolesniuose tyrimuose, dėl savo patikimo modeliavimo ir tyrimo duomenų atitikimo. Autoriai naudojantys šį modelį taip pat pateikia, kad modelis patikimai atspindi skirtingos panaudos dirvožemių anglies pokyčius (Smith 2010, Giltrap 2010).

5.3. Penktojo skyriaus išvados

1. Modelio DNDC taikymas leido įvertinti, tyrimo ir modeliavimo duomenų patikimumą. Dėl mažų paklaidų šis modelis tinkamas vertinti bendrosios anglies kiekius dirvožemyje, o taip pat anglies dioksido emisijas iš dirvožemio. Palyginus gautus modeliavimo duomenis su gautais tyrimų metu nustatyta, kad ben-

drosios anglies kiekis dirvožemyje nesutampa iki 4,55%. Sumodeliuoti anglies dioksido emisijų kiekiai su tyrimo duomenimis nesutampa iki 27%.

2. Modeliuojant nustatyta, kad anglies dioksido emisijos yra tiesiogiai priklausomos nuo aplinkos oro temperatūros. Atlikus koreliacines duomenų analizes tarp temperatūros ir anglies dioksido emisijų iš dirvožemių nustatyta, kad pievos dirvožemyje koreliacijos koeficientas siekia 0,5 ariamame dirvožemyje 0,6, o miško dirvožemyje 0,5.

3. Imituojant klimato atšilimą ariamajame dirvožemyje nustatytas ryškus bendrosios anglies sumažėjimas praėjus dešimčiai metų nuo 82339 kgC/ha iki 81887 kgC/ha (metinis skirtumas mažėjimo skirtumas sieks 452 kgC/ha). Taip pat, dėl sumažėjusio bendrosios anglies kiekio nustatytas ir daug mažesnis anglies dioksido emisijų išmetimas.

4. Įvertinus klimato kaitos poveikį dirvožemiui nustatyta, kad pievos dirvožemyje bendrosios anglies kiekis mažės iki 740 kgC/ha per pirmuosius metus, o miško dirvožemyje bendrosios anglies padidės iki 937 kgC/ha per pirmus metus. Ariamajame dirvožemyje bendrosios anglies prarandama daugiausiai iki 830 kgC/ha per pirmuosius metus, o dešimtaisiais metais iki 452 kgC/ha, o pievos dirvožemyje dešimtaisiais metais mažės iki 542 kgC/ha. Po dešimties metų miško dirvožemyje bendrosios anglies kiekis didės iki 565 kgC/ha. Miško ekosistemos dėl savo stabilaus anglies ciklo, leidžia patikimai mažinti anglies dioksidą, verčiant jį biomase ir užrakinant dirvožemyje bei medžių medienoje.

5. Atlikus anglies dioksido emisijų modeliavimą pievos dirvožemyje nustatyta, kad emisijų dydis per parą kito nuo 0,06 kg CO₂/m² iki 4,9 kg CO₂/m². Ariamame dirvožemyje anglies dioksido emisijos metų bėgyje kito nuo 0,18 iki 17,87 kg CO₂/m². Miško dirvožemyje sumodeliuotas anglies dioksido emisijų kiekis kito nuo 0,19 iki 7,71 kg CO₂/m². Vidutinė anglies dioksido emisija yra 2,15 kg CO₂/m². Lyginant su ariamo dirvožemio anglies dioksido vidutinėmis emisijomis miško dirvožemis išmeta į atmosferą 2,6 karto mažiau, o su pievos dirvožemiu 1,6 karto daugiau.

Inžineriniai techniniai sprendimai

Atliekant lauko tyrimus imami dirvožemio ėminiai. Ėminių paėmimui taikomi įvairūs metodai ir įrankiai. Pagal pasirinktą ėminio tyrimo metodą galimi paėmimo būdai kuomet įvertinama struktūrinė ėminio būklė ir kuomet vertinamas tik sudėtinių medžiagų kiekinė dalis. Tam, kad paspartinti ėminių paėmimą naudojami įvairių tipų grąžtai, kaltai ir kastuvai. Tradicinis dirvožemio ėminio paėmimo metodas, kai kastuvu iškasama duobė, kurios sienelėje imami dirvožemio ėminiai ir nustatomi dirvožemio horizontai. Šis metodas yra vienas iš patikimiausių tačiau reikalaujantis daug laiko. Jei vertinami tik kiekybiniai dirvožemio parametrai. Geriausia yra naudoti dirvožemio grąžtus. Jų forma ir paskirtis bei ėminio paėmimo gylis skiriasi. Yra išskiriami dviejų tipų grąžtai: mechaniniai ir rankiniai. Naudojantis rankiniais grąžtais paėmimo gylis siekia iki 1 metro, priklausomai nuo dirvožemio granulimetrinę sudėties, bei į grąžto formos, ar veikimo principo. Elementariausias grąžto pavyzdys yra išilgai perpjauto vamzdžio dalis. Taip pat naudojami ir cilindriniai grąžtai su gręžimo galvute, bei įvairiomis modifikacijomis su pusmėnulinės formos vamzdžiu. Mechaniniai grąžtai taikomi ėminių paėmimui iš gilesnių sluoksnių. Tai pat, šie grąžtai taikomi pamatų statymo arba gruntinio vandens gavimo bei naftos žvalgyimo ir gavybos procesuose.

6.1. Dirvožemio ėminių paėmimo metodika naudojant dirvožemio grąžtą

Cilindrinis dirvožemio grąžtas su ėminio paėmimo kamera yra patogus įrankis norint paimti dirvožemio ėminį išvengiant kryžminio užteršimo. Dirvožemio ėminiai imami lauko sąlygomis iš ploto, kuris sudalinamas į keletą mažesnių tyrimo vietų. Siekiant užtikrinti dirvožemio analizuojamų parametrų statistinį patikimumą, negalima paimti mažiau nei 9 ėminius. Maksimalus dirvožemio ėminių paėmimo kiekis neturėtų viršyti 30 vienetų. Tačiau vertinant analizuojamo objekto dydį dirvožemio ėminių tankis neturėtų būti mažesnis nei vienas kilometras. 30 vienetų ėminių kiekis yra laikomas statistiškai patikimu, pagal statistinės analizės principus, taikomus ėminių analizei. Imamo dirvožemio ėminio gylis priklauso, nuo analizuojamo dirvožemio tipo, bei panaudos. Atsižvelgiant į granulimetrinę sudėtį siūlomas dirvožemio paėmimo gylis: smėliams iki 10 cm, priesmėliams ir priemoliams iki 20 cm, o moliams iki 30 cm. Kadangi imant dirvožemio ėminius paėmimo gylis tiesiogiai priklauso nuo grąžto skersmens, todėl imant iki 1 metro gylio taikytinas kuo mažesnio skersmens grąžtas (skersmuo ~3 cm). Gyliams iki 30 cm gali būti taikomi iki 5 cm diametro cilindriniai grąžtai. Iki metro gylio taikytini nuo 2 iki 3 cm diametro rankiniai grąžtai. Ėminių paėmimui taikomos ėminio kameros. Šis metodas buvo pradėtas taikyti moksliniuose tyrimuose analizuojant pirmyktę dirvožemio struktūrą, bei sandara. Ėminio paėmimui taikomi 10 cm ilgio kameros. Galimi kamerų tipai: plastikas (atsparus trinčiai, arba vienkartinės paėmimo kameros), nerūdijantis plienas (titano lydinys).

6.2. Dirvožemio ėminių paėmimo grąžto techninis aprašymas

Siūlomas prietaiso patobulinimas skirtas paimti dirvožemio ėminius. Imant dirvožemį šis grąžtas išsiskiria unikalia savybe paimti ėminį iš tam tikro gylio neimant viršutinio sluoksnių. Taipogi šis grąžtas ypatingas tuo, kad ėminys imamas į specialų cilindrą, kuris gali būti naudojamas kaip ėminio indas, palengvinantis ėminių transportavimą. Transportuojant dirvožemio ėminius yra svarbu išlaikyti jų struktūrą, todėl ėminio paėmimas į ėminių cilindrą gali būti plačiai taikomas.

Įrenginio vaizdas pateikiamas (6.1 pav.). Grąžto išorinė dalis sudaryta iš rankenos, cilindro su išpjova ėminio cilindrui išimti, rankenos prailginimo elementai, papildomos rankenos ėminių cilindrui ir gręžimo galvutės fiksavimui ir gręžimo galvutės.

6.1 pav. Dirvožemio ėminių paėmimo grąžtas: 1 – grąžto galva, 2 – kietlydinio plokštelės (nupjauti šaknis), 3 – fiksatoriai, 4 – stambiasriegis (kairinis), 5 – ėminio cilindras, 6 – ėminio cilindro fiksatorius, 7 – stanbiasriegis (kairinis), 8 – grąžto galvos valdymo rankena, 9 – ėminio fiksatorius, 10 – ėminio cilindro dangtelio fiksatorius, 11 – ėminio cilindro išėmimo dangtelis, 12 – fiksavimo rankenėlė, 13 – rutulinė fiksavimo ertmė, 14 – šratinis rankenos fiksavimo mechanizmas, 15 – guminis žiedas, 16 – tuščiavidurė ištraukiama rankena su fiksavimo mechanizmu, 17 – ištraukiamos rankenos fiksavimo mechanizmas.

Fig. 6.1. Soil sampling drill: 1 – drill-head, 2 – hard alloy plates (cut root), 3 – locking, 4 – thread (left), 5 – cylinder sample, 6 – the sample cylinder lock, 7 – thread (left), 8 – drill head of the operating handle, 9 – lock sample, 10 – cover lock of sample cylinder, 11 – sample cylinder cap removal, 12 – locking handle, 13 – Ball locking cavity, 14 – ball locking mechanism of the handle, 15 – rubber ring, 16 – a hollow retractable handle with locking mechanism, 17 – pull handle locking mechanism.

Grąžto gręžimo dalys gaminamos iš titaninių ir kietlydinio plokštelių medžiagų, kurios palengvintų šaknų pjovimą. Gręžimo galvutė tvirtinama ant ėminių fiksavimo rankenos kairiniu stambiasriegiu, kuris naudojamas įrenginiuose palengvinant atsukimą ir demontavimą bei įrenginiuose, kurie veikiami didelėmių apkrovų. Gręžimo galvutėje įmontuojami fiksatoriai, kurie užfiksuoja gręžimo padėtyje ir neleidžia patekti į dirvožemio ėminio cilindro vidų. Gręžimo galvutės kūginėje dalyje suformuotas gręžimo sriegis, palengvinantis grąžto skverbimosi galimybę.

Fiksavimo būdas leidžia neužteršti dirvožemiu analizės kameros ir pagerina gręžimo galimybę, esant gilesniems sluoksniams. Tam, kad dirvožemio ėminys neiškristu imant, naudojamas fiksuojantis žiedas. Žiedo lapeliai gaminami iš spyruoklinio plonasienio metalo arba plastmasės. Fiksuojantysis žiedas su lapeliais fiksuojamas tarp cilindrinės gręžimo karūnėlės ir išorinio grąžto gręžimo cilindro. Cilindrinė gręžimo karūnėlė sudaryta iš cilindro su kietlydinio plokštelėmis, skirtomis nupjauti augalų šaknims. Ant cilindrinės gręžimo karūnėlės išorės yra du iškilimai, kurie naudojami atskirti išorinį gręžimo paviršių nuo dirvožemio. Centrinėje grąžto dalyje esanti išpjova naudojama ėminio cilindrui išimti. Dirvožemio ėminys išimamas pakėlus vidinį cilindrą skirta ėminių kaupimui. Ėminių paėmimo cilindras fiksuojamas tarp gręžimo galvutės ir fiksatoriaus įmontuoto į ėminių cilindro fiksavimo rankeną. Grąžto rankenų viduje įmontuojamos papildomos rankenos padidinančios sukimo momento jėgą.

Pagal aprašytą dirvožemio ėminių paėmimo grąžtą yra ruošiamas paraiška patentui gauti.

6.2. Šešto skyriaus išvada

Siūlomas naujas dirvožemių ėminių paėmimo grąžtas gali būti taikomas dirvožemio ėminių paėmimui palengvinti bei išvengti kryžminio užterštumo.

Bendrosios išvados

1. Literatūros analizė atskleidė, kad anglies kiekis dirvožemiuose nuolatos mažėja. Labiausiai pažeidžiami yra lengvos granulimetrinės sudėties dirvožemiai. Pagrindinės problemos, sąlygojančios anglies kiekių mažėjimą dirvožemiuose, yra dirvožemio erozija, neracionalus ūkininkavimas, miškų kirtimas. Taip pat atskleista, kad nėra pakankamai vykdomų anglies dioksido emisijų tyrimų arba jie atliekami pasenusiais metodais.
2. Natūriniais tyrimais nustatyta, kad bendrosios anglies kiekiui didelės įtakos turi reljefas. Todėl tyrimai atlikti imant ėminius įvairiuose reljefo aukščiuose. Miško dirvožemyje maksimalus bendrosios anglies kiekis autonominiame landšafte buvo iki 1,5%. Superakvaliniame landšafte bendrosios anglies kiekis buvo iki 5%. Pievos dirvožemyje maksimalūs bendrosios anglies kiekiai autonominiame landšafte siekė iki 1,6%, o superakvaliniame landšafte – iki 3,8%.
3. Įvertinus Neries regioninio parko metinius vidutinius bendrosios anglies kiekius miško dirvožemyje rasta iki 2,4%, pievos dirvožemyje bendrosios anglies kiekis siekė iki 1,9%, o ariamajame dirvožemyje bendrosios anglies nustatyta iki 1,7%.
4. Visais analizuojamais laikotarpiais ariamo dirvožemio bendrosios anglies kiekis buvo mažiausias. Palyginus su kitais analizuotais dirvožemiais nustatyta, kad bendrosios anglies kiekis buvo mažiausias lyginant su kitų dirvožemių autonominiais landšaftais. Kovo mėnesį vidutinės ariamo dirvožemio bendrosios anglies kiekio reikšmės buvo mažiausios

už miško dirvožemio bendrosios anglies kiekį iki 1,5 karto, o už pievos dirvožemio iki 1,2 karto. Birželio mėnesį bendrosios anglies kiekiai ariamame dirvožemyje nežymiai didesni, tačiau jie buvo mažesni 1,2 karto nei miške ir pievoje. Rugpjūčio mėnesį bendrosios anglies kiekis ariamame dirvožemyje buvo mažiausias. Iki 1,1 karto mažesnis nei miško dirvožemyje ir 1,2 karto mažesnis nei pievos dirvožemyje.

5. Nustatyta, kad dirvožemio profiliuose bendrosios anglies kiekis miško dirvožemyje, nesuardytos struktūros ėminiuose, kito nuo 2,4% iki 3,7%, o sudėtinių ėminių profiliuose gylyje iki 30 cm nuo 1,3% iki 1,9%. Pievos dirvožemio profiliuose bendrosios anglies kiekiai kinta nuo 6,9% iki 16,5%, o sudėtiniuose ėminiuose nuo 3,9% iki 8,5%. Atliktais tyrimais įvertinta, kad nesuardytos struktūros ėminiai pateikia detalesnę informaciją apie bendrosios anglies kiekius dirvožemyje. Todėl tolesniuose tyrimuose taikyti nesuardytos struktūros ėminių ėmimas.
6. Kaip kombinuotais geocheminis barjeras (filtracinis+sorbacinis) dirvožemiuose veikia jų iliuvinis (moliuotais) horizontas, pasižymintis humuso ir sunkiųjų metalų akumuliacija.
7. Analizuojant anglies dioksido emisijų kiekius skirtingos panaudos dirvožemiuose nustatytas anglies dioksido emisijų kitimas. Žvelgiant į gautus duomenis nustatyta, kad daugiausiai anglies dioksido išsiskiria ariamame dirvožemyje $0,263 \text{ g CO}_2\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$, o pievoje $0,149 \text{ gCO}_2\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ir miške $0,139 \text{ gCO}_2\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$.
8. Nustatyta, kad dėl dirvožemio drėgmės anglies dioksido emisijos mažėja. Natūriniais tyrimais įrodyta, kad pievos dirvožemyje drėgniui padidėjus 1,1 karto anglies dioksido emisijos sumažėjo 1,2 karto. Ariamo dirvožemio drėgniui padidėjus 1,4 karto, anglies dioksido emisijos sumažėjo 1,7 karto. Miško dirvožemio drėgniui padidėjus 1,4 karto, anglies dioksido emisijos sumažėjo 1,8 karto.
9. Dirvožemio anglies dioksido emisijos turi tiesioginę priklausomybę nuo aplinkos oro temperatūros. Iš atliktų tyrimo rezultatų matyti, kad anglies dioksido emisijos sumažėjusios nuo 1,1 iki 1,6 kartų, nukritus temperatūrai nuo 18,6 iki 8,7 °C laipsnių.

Atlikus anglies dioksido emisijų modeliavimą pievos dirvožemyje nustatyta, kad emisijų dydis per parą kito nuo $0,06 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$ iki $4,9 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$. Ariamame dirvožemyje anglies dioksido emisijos metų bėgyje kito nuo $0,18$ iki $17,87 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$. Miško dirvožemyje sumodeliuotas anglies dioksido emisijų kiekis kito nuo $0,19$ iki $7,71 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$. Vidutinė anglies dioksido emisija yra $2,15 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$. Lyginant su ariamo dirvožemio anglies dioksido vidutinėmis emisijomis miško dirvožemis išmeta į atmosferą 2,6 karto mažiau, o su pievos dirvožemiu 1,6 karto daugiau.

Rekomendacijos

1. Analizuojant bendrosios anglies kiekius būtina atsižvelgti į reljefo padėtį, bei įvertinti dirvožemio erozijos padarinius bendrosios anglies kiekiams. Tyrinėjant kalvotas vietas patartina imti dirvožemio ėminius ne tik autonominiame ландшаfte, bet ir superakvaliniame.
2. Tyrinėjant anglies dioksido emisijas būtina atsižvelgti į meteorologines sąlygas, o ypač į liūtį. Jei dirvožemis labai įmirkęs nustatytos anglies dioksido emisijos yra mažesnės. Tyrimus patartina atlikti po kelių dienų kai normalizuojasi dirvožemio drėgnis.
3. Modelio gautų duomenų kitimo ribos lyginant su tyrimo duomenimis mažos, todėl šį modelį galima taikyti tolesniems tyrimams.

Literatūra ir šaltiniai

Adams, J.M.; Faure, H.; Faure-Denard, L.; McGlade, J.M.; Woodward, F.I.; 1990. Increases in terrestrial carbon storage from the last glacial maximum to the present, *Nature* 348(6303): 711–714.

Antanaitis, A.; Tamulis, T.; Žemaitis, A. 1996. *Mikroelementai dirvožemyje ir augaluose, Žemės ūkio mokslai* 2: 53–59. Vilnius.

Apalia, Dz.; Vaitiekūnas, J.; Visockis, O. ir kt. 1982. *Augalai – dirvožemio reakcijos (pH) indikatoriai*. Vilnius. 183 p.

Arlauskienė, A.; Maikštėnienė, S. 2002. Molingų dirvožemių savybių gerinimas ankstyviais augalais jų biomasę panaudojant žaliajai trąšai, *Žemdirbystė: mokslo darbai LŽI, LŽŪU*, . 79: 229–243. Akademija

ASA 1990. *Impact of carbon dioxide, trace gases, and climate change on global agriculture*, Am. Soc. Agron., Spec. Publ. 53. Madison. 133 p.

ASA 1993. *Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change*. Am. Soc. Agron., Spec. Publ. 55 Madison, 206 p.

Baginskas, B.; Žemaitis, A.; Narkevičius, J. ir kt. 1984. *Agrochemija*. Vilnius.: Mokslas. 214 p.

Bakšienė, E. 2004. Ilgalaikis sapropelio poveikis priesmėlio paprastajam išplautžemiui (Haplic Luvisols), *Vandens ūkio inžinerija: mokslo darbai* 26 (46): 71–75. Kaunas – Akademija.

Bakšienė, E.; Janušienė, V. 2006. Sapropelio įtaka dirvožemių agrocheminėms savybėms ir humuso sudėčiai, in *Tręšimas: Mokslinių straipsnių rinkinys LŽL-Dotnuva-Akademija*, 9–33.

Baldock, J. A.; Skjemstad, J. O. 1999. Soil organic carbon soil organic matter, in *Soil Analysis – an Interpretation Manual*. Vic. Australia. 265 p.

Batjes, N. H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world, *Eur. J. Soil. Sci.* 47(2): 151–163.

Batjes, N. H.; Dijkshoorn, J. A. 1999. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon region, *Geoderma* 89: 273–286.

Bazzaz, F.; Sombroek, W. 1997. *Changements du Climat et Production Agricole*. FAO, Rome/Polytechnica, Paris. 406 p.

Beliauskas, B. 1976. Mėšlo veikimas eroduojamuose Šiaurės Rytų Lietuvos velėniniuose jauriniuose priemoliniuose dirvožemiuose, *LŽI mokslo darbai* 20: 17–34.

Bennema, J. 1974. Organic carbon profiles in oxisols, *Pédologie* 24(2): 119–146.

Berger, A.; Loutre, M. F. 1996. Modelling the climate response to astronomical and CO₂ forcings, *Acad. Sci. Paris, Ser.* 323(1): 1–16.

Bieliauskas, P. 1985. *Dirvosauginė žemdirbystė kalvose*. Vilnius. 88 p.

Birietienė, Z. 1984. Eroduojamų velėninių jaurinių dirvožemių mineralinė sudėtis, *LŽI mokslo darbai. Dirvotyra* 32: 123–132.

Bohn, H. L. 1976. Estimate of organic carbon in world soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 468–470.

Brady, N. C.; Weil, R. R. 1999. *The Nature and Properties of Soils*. Prentice Hill, Upper Sadle River, New Jersey: 321 p.

Braukyla, J. 1984. Erozijos procesai Lietuvos TSR dirvožemiuose, *LŽI mokslo darbai. Dirvotyra* 32: 101–110.

Bridges, E. M.; Betjes, N. H.; Nachtergalele, F.O. 1998. *World Reference Base for Soil Resources. Atlas*. Acco Leuven/Amersfoort, 79 p.

Brown, S.; Lugo, A. E. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle, *Biotropica* 14(3): 161–187.

Buivydaitytė, V.; Vaičys, A.; Juodis, J. 1990. Lietuvos dirvožemių klasifikacija suderinta su FAO-Unesco pasaulio dirvožemių žemėlapiu legenda, iš *Dirvotyros ir agrochemijos pasiekimai ir uždaviniai žemės reformos bei perėjimo į rinkos ekonomiką metu. Mokslinės konferencijos, skirtos Lietuvos dirvožemininkų draugijos 40-mečiui, pranešimai*.-Kaunas: 7–27.

Buivydaitytė, V.; Vaičys, M.; Juodis, L.; Motuzas, A. 2001. *Lietuvos dirvožemių klasifikacija*. Vilnius. 137 p.

Bukantis, A.; Gulbinas, Z.; Kazakevičius, K. ir kt. 2001. *Klimato svyravimų poveikis fiziniams geografiniams procesams Lietuvoje*. Vilnius: Geografijos institutas, Vilniaus universitetas. 68 p.

Bundinienė, O. 1998. Mėšlo ir mineralinių trąšų įtaka augalų derliui ir dirvos derlingumui kalvotose Rytų Lietuvos dirvose, *Žemės ūkio mokslai* 2: 7–12.

Bundinienė, O. 2000. Įvairaus chemizavimo lygio žemdirbystės sistemos erozijos procesai ir dirvožemio pokyčiai. Augalininkystė kalvoto reljefo sąlygomis, iš *Agrominiai, ekonominiai ir ekologiniai aspektai*. LŽI. 102 p.

Bundinienė, O.; Paukštė, V. 2002. Lietuvos žemdirbystės instituto bandymų stoties veikla 1960–2000 m., *Žemės ūkio mokslai* 4:45–53. Vilnius.

Bužas, A.; Doruman, C.; Arbaliauskas, Č. 1966. *Lietuvos klimatas*. Vilnius. 159 p.

Čaikauskas, V. 1985. *Augalininkystė*. Vilnius. 320 p.

Danilevičius, V.; Matulevičius, I.; Motuzas, A. 1977. *Dirvožemio mokslas ir geologijos pagrindai*. Vilnius. 45 p.

Danilevičius, V.; Matulevičius, J.; Motuzas, A. 1977. *Organinė dirvožemio dalis. Dirvožemio mokslas ir geologijos pagrindai*. Vilnius: Mokslas, 12–136.

Dirvožemio agrocheminio tyrimo medžiaga 1963–1993. Respublikos ūkių agrocheminio tyrimo bylos, rajoninės suvestinės. Agrocheminių tyrimų centro archyvo fondai. Kaunas. 125 p.

DNDC user guide. [Žiūrėta 2010 m. balandžio 17 d.] Prieigą per internetą: <http://www.dndc.sr.unh.edu/?page_id=4>.

Eitminavičiūtė, I. 1997. *Dirvožemio biologija (pedobiologija)*. Vilnius. 122 p.

Ežerinskas, V. 1996. Perspektyvios kalkinės medžiagos ir dirvų kalkinimas, *Agronomijos ir gyvulininkystės mokslų aktualijos*. Kaunas: Akademija, 234–239.

Feiza, V. 2004. *Žemės dirbimas neariant. Arimo teorija ir praktika*. Kaunas: Akademija. 280 p.

Feizienė, D.; Feiza, V.; Kadžienė, G. 2009. Meteorologinių sąlygų įtaka dirvožemio vandens garų srauto intensyvumui ir CO₂ emisijai taikant skirtingas žemės dirbimo sistemas, *Žemdirbystė–Agriculture* 96(2): 3–22. ISSN 1392-3196.

Feizienė, D.; Kadžienė, G. 2008. The influence of soil organic carbon, moisture and temperature on soil surface CO₂ emission in the 10th year of different tillage-fertilisation management, *Zemdirbyste-Agriculture* 95(4): 29–45. ISSN 1392-3196.

Garten, Jr. C. T.; Cooper, L. W.; Post, III W. M.; Hanson, P. J. 2000. Climate controls on forest soil C isotope ratios in the southern Appalachian Mountains, *Ecology* 81: 1108–1119.

Garten, Jr. C. T.; Post, III W. M.; Hanson, P. J.; Cooper, L.W. 1999. Forest soil carbon inventories and dynamics along an elevation gradient in the southern Appalachian Mountains, *Biogeochemistry* 45: 115–145.

Giltrap, D. L.; Li, C.; Saggar, S. 2010. DNDC: A process-based model of greenhouse gas fluxes from agricultural soils, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 136: 292–230.

Griciūtė, A.; Kavaliauskas, B.; Tomkus, J. 1979. *Lietuvos antropoklimatas*. Vilnius. 125 p.

Grigaliūnienė, K. 2005. Ilgalaikio tręšimo poveikis skirtingos kilmės dirvožemių biologiniam aktyvumui. Daktaro disertacija, Kaunas. 102 p.

Hagedorn, F.; Maurer, S.; Egli, P.; Bucher, J. B.; Siegwolf, R. 2001. Carbon sequestration in forest soils of soil type, atmospheric CO₂ enrichment and N deposition, *European Journal of Soil Science* 52: 619–628.

Hanson, P. J.; Edwards, N. T.; Garten, Jr. C. T.; Andrews, J. A. 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations, *Biogeochemistry* 48: 115–146.

Ingram, J. S. I.; Fernandes, E. C. M. 2001. Managing carbon sequestration in soils: concepts and terminology, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 87: 111–117.

IPCC, Climate Change. 2001. *The Scientific Basis. Summary for Policy makers. Third Assessment Report*. Geneva. 98 p.

Jankauskas, B. 1996. *Dirvožemio erozija*. Vilnius. 161 p.

Jankauskas, B.; Jankauskiene, G.; Fullen, M. A. 2004. Erosionpreventive crop rotations and water erosion rates on undulating slopes in Lithuania, *Canadian Journal of Soil Science* 84(2): 177–186.

Jankauskas, B.; Jankauskaiene, G. 2003. Stacionariniai dirvožemio erozijos tyrimai Žemaičių aukštumoje. 1. Dirvožemis ir jo savybės, *Žemdirbystė* 82: 3–19. LŽI, LŽŪU mokslo darbai. Akademija.

Jankauskas, B.; Jankauskiene, G. 2003. Erosion-preventive crop rotations for landscape ecological stability in upland regions of Lithuania, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 95: 129–142.

Jankauskas, B.; Jankauskienė, G. 2004. Water erosion rates on slopes under different land use systems, *Žemės ūkio mokslai* 3: 1–7.

Jankauskas, B.; Jankauskienė, G. 2006. Kiekybiniai eroduojamų dirvožemių organinės medžiagos pokyčiai dėl skirtingos žemės naudojimo, *Dirvotyra ir agrochemija* 4: 1–10.

Jankauskas, B.; Šlepetienė, A.; Jankauskienė, G.; Fullen, M. A.; Booth, C. A. 2005. Organinės medžiagos analizavimo metodų palyginimas ir duomenų matematinio perskaičiavimo galimybė, *Žemės ūkio mokslai* 3: 1–7.

Janušienė, V. 1992. *Antropogeninių veiksnių įtaka humuso kiekiui ir jo sudėčiai. Antropogeninių veiksnių įtaka dirvožemio derlingumui*. Vilnius. 234 p.

Janušienė, V. 1994. Biologinė medžiagų apykaita, jos poveikis dirvodarai ir dirvožemio derlingumui, *Žemės ūkio mokslai* 5: 14–118.

Janušienė, V.; Žekonienė, V. 2004. Žaliosios trąšos poveikis humuso bei mineralinio azoto pokyčiams priesmėlio dirvožemyje, *Žemės ūkio mokslai* 4: 1–6.

Jenkyn, I. F.; Christian, D. G.; Bacon, E. T. G. 2001. Effect of incorporating different amounts of straw on growth diseases and yield of consecutive crops of winter wheat grown on contrasting soil types, *The Journal of Agricultural Science* 136: 1–14.

Jones, R.; Houšková, B.; Bullock, P.; Montanarella, L. 2005. *Soil Resources of Europe, second edition. European Soil Bureau Research Report No. 9*, EUR 20559 EN, 420 p.

Kaboneka, S.; Nivviza I, C.; Sibomana, L. 2000. Effects of Nitrogen and Phosphorus Fertilizer Addition on Wheat Straw Carbon Decomposition in a Burundi Acidic Soil

[Žiūrėta 2010 m. vasario 19 d.] Prieiga per internetą: <http://www.tsbf.org/managing_nutrient_cycles>.

Kiburys, B. 1995. Mechanical soil-erosion caused by tillage of 5, 10 and 15° slopes, *Žemės ūkio mokslai* 4: 10–13.

Kogut, B. M. 1998. Transformation of humus status in cultivated Chernozems, *Eurasian Soil Science* 7: 721–728.

Krištaponytė, I. 1996. Tręšimo sistemų palyginimas sunkios granulimetrinės sudėties dirvožemiuose, *Žemdirbystė, mokslo darbai*, LŽI. Dotnuva–Akademija. 56: 54–63.

Krištaponytė, I. 2002. Tręšimo įtaka dirvožemio fizikinių savybių pokyčiams ir augalų derlingumui, *Žemdirbystė: mokslo darbai*, LŽI, LŽŪU. Akademija. 5: 244–265

Kutzbach, L.; Schneider, J.; Sachs, T.; Giebels, M.; Nykanen, H.; Shurpali, N. J.; Martikainen, P. J.; Alm, J.; Wilmking, M. 2007. CO₂ flux determination by closed-chamber methods can be seriously biased by inappropriate application of linear regression, *Biogeosciences* 4: 1005–1025. ISSN: 1726-4170 IF=3,246.

Lal R.; Kimble, J. M.; Follett, R. F.; Stewart, B. A. 1998. *Soil Processes and the Carbon Cycle*. Boca Raton: CRC Press. 609 p.

Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Soils – the final frontier (Special section), *Science* 304: 623–1627.

Lampkin, N. 1999. *Organic Farming*. Tonbridge: Farming Press. 715 p.

Liaudanskienė, I.; Šlepetienė, A.; Velykis, A. 2010. Fiziškai nestabilių dirvožemio organinės medžiagos frakcijų anglies pokyčiai dėl tausojo žemės dirbimo, *LŽŪU mokslo darbai* 88(41): 38–43.

Lietuvos dirvožemiai 2001. Lietuvos mokslas, kn. 32. Vilnius. 1244 p.

Lietuvos miškų instituto 2009 metų veiklos apžvalga. [Žiūrėta 2010 m. kovo 19 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.mi.lt/info/LMI-2009.pdf>>.

Lipson, D. A.; Schmidt, S. K. 2000. Carbon availability and temperature control the post-snowmelt decline in alpine soil microbial biomass, *Soil Biology And Biochemistry* 32(4): 441–448.

Lohnston, A. E. 1986. Soil organic matter, effect on soil and crops, *Soil Use and Management* 2(3): 97–105.

Mažvila, J. 1998. *Lietuvos dirvožemių agrocheminės savybės ir jų kaita*: monografija. Akademija. 19 p.

Mažvila, J.; Vaišvila, Z.; Radžiūnas, V. 1992. Ilgalaikio tręšimo mineralinėmis trąšomis įtaka derliui, dirvožemio agrocheminėms savybėms, maisto medžiagų išplovimui, iš *Antropogeninių veiksnių įtaka dirvožemio derlingumui* Vilnius, 52–56.

McGuire, A. D.; Apps M.; Chapinm III F. S.; Dargavillem, R.; Flanniganm, M. D.; Kasischkem, E.S.; Kicklighterm, D.W.; Kimballm, J.; Kurzm, W.; McCraem, D.J.; McDonaldm, K.; Melillo, J.M.; Myneni, R.; Stocks, B.J.; Verbyla, D.L.; Zhuang, Q. 2004. Canada and Alaska, in, *Land Change Science: Observing, Monitoring, and Understanding Trajectories of Change on the Earth's Surface* 23: 236–598.

Motuzas, A.; Buivydaitė, V.; Danilevičius, V. 1996. *Dirvotyra*. Vilnius, Mokslo ir enciklopedijų leidykla. 285 p.

Motuzas, J.; Buivydaitė, V.; Šleiny, V. 1996. *Dirvotyra*. Vilnius. 155 p.

Nelson, D. W.; Sommers, L. E. 1982. *Total carbon, organic carbon and organic matter*, In, Page, A. L. (Ed.). ASA Monograph. Madison, Wisconsin USA: 579 p.

Neries regioninio parko žemėlapis. [Žiūrėta 2008 m. birželio 9 d.] Prieigą per internetą: <<http://www.neriesparkas.lt/?id=52&l=1>>.

Olesen, J. E.; Bindi, M. 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy, *European Journal of Agronomy* 16: 239–262.

Ollinger, S. V.; Aber, J. D.; Reich, P. B. 1996. Predicting the effects of tropospheric ozone on forest productivity in the northeastern U.S, In. *Proceedings, 1995 Meeting of the Northern Global Change Program, USDA USFS General Technical Report NE-214*, 217–225.

Ollinger, S. V.; Aber, J. D.; Reich, P. B.; Freude, R. J. 2002. Interactive effects of tropospheric ozone, nitrogen deposition, elevated CO₂ and land use history on the carbon dynamics of northern hardwood forests, *Global Change Biology* 8: 545–562.

Organic Agriculture, Environment and Food Security. 2002. Edited by Nadia El-Hage Scialabba and Caroline Hattam, Environment and Natural Resources Series Rome. 252 p.

Partyka, T.; Hamkalo, Z. 2010. Estimaation of oxidizing of organic matter of forest and arable soil, *Žemdirbystė* 97(1): 33–40.

Paškauskas, S. 2001. *Vėjinė dirvožemio erozija. Lietuvos dirvožemiai*. Vilnius: Lietuvos mokslas, 32 knyga. 719 p.

Postek, K. M.; Driscoll, C. T.; Aber, J. D.; Santore, R. C. 1995. Application of PnET-CN/CHESS to a spruce stand in Solling, Germany, *Ecological Modeling* 83:163–172.

Račinskas, A. 1990. *Dirvožemio erozija*. Vilnius. 136 p.

Ruddiman, W. F. 2003. The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago, *Climate Change* 61(3): 261–293.

Saulius M. 2007. Ariamų žemių renatūralizacija: poveikis dirvožemio armens agrocheminiams rodikliams, *Žemės ūkio mokslai Lietuvos mokslų akademijos leidykla*, 14(2): 18–22.

Smith, W. N.; Grant, B.B.; Desjardins R. I.; Worth, D.; Li, C.; Boles, E. C.; Huffman, E. C. 2010. A tool to link agricultural activity data with the DNDC model to estimate GHG emission factor in Canada, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 136: 301–309.

Soil Atlas of Europe. 2005. European Soil Bureau Network. 128 p.

Šleiny, R. 1994. *Pažinkime dirvožemį*. Dotnuva–Akademija. 189 p.

Tylienė, E. 1974. Daugiamečių ankštinių žolių parinkimas Aukštaitijos kalvoms, *LŽI mokslo darbai. Žolių ūkis* (17): 47–56.

Tripolskaja, L. 2005. *Organinės trąšos ir jų poveikis aplinkai. Lietuvos žemdirbystė*. Vilnius. 324 p.

Vaišvila, Z. 1999. *Agrochemija*. Kaunas. 337 p.

Verma, S. B.; Dobermann, A.; Cassman, K. G.; Walters, D. T.; Knops, J. M.; Arkebauer, T. J.; Suyker, A. E.; Burba, G. G. 2005. Annual carbon dioxide exchange in irrigated and rainfed maizebased agroecosystems, *Agricultural and Forest Meteorology* 131: 77–96. ISSN: 0168-1923 IF=3,197.

Volungevičius, J.; Prapiestienė, R.; Eidukevičienė, M. 2006. Dirvožemio pH erdviųjų dėsningumų Lietuvoje pagrindimas, *Geografija* 42(2): 8–14.

Žalakevičius, M. 2005. *Globalios klimato kaitos poveikis ekosistemoms ir jų sudedamosioms dalims: jautrumas, pažeidžiamumas, adaptacijos*. Vilnius. 67 p.

Žemės dirbimo įtaka dirvožemio kokybei. [Žiūrėta 2010 m. gegužės 14 d.] Prieigą per internetą: <http://www.manoukis.lt/print_forms/print_st_z.php?s=2147&z=96>.

Алексеев, Ю. В. 1987. *Тяжелые металлы в почвах и растениях*. Москва. 136 с.

Анспек, П. И.; Лиепиньш, Ю. Я. 1991. Сапропели – источник органического вещества, макро и микроэлементов, *Химия* 4: 42–45.

Бабров, С. А. 1981. *Биологическая доступность питательных веществ в почве*. Москва. 296 с.

Богдевич, П.; Пироговская, Г.; Русалович, А. 1998. Миграция веществ в почвах Белорус в зависимости от уровня минерального питания растений и форм удобрений, в кн.: *Лизиметрические исследования почв*: материалы научной конференции МГУ. Москва, 208.

Богдзич, М. 2000. Проблемы плодородия почв Белорус. *Почва, удобрение, плодородие*: материалы научной конференции. Минск, 25–46.

Возбуцкая, А. Е. 1964. *Химия почвы*. Москва: Высшая школа. 398 с.

Воронин, А. Д. 1986. *Основы физики почв*. Москва. 242 с.

Гилярова, М. С. 1975. *Методы почвенно-зоологических исследований*. Москва. 275 с.

Гуев, Н. А. 1989. *Микробиологические процессы гумусообразования*. Москва. 237 с.

Мартинчик, Т. Н. 2001. *Влияние альтернативных источников органических удобрений на продуктивность звена севооборота и баланс элементов питания*: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Минск. 321 с.

Мипчинк, Т. Г. 1979. *Почвенная микробиология*. Москва. 316 с.

Мишустин, Е. Н.; Емцев, В.Т. 1978. *Микробиология*. Москва. 166 с.

Орлов, Д. С. 1990. *Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации*. Москва. 375 с.

Эйдукиявичене, М. 1993. *Геохимическое и географическое обоснование оптимизирования известкования кислых почв Литвы*: автореф. ... д-ра наук. Вильнюс. 266 с.

Ягодина, Б. А. 1982. *Агрохимия*. Москва: ВО Агропромиздат. 287 с.

Autoriaus publikacijos disertacijos tema

Straipsniai mokslo recenzuojamuose žurnaluose

Baltrėnas, P.; Pranskevičius, M.; Lietuvninkas, A. 2010. Research and assesment of dependences of the total carbon on pH in Neris regional park, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 18(3): 179–187 (ISI Web of Science) IF=1,508 AIF=2,476 ISSN: 1648-6897.

Baltrėnas, P.; Pranskevičius, M.; Lietuvninkas, A. 2010. Investigation and evaluation of carbon dioxide emissions from soil in Neris regional park, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 19(1): 115–122. (ISI Web of Science) IF=1,508 AIF=2,476 ISSN: 1822-4199.

Pranskevičius, M.; Baltrėnas, P. 2009. Reljefo įtakos bendrosios dirvožemio anglies kitimui tyrimas ir vertinimas [Research and evaluation of relief effect on total carbon changes in soil], *Mokslas – Lietuvos ateitis* 1(4): 4–14 p. ISSN. 2029-2252.

Straipsniai kituose leidiniuose

Baltrėnas, P.; Pranskevičius, M.; Lietuvninkas, A. 2008. A. Investigation and evaluation of total organic carbon in soil, in *The 7th International Conference Environmental Engineering I*: 42–51. ISBN. 978-9955-28-263-1.

Pranskevičius, M.; Baltrėnas, P. 2008. Bendrosios organinės anglies dirvožemyje vertinimas [Total organic carbon in the soil evaluation], iš *11-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2008 m. balandžio 3 d., straipsnių rinkinys* [elektroninis išteklius] [Environmental Engineering Proceedings of the XI Conference of Lithuanian Young Scientists „Science – the future of Lithuania“, held in Vilnius on 3 April, 2008 [CD]]. Aplinkos apsaugos inžinerija. Vilnius: Technika: 170–178. ISBN 978-9955-28-385-0.

Mantas PRANSKEVIČIUS

SKIRTINGOS ŽEMĖNAUDOS DIRVOŽEMIŲ BENDROSIOS ANGLIES KIEKIO IR
ANGLIES DIOKSIDO EMISIJOS TYRIMAI BEI VERTINIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
aplinkos inžinerija ir kraštotvarka (04T)

RESEARCH AND ASSESSMENT OF THE TOTAL CARBON CONTENT AND
CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM SOILS OF DIFFERENT LAND-USE
PURPOSE

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Environmental Engineering (04T)

2011 05 05. 13,25 sp. l. Tiražas 20 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,
<http://leidykla.vgtu.lt>
Spausdino UAB „Ciklonas“
J. Jasinskio g. 15, 01111 Vilnius