

Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte  
*Latvia University of Life Sciences and Technologies*

Latvijas Valsts mežzinātnes institūts “Silava”  
*Latvian State Forest Research Institute “Silava”*



*Mg.envir.sc.* Ieva Licīte 

**KLIMATA PĀRMAIŅU SAMAZINĀŠANA LAUKSAIMNIECĪBAS  
ORGANISKĀS AUGSNES APSAIMNIEKOŠANĀ LATVIJĀ**

***CLIMATE CHANGE MITIGATION IN AGRICULTURAL ORGANIC SOIL  
MANAGEMENT IN LATVIA***

Promocijas darba KOPSAVILKUMS

zinātnes doktora grāda zinātnes doktore (*Ph. D.*) sociālās zinātnēs iegūšanai

SUMMARY

of the Doctoral thesis for the acquiring Doctoral degree Doctor of  
Science (Ph.D.) in Social Sciences

Jelgava  
2024

## INFORMĀCIJA

**Promocijas darbs izstrādāts** Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes (LBTU) Ekonomikas un sabiedrības attīstības fakultātes Ekonomikas un finanšu institūtā un Latvijas Valsts mežzinātnes institūtā “Silava” no 2019. – 2023. gadam. Datu materiāla ieguve un pētniecība veikta Latvijas Valsts mežzinātnes institūtā “Silava” ar Eiropas Savienības LIFE programmas un Latvijas Valsts reģionālās attīstības aģentūras finansiālu atbalstu projektā „Klimata pārmaiņu samazināšanas iespēju demonstrēšana auglīgās organiskajās augsnēs Baltijas valstīs un Somijā” (LIFE OrgBalt, LIFE18 CCM/LV/001158), kā arī izmantojot Latvijas Zinātnes padomes Fundamentālo un lietišķo pētījumu projekta “Siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijas no koku stumbra virsmas ietekmējošo faktoru izpēte lapkoku audzēs ar meliorētām un pārmitrām augsnēm” (LZP-2021/1-0137) rezultātus. Promocijas darba izstrāde un aprobācija finansēta projektā „LLU pāreja uz jauno doktorantūras finansēšanas modeli” (līgums Nr. 2021/2/GR/Silava/LLU).

**Doktora studiju programma:** Agrārā un reģionālā ekonomika, apakšnozare – Agrārā ekonomika.

**Promocijas darba zinātniskie vadītāji:** LBTU Ekonomikas un sabiedrības attīstības fakultātes profesore, *Dr.oec.* Dina Popluga un Latvijas Valsts mežzinātnes institūta “Silava” vadošais pētnieks, *Dr.silv.* Andis Lazdiņš.

Promocijas darba zinātniskā aprobācija noslēguma posmā

- Apspriests un aprobēts LBTU Ekonomikas un sabiedrības attīstības fakultātes Ekonomikas un reģionālās attīstības institūta akadēmiskā personāla pārstāvju sēdē 2023. gada 20. jūnijā.
- Apspriests un aprobēts Latvijas Valsts mežzinātnes institūta “Silava” Zinātniskās padomes sēdē 2023. gada 18. jūlijā.
- Apspriests un aprobēts LBTU Ekonomikas un sabiedrības attīstības fakultātes Uzņēmējdarbības un vadībzinātnes institūta un Ekonomikas un finanšu institūta akadēmiskā personāla pārstāvju apvienotā akadēmiskā sēdē 2023. gada 2. novembrī.
- Atzīts par pilnīgi sagatavotu un pieņemts Promocijas padomē 2024.gada 29. februārī.

### Oficiālie recenzenti

1. *Dr.oec.* **Irina Pilvere** – Promocijas padomes eksperte, LBTU Ekonomikas un sabiedrības attīstības fakultātes, Ekonomikas un finanšu institūta profesore.
2. *Dr.oec.* **Anda Zvaigzne** – Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmijas Biznesa un sabiedrības procesu pētniecības institūta direktore, asociētā profesore, vadošā pētniece.
3. *Dr.oec.* **Ants-Hannes Viira** – Igaunijas Lauksaimniecības izpētes un zināšanu centra (METK) Lauksaimniecības pētniecības departamenta direktors.

**Promocijas darba aizstāvēšana notiks** LBTU Ekonomikas un uzņēmējdarbības zinātņu Agrārās un reģionālās ekonomikas apakšnozaru Promocijas padomes atklātā sēdē 2024. gada 19. jūnijā Ekonomikas un sabiedrības attīstības fakultātē (Svētes iela 18, Jelgava) 212. auditorijā plkst. 10.00.

Ar promocijas darbu var iepazīties LBTU Fundamentālajā bibliotēkā, Lielā ielā 2, Jelgavā un <https://lbtufb.lbtu.lv>.

**Atsauksmes sūtīt** Promocijas padomes sekretārei – Svētes ielā 18, Jelgavā, LV–3001, tālr. 63025170, e–pasts: Anita.Auzina@lbtu.lv. Atsauksmes vēlams sūtīt ieskenētā veidā ar parakstu.

**Padomes sekretāre:** LBTU profesore *Dr.oec.* Anita Auziņa.

## SYNOPSIS

The doctoral thesis has been elaborated at the Economics and Finance Institute, Faculty of Economics and Social Development, Latvia University of Life Sciences and Technologies (LBTU) and at the Latvian State Forest Research Institute "Silava" from 2019 to 2023. Data collection and research were carried out at the Latvian State Forest Research Institute "Silava" with financial support from the European Union's LIFE program and the Latvian State Regional Development Agency in the project " Demonstration of climate change mitigation potential of nutrients rich organic soils in Baltic States and Finland" (LIFE OrgBalt, LIFE18 CCM/LV/001158), as well as using the results of the Latvia Science Council's Fundamental and Applied Research project "Evaluation of factors affecting greenhouse gas (GHG) emissions from surface of tree stems in deciduous forests with drained and wet soils" (LZP-2021/1-0137). The development and approbation of the doctoral thesis were funded by the project " Transition of LLU to new financing model of doctoral studies" (Contract No. 2021/2/GR/Silava/LLU).

**Doctoral Programme:** Agrarian and Regional Economics, subfield – Agrarian Economics.

**Scientific supervisors of the doctoral thesis:** Professor of the Faculty of Economics and Social Development, LBTU, *Dr.oec.* Dina Popluga, and the Leading Researcher of the Latvian State Forest Research Institute "Silava", *Dr.silv.* Andis Lazdiņš.

**Scientific approbation of the doctoral thesis in the final stage:**

- Discussed and approbated at the meeting of the academic staff representatives of the Institute of Economics and Regional Development, Faculty of Economics and Social Development, LBTU, on June 20, 2023.
- Discussed and approved at the meeting of the Scientific Council of the Latvian State Forest Research Institute "Silava" on July 18, 2023.
- Discussed and approved at the joint academic session of the Institute of Business and Management Sciences and the Institute of Economics and Finance of the Faculty of Economics and Social Development, LBTU, on November 2, 2023.
- Recognized as fully prepared and accepted by the LBTU Doctoral Council for Economics, subbranch – Agrarian and Regional Economics on February 29, 2024.

**Official reviewers:**

1. *Dr.oec.* **Irina Pilvere** – Expert of the LBTU Doctoral Council, professor of LBTU Faculty of Economics and Social Development.
2. *Dr.oec.* **Anda Zvaigzne** – Director of the Rēzekne Academy of Technology, Business and Society Process Research Institute, associate professor, leading researcher.
3. *Dr.oec.* **Ants-Hannes Viira** – Director of The Centre of Estonian Rural Research and Knowledge.

**The defense** of the doctoral thesis will be held at the open session of the LBTU Doctoral Council, sub-branch of science – Agrarian and Regional Economics, on June 19, 2024 in Jelgava, 18 Svetes Street, Faculty of Economics and Social Development, Room 212, at 10.00 am.

The doctoral thesis is available at the Fundamental Library of LBTU, 2 Liela Street, Jelgava and following the link: [http://llufb.llu.lv/promoc\\_darbi.html](http://llufb.llu.lv/promoc_darbi.html).

**You are welcome to send your comments** to the secretary of the Doctoral Council – 18 Svetes Street, Jelgava, LV-3001, phone: +371 63025170, e-mail: Anita.Auzina@lbtu.lv. It is advised to send your comments in scanned format and undersigned.

**Secretary of the Doctoral Council:** *Dr.oec.* Anita Auziņa, LBTU professor.

## SATURS

INFORMĀCIJA PAR PUBLIKĀCIJĀM UN ZINĀTNISKO DARBU/ <i>INFORMATION ON PUBLICATIONS AND SCIENTIFIC WORK</i> .....	6
IEVADS .....	9
1. LAUKSAIMNIECĪBAS ORGANISKĀS AUGSNES APSAIMNIEKOŠANAS TEORĒTISKIE UN POLITISKIE ASPEKTI KLIMATA PĀRMAIŅU SAMAZINĀŠANAI .....	13
1.1. Lauksaimniecības organiskās augsnes fenomens un sociāli ekonomiskā loma .....	13
1.2. Klimata pārmaiņu ietekmes novērtēšanas teorētiskie aspekti un SEG emisiju ziņošanas kārtība.....	19
1.3. Lauksaimniecības organiskā augsne klimata un lauksaimniecības politikā.....	21
2. LAUKSAIMNIECĪBAS ORGANISKĀS AUGSNES APSAIMNIEKOŠANAS NOVĒRTĒJUMS UN APSAIMNIEKOŠANAS UZLABOŠANAS IESPĒJAS LATVIJĀ...	27
2.1. Lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas raksturojums .....	27
2.2. Lauksaimniecības atbalsta politikas un lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas kopsakarības .....	31
2.3. Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumi lauksaimniecības organiskajā augsnē..	36
3. LĒMUMU PIENĒMŠANAS ATBALSTS KLIMATA PĀRMAIŅU SAMAZINĀŠANAI LAUKSAIMNIECĪBAS ORGANISKĀS AUGSNES APSAIMNIEKOŠANĀ .....	44
3.1. Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ieviešanas agrotehniskie, sociāli ekonomiskie un vides rādītāji.....	44
3.2. Daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas analīze klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu izvēlē .....	50
3.3. Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu izmaksu efektivitātes analīze.....	55
3.4. SEG emisiju prognožu simulācija klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu iespējamās ietekmes novērtēšanai Latvijas klimata politikas saistību izpildē .....	61
GALVENIE SECINĀJUMI .....	66
PROBLĒMAS UN PRIEKŠLIKUMI TO RISINĀŠANAI .....	67

## CONTENT

INTRODUCTION .....	69
1. THEORETICAL AND POLITICAL ASPECTS OF AGRICULTURAL ORGANIC SOIL MANAGEMENT FOR CLIMATE CHANGE MITIGATION .....	73
1.1. Phenomenon of Agricultural Organic Soil and its Socioeconomic Role .....	73
1.2. Theoretical Aspects of Climate Change Impact Assessment and GHG Emission Reporting Procerures.....	79
1.3. Agricultural Organic Soil within the Context of Climate and Agricultural Policies .	81
2. MANAGEMENT EVALUATION AND MANAGEMENT IMPROVEMENT POSSIBILITIES OF AGRICULTURAL ORGANIC SOIL IN LATVIA.....	87
2.1. Characteristics of Agricultural Organic Soil Management .....	87
2.2. Interconnections between Agricultural Support Policy and Agricultural Organic Soil Management.....	91
2.3. Climate Change Mitigation Measures in Agricultural Organic Soil Management....	96
3. DECISION–MAKING SUPPORT FOR CLIMATE CHANGE MITIGATION IN AGRICULTURAL ORGANIC SOIL MANAGEMENT .....	103
3.1. Agrotechnological, Socio–economic and Environmental Criteria for Implementing Climate Change Mitigation Measures.....	103
3.2. Multi–Criteria Decision–Making Analysis in the Selection of Climate Change Mitigation Measures.....	109
3.3. Analysis of Cost Effectiveness of Climate Change Mitigation Measures .....	113
3.4. Simulation of GHG Emission Projections to Assess the Impact of Climate Change Mitigation Measures on the Fulfillment of Latvia's Climate Policy Commitments .....	119
MAIN CONCLUSIONS .....	124
PROBLEMS AND PROPOSALS FOR THEIR SOLUTION .....	125
GALVENO IZMANTOTO LITERATŪRAS AVOTU SARAĶSTS / LIST OF THE BIBLIOGRAPHIC SOURCES USED .....	127

## INFORMĀCIJA PAR PUBLIKĀCIJĀM UN ZINĀTNISKO DARBU/INFORMATION ON PUBLICATIONS AND SCIENTIFIC WORK

Vides zinātņu maģistre Ieva Līcīte promocijas darbu “Klimata pārmaiņu samazināšana lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā Latvijā” izstrādājusi 2019. – 2023. gadā LBTU Ekonomikas un sabiedrības attīstības fakultātes Ekonomikas un finanšu institūtā, profesores *Dr.oec.* Dina Poplugas un Latvijas Valsts mežzinātnes institūta “Silava” vadošā pētnieka *Dr.silv.* Anda Lazdiņa zinātniskajā vadībā. / A Master of Environmental Science, Ieva Līcīte, has produced her doctoral thesis entitled “**Climate Change Mitigation in Agricultural Organic Soil Management in Latvia**” at the Institute of Economics and Finance, LBTU Faculty of Economics and Social Development, in the period 2019 – 2021 under the scientific guidance of the professor *Dr.oec.* Dina Popluga and at the Latvian State Forest Research Institute “Silava” under the scientific guidance of the lead researcher *Dr.silv.* Andis Lazdiņš.

**Promocijas darba rezultāti 2020. – 2023. gadā publicēti desmit zinātniskās publikācijās** anonīmi recenzētā zinātniskajā periodikā, kas citēta starptautiski pieejamās datu bāzēs, tostarp publicējot dažāda spektra datus par siltumnīcefekta gāzu emisiju aprēķiniem un augsnes darbību datu izmaiņām saistībā ar organiskās augsnes apsaimniekošanas un zemes izmantošanas veida maiņu no lauksaimniecības uz meža zemi.

1. **Licite I.**, Lupikis, A. (2020). Impact of land use practices on greenhouse gas emissions from agriculture land on organic soils. In: *Engineering for Rural Development: Proceedings of 19th International Scientific Conference, 1823–1830*. doi: 10.22616/ERDev.2020.19.TF492, indeksēts **SCOPUS**.
2. Lazdins A., Sņepsts G., Butlers A., Purvina D., Zvaigzne Z.A., **Licite I.** (2021). Evaluation of middle-term greenhouse gas (GHG) mitigation potential of birch plantations with mineral and organic soils. In: *Engineering for Rural Development: Proceedings of 20th International Scientific Conference, 32-37*. doi: 10.22616/ERDev.2021.20.TF005, indeksēts **SCOPUS**.
3. Bārdule A., Butlers A., Lazdiņš A., **Līcīte I.**, Zvirbulis U., Putniņš R., Jansons A., Adamovičs A., Razma Ģ. (2021). Evaluation of soil organic layers thickness and soil organic carbon stock in hemiboreal forests in Latvia. *Forests*, 12(7), 840. <https://doi.org/10.3390/f12070840>, indeksēts **SCOPUS, Q1**.
4. **Licite I.**, Popluga D. (2022). The mapping of climate and agricultural policies targeting organic soil management: a case study from Latvia. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 22(5.1), pp. 793-800. Doi: 10.5593/sgem2022/5.1/s23.099, indeksēts **SCOPUS**.
5. **Līcīte I.**, Popluga D., Rivža P., Lazdiņš A., Meļņiks R. (2022). Nutrient-Rich Organic Soil Management Patterns in Light of Climate Change Policy. *Civil Engineering Journal*. 8(10), pp. 2290-2304. Doi: 10.28991/CEJ-2022-08-10-017, indeksēts **SCOPUS, Q2**.
6. **Licite I.**, Popluga D. (2022). Identification of the climate change mitigation targeted management practices on organic soils in the Baltic region. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM*. 22 (4.2), pp. 303-310. Doi: 10.5593/sgem2022V/4.2/s19.38, indeksēts **SCOPUS**.
7. Vanags–Duka M., Bārdule A., Butlers A., Upenieks E.M., Lazdiņš A., Purviņa D., **Licite I.** (2022). GHG Emissions from Drainage Ditches in Peat Extraction Sites and Peatland Forests in Hemiboreal Latvia. *Land*, 11(12), 2233. <https://doi.org/10.3390/land11122233>, indeksēts **SCOPUS, Q2**.
8. Bārdule A., Butlers A., Spalva G., Ivanovs J., Meļņiks R.N., **Līcīte I.**, Lazdiņš A. (2023). The Surface-to-Atmosphere GHG Fluxes in Rewetted and Permanently Flooded Former Peat Extraction Areas Compared to Pristine Peatland in Hemiboreal

Latvia. Water, 15(10), 1954. <https://doi.org/10.3390/w15101954>, indeksēts **SCOPUS**, **Q1**.

9. Purvina D., **Licite I.**, Butlers A., Lazdins A., Saule G., Turks A., Prysiazhniuk L.(2023). Evaluation of peat layer thickness effect on soil GHG fluxes. In: Engineering for Rural Development: Proceedings of 22nd International Scientific Conference, 454–460. doi: 10.22616/ERDev.2023.22.TF096, indeksēts **SCOPUS**.
10. Rancāne S., **Licite I.**, Zuševica A., Zute S., Jansone I., Damškalne M., Zariņa L., Koroļova J., Putniece G., Prysiazhniuk L. (2023). Biomass of alternative species for traditional cereal crops in Latvia and their potential impact on the carbon cycle. Zemdirbyste, 110(3), doi:10.13080/z-a.2023.110.023, indeksēts **SCOPUS**.

**Par pētījuma rezultātiem autore ziņojusi 15 konferencēs, tostarp 9 starptautiskās zinātniskās konferencēs, 5 starptautiskos zinātniskos forumos, 1 zinātniski praktiskā konferencē.**

1. III International Economic Forum, 31.10.2019., Rīga, Latvija. **Stenda ziņojums:** “Klimata pārmaiņu samazināšanas iespēju izpēte organisko augšņu apsaimniekošanā lauksaimniecības zemēs”.
2. 19<sup>th</sup> International Scientific Conference Engineering for Rural Development, tiešsaiste. 20. – 22.05.2020., **Ziņojums:** “Impact of land use practices on greenhouse gas emissions from agriculture land on organic soils”.
3. Zinātniski praktiska konference “Līdzsvarota lauksaimniecība”, tiešsaiste. 25. – 26.02.2021. **Ziņojums:** “Siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju prognozes un klimata izmaiņu mazināšanas saistību izpildes iespēju novērtējums aramzemēs un zālājos”.
4. Starptautiska zinātniska konference "Zināšanās balstīta meža nozare", 26. – 27.01.2021., tiešsaiste. **Ziņojums:** “Siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanas iespējas organiskajās augsnēs lauksaimniecībā izmantojamās zemēs”.
5. International Peatland Congress, tiešsaiste. 03. – 06.05.2021. **Ziņojums:** “Evaluation of GHG emissions from organic soils”.
6. IV International Economic Forum “Future economy: globalisation challenges faced by Europe and the Baltics in the 21<sup>st</sup> century”, tiešsaiste.17.09.2021. **Stenda ziņojums** “Evaluation of greenhouse gas emissions from organic soils for better policy planning”.
7. 7<sup>th</sup> International Conference “Trends in Regional Development in the EU Countries 2021”, tiešsaiste. 22.10.2021. **Stenda ziņojums** “Importance of greenhouse gas emissions calculation methods for better climate change policy planning in organic soil management”.
8. ANO Vispārējās konvencijas par klimata pārmaiņām konference COP26, 08.11.2021., tiešsaiste. **Ziņojums** “Preliminary results form LIFE OrgBalt project” seminārā "Organic soils and peatlands in the Baltic countries: Mitigation measures&monitoring, paludiculture and Carbon farming approaches", Global Peatland Pavilion.
9. 3<sup>rd</sup> International Scientific Conference Sustainable Bioeconomy Development 2022: Theory and Practice, tiešsaiste. 04. – 05.05.2022. **Ziņojums** “Mapping of Resent Greenhouse Gas Related Research Activities in the Field of Organic Soil Management in Agriculture Land in Latvia”.
10. 21<sup>st</sup> International Scientific Conference Engineering for Rural Development, tiešsaiste. 25. – 27.05.2022. **Ziņojums** “Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from naturally wet and drained nutrient-rich organic forests soils”.
11. 22<sup>nd</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2022, 02. – 11.07.2022., Albena Bulgārija. **Ziņojums** “The mapping of climate and agricultural policies targeting organic soil management: case study from Latvia”.
12. SGEM International Scientific Conferences on Earth & Planetary Sciences extended scientific sessions “Geen Sciences for Geen Life“, 06. – 09.12.2022., Vīne, Austrija.

**Ziņojums** “Identification of the climate change mitigation targeted management practices on organic soils in the Baltic region”.

13. Scientific forum “LIFE platform meeting on the benefits of peatland restoration for Europe”, Berlīne, Vācija, 26. – 28.04.2023. **Ziņojums** “LIFE OrgBalt and LIFE Restore projects GHG sequestration effects, the methods of GHG flux measurements and modelling, lessons learned and results”.
14. Scientific conference “1<sup>st</sup> Northern European “4 per 1000” regional meeting: More carbon in the soil for multiple benefits”, 06. – 08.06.2023., Somija, Helsinki. Session “Regional Priority in Northern Europe: Agricultural organic soils”. **Ziņojums** “The complexity of agriculture organic soil management – LIFE OrgBalt project experience”.
15. ANO Vispārējās konvencijas par klimata pārmaiņām konference COP28, 10.12.2023., Dubaja, Apvienotie Arābu Emirāti. **Ziņojums** “Agriculture organic soil as climate policy subject in Baltics” Igaunijas Biozinātņu universitātes organizētā diskusijā “Contextualized Carbon Sequestration in Agricultural Soils: Potential and Limits”, Estonian Pavilion.

**Autore veikusi zinātniski pētniecisko darbu/The author has conducted scientific research work** Eiropas Sociālā fonda projektā Nr. 8.2.2.0/20/I/001 “LLU pāreja uz jauno doktorantūras finansēšanas modeli” un zinātniskos pētījumos.

1. Eiropas Komisijas LIFE programmas projekta “Klimata pārmaiņu samazināšanas iespēju demonstrēšana auglīgās organiskajās augsnēs Baltijas valstīs un Somijā” (LIFE OrgBalt, LIFE18 CCM/LV/001158), projekta vadītāja no 2019. gada līdz 2024. gadam.
2. Norvēģijas Granta klimata un vides 2014. – 2021. gada perioda programmas “Klimata pārmaiņu mazināšana, pielāgošanās tām un vide” iepriekš noteiktā projekta “Klimata pārmaiņu politikas integrācija nozaru un reģionālajā politikā” vadītāja Latvijas Valsts mežzinātnes institūtā “Silava” no 2021. gada līdz 2023. gadam.
3. Norvēģijas Grantu klimata un vides 2014. – 2021. gada perioda programmas “Klimata pārmaiņu mazināšana, pielāgošanās tām un vide” iepriekš noteiktā projekta “Ilgtspējīgas augsnes resursu pārvaldības uzlabošana lauksaimniecībā” vadītāja Latvijas Valsts mežzinātnes institūtā “Silava” no 2021. gada līdz 2024. gadam.
4. ERAF pētījuma “Siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju mazināšanas potenciālu ietekmējošo faktoru izpēte zālajos un aramzemēs ar organiskajām augsnēm” (Līgums Nr. 1.1.1.1/21/A/031.) eksperte no 2022. gada līdz 2023. gadam.
5. Valsts atbalsta lauksaimniecībai pētījuma “Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO<sub>2</sub>) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana” eksperte no 2020. gada līdz 2023. gadam.

**Autore izsaka pateicību** pētījuma zinātniskajiem vadītājiem LBTU ESAF profesorei, *Dr.oec.* Dinai Poplugai un LVMI “Silava” vadošajam pētniekam, *Dr.silv.* Andim Lazdiņam par pētnieciskajām idejām un nepārtrauktu atbalstu. Tāpat autore izsaka pateicību LBTU ITF profesoram, *Dr.habil.sc.ing.* Pēterim Rivžam par atbalstu datu statistiskajā apstrādē un modelēšanā, LBTU LPTF asociētai profesorei (Emeritus), *Dr.agr.* Dzirdai Kreišmanei par atbalstu agronomisko datu sagatavošanā, un LVMI “Silava” zinātniskajam asistentam, *Mg.envir.sc.* Raitim Normundam Meļņikam par ģeotelpisko datu apstrādi un kartogrāfiskā materiāla vizualizācijām. **The author expresses her gratitude** to the scientific supervisors of the doctoral thesis, LBTU ESAF professor, *Dr. oec.* Dina Popluga and the leading researcher of LVMI “Silava”, *Dr. silv.* Andis Lazdiņš for the research ideas and continuous support. The author also expresses her gratitude to LBTU ITF professor, *Dr.habil.sc.ing.* Pēteris Rivža for support in statistical data processing and modelling, LBTU LPTF associate professor (Emeritus) *Dr.agr.* Dzirda Kreišmane for support in the preparation of agronomic data and to the scientific assistant of LVMI “Silava”, *Mg.envir.sc.* Raitis Normunds Melniks for geospatial data processing and cartographic material visualizations.



## IEVADS

Ilgtspējīga nozaru un valsts kopējā ekonomiskā attīstība mūsdienās nav iespējama bez klimata pārmaiņu samazināšanas centienu integrācijas valsts un nozaru līmeņa attīstības plānošanas dokumentos un rīcībā. Klimata pārmaiņu samazināšana un spēja pielāgoties klimata pārmaiņām ir viens no galvenajiem 21. gadsimta ilgtspējīgas attīstības izaicinājumiem (United Nations General Assembly, 2015). Siltumnīcefekta gāzu emisiju koncentrācija atmosfērā kopš industriālās revolūcijas pirmsākumiem 17. gadsimta sākumā nepārtraukti augusi saistībā ar neilgtspējīgu enerģijas izmantošanu, dzīves stila un patēriņa izmaiņām, kā arī pateicoties neilgtspējīgai zemes izmantošanai un zemes izmantošanas veida maiņai, šīm izmaiņām nepārprotami novedot pie globālās sasilšanas (Calvin et al., 2023). Neskatoties uz jau pieņemtajiem globālajiem politiskajiem lēmumiem klimata pārmaiņu mazināšanai un valstu deklarētajiem apņemšanās centieniem (*Nationally Determined Contributions*), joprojām pastāv nesaiste starp prognozēto siltumnīcefekta gāzu emisiju apjomu un Apvienoto Nāciju Organizācijas Vispārējās konvencijas par klimata pārmaiņām 2015. gada Parīzes nolīguma mērķi pasaules vidējās temperatūras pieaugumu saglabāt būtiski mazāku par 2 °C salīdzinājumā ar pirmsindustriālo līmeni un censties panākt, lai temperatūra neceltos vairāk par 1,5 °C (Calvin et al., 2023). Klimata pārmaiņas neapstājas pie valstu administratīvajām robežām, ir nepieciešama vienota rīcība un Eiropas Savienība klimata pārmaiņu samazināšanu ir noteikusi par vienu no tās galvenajām prioritātēm ārpolitikā, izsakot apņemšanos stiprināt klimata un enerģētikas diplomātijas pastiprināšanu (Council of the European Union, 2023). Vienlaikus Eiropas Savienība klimata pārmaiņu samazināšanu ir deklarējusi arī par iekšpolitikas prioritāti apņemoties līdz 2050. gadam panākt Eiropas Savienības klimatneitralitāti, pārveidojoties par taisnīgu un pārticīgu sabiedrību ar modernu un konkurētspējīgu ekonomiku (European Council, 2019).

Eiropas Savienības dalībvalstis, tostarp Latvija, izstrādā nacionālus politikas plānošanas dokumentus, lai nacionālā līmenī noteiktu virzību kopējā Eiropas Savienības klimatneitralitātes mērķa sasniegšanai. Latvija 2020. gadā apstiprinājusi informatīvo ziņojumu “Latvijas stratēģija klimatneitralitātes sasniegšanai līdz 2050. gadam” (LR Ministru kabinets, 2020). Ņemot vērā novērojamas un prognozētās siltumnīcefekta gāzu emisiju izmaiņu tendences, klimata pārmaiņu samazināšana gan globālā, gan reģionālā līmenī atzīta par ļoti izaicinošu un neiespējamu bez dabas risinājumiem (*nature based solutions*) bāzētu pasākumu pielietošanas un zinātniskās izpētes iesaistes, integrēti sadarbojoties dabaszinātņu un sociālo zinātņu pētniekiem (Malhi et al., 2020). Nepieciešamie risinājumi katrā no reģioniem un valstīm ir atšķirīgi, bet gan globālajos, gan Eiropas Savienības, gan arī Latvijas klimata politikas plānošanas dokumentos ir uzsvērtā kūdras jeb organiskās augsnes un specifiski lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas īpašā nozīme klimata pārmaiņu samazināšanas mērķu izpildē. Latvijā lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošana ir viens no lielākajiem siltumnīcefekta gāzu emisiju avotiem lauksaimniecības zemē – pēc platības lauksaimniecības organiskā augsne aizņem aptuveni 7% no Latvijas lauksaimniecības zemes, bet tās radītais siltumnīcefekta gāzu emisiju apjoms pārsniedz 30% no lauksaimniecības zemes siltumnīcefekta gāzu emisijām (LEGMC, 2022b). Lai gan organiskās augsnes aizņemtā platība ir salīdzinoši neliela, šīs augsnes apsaimniekošana ir sociāli un ekonomiski nozīmīga, jo lielākā vai mazākā mērā ietekmē aptuveni 48% no visām Latvijas lauku saimniecībām (Pilvere, 2017). Lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanai ir būtiska nozīme Eiropas Savienības klimatneitralitātes mērķa sasniegšanā (European Commission, 2022a), savukārt, Latvijas klimata politikas mērķu izpilde nav īstenojama bez proaktīvas un mērķtiecīgas klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu plānošanas un ieviešanas lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā (LR Ministru kabinets, 2020).

Lauksaimniecības organiskās augsnes izpētei globālā un nacionālā līmenī raksturīga ekoloģiskās un ekonomiskās pētniecības jomu paralēla attīstība. Kūdras jeb organiskās augsnes

ekoloģijas un biofizikālo īpašību izpēte veikta gan pasaulē (Hiraishi et al., 2014), gan Latvijā (Lazdins et al., 2021; Lazdiņš et al., 2016; Licite & Lupikis, 2020 u.c), bet reti analizēts tas, kā iegūtie rezultāti būtu izmantojami politikas plānošanā, kāds ir ieteikumu ieviešanas potenciāls ņemot vērā sociāli ekonomiskos aspektus, lai gan ekoloģiskā un ekonomiskā attīstības perspektīva un problemātika 21. gadsimtā ir savijusies ciešāk kā jebkad iepriekš (Söderqvist, 2011). Ilgtspējīgas attīstības zinātniskā izpēte joprojām lielākoties koncentrējas dabas zinātņu jomā, savukārt, ekonomiskā izpēte notiek atrauti no ilgtspējīgas attīstības izaicinājumu izpētes (Polasky et al., 2019). Dabas zinātņu pētījumi pierāda ilgtspējīgas attīstības, tostarp klimata pārmaiņu samazināšanas, tehnoloģiskās iespējas, tomēr mūsdienu sabiedrības lielākais izaicinājums ir nodrošināt to, ka biofiziskā izteiksmē sevi pierādījušas inovācijas tiek virzītas ieviešanai, saskaroties ar sarežģītu ekonomisko, politisko un sociālo vidi (Tallis et al., 2018), kas, savukārt, var būt par iemeslu tam, kāpēc joprojām nav panākta veiksmīga klimata pārmaiņu samazināšana. Cieša biozinātņu un sociālo zinātņu integrācija, sociālo un humanitāro zinātņu atziņu izmantošana ieviešot tehnoloģiskos klimata pārmaiņu samazināšanas risinājumus, ir veids, kā rast patiesi efektīvus risinājumus un mainīt sabiedrības konceptus (Nightingale et al., 2020).

Politikas lēmumu pieņemšanā, tostarp klimata un lauksaimniecības politikas jomās, trūkst kvantificētu datu izmantošanas pieejas un sociālo ietekmju fona analīzes (Will et al., 2020). Politikas lēmumus nereti pieņem bez pietiekama procesa izvērtējuma, sekojot emocionāliem nevis datu analīzē un aprēķinos balstītiem secinājumiem (Huber et al., 2018), kas padara lēmumus to ieviešanā mazāk efektīvus un formālus. Eiropas Savienībā lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanas pasākumi ietverti Zviedrijas, Somijas, Dānijas, Luksemburgas un Vācijas politikas plānošanas dokumentos, bet emisiju samazināšanas potenciāls lielākoties nav kvantificēts (European Commission. Directorate General for Climate Action. & IEEP., 2018) un pasākumu ieviešanas apjoms un faktiskā siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanas ietekme nav skaidra. Latvijā trūkst informācijas par izmaksu efektīviem klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumiem (Licite & Popluga, 2022), kā arī pasākumu ietekmes kvantificēšanas un ranžēšanas iespējām, kas dotu iespēju politikas lēmumu pieņēmējiem ieviest zinātniski pamatotus risinājumus. Tāpēc autore izvēlas veikt padziļinātu lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas un klimata pārmaiņu samazināšanas iespēju izpēti Latvijā, integrēti analizējot biofizikālos un sociāli ekonomiskos organiskās augsnes apsaimniekošanas aspektus un piedāvājot kvantitatīvu datu izmantošanas pieeju lēmumu pieņemšanas atbalstā, lai sasniegtu promocijas darba pētījumam izvirzīto mērķi.

Situācijas novērtējuma rezultātā izvirzīta promocijas darba zinātniskā **hipotēze** – zinātniski pamatota un aprēķinos bāzēta organiskās augsnes apsaimniekošanas lēmumu pieņemšana sekmē Latvijas klimata politikas mērķu sasniegšanu. Promocijas darba **mērķis** ir izstrādāt priekšlikumus lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas lēmumu pieņemšanas uzlabošanai, lai veicinātu Latvijas klimata politikas mērķu sasniegšanu.

Lai sasniegtu izvirzīto mērķi, formulēti šādi **uzdevumi**:

- 1) izpētīt lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas galvenos teorētiskos un politiskos aspektus klimata pārmaiņu samazināšanai;
- 2) izvērtēt lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas praksi Latvijā un identificēt potenciāli izmaksu efektīvākos klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumus;
- 3) novērtēt un salīdzināt identificēto klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu izmaksu efektivitāti, sagatavojot priekšlikumus lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas lēmumu pieņemšanai.

Pētījuma **objekts** ir lauksaimniecības organiskā augsne Latvijā, savukārt pētījuma **priekšmets** ir lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošana klimata pārmaiņu samazināšanai.

Lai izpildītu promocijas darba uzdevumus, autore lieto dažādas pētījumu **metodes**:

- 1) *salīdzinošās analīzes un sintēzes metodes*, lai identificētu un analizētu lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas teorētiskos aspektus, izmantojot zinātnisko avotu, politikas un normatīvo dokumentu repozitoriju informāciju;
- 2) *grafiskā un telpiskā analīze (ArcGIS programmatūra)*, lai analizētu lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanu Latvijā un atspoguļotu iegūtos rezultātus;
- 3) *statistiskās analīzes metodes (korelācijas, faktoru un klasteru analīze, izmantojot IBM SPSS Statistics 26 (Statistical Package for Social Sciences))*, lai analizētu lauksaimniecības atbalsta politikas un lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas kopsakarības, nosakot kompleksos faktorus, kas skaidro dažādu lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas veidu savstarpējās sakarības un izdalot atšķirīgas organiskās augsnes grupas, atkarībā no kompleksu faktoru ietekmes uz apsaimniekošanas veidu;
- 4) *ekspertu intervijas*, lai, intervējot Baltijas valstu un Somijas vadošos zinātniskos ekspertus, veiktu klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu atlasu, ņemot vērā pasākumu potenciālo klimata pārmaiņu samazināšanas devumu un izmaksu efektivitāti;
- 5) *daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas analīzes metodi TOPSIS un izmaksu efektivitātes analīzes metodi MACC*, lai veiktu klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu savstarpēju novērtējumu un ranžēšanu, kā arī pasākumu potenciālās klimata pārmaiņu samazināšanas ietekmes novērtēšanu, veicot SEG emisiju prognožu simulāciju.

Izvirzīto uzdevumu izpildei un promocijas darba mērķa sasniegšanai izmantoti dažādi

#### **datu avoti un materiāli:**

Uzdevumu izpildei izmantotas starptautiskās zinātniskās literatūras datu bāzēs indeksētas zinātniskās publikācijas lauksaimniecības un klimata politikas, SEG emisiju aprēķinu, klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ietekmes novērtēšanas, lēmumu pieņemšanas analīzes un atbalsta jomās. Politikas un normatīvās vides izpētei izmantota Eiropas Savienības Oficiālā vēstneša vietne EUR–Lex, Latvijas Republikas tiesību aktu vietne Likumi.lv, Latvijas Republikas politikas plānošanas informācijas sistēmas datu bāze POLSIS, Apvienoto Nāciju Organizācijas Vispārējās konvencijas par klimata pārmaiņām dokumentu un lēmumu datu bāze, dažādu institūciju interneta vietnēs iegūstami dokumenti.

Latvijas lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas prakses raksturošanai un novērtēšanai kopsakarībās ar saņemto lauksaimniecības atbalstu, izmantota Lauku atbalsta dienesta Lauku reģistra informācijas sistēma un Valsts augu aizsardzības dienesta augsnes agroķīmiskās izpētes datu bāze. Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ieviešanas agrotehnisko, sociāli ekonomisko un vides rādītāju raksturošanai izmantoti Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centra sagatavotie lauksaimniecības bruto segumu aprēķinu un zinātnisku publikāciju dati, tirgus cenu informācija (dažādas tiešsaistes vietnes), Ekosistēmas un bioloģiskās daudzveidības ekonomikas (*The Economics of Ecosystem and Biodiversity*) datu bāzes, TEEB Ekosistēmu pakalpojumu vērtību datu bāze (*Ecosystem Service Value Database*), Latvijas Republikas Valsts kases diskonta likmju kalkulators.

#### **Pētījuma ierobežojumi**

Organiskā augsne Latvijā sastopama gan lauksaimniecībā izmantojamā, gan meža zemē. Promocijas darbā autore analizē vienu no organiskās augsnes izmantošanas veidiem – lauksaimniecības organisko augsni, ar to saprotot organisko augsni lauksaimniecībā izmantojamā zemē. Sastopami divi organiskās augsnes veidi – barības vielām bagāta (minerotrofa) un barības vielām nabadzīga (ombrotrofa) organiskā augsne. Barības vielām nabadzīga organiskā augsne galvenokārt sastopama izstrādātos kūdras purvos, savukārt barības vielām bagāta organiskā augsne veido pārējo lauksaimniecībā izmantoto organiskās augsnes platību, kuras apsaimniekošana rada lielāko siltumnīcefekta gāzu emisiju apjomu. Promocijas darbā pētīta barības vielām bagāta (minerotrofa) lauksaimniecības organiskā augsne, šādu izvēli pamatojot ar to, ka šī augsnes grupa lauksaimniecības zemē dominē gan pēc platības, gan pēc

radīto siltumnīcefekta gāzu emisiju īpatsvara. Promocijas darba izpēte veikta Latvijas valsts līmenī, tomēr izstrādāto klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ietekmes novērtējuma pieeju ar atbilstošiem pielāgojumiem ir iespējams izmantot arī reģionu līmenī vai Latvijas kaimiņvalstīs.

#### **Novitāte un zinātniskais nozīmīgums**

Promocijas darbam piemīt zinātniska un praktiska novitāte Latvijā. Autore veikusi kompleksu lauksaimniecības organiskās augsnes klimata pārmaiņu ietekmes un šīs ietekmes samazināšanas iespēju novērtējumu un ar izstrādātajiem priekšlikumiem iesaka, kā iespējams uzlabot lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas lēmumu pieņemšanu un tālāku zinātnisku izpēti. Izstrādāti ieteikumi lauksaimniecības organiskās augsnes klimata pārmaiņu ietekmes samazināšanas pasākumu novērtēšanai un ranžēšanai, izmantojot Latvijā salīdzinoši reti lietotu kvantitatīvu datu pieeju un inovatīvu lēmumu pieņemšanas atbalsta metožu kombinēšanu. Ekosistēmu pakalpojumu vērtības testēšana klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu izmaksu efektivitātes aprēķināšanā, izmantojot robežizmaksu samazināšanas līknes metodi, ir zinātniskās izpētes novitāte Latvijā.

#### **Tautsaimnieciskais nozīmīgums**

Promocijas darba rezultāti par klimata pārmaiņas samazinošiem pasākumiem lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā ir praktiski izmantojami valsts un lauku saimniecību līmeņa saimniecisko lēmumu pieņemšanā un attīstības plānošanā.

Nacionālo klimata politikas mērķu neizpildes gadījumā valsts var saskarties ar finanšu sankcijām, kas negatīvi ietekmē tautsaimniecības attīstību. Promocijas darba pētījuma priekšlikumu ieviešana, autoresprāt, varētu būtiski sekmēt lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas radīto SEG emisiju samazināšanu un Latvijas klimata pārmaiņu samazināšanas politikas mērķu sasniegšanu.

#### **Aizstāvamās tēzes**

- 1) Lauksaimniecības organiskajai augsnei ir īpaša nozīme lauksaimniecības un klimata politikas attīstībā.
- 2) Latvijas lauksaimniecības politika organiskās augsnes apsaimniekošanā nav vērsta uz valsts klimata pārmaiņu samazināšanas mērķu sasniegšanu. Lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā ir iespējams izvēlēties izmaksu efektīvus klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumus.
- 3) Kvantitatīvu lēmumu pieņemšanas atbalsta metožu izmantošana, dod iespēju plānot izmaksu efektīvu SEG emisiju samazināšanu lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā, sekmējot Latvijas klimata pārmaiņu samazināšanas mērķu sasniegšanu.

# 1. LAUKSAIMNIECĪBAS ORGANISKĀS AUGSNES APSAIMNIEKOŠANAS TEORĒTISKIE UN POLITISKIE ASPEKTI KLIMATA PĀRMAIŅU SAMAZINĀŠANAI

Nodaļas apjoms ir 33 lappuses ar 5 attēliem un 6 tabulām. Izvirzītā tēze: *Lauksaimniecības organiskajai augsnei ir īpaša nozīme lauksaimniecības un klimata politikas attīstībā.* Promocijas darba **pirmajā nodaļā** veikta lauksaimniecības organiskās augsnes fenomena, izplatības un sociāli ekonomiskās nozīmes izpēte, īpaši koncentrējoties uz politikas procesu un pētniecības rezultātu analīzi saistībā ar lauksaimniecības organiskās augsnes klimata pārmaiņu ietekmes apzināšanu un tās novērtēšanas teorētiskajiem aspektiem. Politikas procesu analīzes pētījuma periods promocijas darbā ir 1994. – 2022. gads, līdz ar to ar lauksaimniecības organisko augsni saistītie politikas procesi atspoguļoti par stāvokli līdz 2022. gada 3. ceturksnim, sniedzot vispārēju ieskatu par situāciju 2023. gadā.

## 1.1. Lauksaimniecības organiskās augsnes fenomens un sociāli ekonomiskā loma

Augsne ir lielākā sauszemes oglekļa krātuve ar kopējo uzkrājumu, kas vairāk nekā trīs reizes pārsniedz virszemes biomasas un vairāk kā divas reizes atmosfēras oglekļa krājumu (Scharlemann et al., 2014), tādējādi pat nelielas izmaiņas augsnes organiskā oglekļa uzkrājumā var būtiski ietekmēt klimata pārmaiņu procesus (Minasny et al., 2017). Neskartas kūdras augsnes ekosistēmas var būt efektīvas oglekļa krātuves, neskarta kūdras augsne satur aptuveni vienu trešdaļu no kopējiem augsnes oglekļa krājumiem pasaulē (Joosten et al., 2016; Yu et al., 2011). Kūdras augsne aizņem aptuveni 4 000 000 km<sup>2</sup> (aptuveni 3%) no Zemes sauszemes platības (Clarke & Rieley, 2010) un 80% no tās atrodas boreālās zonas klimatiskajā reģionā (Wieder et al., 2006). Organiskā augsne boreālajā klimata zonā satur vidēji septiņas reizes vairāk organiskās vielas (OV) nekā minerālaugsne, bet tropu zonā šī attiecība ir līdz desmit reizes lielāka (Parish et al., 2008). Kūdrāji vienlaikus piesaista un uzkrāj lielu daudzumu oglekļa kūdras veidā, bet arī rada oglekļa dioksīda (CO<sub>2</sub>), metāna (CH<sub>4</sub>) un dislāpekļa oksīda (N<sub>2</sub>O) emisijas (Gorham, 1991), pateicoties kompleksiem aerobo un anaerobo procesiem, kas ir atkarīgi no dažādiem vides un klimata apstākļiem, nobiru ķīmiskā sastāva un mikroorganismu klātbūtnes (Couteaux et al., 1995; Limpens et al., 2008). Dažāda veida augsnes apstrāde kūdras augsnes gadījumā nosaka iepriekš uzkrātā oglekļa sadalīšanos, kas attiecīgi rada palielinātu CO<sub>2</sub> un N<sub>2</sub>O izdalīšanos, CH<sub>4</sub> emisijām aerobos apstākļos savukārt samazinoties (Kasimir Klemmedtsson et al., 2009). Vēsturiski kūdras augsnes ekosistēmas nereti ir tikušas meliorētas kūdras ieguvei, vēlāk tās pakļaujot dažādiem zemes apsaimniekošanas scenārijiem, ieskaitot pārveidi par aramzemēm un zālājiem ar organisko augsni. Meliorētas un lauksaimniecībā izmantotas kūdras augsnes SEG emisijas veido aptuveni 37,5 t CO<sub>2</sub> ekvivalenti (ekv.) ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>, kas attiecībā pret platības vienību ir 60 reizes lielāks oglekļa zudums nekā no minerālās augsnes (Leifeld & Menichetti, 2018). Globāli aptuveni 13% no kūdrājiem ir nosusinot pārveidoti par meža, lauksaimniecības vai kūdras ieguves platībām (Saurich et al., 2021). Mūsdienās viena no tipiskām organiskās augsnes apsaimniekošanas metodēm ir lauksaimniecība (Nordic Council of Ministers, 2015) un parasti lauksaimnieciskās darbības ietver platības meliorāciju (Tanneberger, Moen, et al., 2021; Verhoeven & Setter, 2010).

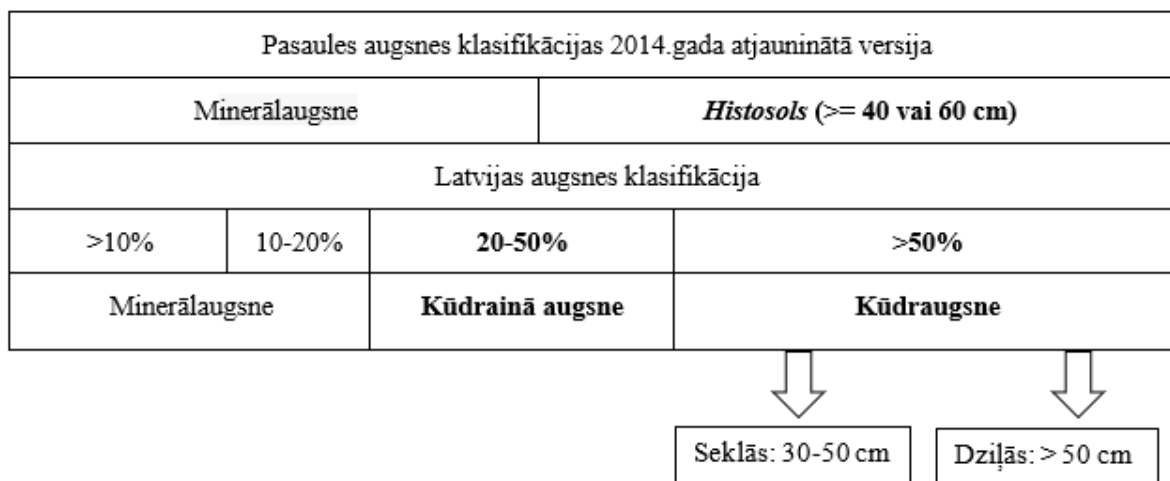
Pārtikas un lauksaimniecības organizācijā (*Food and Agriculture Organization* – FAO) 2020. gadā veiktas aplēses par organiskās augsnes izplatību globālā līmenī 1990 – 2019. gadā, analizējot to FAO valstu datus, kurās satopama organiskā augsne. Meliorētas augsnes definējums FAO 2020. gada aplēsēs aizgūts no 2006. gada Klimata pārmaiņu starpvaldību padomes (IPCC) vadlīnijām – meliorēta organiskā augsne ir augsne, kura ir paliekoši vai daļēji paliekoši meliorēta lauksaimniecības vajadzībām, ietverot viengadīgo vai daudzgadīgo lauksaimniecības kultūraugu audzēšanu, kokaugu plantācijas vai ganības (Eggleston et al., 2006). Secināts, ka 2019. gadā kopējā meliorētā organiskās augsnes platība pasaulē sasniegusi

25 miljonus hektāru, uzrādot augšupejošu tendenci kopš 1990. gada, kad šī platība bijusi 23 miljoni hektāru. 14 miljoni hektāru meliorētās organiskās augsnes atrodas mērenās un boreālās klimatiskās zonas reģionos ziemeļu hemisfērā, bet pārējās platības galvenokārt atrodas tropiskajos reģionos dienvidu hemisfērā (FAO, 2020). Cits avots uzrāda identisku lauksaimniecības vajadzībām meliorētās organiskās augsnes globālo platību – 25 miljonus ha, bet nedaudz atšķirīgu procentuālo sadalījumu – 60% meliorētās organiskās augsnes boreālajā un vēsajā mērenajā klimatiskajā zonā, 34% tropiskajos reģionos un 5% siltajā mērenajā klimatiskajā zonā, minot ka globālais SEG emisiju apjoms no šīm platībām ikgadēji veido aptuveni vienu miljonu tonnu CO<sub>2</sub> ekv. (915 Mt CO<sub>2</sub> ekv. gadā), no kā 85% emisiju apjomu veido CO<sub>2</sub> emisijas, kas savukārt reprezentē aptuveni ¼ no kopējām globālajām lauksaimniecības, mežsaimniecības un zemes izmantošanas CO<sub>2</sub> emisijām (Tubiello et al., 2016). Pēc FAO 2020. gada aplēsēm kopējais globālais meliorētās lauksaimniecībā izmantotas organiskās augsnes radītais siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju apjoms ir 883 Mt CO<sub>2</sub> ekv., no tā 87% veidojot CO<sub>2</sub> un 13% N<sub>2</sub>O gāzei, turklāt meliorētās organiskās augsnes radītais emisiju apjoms globāli ir līdzvērtīgs aptuveni 8% no kopējām globāli radītajām lauksaimniecības SEG emisijām (FAO, 2020).

Organiskajām vielām bagāta jeb kūdras (*peat*) augsne dažādu valstu augsnes klasifikācijas sistēmās ietverta lietojot dažādas definīcijas (Dunn & Freeman, 2011), piemēram, kūdras augsne (*peat soils*), purva augsne (*bog soils*) un organiskā augsne (*organic soils*), bet starptautiskā līmenī (FAO augsnes klasifikācija) visplašāk lieto apzīmējumu *histosols*. Kopējā organiskās augsnes iezīme ir augsts organiskā materiāla saturs. Organiskā viela mikroorganismu darbības rezultātā veidojusies no augu un dzīvnieku organiskā materiāla atliekām nogulumu veidā un ir pakļauta sadalīšanās procesiem (Montanarella et al., 2006). Saistībā ar klimata pārmaiņām organiskā augsne nozīmīga ar to, ka salīdzinoši neliels šīs augsnes īpatsvars pēc platības rada būtisku SEG emisiju apjomu (Nordic Council of Ministers, 2015). Pasaulē lieto dažādas augsnes klasifikācijas sistēmas un tajās ietvertais ar organisko vielu bagātās augsnes definējums atšķiras. Tāpat definējums mēdz būt pielāgots dažādiem informācijas izmantošanas veidiem. SEG emisiju aprēķiniem izmanto modificētu Pasaules Augsnes klasifikatora (*World Reference Base for Soil Resources – WRB*) metodiku un lieto terminu “organiskā augsne” (Eggleston et al., 2006; Hiraishi et al., 2014), kas arī izmantots promocijas darbā.

Pasaules Augsnes klasifikatora 2014. gada versijā (IUSS Working Group WRB, 2014) ar organisko vielu bagātā augsne ietverta augsnes pamatgrupā – *histosols*. Šo pamatgrupu raksturo tas, ka cilmiezis ir daļēji sadalījušās augu atliekas ar smilšu vai mālu piejaukumu vai bez tā. *Histosols* grupas augsne plašāk sastopama boreālajos, subarktiskajos un arktiskajos reģionos. Globāli *histosols* izplatība ir aptuveni 325–375 miljonus hektāru, galvenokārt Ziemeļu hemisfēras boreālajos, subarktiskajos un arktiskajos reģionos, tikai viena desmitā daļa no *histosols* atrodama tropu reģionos. (IUSS Working Group WRB, 2014).

Latvijas Augsnes klasifikācijas sistēmai nav tiešas atbilstības ar starptautiski lietoto Pasaules Augsnes klasifikatoru. Latvijas augsnes klasifikācijas sistēma veidojusies pakāpeniski – sākotnēji augsnes lielmēroga (1:10 000) kartēšanā laikā 1960. – 1991. gadā izmantoti 1987. gada “Tehniskie norādījumi augsnes kartēšanas un saimniecību iekšējās zemes vērtēšanas lauku darbiem Latvijas PSR (LPSR Valsts Zemes ierīcības projektēšanas institūts Zemesprojekts, 1987). Jaunāka Latvijas Augsnes klasifikācijas vienību versija publicēta Latvijas Augsnes noteicējā (Kārklīšs, 2009). Latvijas augsnes klasifikācijas sistēma izdala trīs galvenās augsnes klases, kā kritēriju izmantojot dominējošo augsnes ūdens režīmu – automorfā augsne, pushidromorfā augsne un hidromorfā augsne (Kārklīšs, 2009). Latvijas un Pasaules augsnes klasifikācijas sistēmu atšķirības minerālaugsnes un ar organisko materiālu bagātās augsnes savstarpējā attiecībā, atkarībā no organiskā materiāla sastopamības dziļuma (cm) un augsnes OV satura procentos parādītas 1.1 attēlā.



Avots: autores veidots attēlojums pēc (Kārklīšs, 2016a)

### 1.1.att. Augsnes iedalījums: minerālaugsne un organiskā augsne atbilstoši Pasaules un Latvijas augsnes klasifikācijai

Specifisku jautājumu risināšanai, lai nodrošinātu starptautisku datu salīdzināmību, var tikt lietotas īpaši izstrādātas definīcijas, par kuru lietošanu panākta vienošanās. Šādu, starptautiski izstrādātu, ar organisko materiālu bagātas augsnes definējumu lieto, sagatavojot SEG inventarizācijas aprēķinus saskaņā ar Apvienoto Nāciju Organizācijas (ANO) Vispārējo konvenciju par klimata pārmaiņām (Klimata konvencija) (United Nations, 1992). SEG inventarizācijas ziņojumus, pēc starptautiskas vienošanās Klimata konvencijas un tās Kioto protokola līgumslēdzēju pušu konferencēs sagatavo, izmantojot IPCC izstrādāto metodoloģiju jeb vadlīnijas. 2006. gada IPCC vadlīniju ceturtā krājuma “Lauksaimniecībā, mežsaimniecība un cita veida zemes izmantošana” 3.nodaļas 3A.5.pielikumā dots organiskās augsnes definējums (Eggleston et al., 2006). 2006. gada IPCC vadlīniju dotais organiskās augsnes definējums veidots uz Pasaules Augsnes klasifikatora 1998. gada versijas pamata (FAO, 1998) un kopumā atbilst FAO definējumam, lai gan ir veikta modifikācija, atmetot detalizētu organiskā materiāla sastopamības dziļuma kritēriju, ar mērķi radīt lielākas elastības iespējas valstu nacionālo augsnes klasifikāciju izmantošanā (Hiraishi et al., 2014). 2006. gada IPCC vadlīnijas pieļauj nacionālo augsnes klasifikāciju izmantošanu, bet tādā gadījumā ir jābūt skaidri definētam organiskās augsnes izdalīšanas konceptam, definīcija jālieto visu zemes lietošanas veidu SEG emisiju aprēķinos visā laika rindā un kombinējot ar nacionālajiem SEG emisiju faktoriem (Eggleston et al., 2006; Hiraishi et al., 2014).

A.Kārklīšs (Kārklīšs, 2016b), analizējot organiskās augsnes definējumu SEG emisiju aprēķinos atbilstoši IPCC vadlīnijām, uzsver, ka IPCC lietotie organiskās augsnes izdalīšanas kritēriji nosaka to, ka organiskās augsnes grupā ieskaitāms daudz lielāks augsnes kopums nekā atbilstoši *histosols* augšņu pamatgrupai Pasaules Augsnes klasifikatora 2014. gada atjauninātās versijas izpratnē vai atbilstošajai augsnei aktuālajā Latvijas augsnes klasifikācijā. To nosaka fakts, ka IPCC vadlīniju kritēriji izdala zemāku minimāli nepieciešamā  $C_{org}$  daudzumu (12% pret 20%), kā arī zemāku minimāli nepieciešamo augsnes OV sastopamības dziļumu (10 cm pret 40 cm) (Kārklīšs, 2016b). Ņemot vērā A.Kārklīņa identificēto ar organiskajām vielām bagātās augsnes atbilstību aktuālajai Pasaules un Latvijas augsnes klasifikācijai un IPCC vadlīniju noteiktajam organiskās augsnes definējumam (Kārklīšs, 2016a, 2016b), 1.2. attēlā dots atbilstības shematisks tuvinājums.

Pasaules augsnes klasifikācijas 2014.gada atjauninātā versija		
Minerālaugsne	<i>Histosols</i>	
Latvijas augsnes klasifikācijas vienības 2009.gada augsnes noteicējā		
Minerālaugsne	Kūdrainā/pushidromorfā augsne	Kūdraugsne/hidromorfā augsne
IPCC 2006.gada vadlīniju organiskās augsnes definējums		
Minerālaugsne	Barības vielām bagāta organiskā augsne	Barības vielām nabadzīga organiskā augsne

Avots: autores veidots pēc (Kārklīšs, 2016a, 2016b)

### 1.2.att. Organiskām vielām bagātas augsnes atbilstības kopsakarības Pasaules, Latvijas un IPCC vadlīniju definējumā

IPCC vadlīnijas nosaka, ka organiskajām vielām bagāta augsne, atkarībā no tā vai tā ir ombrotrofa vai minerotrofa, var tik iedalīta divās plašās augsnes grupās – barības vielām bagāta augsne (minerotrofi apstākļi) un barības vielām nabadzīga augsne (ombrotrofi apstākļi) (Hiraishi et al., 2014). Gadījumā, ja valstij nav pieejami precīzi dati par organiskās augsnes izplatību, tostarp dalījumā barības vielām bagāta un nabadzīga organiskā augsne, mērenās klimatiskās zonas valstīm, kā labu praksi iesaka pieņemt, ka visa organiskā augsne ir barības vielām bagāta (Hiraishi et al., 2014). Šāds ieteikums nodrošina to, ka netiek aprēķināts neatbilstoši zems SEG emisiju apjoms. 2006. gada IPCC vadlīnijās noteikta SEG emisiju aprēķinos izmantojamā klimatisko zonu klasifikācija, atbilstoši kurai Latvija atrodas vēsā, mitrā mērenā (*Cool Temperate Moist*) klimata zonā (Eggleston et al., 2006). Promocijas darbā veikts klimata pārmaiņu samazināšanas iespēju novērtējums barības vielām bagātas (minerotrofās) organiskās augsnes apsaimniekošanā lauksaimniecības zemē.

Eiropā organiskās augsnes izplatība ir ģeogrāfiski nevienmērīga. Lielāka organiskās augsnes koncentrācija konstatējama Eiropas ziemeļu daļā (Tanneberger et al., 2017). Kopējā organiskās augsnes platība (ar kūdras slāni >0) Eiropā lēsta aptuveni 1 000 000 km<sup>2</sup>, kas ir gandrīz 10% no sauszemes platības (Tanneberger, Appulo, et al., 2021). Izplatību galvenokārt nosaka klimatiskie apstākļi pēdējo 10000 gadu laikā, tostarp nokrišņu daudzums un temperatūras režīms – augstāka vasaras temperatūra un zemāks nokrišņu daudzums nosaka attiecīgajos reģionos zemāku izplatības rādītāju (Van Diggelen, 2018). Eiropas Savienības valstīs kūdras augsne aizņem aptuveni 7,7% (241 812 km<sup>2</sup>) no kopējās platības koncentrējoties galvenokārt ES ziemeļu, austrumu un centrālajā daļā, atsevišķās valstīs SEG emisijas no apsaimniekotās organiskās augsnes veido vairāk nekā piekto daļu no valstu kopējām emisijām (Tanneberger et al., 2017). Gandrīz viena trešdaļa Eiropas organiskās augsnes platības atrodama Somijā un vairāk kā viena ceturtdaļa Zviedrijā, šīm valstīm pēc organiskās augsnes izplatības seko Polija, Lielbritānija, Norvēģija, Vācija, Īrija, Igaunija, Latvija, Nīderlande, Francija un arī Lietuva, Ungārija, Dānija un Čehija (Montanarella et al., 2006).

Latvijā organiskās augsnes izplatības novērtēšanu apgrūtina gan aktuālas augsnes kartogrāfiskās informācijas trūkums, gan iepriekš aprakstītā nacionālās un starptautiski lietotās augsnes klasifikācijas neatbilstība. Valsts vienotajā ģeotelpiskās informācijas portālā ir pieejama (LR Zemkopības ministrija, 2020) ģeotelpiskā informācija par Latvijas lauksaimniecības augsni, kas iegūta digitalizējot 1960. – 1991. gadā sagatavotos augsnes kartēšanas materiālus. Latvijā organiskā augsne veidojusies vietās, kur ir bijis vai ir dabiski



paaugstināts gruntsūdens līmenis un lielākā daļa Latvijas lauksaimniecības augsnes (aptuveni 1,5 miljoni ha), līdz ar to arī organiskajām vielām bagātā augsne, 1966. – 1985. gadā tikusi meliorēta (Sauka et al., 1987). Organiskām vielām bagātās augsnes meliorēšana un pakļaušana tādām regulārām lauksaimnieciskām darbībām kā augsnes apstrāde, kalpošana un mēslošana, radījusi un rada pakāpenisku organisko vielu mineralizāciju, kā rezultātā samazinās gan augsnes organiskā oglekļa daudzums, gan arī augsnes organiskā materiāla slāņa biezums (Tanneberger et al., 2022). Rezultātā platībās, kurās Latvijas augsnes kartēšanas laikā līdz 1991. gadam konstatēta trūdaini kūdrainas un kūdraugsnes klātbūtne, šī augsne, saistībā ar notikušajiem organisko vielu mineralizācijas procesiem, vairs var nebūt sastopama (Kārklīšs, 2016a). 2021. gadā Norvēģijas finanšu instrumenta (2014. – 2021. gads) finansētas programmas “Klimata pārmaiņu mazināšana, pielāgošanās tām un vide” projekts “Ilgtspējīgas augsnes resursu pārvaldības uzlabošana lauksaimniecībā” uzsāk informācijas aktualizēšanu par Latvijas lauksaimniecībā izmantojamo augsni (LR Zemkopības ministrija, 2021), kur cita starpā veic arī kūdraugsnes izplatības kartēšanu. Tādējādi, līdz 2024. gadam (projekta izpildes laika grafiks) plānots iegūt precīzāku informāciju par kūdraugsnes jeb hidromorfās augsnes faktisko izplatību Latvijā. Joprojām neskaidra paliks pushidromorfās augsnes faktiskā izplatība Latvijā mūsdienās.

Situācijā, kad nav pieejama aktuāla Latvijas kartogrāfiskā informācija par organiskās augsnes izplatību, bet ir pamats uzskatīt (Kārklīšs, 2016a), ka pašreizējā izplatība atšķiras no vēsturiskajos karšu materiālos fiksētās, ir veikti pētījumi ar mērķi modelēt šī brīža izplatību. Ar valsts atbalstu lauksaimniecībā izmantojamiem zinātnes projektiem 2016. gadā Latvijas Valsts mežzinātnes institūts “Silava” (LVMI “Silava”) veicis zinātnisku pētījumu “Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO<sub>2</sub> piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana”, kurā analizēti digitālajās augsnes kartēs pieejamie dati, apsekota statistiski reprezentabla Meža resursu monitoringa parauglaukumu kopa platībās ar organisko augsni (atbilstoši digitizētajam vēsturiskajam augsnes karšu materiālam), veiktas augsnes analīzes, lai noteiktu atbilstību IPCC vadlīniju organiskās augsnes definīcijai un noteikta organiskās augsnes izplatība aramzemē un zālājā, veicot datu rindas interpolāciju un nosakot organiskās augsnes platības izmaiņas aramzemē un zālājā 1990. – 2014. gadā (Lazdiņš et al., 2016; Petaja et al., 2018). Pētījuma rezultāti, pielietojot ekstrapolācijas metodi, kopš 2018. gada izmantoti Latvijas Nacionālā siltumnīcefekta gāzu inventarizācijas ziņojuma sagatavošanā, un tie apstiprina pieņēmumu par organiskās augsnes mineralizācijas procesu. 1990. – 2018. gadā organiskās augsnes platība aramzemē un zālājā (atbilstoši Nacionālā siltumnīcefekta gāzu inventarizācijas ziņojuma zemes kategorijām) ir samazinājusies par 18,86% jeb no 195,1 tūkstošiem hektāru 1990. gadā līdz 158,3 tūkstošiem hektāru 2018. gadā un organiskā augsne 2018. gadā Latvijā aizņem 6,3% no kopējās lauksaimniecības zemes (aramzemes un zālāja) platības (LEGMC, 2020).

Viens no organiskās augsnes fenomeniem ir platības disproporcija attiecībā pret šīs augsnes apsaimniekošanas radīto SEG emisiju apjomu. Meliorētās organiskās augsnes apsaimniekošanas radītās SEG emisijas ir viens no lielākajiem SEG emisiju avotiem lauksaimniecības un zemes izmantošanas, zemes izmantošanas veida maiņas un mežsaimniecības (ZIZIMM) sektoros daudzās Eiropas un Āzijas valstīs (Drösler et al., 2008; Tiemeyer et al., 2020; F. Tubiello et al., 2016). Būtiski arī tas, ka emisijas, atbilstoši IPCC vadlīnijām, no aramzemes un zālāja aprēķina un ziņo gan SEG emisiju ziņošanas lauksaimniecības sektorā (N<sub>2</sub>O), gan ZIZIMM sektorā (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>). Eiropas valstīs, kurās organiskā augsne sastopama aptuveni 3% no lauksaimniecībā izmantotās zemes platības, vidēji šīs augsnes apsaimniekošanas radītās SEG emisijas veido vairāk nekā 50% no kopējām lauksaimniecības zemes apsaimniekošanas radītajām SEG emisijām (Nordic Council of Ministers, 2015). Globāli meliorētas lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas emisijas rada 2 – 5% no kopējām antropogēnajām SEG emisijām (Joosten, 2009; Leifeld & Menichetti, 2018). Neskatoties uz organiskās augsnes apsaimniekošanas radīto SEG emisiju nozīmi un proporciju ES valstīs, SEG emisiju aprēķini joprojām ir aptuveni un emisijas netiek

ziņotas pietiekamā precizitātē (Holmberg et al., 2023). Aprēķinu trūkumi saistīti ar nepietiekamu informētību, nepietiekamas detalizācijas darbību datiem un neatbilstošiem vai vājas kvalitātes SEG emisiju faktoriem (Houghton et al., 2012; Tubiello et al., 2016). Latvijā lauksaimniecības organiskās augsnes radīto SEG emisiju apjoms, līdzīgi kā ES valstīs, ir neproporcionāli liels tās platībai un veido vairāk nekā 30% no kopējām lauksaimniecisko darbību radītajām SEG emisijām nacionālās SEG inventarizācijas lauksaimniecības un ZIZIMM sektoros (LEGMC, 2020).

Organiskās augsnes sociāli ekonomiskā loma ir salīdzinoši maz pētīta, tomēr jebkuru apsaimniekošanas izmaiņu plānošana bez socioekonomisko un politisko ietekmju novērtējuma nebūtu ilgtspējīga. Politiskajās un arī zinātniskajās diskusijās vairāk kā par organiskās augsnes apsaimniekošanas ekonomisko nozīmi runā par šīs augsnes aizsardzību, ar to saprotot tādas apsaimniekošanas prakses, kā gruntsūdens līmeņa celšanu vai organiskās augsnes izņemšanu no apsaimniekošanas. Vispārīgi diskutē par tropiskās kūdras augsnes aizsardzību saistībā ar zemes lietojuma veida maiņu un sākotnējā zemes lietojuma atjaunošanu (Joosten, 2009; Leifeld & Menichetti, 2018; Smith et al., 2014), savukārt ES līmenī aktuāla ir diskusija par organiskajām vielām bagātas augsnes aizsardzību, mazinot apsaimniekošanas ietekmi un par appludināšanu (meliorācijas sistēmu likvidēšanu vai ūdens līmeņa celšanu citos veidos) kā apsaimniekošanas praksi, kas varētu samazināt CO<sub>2</sub> emisijas (European Commission, 2018b). Šo diskusiju fonā organiskās augsnes apsaimniekošanas ekonomiskie aspekti, tostarp, piemēram, ekonomiskā ietekme, šo augsni izņemot no lauksaimnieciskās ražošanas, tiek skarti maz, tomēr globālā līmenī ir aplūkota iespējama lauksaimnieciskās ražošanas sadārdzināšanās un pārtikas cenu celšanās (Hasegawa et al., 2018; Humpenöder et al., 2020). Skandināvijas valstu pētījumi atzīst lauksaimniecības organiskās augsnes ekonomisko nozīmi to daudzo zemes īpašnieku un vietējās sabiedrības dzīvē, kuriem šīs augsnes apsaimniekošana ir galvenais vai viens no galvenajiem ienākumu avotiem (Kløve et al., 2017). Uzsvērts arī tas, ka pietiekamais un salīdzinoši pastāvīgais mitruma daudzums šajā augsnē darbojas kā lauksaimniecības kultūraugu iznīkšanas risku mazinošs apstāklis sausuma periodu laikā, kā arī organiskajai augsnei mineralizējoties, atbrīvojas barības vielas, kas samazina slāpekļa minerālmēsli lietošanas nepieciešamību (Kløve et al., 2017). Maz pētīta zemes īpašnieku attieksme pret iespējamām lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas veida izmaiņām klimata politikas mērķu sasniegšanas veicināšanai, bet pētījums Vācijā liecina, ka attieksme ir rezervēta un apsaimniekošanas maiņas realizēšanai būtu nepieciešama ekonomisko zaudējumu kompensācijas izmaksa, kuras apmērs varētu variēt atkarībā no tehnoloģiskajām iespējām, lauksaimnieciskās ražošanas ienesīguma attiecīgajā reģionā un iespējami skartās organiskās augsnes kopplatības (Schaller et al., 2011). Lielbritānijas ieinteresēto grupu aptauja liecina par vispārēju izpratni par lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas veida maiņas nepieciešamību, tomēr nav vienotības viedoklī par to, vai būtu turpināma organiskās augsnes izmantošana lauksaimniecībā jeb platības aktīva apsaimniekošana izbeidzama (Rawlins & Morris, 2010).

ES būtu nepieciešams ietverošs un neitrāls organiskās augsnes apsaimniekošanas ekonomisko ietekmju novērtējums, lai būtu iespējams politikas pasākumus plānot, izmantojot objektīvus ekonomiskus aprēķinus. Šāda veida aprēķini ir veikti individuālu valstu līmenī, piemēram, Lielbritānijā, bet pētījums veikts 2013. gadā un publicēts, minot stingrus tā ierobežojumus – augstu pieņēmumu un vienkāršojumu līmeni, kas nosaka to, ka pētījuma rezultāti izmantojami izglītojoši informatīvos, bet ne politikas plānošanas nolūkos (Graves & Morris, 2013). Jāņem vērā arī tas, ka ir pierādīts, ka katram ekonomiskam, vides un sociālajam ieguvumam, kas saistīts ar SEG emisiju samazināšanu ir noteikti negatīvi blakus efekti, kurus ignorējot, nav panākama holistiska, ilgtspējīga pieeja (Harrison et al., 2021). Ne Eiropas, ne pasaules līmenī promocijas darba izstrādes laikā nav pieejamas aplēses par to cik daudz pārtikas globāli vai ES līmenī saražo apsaimniekojot organisko augsni un kādas varētu būt šīs ražošanas pārtraukšanas ekonomiskās un sociālās sekas.

Ņemot vērā organiskās augsnes teritoriālo izplatību un ietekmi uz SEG emisijām, Latvijā ir veikts šis augsnes apsaimniekošanas ekonomiskais novērtējums. 2017. gada pētījumā “Organisko augšņu devuma novērtējums Latvijas lauksaimniecībā – daudzfaktoru ietekmes izvērtējums efektīvas zemes izmantošanas risinājumu piedāvājumā” Latvijas Lauksaimniecības universitātes (no 2022. gada 1. septembra pārdēvēta par Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāti (LBTU)) autoru kolektīvs veicis organiskās augsnes devuma novērtējumu Latvijā, savietojot digitizēto vēsturisko augsnes kartogrāfisko informāciju, Lauku atbalsta dienesta (LAD) datus lauku līmenī un Lauksaimniecības datu centra datus par lauksaimniecības dzīvniekiem. Dati analizēti atbilstoši nacionālajai augsnes klasifikācijai sadalījumā – hidromorfās un pushidromorfās augsnes. Tā kā pētījums izmanto vēsturisko kartogrāfisko informāciju, nav ņemti vērā notikušie mineralizācijas procesi, kas visticamāk skāruši pushidromorfo augsni. Analizējot pētījuma rezultātus var secināt, ka, lai gan organiskās augsnes apsaimniekošana nedod lielu pienesumu Latvijas kopējā lauksaimnieciskās produkcijas vērtībā valsts līmenī (aptuveni 4%), sociāli ekonomiskā loma individuālu saimniecību līmenī varētu būt ievērojama, jo organiskās augsnes klātesamība, atbilstoši vēsturiskajam kartogrāfiskajam materiālam, ir identificēta gandrīz pusē no Latvijas lauku saimniecībām (aptuveni 48%). Individuālu saimniecību līmenī organiskās augsnes apsaimniekošanas ierobežojumiem vai izmaiņām varētu būt būtiska nozīme.

## **1.2. Klimata pārmaiņu ietekmes novērtēšanas teorētiskie aspekti un SEG emisiju ziņošanas kārtība**

Lauksaimniecības organiskās augsnes klimata pārmaiņu ietekmes novērtēšanai nepieciešams izprast bioloģiskos procesus, kas rada šo ietekmi un to, kā ticami un starptautiski salīdzināmi kvantificēt ietekmes potenciālu.

Augi fotosintēzes procesos piesaista no atmosfēras oglekļa dioksīdu un slāpekli no augsnes, tādējādi radot OV masu, kas veido gan virszemes, gan pazemes biomasu, atmirušās augu daļas un augsnes organisko vielu. Pretējs process notiek augu elpošanas procesos, sadaloties atmirušajām augu daļām, organiskajai vielai augsnē un degšanas procesos – CO<sub>2</sub> un tādas ne-CO<sub>2</sub> gāzes, kā CH<sub>4</sub> un N<sub>2</sub>O izdalās atmosfērā (Hall & Rao, 2001). Šie procesi ir dabiski, ir notikuši un notiek neatkarīgi no cilvēka iesaistes, tomēr antropogēnās darbības tos intensificē. Lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošana, ierosina CO<sub>2</sub> un N<sub>2</sub>O emisijas radošus procesus (OV mineralizāciju un ar meliorāciju saistītu N<sub>2</sub>O izdalīšanos), kas bez antropogēnās ietekmes nenoritētu vai noritētu daudz lēnāk (Smith et al., 2014). 2000. gada IPCC speciālais ziņojums par ZIZIMM (Watson et al., 2000), runājot par sauszemes ekosistēmām, norāda, ka cilvēka jeb antropogēnās darbības ietekmē globālā neto biomasas produktivitāte var būt negatīva vērtība, kas nozīmē ikgadēju oglekļa neto zudumu, tam nonākot atmosfērā un ietekmējot klimata pārmaiņu procesus. Intensitāti ar kādu norit CO<sub>2</sub> piesaistes un atbrīvošanas procesi konkrētajā ekosistēmā nosaka attiecīgās ekosistēmas klimatiskie apstākļi (siltākos apstākļos procesi norit straujāk), barības vielu pieejamība, ūdens piesātinājums un skābekļa klātbūtne (Conchedda & Tubiello, 2020; Eggleston et al., 2006). Aeiobos apstākļos (skābekļa klātbūtne) OV sadalīšanās procesos dominē CO<sub>2</sub> izdalīšanās, anaerobos apstākļos (bez skābekļa apstākļi) dominē CH<sub>4</sub> emisijas (Moore & Knowles, 1989).

Klimata pārmaiņu samazināšanas mērķu noteikšanai un to sasniegšanas plānošanai nepietiek ar teorētiskām zināšanām par organiskās augsnes platības vienības radīto SEG emisiju apjomu un bioloģiskajiem procesiem, kas šo emisiju rašanos nosaka. Ir nepieciešama sistemātiska SEG emisiju uzskaitē un starptautiski harmonizēts veids, kādā valstis aprēķina un regulāri ziņo radītās SEG emisijas (Gulluscio et al., 2020). Valstis, kuras ir ANO dalībvalstis un Klimata konvencijas Puses, antropogēnās ietekmes radītās SEG emisijas aprēķina un ziņo atbilstoši IPCC izstrādātai metodoloģijai jeb vadlīnijām, kas ir apstiprinātas Klimata konvencijas Līgumslēdzēju pušu konferencēs (United Nations, 1992). Klimata konvencijas 1.

pielikuma Puses (Klimata konvencijas 1.pielikumā minētās līgumslēdzēju Puses, tostarp ES), atbilstoši Klimata konvencijas Līgumslēdzēju pušu konferences lēmumam 24/CP.19 (Conference of the Parties, 2013) SEG emisiju aprēķiniem izmanto 2006. gada IPCC vadlīnijas (Eggleston et al., 2006) un ir aicinātas izmantot arī 2013. gada IPCC papildinājumu 2006. gada vadlīnijām par mitrzemēm (Hiraishi et al., 2014), tomēr šī papildinājuma izmantošana nav apstiprināta Klimata konvencijas Līgumslēdzēju pušu konferencē, kā saistoša. Ar lēmuma 24/CP.19 1. pielikumu apstiprinātas arī Klimata konvencijas Līgumslēdzēju pušu konferences vadlīnijas šīs konvencijas 1.pielikuma pušu ikgadējo SEG inventarizācijas ziņojumu un nacionālās komunikācijas dokumentu sagatavošanā. Vienotu IPCC un Klimata konvencijas Līgumslēdzēju pušu konferences SEG emisiju aprēķināšanas un ziņošanas kārtības vadlīniju izmantošana visu Klimata konvencijas līgumslēdzēju pušu SEG inventarizācijas un prognožu ziņojumu sagatavošanā nodrošina iegūto aprēķinu rezultātu savstarpēju salīdzināmību, kas ir būtisks klimata politikas plānošanas priekšnosacījums, kā arī to, ka tiek ievēroti SEG inventarizācijas sagatavošanas pamatprincipi: caurskatāmība, konsekvence, salīdzināmība, pabeigtība un precizitāte (Conference of the Parties, 2013).

Atbilstoši tam, kā SEG inventarizācijas ziņojums strukturēts Klimata konvencijas Līgumslēdzēju pušu konferences lēmuma 24/CP.19 pielikumā, organiskās augsnes apsaimniekošanas radītās SEG emisijas lauksaimniecības zemē ziņo divās SEG inventarizācijas ziņojuma nodaļās jeb sektoros: (1) lauksaimniecības sektorā (kopējā ziņošanas formāta 3. sektors) un (2) ZIZIMM (kopējā ziņošanas formāta 4.sektors). Atbilstoši IPCC vadlīnijām, lauksaimniecības sektorā aprēķina un ziņo organiskās augsnes apsaimniekošanas rezultātā lauksaimniecības zemē radušās N<sub>2</sub>O emisijas, savukārt ZIZIMM sektorā CO<sub>2</sub> un CH<sub>4</sub> emisijas.

Vispārējais princips SEG emisiju aprēķinu veikšanai, atbilstoši IPCC vadlīnijām, paredz divus galvenos SEG emisiju apjoma noteikšanas komponentus – darbību datus un emisiju faktoros. Organiskās augsnes gadījumā šie komponenti ir:

- 1) darbību dati – organiskās augsnes platība attiecīgajā gadā;
- 2) emisiju faktori – CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O un CH<sub>4</sub> gāzu apjoms, kas atbilstoši pieejamajiem datiem gada laikā rodas no vienas platības vienības (ha).

Gan globāli (Friedlingstein et al., 2020; Scharlemann et al., 2014; Smith et al., 2014; Tubiello et al., 2015), gan ES līmenī (Petrescu et al., 2020) ir atzīts, ka ZIZIMM sektorā aprēķinātajām lauksaimniecības organiskās augsnes SEG emisijām ir liela nenoteiktība (+/- 50%) saistībā ar nepietiekamu pieejamo darbību datu apjomu un kvalitāti, kā arī nepietiekami precīzajiem emisiju faktoriem (nav izstrādāti nacionāli SEG emisiju faktori) un nepietiekamajām tehniskajām iespējām un zināšanām šo datu ieguvei, t.sk. institucionālā ziņā. Nenoteiktība nacionāliem jeb valsts līmeņa datiem nav tik izteikta, kāda tā veidojas reģionālu un globāla līmeņa datu apkopojumu un analīžu gadījumā, kā arī nenoteiktība un datu iztrūkums attīstības valstīm ir izteiktāks nekā attīstītajām valstīm (Tubiello et al., 2016). Nereti valstis izvēlas nestrādāt pie nenoteiktības mazināšanas ZIZIMM sektorā saistībā ar datu un modelēšanas resursu nepietiekamību, kas var radīt situāciju, kad plānotās SEG emisiju samazināšanas darbības ZIZIMM sektorā atbilst nenoteiktības apmēram (McGlynn et al., 2022). Līdzīga situācija vērojama arī lauksaimniecības sektorā ziņotajām organiskās augsnes emisijām. Šīs atziņas nosaka nepieciešamību strādāt pie SEG inventarizācijas datu kvalitātes un pieejamības uzlabošanas.

Regulāras SEG emisiju un CO<sub>2</sub> piesaistes ziņošanas saistības Latvijai nosaka tās uzņemtās saistības, pieņemot un apstiprinot Latvijā Klimata konvenciju (LR Saeima, 1995), kā arī saistības, kuras SEG emisiju aprēķināšanā, ziņošanā un uzskaitē uzņemas katra ES dalībvalsts. Nacionālo SEG inventarizācijas, prognožu un saistīto ziņojumu sagatavošana Latvijā ir reglamentēta Ministru kabineta MK) līmenī, nosakot dažādu iesaistīto institūciju atbildības jomas (LR Ministru kabinets, 2022). SEG inventarizāciju sagatavo ikgadēji par laiku no 1990. gada līdz x – 2 gadam, kur x gads ir gads, kad SEG inventarizāciju iesniedz EK un Klimata konvencijas sekretariātā. Attiecīgajam periodam sagatavo un iesniedz arī Nacionālo SEG inventarizācijas ziņojumu. Atbilstoši MK regulējumam SEG inventarizācijas jomā SEG

emisiju aprēķinus SEG inventarizācijas ZIZIMM sektoram sagatavo LVMI "Silava", savukārt lauksaimniecības sektoram LBTU.

Latvijā līdz 2021. gada Nacionālā SEG inventarizācijas ziņojuma iesnieguma sagatavošanai organiskās augsnes radīto SEG emisiju aprēķināšanai ZIZIMM sektorā lauksaimniecības zemē izmantota *Tier 1* pieeja, kas nozīmē darbību datu (organiskās augsnes platība) reizinājumu ar noklusētajiem IPCC vadlīniju SEG emisiju faktoriem. Organiskās augsnes platības dati lauksaimniecības zemē iegūti, izmantojot lauksaimniecības augsnes vēsturisko kartogrāfisko materiālu (LR Zemkopības ministrija, 2020) un nacionāli veiktu pētījumu rezultātus (Lazdiņš et al., 2016). Latvijas 2021. gada Nacionālajā SEG inventarizācijas iesniegumā lauksaimniecības organiskās augsnes SEG emisiju aprēķiniem ZIZIMM un lauksaimniecības sektorā izmantoti nacionāli SEG emisiju faktori (Licite & Lupikis, 2020). Tā kā šie nacionālie organiskās augsnes emisiju faktori aprēķināti kā vidējās vērtības, neņemot vērā vides faktoru dinamiku, turpmākajos pētījumos būtu nepieciešams integrēt vides faktoros. Organiskās augsnes SEG emisiju aprēķinu sagatavošanā biežāk sastopamās problēmas, ko var attiecināt arī uz lauksaimniecības augsni, ir atbilstošu datu nepietiekamība, galvenokārt saistībā ar vides mērījumiem, kas ļautu sagatavot vides ietekmes dinamiski ietverošus nacionālos emisiju faktoros (pretstatā vidējām vērtībām), kā arī sekli un dziļi meliorētas augsnes datu trūkums (Jauhiainen et al., 2019).

SEG emisiju prognožu aprēķiniem izmantotā metodoloģiskā pieeja neatšķiras no tās, kas lietota ikgadējo SEG inventarizācijas ziņojumu sagatavošanā (LEGMC, 2021b), tomēr SEG emisiju prognožu sagatavošanas būtiska sastāvdaļa ir ne tikai SEG emisiju aprēķini, bet arī metodes, kas izmantotas ieviešanā esošo un politikas plānošanas dokumentos paredzēto klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ietekmes novērtēšanai un pasākumu savstarpējai salīdzināšanai, lai sagatavotu politikas plānošanai nepieciešamos scenārijus. ES valstīs SEG emisiju prognožu scenāriju sagatavošanā trūkst kvantitatīvu datu un pieejas, joprojām dominē kvalitatīvi dati un apraksts, kas palīdz saprast klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ietekmi, bet nedod iespēju analizēt pilnu rādītāju spektru, identificēt sagaidāmos izaicinājumus un iespējas, kas ir nepieciešami zinātniski pamatotu politisko lēmumu pieņemšanai (Dauwe et al., 2019; European Environment Agency, 2018). Rādītāji (piemēram, vides, agrotehniskie, sociāli ekonomiskie), kurus ņem vērā scenāriju sagatavošanas procesā var būtiski atšķirties pēc to tvēruma un detalizācijas. Latvijas normatīvie un politikas dokumenti neparedz un nepieprasa lēmumu pieņemšanas atbalsta metožu izmantošanu SEG emisiju prognožu scenāriju sagatavošanai, attiecīgi, šādas metodes netiek izmantotas, likuma "Par piesārņojumu" deleģētā kārtībā ikgadēji sagatavojot informatīvo ziņojumu par SEG emisiju samazināšanas un oglekļa dioksīda piesaistes saistību izpildi, ko kā nepilnību norāda nacionāli veikti pētījumi (Gancone, 2022), uzsverot, ka lēmumu pieņemšanas atbalsta metodes noteikti būtu izmantojamas gadījumos, kad informatīvajā ziņojumā konstatē, ka nav sasniegti valsts klimata pārmaiņu samazināšanas mērķi. Autoresprāt, lēmumu pieņemšanas atbalsta metožu izmantošana klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu novērtēšanai un SEG emisiju prognožu scenāriju sagatavošanai un analīzei varētu būt lietderīga ne tikai gadījumos, kad jau konstatēta klimata pārmaiņu samazināšanas mērķu neizpilde, bet arī regulārajā lauksaimniecības un ZIZIMM sektoru SEG emisiju prognožu scenāriju sagatavošanas procesā.

### **1.3. Lauksaimniecības organiskā augsne klimata un lauksaimniecības politikā**

Klimata un lauksaimniecības politikas attīstība vēsturiski veidojusies ilgstoši un sarežģītā mijiedarbībā, gan tuvinoties, gan attālinoties, atbilstoši konkrētā perioda aktuālajām politiskajām tendencēm. Tomēr kopš 21. gadsimta sākuma notikusi nepārprotama tuvināšanās un starptautiski (UNFCCC, 2015), kā arī ES un nacionālajā (dalībvalstu) līmenī tiek aktīvi veicināta klimata politikas integrācija visās nozaru politikās (European Parliament, 2021). Lauksaimniecības politika nebūt nav izņēmums, drīzāk pretēji – lauksaimniecības jomā klimata

politikas integrāciju īpaši sekmē, jo nozare saņem publisku ES Kopējās lauksaimniecības politikas (KLP) atbalsta finansējumu, kas nodrošina politikas instrumentu esamību un iespējas publisko interešu, tostarp vides un klimata jautājumos, realizācijai lauksaimnieciskās ražošanas procesā. Klimata politikas pirmsākumi saistāmi ar ANO 1992. gada 9. maija Klimata konvenciju (United Nations, 1992). Klimata politikas regulējums ir komplekss starptautisko, ES līmeņa un nacionālo politisko lēmumu kopums, kas nosaka attiecīgā regulējuma līmeņa un kopējos politikas mērķus, tostarp nozaru jeb sektoru līmenī, kā arī konkrētas prasības un noteikumus SEG emisiju un CO<sub>2</sub> piesaistes ziņošanai un uzskaitēi, šos datus tālāk izmantojot izvērīto klimata politikas mērķu sasniegšanas iespēju un virzības novērtēšanai. Promocijas darbā autore par starptautisku klimata politikas līmeni uzskata ANO dalībvalstu līmeni.

Starptautiskā līmenī klimata politikas mērķi bāzēti Klimata konvencijas nostādnēs un izrietošajos starptautiskās vienošanās dokumentos (Klimata konvencijas Kioto protokols un Parīzes nolīgums), kas nosaka veidu, kādā valstis vienojušās virzīties uz mērķu sasniegšanu. Ņemot vērā klimata pārmaiņu globālo raksturu, ir nepieciešami globāli īstenojami risinājumi. Klimata konvencija ir pirmais starptautiskās klimata politikas dokuments ar saviem ietvara un ieviešanas mehānismiem. Konvencijas mērķis ir samazināt SEG koncentrāciju atmosfērā līdz tādām līmenim, kas novērš bīstamu antropogēnu iekļaušanos klimata procesos (United Nations, 1992). Klimata konvencija uzsver tieši antropogēno klimata pārmaiņu ietekmes faktoru, ko dažādos veidos ziņo, uzskaita un ietekmē caur visu izrietošo regulējumu.

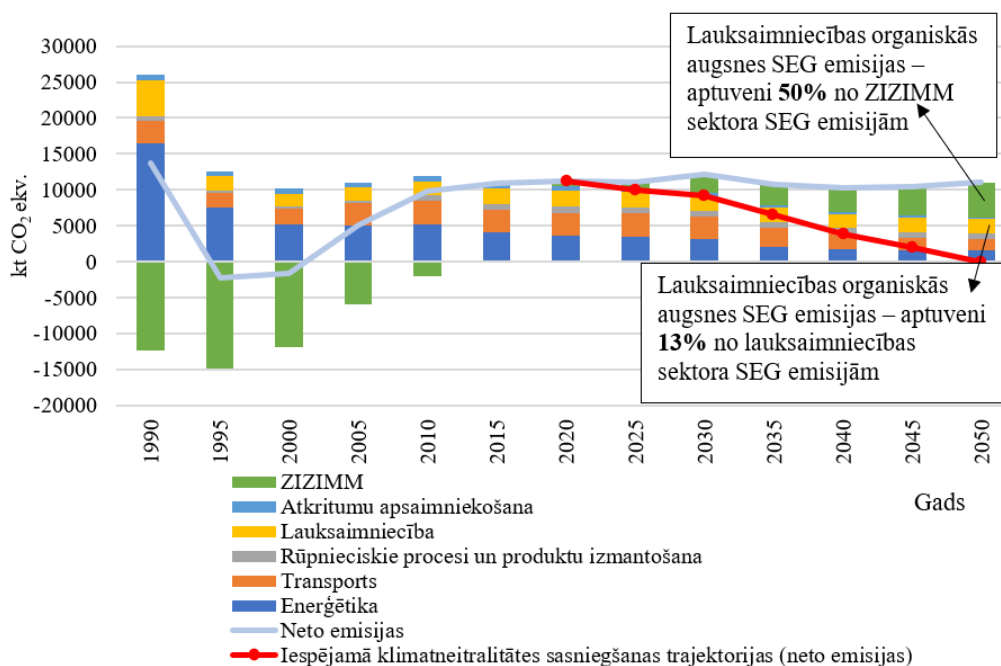
Lai izprastu lauksaimniecības augsnes vietu un nozīmi klimata politikā, autore analizē klimata politikas mērķus un to attīstību starptautiskā, ES un nacionālā līmenī. Klimata konvencijas īstenošanai 1997. gadā pieņemts Kioto protokols (UNFCCC, 1997), ar kuru pasaules attīstītajām valstīm jeb valstīm, kuras uzskaitītas Klimata konvencijas 1. un 2. pielikumā divos periodos (no 2008. – 2012. gadam un no 2013. – 2020. gadam) noteikti SEG emisiju samazināšanas mērķi. Klimata pārmaiņu politikas tiesiskais regulējums starptautiskā līmenī pēc 2020. gada veidots, ņemot vērā Klimata konvencijas Parīzes nolīgumu, kas ANO valstu balsojumā apstiprināts 2015. gada 12. decembrī. Parīzes nolīgums aizstāj Kioto protokolu pēc tā darbības beigām un kā galveno virsuzdevumu nosaka noturēt globālo vidējās temperatūras pieaugumu būtiski zem 2 °C robežas salīdzinot ar pirms industriālo līmeni, vienlaicīgi tiecoties ierobežot temperatūras pieaugumu 1,5 °C robežās (UNFCCC, 2015). Zemes apsaimniekošanai Parīzes nolīgums izvērta specifisku apakšmērķi kopējā, iepriekš definētā, virsuzdevuma sasniegšanai, nosakot kopēju apņemšanos 21. gadsimta otrajā pusē sasniegt līdzsvaru starp antropogēnajām SEG emisijām un CO<sub>2</sub> piesaisti, kas pēc būtības nozīmē to, ka visas antropogēnās emisijas jānosedz ar CO<sub>2</sub> piesaisti, kas faktiski 100% rodas ZIZIMM sektorā (UNFCCC, 2015). Ja Kioto protokols noteica saistošus klimata mērķus tikai attīstības valstīm, tad Parīzes nolīgums nosaka visu valstu klimata mērķu saistības atbilstoši ieguldījumu līmenim, kuru valstis definējušas savos nacionālā ieguldījuma ziņojumos. ES dalībvalstu kopējais starptautiskais klimata pārmaiņu samazināšanas mērķis Parīzes nolīgumā līdz 2030. gadam ir samazināt SEG emisijas par vismaz 40%, salīdzinot ar 1990. gadu, savukārt 2050. gadam noteikts 80–95% samazinājums, salīdzinot ar 1990. gadu. Līdz ar ES virzību uz klimatneitralitātes sasniegšanu, šie centieni atspoguļojas arī ES atjaunotajā informācijā klimata pārmaiņu samazināšanas ieguldījumu ziņojumā. Organiskās augsnes radītās SEG emisijas ir ietvertas kopējā virzībā uz noteikto mērķu sasniegšanu, atšķiras vienīgi to nacionālā nozīmīguma lielums – atbilstoši aizņemtajai platībai. Virzībai uz starptautiskā līmenī noteikto mērķu sasniegšanu, ES veido Savienības iekšēju klimata politikas regulējumu.

2018. gadā ES publisko stratēģisko redzējumu “Tīru planētu visi!” (European Commission, 2018a), kas atspoguļo Eiropas Komisijas redzējumu Eiropas klimatneitralitātes sasniegšanai līdz 2050. gadam. Stratēģiskais redzējums iezīmē dažādus scenārijus virzībā uz klimatneitralitāti iezīmējot 80–100% neto SEG emisiju samazinājumu. Izmantojot “Tīru planētu visi!” stratēģiskā redzējuma nostādnes, ES 2019. gadā turpina strādāt pie klimata politikas mērķu pārskatīšanas un nāk klajā ar Zaļā kursa komunikācijas dokumentu (European Commission, 2019), kas kā galveno virsmērķi nosaka virzību uz klimatneitralitāti, paredzot, ka

Eiropa kļūs par pirmo klimatneitrālo pasaules daļu. 2019. gadā atjauninātais SEG emisiju samazināšanas mērķis paredz to, ka vēlākais 2050. gadā visām ES radītajām SEG emisijām jātiek kompensētām ar CO<sub>2</sub> piesaisti, turklāt tas ir jāpanāk Eiropas līmenī, neizmantojot ārējos tirgus. 2021. gadā ES Zaļā kursa komunikācijas dokumentā paustās apņemšanās nostiprina ar tā sauktā ES Klimata likuma (*EU Climate Law*) palīdzību (European Parliament, 2021), kas cita starpā nosaka 55% SEG emisiju samazinājuma mērķi līdz 2030. gadam attiecībā pret 1990. gada emisijām un ES klimatneitralitātes sasniegšanas mērķi līdz 2050. gadam. Lauksaimniecības nozares SEG emisijas saistāmas ar bioloģiskiem procesiem, tostarp organiskās augsnes apsaimniekošanā, līdz ar to, pārzinot pieejamās un attīstībā esošās tehnoloģijas, no tām pilnībā nav iespējams izvairīties, kas ir ņemts vērā nosakot ES 2050. gada klimatneitralitātes mērķi (European Union, 2020). Lai praktiski ieviestu ES Klimata likuma normas, 2021. gada 14. jūlijā EK publisko “Gatavi mērķradītājam 55” (*Fit for 55*) komunikācijas dokumentu, kas paredz ES normatīvo aktu pārskatīšanu, lai tie atbilstu ES Klimata likumā noteikto mērķu sasniegšanai. Cita starpā pārskata arī ES ne-ETS un ZIZIMM sektoru regulējumu. Ne-ETS sektorā (ietilpst lauksaimniecība) Latvijai noteiktais SEG emisiju samazinājuma mērķis palielināts no -6% SEG emisiju samazinājuma pret 2005. gada līmeni līdz -17% samazinājumam (European Parliament, 2023c), savukārt ZIZIMM sektorā Latvijai noteikts mērķis 2030. gadā nodrošināt -644 kt CO<sub>2</sub> ekv. piesaisti (European Parliament, 2023b), ko Latvijas Klimata un enerģētikas ministrija (KEM) 2023. gadā sagatavotā informatīvā ziņojumā “Par siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanas un oglekļa dioksīda piesaistes saistību izpildi” kopā ar -17% ne-ETS sektora mērķi vērtē kā neizpildāmu un paredz nepieciešamību īstenot papildus politikas un pasākumus (LR Klimata un enerģētikas ministrija, 2023).

Galvenie nacionāla līmeņa dokumenti Latvijas klimata politikas saistību un to izpildes plānošanai ir: 1) 2020. gadā Ministru kabinetā apstiprinātā Latvijas Stratēģija klimatneitralitātes sasniegšanai līdz 2050. gadam, kuras virsmērķis ir Latvijas klimatneitralitātes sasniegšana 2050. gadā, kompensējot nesamazināmās antropogēnās SEG emisijas ar CO<sub>2</sub> piesaisti ZIZIMM sektorā; 2) 2020. gadā izstrādātais un 2023. gadā atjaunināmais Latvijas Nacionālais enerģētikas un klimata plāns 2021. – 2030. gadam, kas integrēti atspoguļo Latvijas klimata un enerģētikas politikas saistības un to izpildei plānotos pasākumus; 3) 2019. gadā Ministru kabinetā apstiprinātais Latvijas Pielāgošanās klimata pārmaiņām plāns līdz 2030. gadam un tajā iekļautie pasākumi.

Latvijas Stratēģijas klimatneitralitātes sasniegšanai līdz 2050. gadam mērķis – sasniegt klimatneitralitāti, kompensējot nesamazināmās antropogēnās SEG emisijas ar CO<sub>2</sub> piesaisti ZIZIMM sektorā – ir tiešā veidā saistīts ar lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanu, jo Latvijā faktiski 100% aramzemes un zālāja apsaimniekošanā radīto SEG emisiju ZIZIMM sektorā rodas saistībā ar organiskās augsnes klātesamību, savukārt ZIZIMM sektora neto SEG emisiju bilance veidojas SEG emisiju un CO<sub>2</sub> piesaistes summā (sektorā veidojas un tiek ziņotas gan SEG emisijas, gan CO<sub>2</sub> piesaiste, kas savstarpēji “dzēšas”), kas nozīmē to, ka katra SEG emisiju tonna ZIZIMM sektorā ir “jādzēš” ar CO<sub>2</sub> piesaistes tonnu, lai tiktu nodrošināta neto CO<sub>2</sub> piesaiste nesamazināmo antropogēno SEG emisiju kompensēšanai citos sektoros. 1.3. attēlā atspoguļota Latvijas klimatneitralitātes sasniegšanas mērķa trajektorija (Latvijas Stratēģija klimatneitralitātes sasniegšanai līdz 2050. gadam) un lauksaimniecības organiskās augsnes SEG emisiju proporcija ZIZIMM un lauksaimniecības sektoru prognozētajās SEG emisijās 2050. gadā – attiecīgi 50% un 13%, kas, uzskatāmi liecina par to, ka Latvijas klimatneitralitātes mērķa sasniegšana visticamāk nav iespējama bez būtiska lauksaimniecības organiskās augsnes SEG emisiju samazinājuma.



Avots: autores konstrukcija, izmantojot Latvijas Stratēģijas klimatneitralitātes sasniegšanai līdz 2050. gadam 5.attēlu "Latvijas kopējais SEG emisiju apjoms (līdz 2017. gadam) un prognoze (2018. – 2050. gadam) scenārijā "ar esošajiem pasākumiem" (1990 – 2050. gads)" un Latvijas 2023. gadā sagatavoto SEG emisiju prognožu ar papildus pasākumiem (WAM) scenāriju ZIZIMM sektoram (Ministry of Climate and Energy of Latvia, 2023)

### 1.3.att. Latvijas klimatneitralitātes mērķa sasniegšanas trajektorija un prognozētās lauksaimniecības organiskās augsnes SEG emisijas 2050. gadā

Ņemot vērā ZIZIMM sektora nozīmi Latvijas Stratēģijas klimatneitralitātes sasniegšanai līdz 2050. gadam mērķa sasniegšanā, KEM kopā ar Zemkopības ministriju (ZM), atbilstoši MK 2021. gada 27. aprīļa sēdes protokola Nr.36. 28 paragrāfa deleģējumam, 2023. gadā izstrādā informatīvo ziņojumu par ZIZIMM sektora virzību uz klimatneitralitāti. Ziņojuma izstrāde notiek sadarbībā ar zinātnisko institūciju ekspertiem. Lēmumu pieņēmēju praktiskās pieredzes un zinātnes teorētisko atziņu integrēta izmantošana ir efektīvākais ilgtspējīgas politikas plānošanas veids (O'Connor et al., 2019), ko iespējams realizēt panākot balansu starp matemātisku modeļu un citu kvantitatīvu aprēķinu sniegtā vērtējuma un vietējo interešu grupu, kuras lēmums visticamāk ietekmēs, viedokļiem (Hemmerling et al., 2020; Kiskaddon et al., 2023).

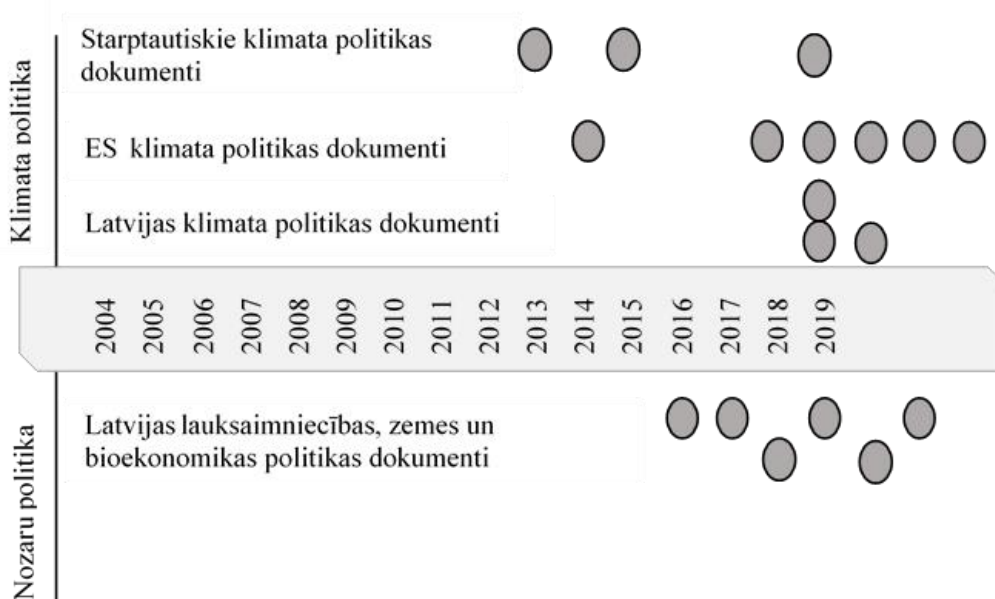
Lai izpētītu to, kad lauksaimniecības organiskās augsnes jautājums parādījies un kā tas atspoguļojas starptautiskajā, ES un nacionālajā politikas dokumentu hierarhijā klimata un lauksaimniecības politikā, autore veic detalizētu politikas un normatīvo dokumentu (34 dokumenti) analīzi izpētes periodā 1992. – 2022. gada 30. jūnijs.

Starptautiskā līmeņa dokumentu analīzes rezultāti liecina, ka organiskās augsnes temats aktualizējies pakāpeniski – sākot no 2013. gada, kad IPCC vadlīnijās pirmo reizi iekļauti SEG emisiju faktori emisiju aprēķināšanai no organiskās augsnes (Hiraishi et al., 2014). Savukārt, 2019. gadā IPCC uzsver šīs augsnes grupas nozīmi klimata politikas mērķu sasniegšanā (Shukla et al., 2019), tādējādi starptautiski iezīmējot lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas politikas attīstības virzienu. No ES līmeņa dokumentu analīzes rezultātu apkopojuma secināms, ka ES līmenī lauksaimniecības organiskās augsnes jautājumu aktualizē 2014. gadā (līdz ar ZIZIMM sektora ietveršanu ES klimata mērķos un konkrētu, dalībvalstīm individuāli saistošu SEG emisiju samazināšanas mērķu izvirzīšanu), kas ir gadu pēc tam, kad organiskās augsnes SEG emisiju "noklusētie" faktori pirmo reizi parādās starptautiskajās SEG emisiju aprēķinu vadlīnijās. Tādējādi var secināt, ka politiskās izmaiņas ES līmenī ierosina starptautiski procesi. Sākot ar 2014. gadu, lauksaimniecības organiskā augsne ietverta un īpaši izcelta visos analizētajos ES līmeņa dokumentos. Latvijas līmeņa dokumentu analīzes rezultāti



norāda uz to, ka klimata un lauksaimniecības politikas un normatīvajos dokumentos organiskās augsnes apsaimniekošanas sasaiste ar klimata pārmaiņu samazināšanas politiku iezīmējas sākot ar 2016. gadu, kas, ņemot vērā politikas un normatīvo dokumentu sagatavošanas kārtību Latvijā (Ministru kabinets, 2021), ir uzskatāma par nekavējošu reakciju uz jautājuma aktualizāciju starptautiski 2013. gadā un ES līmenī 2014. gadā. Latvijā organiskās augsnes jautājums sākotnēji aktualizēts zemes pārvaldības un bioekonomikas dokumentos, tikai 2020. gadā organiskās augsnes apsaimniekošanas radītās SEG emisijas un to nozīmi Latvijas klimata pārmaiņu samazināšanas politikas mērķu sasniegšanā uzsverot klimata politikā – Latvijas Stratēģijā klimatneitralitātes sasniegšanai līdz 2050. gadam.

Iegūtos starptautiskā, ES un nacionālā līmeņa klimata un lauksaimniecības politikas un normatīvo dokumentu analīzes rezultātus par lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas jautājuma aktualizāciju 1992. – 2022. gadā, autore apkopojusi 1.4. attēlā, kas grafiski atspoguļo nozīmīgākos analizētos dokumentus, kuros pieminēta lauksaimniecības organiskā augsne, to apstiprināšanas secībā un attiecīgi – norāda uz organiskās augsnes jautājuma sākotnēju aktualizāciju starptautiskajā klimata politikā, kam ar viena gada intervālu seko izmaiņas ES klimata politikas un Latvijas dokumentos, kas saistīti ar zemes apsaimniekošanas politiku. Līdz ar EK paziņojuma “Eiropas zaļais kurss” publicēšanu 2019. gadā, lauksaimniecības organiskās augsnes jautājums ir skarts visos tematiski saistītajos ES un Latvijas klimata politikas dokumentos, kā arī aktualizēts Latvijas lauksaimniecības politikā.



Avots: autore veidots, izmantojot 1.3. tabulā minētos dokumentus.

#### 1.4.att. Starptautiskā, ES un Latvijas nacionālā līmeņa klimata un lauksaimniecības politikas un normatīvo dokumentu, kuros minēta lauksaimniecības organiskā augsne, grafisks attēlojums pēc to tematikas un apstiprināšanas laika 1992. – 2022. gadā

Tomēr, neskatoties uz organiskās augsnes apsaimniekošanas radītās klimata pārmaiņu ietekmes apzināšanos nacionālā līmenī un jautājuma aktualizāciju politiskajos un normatīvajos dokumentos, promocijas darba pētījuma periodā Latvijā nav identificēti klimata pārmaiņu samazināšanas politikas pasākumi, kas būtu konkrēti saistīti ar lauksaimniecības organisko augsni. Nacionālajos dokumentos uzsvērtā organiskās augsnes izpētes nepieciešamība – galvenokārt saistībā ar izplatības kartogrāfisko datu ieguvī. Lai izpētītu to, kādi nacionālie pētījumi organiskās augsnes izpētes jomā ir veikti un kādi būtu nepieciešami, autore veic Latvijas politikas un normatīvajos dokumentos, kā arī nacionālajos SEG emisiju ziņošanas un prognožu dokumentos minēto izpētes vajadzību analīzi 2000. – 2022. gadā, rezultātus apkopojot 1.5. attēlā.

Analizētie dokumenti	Cik reizes izpētes vajadzība minēta dokumentos?	Izpētes vajadzība
Latvijas klimata un lauksaimniecības nozares politikas un normatīvie dokumenti kā arī SEG emisiju ziņošanas un prognožu dokumenti	8	1) kartogrāfiskā informācija par organiskās augsnes izplatību
	5	2) SEG emisijas samazinošu apsaimniekošanas veidu identifikācija un klimata pārmaiņu samazināšanas ietekmes novērtējums
	4	3) lauksaimniecības augsnes monitorings un izpēte
	4	4) organiskās augsnes bioloģisko procesu izpēte un SEG emisiju un darbību datu modelēšana
	4	5) metodoloģiskie uzlabojumi augsnes oglekļa izmaiņu novērtēšanai organiskajā augsnē

Avots: autores veidots, izmantojot Latvijas politikas un normatīvos, kā arī SEG emisiju ziņošanas un prognožu sagatavošanas dokumentus (LEGMC, 2019, 2021a, 2021b, 2022a; Ministry of Agriculture of the Republic of Latvia, 2021)

### 1.5.att. Latvijas politikas, normatīvajos un SEG emisiju ziņošanas un prognožu dokumentos identificētās lauksaimniecības organiskās augsnes izpētes vajadzības 2000. – 2022. gadā

Starp izpētes vajadzībām visbiežāk minēta nepieciešamība iegūt un atjaunot ģeogrāfiski piesaistītu informāciju par organiskās augsnes izplatību (8 dokumentos minēta vajadzība) un nepieciešamība pēc SEG emisijas samazinošu pasākumu identifikācijas un to potenciālās ietekmes novērtējuma (5 dokumentos minēta vajadzība). Vienlaikus izceltas arī tādas izpētes vajadzības, kā lauksaimniecības augsnes monitorings un izpēte, organiskās augsnes bioloģisko procesu izpēte un SEG emisiju modelēšana, kā arī metodoloģiskie uzlabojumi organiskās augsnes oglekļa uzkrājuma noteikšanai (1.5. attēls). Nacionālā līmenī nav identificēta nepieciešamība veikt lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas sociāli ekonomiskās ietekmes novērtējumu un apsaimniekošanas izmaiņu monitoringu, tomēr šīs izpētes jomas var uzskatīt par daļēji ietvertām izpētes vajadzībās, kas saistītas ar SEG emisiju samazināšanas pasākumu ietekmes novērtēšanu un augsnes monitoringu.

2023. gadā ES politiskajā dienas kārtībā ir vairāku ar lauksaimniecības organisko augsni saistītu dokumentu izstrāde. Viens no būtiskiem ES Bioloģiskās daudzveidības stratēģijas 2030. gadam (European Commission, 2020a) komponentiem ir vienota ES dabas atjaunošanas regulējuma izveidošana, pieņemot Dabas atjaunošanas likumu (*Nature Restoration Regulation*) jeb Eiropas Parlamenta un Padomes regulu par dabas atjaunošanu, ar ko plānots visām ES dalībvalstīm noteikt juridiski saistošus dabas atjaunošanas mērķus un nacionālu dabas atjaunošanas plānu izstrādes pienākumu, tostarp par lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanu. EK regulas priekšlikumu publiskojusi 2022. gada jūnijā (European Commission, 2022a), bet 2023. gada 20. jūnijā Eiropas Padomē panākta vispārīgā vienošanās (*general approach*) par Dabas atjaunošanas regulas tālāku virzību precizētā redakcijā (European Council, 2023), kas saistībā ar lauksaimniecības organisko augsni paredz dabas atjaunošanu 50% platības līdz 2050. gadam (vismaz pusē platības atjaunojot hidroloģisko režīmu jeb paceļot gruntsūdens līmeni). Regulas priekšlikums pieļauj hidroloģiskā režīma atjaunošanas mērķa izpildi, hidroloģisko režīmu atjaunojot izstrādātos kūdras laukos, bet ne vairāk kā 40% apmērā no noteiktā mērķa. Atbilstoši regulas priekšlikuma 7. pielikumā dotajiem dabas atjaunošanas pasākumu piemēriem, dabas atjaunošana lauksaimniecības organiskajā augsnē var nozīmēt paludikultūtras vai argomežsaimniecības sistēmas ierīkošanu, gan virkni citu pasākumu (tostarp 7. pielikumā neminētu). Dabas atjaunošanas regulas priekšlikums (EK 2022. gada jūnijā publiskotā versija) ņemts vērā promocijas darba 3.3. apakšnodaļā veicot klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu izmaksu efektivitātes analīzi, lai izdarītu pieņēmumu par klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ieviešanas platību Latvijā.

## 2. LAUKSAIMNIECĪBAS ORGANISKĀS AUGSNES APSAIMNIEKOŠANAS NOVĒRTĒJUMS UN APSAIMNIEKOŠANAS UZLABOŠANAS IESPĒJAS LATVIJĀ

Nodaļas apjoms ir 23 lappuses ar 6 tabulām un 5 attēliem. Izvirzītā tēze: *Latvijas lauksaimniecības politika organiskās augsnes apsaimniekošanā nav vērsta uz valsts klimata pārmaiņu samazināšanas mērķu sasniegšanu. Lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā ir iespējams izvēlēties izmaksu efektīvus klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumus. Otrajā nodaļā veikts lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas situācijas novērtējums Latvijā 2012. – 2020. gadā. Uz iegūtā novērtējuma pamata, atlasīti Latvijas apstākļiem piemēroti un potenciāli izmaksu efektīvi lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumi, to tālākai izpētei promocijas darba trešajā nodaļā.*

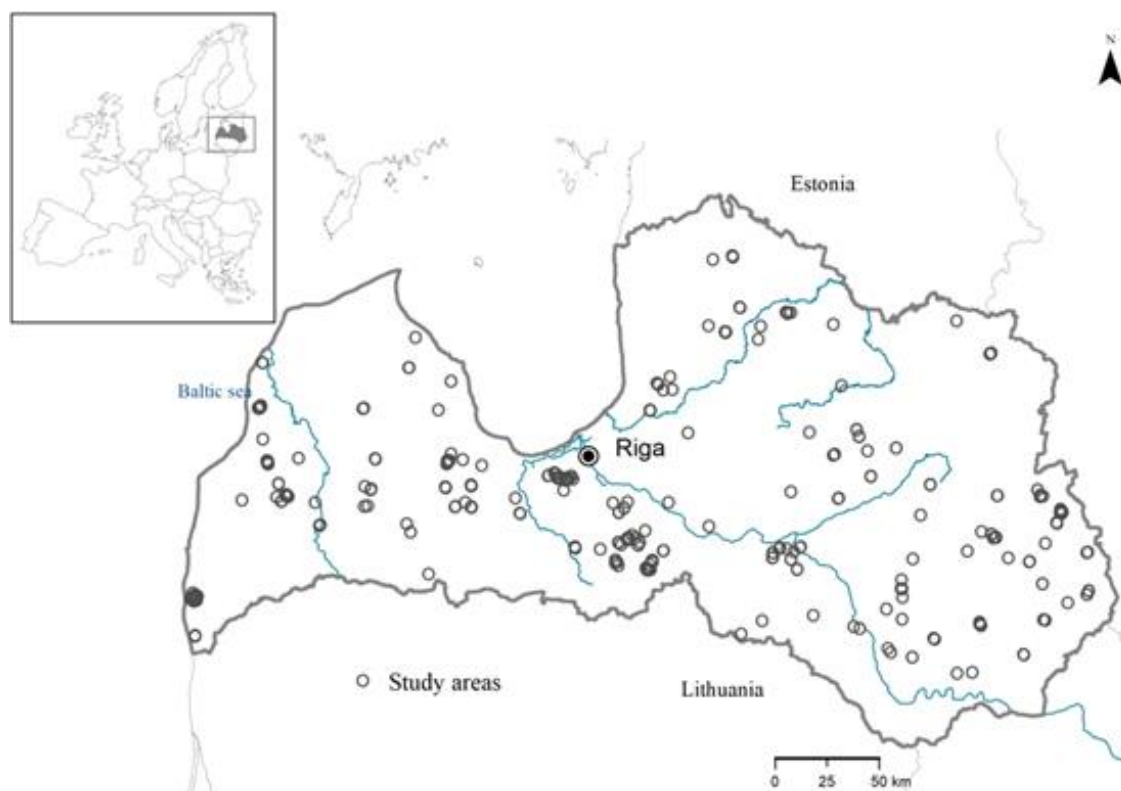
### 2.1. Lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas raksturojums

Neskatoties uz lauksaimniecības organiskās augsnes SEG emisiju nozīmi Latvijas virzībā uz klimata politikas mērķu sasniegšanu (plašāks izklāsts atrodams 1.3. apakšnodaļā), Latvijā netiek regulāri iegūti, publicēti un analizēti dati par organiskās augsnes apsaimniekošanu un zinātnisko pētījumu dati ir pieejami epizodiski, pētniekiem tos iegūstot īstermiņa izpētes projektos. Līdzīga situācija ir vērojama ES līmenī. Dati par lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanu konkrētā gadā un apsaimniekošanas veida maiņu pa gadiem – zemes izmantošanas veids (aramzeme vai zālājs), audzētais lauksaimniecības kultūraugs, iegūtā raža, izmantotās mēslojuma devas u.c. – nav pieejami vai ir nepilnīgi (Minasny et al., 2023), tomēr pētījumi norāda uz izteiktu apsaimniekošanas heterogenitāti, kas variē no augsti produktīvām sistēmām Nīderlandē, līdz jauktām intensīvas un ekstensīvas apsaimniekošanas pieejas sistēmām Eiropas ziemeļu daļā (Buschmann et al., 2020).

Ar mērķi raksturot Latvijas lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas praksi, kā arī analizēt lauksaimniecības atbalsta politikas un lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas kopsakarības (darba 2.2. apakšnodaļa), autore tālākai analīzei izveidojusi lauksaimniecības organisko augsni raksturojošu datu kopu, iegūstot informāciju no divām Latvijas valsts institūciju uzturētām datu bāzēm: 1) LAD Lauku reģistra informācijas sistēmas lauksaimniecības un lauku atbalsta politikas, valsts un ES atbalsta pasākumu administrēšanai un 2) Valsts augu aizsardzības dienesta (VAAD) augsnes agroķīmiskās izpētes datu bāzes. Dati iegūti par 2012. – 2020. gadu, par unikālo identifikatoru lietots kadastra numurs. 2012. gads ir pirmais gads, par kuru Latvijas LAD datu bāzē ar ES atbalstu saistītā informācija ir pieejama digitālā formātā. Datu ieguvei izmantoto valsts informācijas sistēmu datu bāzu (LAD un VAAD datu bāzes) izvēli autore pamato ar to, ka promocijas darba izstrādes laikā Latvijā nav pieejama aktuāla kartogrāfiskā informācija par lauksaimniecības organiskās augsnes izplatību (pieejamā ģeotelpiskā informācija balstīta uz augsnes apsekojumiem 1966. – 1985. gadā (LR Zemkopības ministrija, 2020), bet apsaimniekošanas prakses raksturojumam ir nepieciešama ģeogrāfiski piesaistītu datu kopa, kas ietver informāciju gan par organiskās augsnes apsaimniekošanas veidu, gan arī saņemto valsts un ES atbalsta veidu, kā arī citiem platību raksturojošajiem agronomiskajiem un ģeogrāfiskajiem rādītājiem. Pētījumi (Lazdiņš et al., 2016) liecina, ka vēsturiskajā augsnes digitālajā datu bāzē iegūstamā informācija par organiskās augsnes izplatību jāuztver ar piesardzību, jo daļa no 1966. – 1985. gadā kartētās lauksaimniecības organiskās augsnes ir mineralizējusies un situācija dabā vairs neatbilst kartogrāfiskajam materiālam. LAD un VAAD datu bāzu informācijas integrēta izmantošana dod iespēju analizēt platības, kurās organiskās augsnes klātesamība ir laboratoriski pierādīta (identificētie augsnes tipi: Tz, AT, VGt, E2Pv, Vkg, AG, Pgv, Tp, E1Pv, Pg), balstoties uz

apsekojumiem dabā (VAAD agroķīmiskā izpēte), kā arī ir pieejami dati par apsaimniekošanas un saņemtā ES atbalsta veidu (LAD Lauku reģistra informācija).

Lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas raksturojuma pētījuma teritorija ir visa Latvija. Izpētes platības ir vienmērīgi izvietotas valsts teritorijā un atbilst VAAD agroķīmiskās izpētes punktiem lauksaimniecības organiskajā augsnē (2.1. attēls).

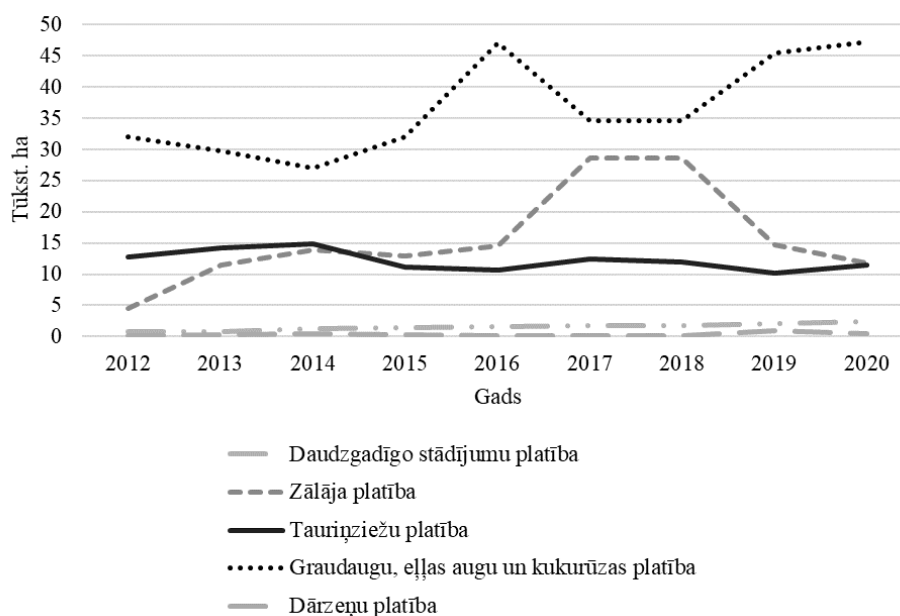


Avots: autores veidots, izmantojot nepublicētus VAAD augsnes agroķīmiskās izpētes datu bāzes datus par 2012. – 2020. gadu

### 2.1.att. Lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas raksturojuma pētījuma izpētes platību izvietojums Latvijā 2022. gadā

Sākotnējā izpētes datu kopa sašaurināta, nosakot pētniecisko ierobežojumu un izslēdzot platības, kurās augsnes oglekļa saturs uzrāda robežvērtības un platības, kurām iztrūkst kāds no rādītājiem vai arī rādītāju vērtības ir nulle. Rezultātā izveidota no 2 547 ierakstiem sastāvoša lauksaimniecības organiskās augsnes datu kopa, kas aptver aptuveni 30% Latvijas organiskās augsnes lauksaimniecības zemē (48900,57 ha) – ja par atskaites lielumu izmanto Latvijas Nacionālajā siltumnīcefekta gāzu inventarizācijā 2022. gadā ziņoto organiskās augsnes platību 2020. gadam (166800 ha) (LEGMC, 2022b). Tomēr jāņem vērā, ka faktiskais analīzes aptvēruma īpatsvars varētu būt lielāks, jo inventarizācijā ziņotā organiskās augsnes platība nav dabā pārbaudīta un varētu ietvert platības, kurās jau notikuši mineralizācijas procesi.

Lai raksturotu lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanu Latvijā, autore, izmantojot sagatavoto datu kopu, veic telpisku un grafisku analīzi. Telpisko analīzi veic, izmantojot ArcGIS programmatūru un grupējot lauksaimniecības kultūraugus četrās apakšgrupās, atbilstoši IPCC starptautisko vadlīniju nacionālo SEG inventarizāciju sagatavošanai dotajām indikācijām (Eggleston et al., 2006) par audzēto kultūraugu ietekmi uz klimata pārmaiņām. Grupējums veikts virzienā no mazākās ietekmes grupas (1) uz lielākās ietekmes grupu (5): (1) ilggadīgie stādījumi; (2) zālājs; (3) tauriņzieži; (4) dārzeni; (5) graudaugi, eļļas augi un kukurūza. Telpiskā analīze veikta ar mērķi vizuāli attēlot un analizēt organiskās augsnes apsaimniekošanas veida izmaiņas laikā (2012. – 2020. gads) un telpā (57 Latvijas novadi). Lai labāk raksturotu telpiskās analīzes rezultātus (2.3. attēls), tiem pievienota arī grafiskā interpretācija (2.2. attēls).



Avots: autores veidots, izmantojot nepublicētus LAD Lauku reģistra informācijas sistēmas datus par 2012. – 2020. gadu

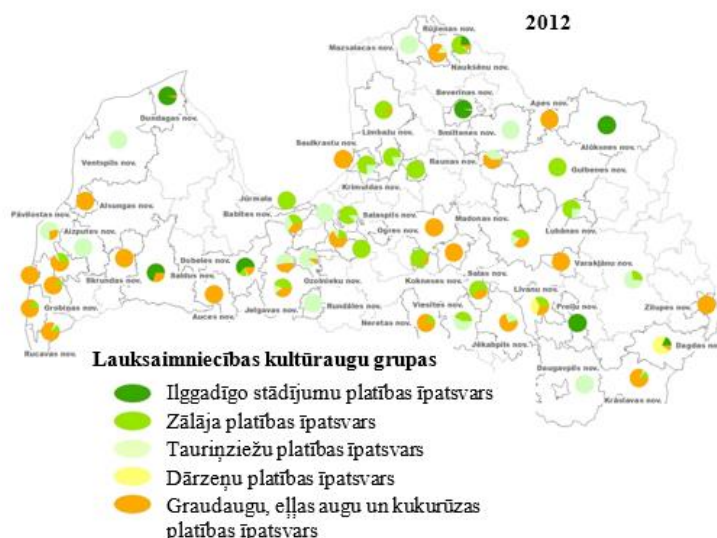
## 2.2.att. Lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas dinamika Latvijā 2012. – 2020. gadā

Grafiskā analīze norāda uz salīdzinoši nelielām apsaimniekošanas izmaiņām 2012. – 2020. gadā, tomēr kopējā ES atbalstu saņemošās organiskās augsnes platība izpētes periodā palielinājusies par 31%. Tas varētu būt skaidrojams ar vispārējām lauksaimniecības attīstības tendencēm Latvijā. Latvijai 2004. gadā pievienojoties ES un 2014. gadā pievienojoties eirozonai, lauksaimniecības ražošanas attīstību atbalstīja kopējās valsts ekonomikas dinamiska attīstība (OECD, 2019). Lauksaimniecības izlaides rādītāji visstraujāk kāpuši graudaugu un piena ražošanas jomā, apsaimniekotas lauksaimniecības zemes platība no 2010. – 2020. gadam palielinājusies par 9,1% (Central Statistical Bureau of Latvia, 2022). Līdz ar to likumsakarīga ir arī apsaimniekotas organiskās augsnes platības palielināšanās. Detalizētāka lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas analīze uzrāda ražošanas platību palielinājumu (1) zālāja un (2) graudaugu, eļļas augu un kukurūzas gadījumā. Šīs abas sistēmas veido lielāko platības īpatsvaru (attiecīgi 24% un 55%). Kopējo zālāja platību palielinājuma tendenci varētu skaidrot ar gaļas liellopu nozares attīstību, bet 2017. un 2018. gada svārstību iemesls varētu būt saistīts ar piena cenu krīzi 2017. gadā un lielo komercsaimniecību attīstību, likvidējoties mazajām piemājas saimniecībām (Pilvere et al., 2020).

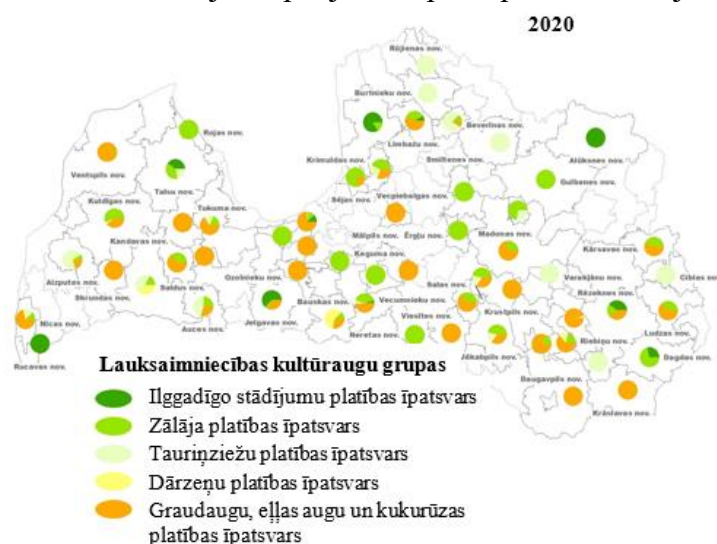
Ņemot vērā pētījumā izdalīto lauksaimniecības kultūraugu grupu ietekmi uz klimata pārmaiņām (atbilstoši (Eggleston et al., 2006)), ilggadīgo stādījumu (ogulāji, augļu koki un kārkli) un zālāja (atmata un dažāda veida zālaugi) platības palielināšanās (attiecīgi par 66,1% un 61,9%) vērtējama kā pozitīva, SEG emisijas samazinoša tendence. Vienlaikus noticis arī pretējais process, par 32,2% palielinoties graudaugu, eļļas augu un kukurūzas platībai, turklāt graudaugu, eļļas augu un kukurūzas platība dominē pēc kopējā īpatsvara. Tādējādi autore secina, ka 2012. – 2020. gadā izpētes platībā notikušās organiskās augsnes apsaimniekošanas izmaiņas nav ne izteikti veicinājušas, ne kavējušas klimata pārmaiņu samazināšanu. Tomēr, tā kā izpētes platība nosedz aptuveni 30% no kopējās Latvijas organiskās augsnes platības lauksaimniecības zemē, platību apsaimniekošanas izmaiņu analīze 2012. – 2020. gadā izmantojama tendenču identificēšanai nevis vispārīgu secinājumu izdarīšanai par situāciju Latvijā kopumā.

Lai veiktu atlasītās datu kopas telpisku analīzi promocijas darba pētījumā izvēlētajā deviņu gadu periodā, dati grupēti administratīvi teritoriālajās vienībās (57 Latvijas novadi) un, izmantojot ArcGIS programmatūru vizualizēti kartes veidā (2.3. attēls). 2012. un 2020. gada

dati vizualizācijai izvēlēti tāpēc, ka tie pārstāv promocijas darbā izvēlēta lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas raksturojuma pētījuma izpēti perioda sākuma un beigu gadu (attiecīgi), tādējādi dodot iespēju vizualizēt deviņu gadu laikā notikušās izmaiņas.



a) lauksaimniecības kultūraugu grupu īpatsvars pēc platības organiskās augsnes apsaimniekošanas raksturojuma pētījuma izpēti platībās Latvijā 2012. gadā



b) lauksaimniecības kultūraugu grupu īpatsvars pēc platības organiskās augsnes apsaimniekošanas raksturojuma pētījuma izpēti platībās 2020. gadā

Avots: autores veidots, izmantojot nepublicētus LAD Lauku reģistra informācijas sistēmas un VAAD augsnes agroķīmiskās izpēti datu bāzes datus par 2012. – 2020. gadu

### 2.3.att. Lauksaimniecības kultūraugu grupu platības īpatsvara telpisks attēlojums Latvijas novados 2012. un 2020. gadā

Lai gan telpiskā analīze neuzrāda skaidru apsaimniekošanas sasaisti ar reģioniem vai konkrētām administratīvi teritoriālajām vienībām, tomēr atsevišķos reģionos vērojamas noteiktas tendences. Piemēram, Latvijas ziemeļu daļā ilggadīgie stādījumi, zālājs un tauriņziežu audzēšana organiskā lauksaimniecības augsnē ir izplatītāka. Tas varētu būt skaidrojams ar to, ka šis reģions ir ar salīdzinoši nelīdzenāku reljefu, zemāku augsnes auglību un piemērotāks liellopu audzēšanai (Zvirbule & Andersons, 2018), savukārt Latvijas vidienē un dienvidu daļai vairāk raksturīgas augkopības sistēmas un attiecīgi graudaugu, eļļas augu un kukurūzas audzēšana arī lauksaimniecības organiskajā augsnē.

Promocijas darbā veiktais lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas situācijas novērtējums Latvijā 2012. – 2020. gadā liecina, ka organiskās augsnes

apsaimniekošanai Latvijā ir neizmantots klimata pārmaiņu samazināšanas potenciāls. Promocijas darbā veiktā lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas situācijas novērtējuma rezultāti saskan ar vienīgā Latvijā iepriekš veiktā organiskās augsnes izmantošanas lauksaimniecībā pētījuma rezultātiem. 2017. gada pētījumā graudaugi un eļļas augi ir norādīti kā otrs izplatītākais apsaimniekošanas scenārijs, taču šajā pētījumā netika meklētas un nav analizētas vēsturiskās tendences, un novērtējumam izmantota cita datu kopa (Pilvere, 2017). Lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas sistemātiska zinātniska novērtējuma trūkums kavē efektīvu klimata pārmaiņu politikas plānošanu, jo iztrūkstot informācijai par faktisko organiskās augsnes apsaimniekošanas veidu, saistīto politikas jomu (lauksaimniecības un klimata) plānošana, tostarp 2050. gada klimatneitralitātes sasniegšanai, ir apgrūtināta. Papildus aspekts, kas rada šķēršļus kvalitatīvu datu iegūšanai ir aktuālas kartogrāfiskās informācijas trūkums par organiskās augsnes izplatību lauksaimniecības zemē (Donlan et al., 2016; Kekkonen et al., 2019; Pilvere, 2018; Roßkopf et al., 2015; Wittnebel et al., 2021). Jautājums par aktuālas kartogrāfiskās informācijas pieejamību kļūst arvien nozīmīgāks saistībā ar politiskiem procesiem, piemēram: 1) ES KLP nosacījumu sistēma 2023 – 2027. gadam paredz mitrzesmes un kūdrāju aizsardzības prasību (Latvijas Republikas Zemkopības ministrija, 2023), kuras ieviešanai nepieciešama ģeogrāfiski piesaistīta informācija par organiskās augsnes izplatību; 2) ES Bioloģiskās daudzveidības stratēģija 2030. gadam (European Commission. Directorate General for Environment., 2021) un Eiropas Komisijas izstrādātais Dabas atjaunošanas regulas priekšlikums, kuru 2023. gada 12. jūlijā pirmajā lasījumā apstiprināja Eiropas Parlaments (European Parliament, 2023a), nosaka saistošus nacionālus mērķus organiskās augsnes apsaimniekošanai lauksaimniecībā. Saistošu un finansiāli ietilpīgu politisko mērķu realizācijai ir nepieciešama aktuāla, precīza, ģeoreferencēta informācija, kas turklāt iegūta izmantojot savstarpēji salīdzināmu metodoloģisku pieeju.

## 2.2. Lauksaimniecības atbalsta politikas un lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas kopsakarības

Šajā apakšnodaļā turpināta autores izveidotās LAD un VAAD lauksaimniecības organiskās augsnes izpētes datu kopas (apraksts sniegts 2.1. apakšnodaļā) detalizēta analīze lauksaimniecības atbalsta politikas un organiskās augsnes apsaimniekošanas savstarpējo ietekmju novērtēšanai.

Promocijas darba 1.3. apakšnodaļā noskaidrots, ka Latvijā ES Kopējās lauksaimniecības politikas ieviešanas periodā 2014. – 2020. gadam nav izveidoti atbalsta pasākumi, kuri tieši attiecināti uz lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanu. Analizējot promocijas darba 2. nodaļas pētījumam izveidoto LAD un VAAD lauksaimniecības organiskās augsnes datu kopu, konstatēts, ka 2012. – 2020. gadā saņemti piecpadsmit dažādi atbalsta veidi, starp kuriem biežāk saņemtie ir: 1) vienotais platību maksājums; 2) maksājums par lauksaimnieciskai ražošanai nelabvēlīgiem dabas apstākļiem teritorijās, kas nav kalnu teritorijas; 3) Lauku attīstības programmas pasākumu “Agrovide un klimats” un “Bioloģiskā lauksaimniecība” atbalsts; 4) dažādi brīvprātīgi saistītā atbalsta veidi un 5) maksājums gados jaunajiem lauksaimniekiem. Promocijas darbā nav vērtēts saņemtā atbalsta apjoms monetārā izteiksmē, bet gan analizēts tas, vai pastāv kopsakarības starp organiskās augsnes apsaimniekošanas veida maiņu 2012. – 2020. gadā un saņemtā atbalsta veidu, analīzes izpildē izmantojot *IBM SPSS Statistics 26 (Statistical Package for Social Sciences)* programmatūru un pielietojot faktoru un klasteru analīzes metodes:

- 1) galveno komponentu **faktoru analīze** izmantota, lai noteiktu savstarpējās sakarības starp dažādām organiskās augsnes apsaimniekošanas prakses pazīmēm ar mērķi izdalīt faktorus, kas šīs sakarības var izskaidrot;

- 2) **klasteru analīze** izmantota, lai izdalītu atšķirīgas ES atbalstu saņemošās organiskās augsnes grupas jeb klasterus atkarībā no komplekso, raksturojošo faktoru ietekmes uz apsaimniekošanas veidu.

Faktoru analīzi pirmais sociālo zinātņu datu analīzē izmantoja Šarls Spermans (*Charles Spearman*) 1909. gadā (Bartholomew, 1995). Izdala divus faktoru analīzes veidus – izskaidrojošā (*exploratory*) un retāk lietotā apstiprinošā (*conformity*) metode, ko izmanto hipotēžu pārbaudei (Kline, 2008). Promocijas darbā izmantota izskaidrojošā faktoru analīzes metode. Faktoru analīze paskaidro atrasto korelāciju, identificējot slēptos jeb latentos faktorus, kuri šo korelāciju nosaka un izskaidro jeb, citiem vārdiem, faktoru analīze noskaidro, vai mainīgie  $Y_1, Y_2 \dots, Y_n$  ir lineāri saistīti ar mazāka skaita un tieši nenovērojamiem faktoriem  $F_1, F_2, F_3 \dots, F_k$  (Mooi et al., 2018). Galvenie faktoru analīzes izpildes soļi (Izenman, 2008) ir: 1) datu kopas izveide; 2) korelācijas matricas (dod aptuvenu priekšstatu par mainīgo grupām) izveide un Bartleta sfēriskuma testa (*Bartlett's test of sphericity*) izpilde, lai noteiktu, vai datu kopa ir piemērota faktoru analīzei; 3) Kaizera Meijera Olkina (*Kaiser–Meyer–Olkin measure of sampling adequacy*) (KMO) testa izpilde, lai noteiktu datu atbilstību faktoru analīzei. Uz atbilstību norāda augstas KMO vērtības ( $0,5 \geq 1,0$ ). Dati nav atbilstoši faktoru analīzei, ja  $KMO < 0,5$ ; 4) faktoru skaita noteikšana un rotācija, lai novērstu šķērsslodzi; 5) faktoru struktūras interpretācija, izmantojot aprēķinātos faktorslodzes rādītājus, kas nosaka lineārās sasaistes ciešumu starp mainīgajiem un faktoriem. Faktorslodzi uzskata par augstu, ja tā pārsniedz 0,6 (tam, vai vērtība ir pozitīva vai negatīva, nav nozīmes) un vidēji augsta, ja tā pārsniedz 0,3, savukārt faktorslodzes ar vērtību  $< 0,3$  nav izmantojamas (Kline, 2008).

Faktoru un klasteru analīzei izmantoti divpadsmit izveidotās LAD un VAAD organiskās augsnes datu kopas zemes vienības raksturojošo mainīgo rādītāji (2.1.tabula).

2.1.tabula

**LAD un VAAD lauksaimniecības organiskās augsnes izpētes datu kopā ietverto zemes vienību raksturojošo mainīgo rādītāju apraksts 2012. – 2020. gadā**

Rādītājs	Rādītāja apraksts
Zemes izmantošana	aramzeme, zālājs, ilggadīgs stādījums (0-20 gadi), ilggadīgs stādījums (20-40 gadi), dārzkopība, papuve, aizaugusi lauksaimniecības zeme
Augsnes mitruma režīms	normāls, periodiski mitrs, mitrs, sauss
Reljefs	līdzenums, viļņots līdzenums, neliels slīpums – vāja erozija, stāvs slīpums – vidēja līdz spēcīga erozija, izteikti stāvs slīpums
Akmeņainība	akmeņu nav, reti akmeņi, akmeņains, atsevišķi akmeņu krāvumi, atsevišķi lieli akmeņi, daudz dažāda lieluma akmeņu
Augsnes OV saturs	vērtība %
Augsnes pH <sub>KCl</sub>	vērtība intervālā no $< 4,6$ līdz $> 6,5$
Iekultivēšanas pakāpe	zema, vidēja, augsta
Augsnes tips	kūdras un kudrainā augsne atbilstoši Latvijas nacionālajai klasifikācijai
Zemes vērtība	zemes vērtība relatīvās vienībās no $< 10$ līdz $> 60$
Saņemtā atbalsta veids	ES atbalsta veidi
Lauksaimniecības kultūraugs	lauksaimniecības kultūraugs (piemēram, daudzgadīgie kultūraugi, zālājs, dārzkopības kultūraugi, graudaugi, aizaugušas platības)
Atbalsta platība	Hektāri

Avots: autores veidots, izmantojot nepublicētus LAD Lauku reģistra informācijas sistēmas un VAAD augsnes agroķīmiskās izpētes datu bāzes datus par 2012. – 2020. gadu



LAD un VAAD organiskās augsnes datu kopas dati katram no izpētes gadiem (2012. – 2020. gads) organizēti divdimensiju matricā, kuras pirmā kolona atbilst atlasītajām 283 zemes vienībām, bet pārējās kolonās ietvertas 12 mainīgo rādītāju (2.1. tabula) vērtības attiecīgajos gados. Tādējādi tabulas rindas raksturo pētāmā objekta (atlasīto zemes vienību) rādītājus.

Izveidotās datu matricas atbilstība faktoru analīzes izmantošanai pārbaudīta veicot KMO un Bartleta testus. KMO testa vērtība 0,785 un Bartleta testa rezultāts Sig. = 0,000 liecina par to, ka datu kopa ir adekvāta faktoranalīzes veikšanai (KMO testa rezultāts pārsniedz 0,5), zemes vienību raksturojošo rādītāju dispersiju var izskaidrot ar kompleksiem faktoriem un dispersiju izraisa 79% no analizējamajiem rādītājiem. Slēptas jeb latentas sakarības skaidrojošo komplekso faktoru atlasei (pašvērtība  $\geq 1$ ) izmantota Varimax ortogonālās rotācijas metode.

Faktoru analīze veikta katram no izpētes gadiem (2012. – 2020. gads), tomēr, tā kā starp gadiem netika novērotas būtiskas atšķirības, rezultātu raksturošanai izmantota 2020. gada datu kopa. Pārliecinoties, ka datu kopa ir piemērota faktoru analīzei, izveidota sākotnējo faktoru daudzkorrelācijas matrica un iegūti sākotnējo faktoru korrelācijas analīzes rezultāti (2.2. tabula).

2.2.tabula/Table 2.2

**Daudzfaktoru korrelācijas rezultāti izpētei atlasīto lauksaimniecības organiskās augsnes zemes vienību mainīgajiem rādītājiem Latvijā 2020. gadā / Multivariate correlation results for variables of agricultural organic soil land units selected for research in Latvia in 2020**

Rādītājs	Pozytīva korrelācija (0,01 level (2-tailed))			Rādītāji ar ļoti ciešu korrelāciju (>0,6)
	Neliela (0,1 – 0,3)	Vidēja (0,31 – 0,5)	Cieša ( $\geq 0,51$ )	
<b>Korelējošo rādītāju skaits</b>				
Zemes izmantošana	1	1	3	Reljefs
Augsnes mitruma režīms	4	1	3	Akmeņainība; Reljefs
Reljefs	4	1	3	Zemes izmantošana; Augsnes mitruma režīms; Akmeņainība
Akmeņainība	4	1	3	Augsnes mitruma režīms; Reljefs
Augsnes OV saturs	0	4	2	nav
Augsnes pH <sub>KCl</sub>	4	0	2	Augsnes iekultivēšanas pakāpe
Iekultivēšanas pakāpe	5	0	2	Augsnes pH <sub>KCl</sub>
Augsnes tips	0	0	0	nav
Zemes vērtība	5	0	0	nav
Saņemtā atbalsta veids	1	0	0	nav
Lauksaimniecības kultūraugs	1	0	0	nav
Atbalsta platība	3	0	0	nav

Avots: autores veidots

Daudzkorrelāciju analīze liecina, ka nozīmīgākā pozitīvā korrelācija ( $\geq 0,51$ ) ir zemes lietošanas veidam, mitruma apstākļiem, reljefam un akmeņainībai – katram no šiem mainīgajiem ar trīs citiem mainīgajiem. Visciešākā korrelācija ir reljefam ar zemes lietošanas veidu, mitruma apstākļiem, akmeņainību. Augsnes tipa pazīmei nav konstatēta korrelācija ar pārējiem mainīgajiem, savukārt saņemtajam atbalstam konstatēta neliela negatīva korrelācija ar 4 analizētajiem mainīgajiem, vidēja negatīva korrelācija ar diviem un vāji pozitīva korrelācija (-

,276) ar vienu mainīgo – audzēto lauksaimniecības kultūraugu. Saņemtajam atbalstam nav novērota korelācija ar augsnes tipa pazīmi un zemes vērtības rādītāju, kam iemesls varētu būt tas, ka atbalsta sniegšana nav saistīta ar zemes novērtējumu vai augsnes tipu.

Ar faktoru analīzes palīdzību mainīgie sagrupēti 4 kompleksos faktoros, kas izskaidro 68% no kopējās datu izkliedes, attiecīgi 32% no izkliedes izskaidro citi faktori. Katrs atlasītais faktors sastāv no rādītājiem, kuru faktorslodze ir lielāka par 0,5. Starp četros kompleksos faktoros savstarpēji saistītajām pazīmēm pastāv slēpta, latentā mainīgā ietekme. Kompleksie faktori, tajos ietvertās pazīmes un pazīmju faktorslodze (pēc rotācijas piemērošanas) attēlota 2.2. tabulā.

2.2.tabula

**Faktoru analīzes rezultāti izpētei atlasīto lauksaimniecības organiskās augsnes zemes vienību mainīgajiem rādītājiem Latvijā 2020. gadā**

Rādītājs (izskaidrotā informācija, %)	Faktorslodze
<b>1. faktors. F1 Agroekoloģiskie apstākļi (26,1%)</b>	
Zemes izmantošana	0,79
Augsnes mitruma režīms	0,89
Reljefs	0,90
Akmeņainība	0,85
<b>2. faktors. F2 Augsnes kvalitāte (20,9%)</b>	
Augsnes OV saturs	0,81
Augsnes pH <sub>KCl</sub>	0,88
Iekultivēšanas pakāpe	0,87
<b>3. faktors. F3 Zemes vērtība (10,6%)</b>	
Augsnes tips	-0,51
Zemes vērtība	-0,54
Atbalsta platība	0,74
<b>4. faktors, F4 Atbalsts (10,5%)</b>	
Saņemtā atbalsta veids	0,54
Lauksaimniecības kultūraugs	0,89

Avots: autores veidots

Pirmais kompleksais faktors Agroekoloģiskie apstākļi izskaidro 26,1% no izpētei atlasīto lauksaimniecības organiskās augsnes zemes vienību raksturojošo rādītāju sakarībām. Šis ir kompleksais faktors ar vislielāko apvienoto pazīmju skaitu – apvieno 4 rādītājus, kas raksturo agroekoloģisko situāciju – reljefu, augsnes mitruma apstākļus, akmeņainību un zemes izmantošanu. Lielākās faktorslodzes konstatētas reljefam (0,90) un augsnes mitruma apstākļiem (0,89). Otrais kompleksais faktors Augsnes kvalitāte izskaidro 20,9% no izkliedes un ietver tādus augsnes kvalitāti raksturojošus rādītājus, kā augsnes OV saturs, augsnes pH<sub>KCl</sub> un iekultivēšanas pakāpe. Visiem rādītājiem aprēķinātas augstas, pozitīvas faktorslodzes – virs 0,8. Trešais kompleksais faktors Zemes vērtība skaidro 10,6% izkliedes un ietver augsnes tipa, zemes vērtības un atbalsta platības rādītājus. Divi no rādītājiem (augšnes tips un zemes vērtība) ar trešo komplekso faktoru korelē negatīvi, kas varētu būt skaidrojams ar to, ka zemes vērtības un augsnes tipa rādītāju vērtības nav aktualizētas, izmanto vēsturiskos datus, kas vairs visticamāk neraksturo faktisko situāciju dabā. Ceturtais kompleksais faktors Atbalsts skaidro 10,5% izkliedes un to veido divi rādītāji – saņemtā atbalsta veids un lauksaimniecības kultūraugs, kuru faktorslodze ir augsta un pozitīva – attiecīgi 0,54 un 0,89.

Tādējādi var novērot, ka pirmais kompleksais faktors, *Agro-ekoloģiskie apstākļi*, ir ar vislielāko izskaidrojošo kapacitāti un augstākajām pozitīvajām faktorslodzēm. Savukārt otrais faktors, *Augsnes kvalitāte*, ietekmes ziņā daudz neatpaliek no pirmā. Tas varētu liecināt par to,

ka nozīmīgākie, izpētei atlasīto lauksaimniecības organiskās augsnes zemes vienību raksturojošie rādītāji ir saistīti ar zemes platības agroekoloģiskajiem apstākļiem un augsnes kvalitāti, bet salīdzinoši maz vērojama sasaiste ar zemes novērtējuma rādītājiem un saņemto atbalstu.

Izmantojot faktoru analīzē iegūtos kompleksos faktoros, veikta **klasteru analīze**, lai izdalītu atšķirīgas izpētei atlasīto lauksaimniecības organiskās augsnes zemes vienību grupas jeb klasterus atkarībā no komplekso, raksturojošo faktoru ietekmes uz apsaimniekošanas veidu.

Ar klasteru analīzes palīdzību elementi (izpētei atlasītās lauksaimniecības organiskās augsnes zemes vienības)  $n$ , pamatojoties uz to īpašībām (zemes vienības raksturojošajiem rādītājiem)  $p$  ( $p > 0$ ), grupēti iekšēji viendabīgos, bet savstarpēji atšķirīgos klasteros  $k$  ( $k > 1$ ) tā, lai klasteri būtu homogēni klastera vidē, respektīvi, lai klasterī nonāk objekti ar maksimāli līdzīgām pazīmēm, bet klasteri savstarpēji būtu heterogēni. Klasteru skaits noteikts, izmantojot Elbova (*Elbow*) metodi. Noteikti 5 klasteri, kas norāda uz veidu, kā sagrupējas izpētei atlasītās lauksaimniecības organiskās augsnes zemes vienības. Mazākais zemes vienību skaits vienā no klasteriem (otrajā) ir 3, kas nozīmē, ka šis klasteris varētu būt uzskatāms nevis par kopu, bet izņēmumu. ANOVA analīze liecina, ka nozīmīgākie kompleksie faktori klasteru izdalīšanā ir  $F_2$  *Augsnes kvalitāte* un  $F_3$  *Zemes vērtība*, kuriem ir ievērojami lielākas  $F$  vērtības.

2.3.tabula

### Klasteru analīzes rezultāti izpētei atlasīto lauksaimniecības organiskās augsnes zemes vienībām Latvijā 2020. gadā

Faktors	Klasteris 1 (n=225)	Klasteris 2 (n=3)	Klasteris 3 (n=9)	Klasteris 4 (n=12)	Klasteris 5 (n=20)
	Klasteru centru relatīvās vērtības				
F1 Agro–ekoloģiskie apstākļi	0,018	1,246	-0,534	-0,922	0,401
F2 Augsnes kvalitāte	0,259	0,555	-2,202	-3,299	-0,022
F3 Zemes vērtība	-0,096	-4,339	-1,143	-0,195	2,363
F4 Atbalsts	-0,166	0,279	2,757	-0,744	1,026

Avots: autores veidots

Pirmo klasteri raksturo gan pozitīvas, gan negatīvas klasteru centru vērtības. Šajā klasterī grupēts vislielākais zemes vienību skaits – 225 vienības. Klasterim raksturīga laba augsnes kvalitāte un agroekoloģiskie apstākļi. Otrais klasteris varētu tikt traktēts kā izņēmums, jo apvieno tikai 3 izpētei atlasītās lauksaimniecības organiskās augsnes zemes vienības. Arī trešajā, ceturtajā un piektajā klasterī grupēto zemes vienību skaits ir neliels (attiecīgi 9, 12 un 20 zemes vienības), kas norāda uz homogēnu datu (zemes vienību) struktūru, tiem grupējoties vienā klasterī. Klasteru analīze ir izpētes tehnika, kuras galvenais mērķis nav izdarīt secinājumus par analizējamo objektu parametriem, bet gan norādīt uz datu struktūru (Landau & Chis Ster, 2010), kas promocijas darba pētījumā ir vērtējama kā viendabīga.

Faktoru analīzes rezultāti apstiprina autores pieņēmumu par to, ka ES atbalsts lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā Latvijā 2012. – 2020. gadā nav bijis mērķtiecīgs vai saistīts ar faktiskajiem agroekoloģiskajiem apstākļiem vai augsnes īpašībām. Līdzīgas tendences atklājas arī citās ar organisko augsni bagātās valstīs, vērtējot zemes izmantošanas datu analīzes metodoloģiskās pieejas un secinot, ka pārvaldības datu ieguvei klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu efektivitātes novērtēšanai ir nepietiekami saskaņota pieeja un apjoms (European Commission. Directorate General for Climate Action. & IEEP., 2018). Pamatojoties uz valstu sniegto informāciju pētījumā (European Commission. Directorate General for Climate Action. & IEEP., 2018) apkopotu dati par politikas pasākumiem (galvenokārt ES KLP), kas izmantoti lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanai,

tomēr nav vērtēts ietvertu politikas pasākumu faktiskais mērķtiecīgums un ietekme. Faktoru analīzes rezultāti apstiprina nepieciešamību ņemt vērā ne tikai politikas pasākumu skaitu, bet arī un jo īpaši darbību faktisko mērķtiecīgumu un saistību ar konkrētās teritorijas specifiku. Pretējā gadījumā politiskā ietekme var tikt pārvērtēta vai nenovērtēta un politiskie mērķi var netikt sasniegti. Šo secinājumu apstiprina lauksaimniecības organiskās augsnes pētījumi Somijā, piemēram, par SEG emisiju samazināšanas potenciālu, konstatējot, ka efektīvāku risinājumu sasniegšanai, kā viens no atbalsta kritērijiem iekļaujams augsnes tips (Regina et al., 2016). Savukārt, Ziemeļvalstu kūdras augsnes nākotnes apsaimniekošanas iespēju analīze (Kløve et al., 2017) atklāj nepieciešamību politiskos lēmumus balstīt uz lokāliem novērojumiem un pareizi izprast apsaimniekošanas pasākumu ilgtermiņa ietekmi.

### **2.3. Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumi lauksaimniecības organiskajā augsnē**

Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ieviešanas potenciālais efekts mežsaimniecībā, lauksaimniecībā un mitrāju apsaimniekošanā varētu nodrošināt aptuveni 30% no globāli līdz 2050. gadam nepieciešamā SEG emisiju samazinājuma 1.5 °C mērķa sasniegšanai (Parīzes nolīgums) (Roe et al., 2019). Ilgtspējīgu klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ieviešana lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā varētu sniegt būtisku ieguldījumu nacionālo un starptautisko klimata pārmaiņu samazināšanas mērķu sasniegšanā (Rhymes et al., 2023). Organiskās augsnes apsaimniekošanas SEG emisiju apjoms globālā un ES līmenī nosaka to, ka nepieciešami pēc iespējas efektīvi emisiju samazināšanas pasākumi, kas turklāt būtu arī izmaksu efektīvi (European Commission, 2018b). Izdala trīs galvenās SEG emisiju samazināšanas pieejas, kas var tikt izmantotas lauksaimniecības, meža un zemes lietošanas maiņas sektorā (Smith et al., 2014): (1) emisiju rašanās novēršana vai samazināšana, saglabājot oglekļa krātuves tostarp augsnē; (2) oglekļa piesaistes no atmosfēras un uzkrāšanas (tostarp – augsnē) veicināšana; (3) CO<sub>2</sub> emisiju samazināšana, izmantojot fosilo resursu aizstāšanas efektu. Uzsvērta arī patēriņa maiņa, kas uz organisko augsni var attiekties, ja, piemēram, ietver pieeju izvairīties no produkcijas lietošanas, kas iegūta apsaimniekojot organisko augsni. Vienlaikus IPCC (Smith et al., 2014) dod arī vispārīgu atsauci uz lauksaimniecības zemes, tostarp aramzemes un ganību apsaimniekošanas prakses maiņu, kā arī organiskās augsnes atjaunošanu (*restoring*), kā izmaksu efektīvu pieeju, tomēr nenorādot atsauces uz izmaksu efektivitātes aprēķiniem.

IPCC (Shukla et al., 2019) uzsver, ka veiksmīga klimata pārmaiņas samazinošu pasākumu ieviešana nav iespējama, neņemot vērā vietējos apstākļus un sociāli ekonomiskos faktorus. Savukārt, par organiskās augsnes apsaimniekošanu ar augstu ticamības koeficientu uzsvērts, ka šis augsnes esamība nosaka specifiskus agro–ekoloģiskos apstākļus un ieviešamo pasākumu efektivitāte atkarīga no tā, cik lielā mērā šie specifiskie apstākļi ir ņemti vērā. Lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanai konkrēti norādījumi nav doti, vien iezīmētas vispārīgas stratēģijas lauksaimniecības sektorā kopumā, kas zināmā mērā varētu tikt attiecinātas uz organisko augsni: 1) aramzemes un zālāja apsaimniekošanas uzlabošana; 2) augsnes OV satura palielināšana vai saglabāšana; 3) mitrāju atjaunošana un lietošanas veida maiņas ierobežojumi.

ES valstu centieni dažādu ZIZIMM sektora pasākumu ieviešanā, tostarp saistībā ar lauksaimniecības organisko augsni, daļēji apkopoti valstu nacionālajos ziņojumos par progresu ZIZIMM pasākumu plāna ieviešanā, atbilstoši ES regulējumam (European Commission, 2013), kā arī sagatavojot regulāros nacionālos ziņojumus par politikām, pasākumiem un SEG emisiju prognozēm atbilstoši ES noteiktajam regulējumam (European Commission, 2018c). EK, balstoties uz dalībvalstu iesniegtajiem ziņojumiem sagatavo informācijas apkopojumus par plānotajiem un ieviestajiem klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumiem zemes apsaimniekošanā ZIZIMM un lauksaimniecības sektoros (Paquel et al., 2017). Lielākā daļa dalībvalstu ziņoto pasākumu ir ES Kopējās lauksaimniecības politikas finansējuma atbalstītas

aktivitātes. Saistībā ar lauksaimniecības organisko augsni dalībvalstis ziņo par tādiem pasākumiem, kā atbalsts aramzemes pārveidei par dabas teritoriju (mitrāju) gadījumos, kad tajā sastopamas organiskās augsnes (pasākums atbalstīts Vācijā), virkni mitrāju aizsardzības pasākumu variāciju (kas tomēr nav tieši saistāmi ar lauksaimniecības zemi), aramzemes pārveidi no regulāri apstrādātas platības par platību ilggadīgo kultūru audzēšanai un zālāju aizsardzību ar mērķi novērst to aparšanu, kas rada pastiprinātus oglekļa zudumus. Lai gan netiešas sasaistes ar organiskās augsnes apsaimniekošanu veidojas, tomēr tiešas ietekmes, mērķtiecīgu pasākumu, kas būtu vērsti uz klimata pārmaiņas samazinošu lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanu ES dalībvalstu ziņotajos pasākumos nav. Līdz ar to secināms, ka, neskatoties uz lauksaimniecības organiskās augsnes radīto SEG emisiju īpatsvaru, lielākajā daļā ES valstu nav izstrādāta politika vai regulējums šo emisiju mazināšanai (Regina et al., 2016) un trūkst datu, lai kvantificētu SEG emisiju samazināšanas potenciālu (Paquel et al., 2017).

Zinātniskajā literatūrā minēti dažādi lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas klimata pārmaiņu ietekmes mazināšanas pasākumi. Starp biežāk minētajiem ir mitruma līmeņa atjaunošana (*rewetting*) ar vai bez sekojošas paludikultūru audzēšanas, zālāja uzturēšana un aramzemes pārveide par zālāju (Beetz et al., 2013; Paul et al., 2018; Wen et al., 2021), samazinātas slāpekļa mēslojuma devas, lauksaimniecības dzīvnieku vienību skaits un alternatīvi augsnes apstrādes veidi (Paul et al., 2018), gruntsūdens līmeņa regulēšana (Campbell et al., 2015; Musarika et al., 2017; Regina et al., 2015), saglabājot intensīvu zālāja apsaimniekošanas praksi (Ferré et al., 2019) un citi. Konstatēts, ka lauksaimnieciskās ražošanas pārnese no organiskās augsnes uz minerālaugsnī var nenest gaidīto SEG emisiju samazinājumu, jo N<sub>2</sub>O emisiju apjoms noteiktos apstākļos var būtiski pārsniegt CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumu (Taft, 2014). Gruntsūdens līmeņa pacelšanu uzskata par vienu no perspektīviem pasākumiem, tomēr pētījumi atzīmē to kā sarežģītu jautājumu lūkojoties no zemes īpašnieka, politikas un tirgus perspektīvas, jo pasākums konfliktē ar tālāku platības apsaimniekošanu lauksaimniecībā (Ferré et al., 2019). Lielākā daļa pētījumu klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu atlasei un izpētei veikti Centrāleiropas valstu (Vācijas, Lielbritānijas, Īrijas, Dānijas u.c.) apstākļos, to secinājumi nav tieši piemērojami Baltijas reģionam un Latvijai. Latvijā nav veikti plaši pētījumi par lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas pasākumiem klimata pārmaiņu samazināšanai, tomēr 2017. gada pētījumā “Organisko augšņu devuma novērtējums Latvijas lauksaimniecībā – daudzfaktoru ietekmes izvērtējums efektīvas zemes izmantošanas risinājumu piedāvājumā” ir vērtēta lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošana un sagatavoti priekšlikumi apsaimniekošanas uzlabošanai (Pilvere, 2017). Galvenie šī pētījuma ieteikumi ir: 1) palielināt ražošanas intensitāti organiskajās augsnēs, tādējādi palielinot produkcijas izlaides vērtību un samazinot SEG emisijas uz vienu saražotās produkcijas vienību; 2) lauksaimnieciskajai izmantošanai nepiemērotās vai sarežģīti apsaimniekojamās platībās apsvērt zemes lietošanas veida maiņu organiskās augsnes apsaimniekošanā, to apmežojot un tādējādi samazinot SEG emisiju apjomu un palielinot CO<sub>2</sub> piesaisti (kokaugu biomasā).

Nolūkā atlasīt Latvijas apstākļiem piemērotākos SEG emisiju samazināšanas pasākumus lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā, to tālākai izpētei promocijas darbā, autore izmanto 2018. – 2020. gadā LIFE programmas projekta “Klimata pārmaiņu samazināšanas iespēju demonstrēšana auglīgās organiskajās augsnēs Baltijas valstīs un Somijā” (LIFE18CCM/LV/001158) (LIFE OrgBalt) pieteikuma sagatavošanas laikā veikta pētījuma rezultātus (Licite & Popluga, 2022). LIFE OrgBalt projekta klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu atlases pētījuma rezultātu izmantošanu promocijas darbā autore pamato ar to, ka Latvija ir projekta partnervalsts, savukārt, Lietuvas, Igaunijas un Somijas datu izmantošana dod iespēju nosegt ģeogrāfisko, klimatisko un sociāli ekonomisko apstākļu ziņā salīdzināmu kaimiņvalstu teritoriālo spektru.

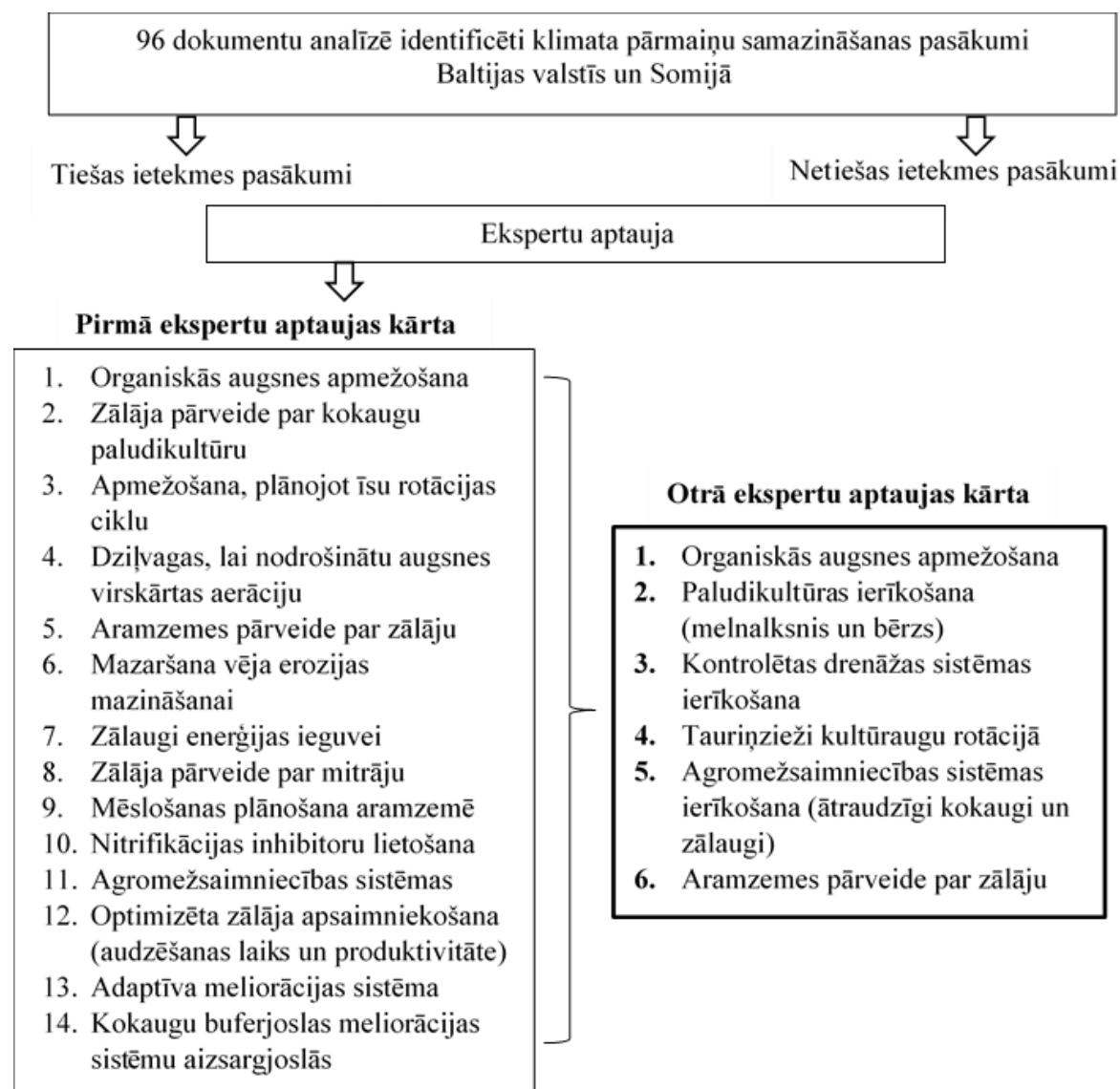
Pasākumu atlase LIFE OrgBalt projekta klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu atlases pētījumā vairākos pētnieciskajos soļos: 1) analizējot Baltijas valstu un Somijas politikas plānošanas dokumentus (uz 31.12.2020) veikta situācijas analīze un iegūti dati par jau

ieviestajiem un plānotajiem klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumiem; 2) aptaujājot Baltijas valstu un Somijas vadošos zinātniskos ekspertus, izveidots Latvijai un Baltijas reģionam sākotnējā, teorētiskā vērtējumā piemērotāko klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu saraksts.

LIFE OrgBalt klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu atlases pētījumā iesaistītie eksperti izvēlēti, ņemot vērā to iepriekšējo pieredzi klimata pārmaiņu samazināšanas jautājumu izpētē augsnes apsaimniekošanā, kā arī iesaisti klimata un nozaru politikas veidotājiem nepieciešamu izpētes ziņojumu sagatavošanā. Katra no Baltijas valstīm un Somija pārstāvēta ar diviem ekspertiem (n=8), tiem, savukārt, pārstāvēt vadošos zinātniskās izpētes centrus klimata pārmaiņu samazināšanas jomā lauksaimniecības un meža nozarēs: LVMI "Silava" Latvijā, Lietuvas Lauksaimniecības un meža izpētes centru, Tartu universitāti Igaunijā un Somijas Dabas resursu institūtu. Ekspertu vērtējuma sagatavošanā iesaistītajiem ekspertiem ir ilggadīga pieredze nacionālo SEG inventarizācijas ziņojumu sagatavošanai nepieciešamo datu ieguvē un apstrādē, SEG emisiju inventarizācijas un prognožu metodoloģisko jautājumu risināšanā un nacionālo ziņojumu sagatavošanā. Visi pētījumā iesaistītie eksperti pārstāv zinātniskas institūcijas, jo autore uzskata, ka pasākumu sākotnējai atlasei ir jābūt zinātniski pamatotai, atturoties no vērtējumiem, kas varētu būt balstīti uz emocionāliem, ekonomiskiem vai politiskiem apsvērumiem, kā tas varētu notikt citu interešu grupu pārstāvju iesaistes gadījumā.

Analizējot Baltijas valstu un Somijas politikas plānošanas dokumentus, caurlūkot ES Kopējās lauksaimniecības politikas ietvara dokumenti, nacionālās klimata un nozaru politikas stratēģijas, programmas un plāni. Secināts, ka situācija Baltijas valstīs un Somijā atšķiras, tomēr kopējā tendence liecina par mērķtiecīgu klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu izstrūkumu lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā. Lai gan visi ES KLP lauksaimniecības zemes apsaimniekošanas pasākumi Baltijas valstīs un Somijā netieši var tikt attiecināti uz lauksaimniecības organisko augsni, pat, ja šāda augsnes grupa nav atsevišķi izdalīta, tomēr šādā gadījumā ir praktiski neiespējami korekti aprēķināt to klimata pārmaiņu samazināšanas efekta apjomu, kas specifiski saistāms ar organisko augsni. Attiecīgi – klimata pārmaiņu samazināšana lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā šādā gadījumā, kad pasākumi nav specifiski sasaistīti ar organisko augsni, ir sasniegta nejauši, ko nevar uzskatīt par mērķtiecīgu politikas plānošanu. Baltijas valstīs un Somijā identificēti deviņdesmit seši klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumi ar tiešu un netiešu ietekmes potenciālu, par netiešas ietekmes pasākumiem uzskatot pasākumus, kas vērsti uz klimata pārmaiņu samazināšanu lauksaimniecības augsnes apsaimniekošanā, bet nav sasaistīti ar organiskās augsnes apsaimniekošanu.

LVMI "Silava", kā LIFE OrgBalt projekta vadošais partneris, ekspertu aptauju veicis attālināti, rezultātus ar iesaistītajiem ekspertiem pārrunājot tiešsaistes konferences zvanu laikā. Pirmajā ekspertu aptaujas kārtā (2.4. attēls) izvēlēti četrpadsmit tiešas ietekmes klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumi (tieša sasaiste ar lauksaimniecības organisko augsni), kuru skaits otrajā kārtā samazināts līdz sešiem pasākumiem (2.4. attēls). Otrajā aptaujas kārtā eksperti atlasījuši tos pasākumus, kuri to vērtējumā ir ar visnozīmīgāko SEG emisiju samazināšanas un praktiskās īstenošanas potenciālu, ņemot vērā reģionālos apstākļus (infrastruktūras gatavību, lokālo ģeoloģisko stāvokli, praktiski pieejamos līdzekļus, prognozēto lauksaimnieku akcepta līmeni) Baltijas valstīs un Somijā. Tādējādi sešus otrajā kārtā atlasītos klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumus eksperti uzskata par potenciāli visefektīvākajām un reģionāli (Baltijas valstis un Somija) piemērotākajām turpmākam novērtējumam, tostarp vietējiem *in situ* SEG emisiju un vides datu mērījumiem, kā arī sociāli ekonomiskajam novērtējumam.



Avots: autores konstrukcija

#### 2.4.att. LIFE OrgBalt projekta klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu atlasē pētījuma rezultāti Baltijas valstīs un Somijā 2018. – 2020. gadā

Autore promocijas darbā izdara pieņēmumu, ka LIFE OrgBalt projekta klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu atlasē pētījuma otrajā ekspertu aptaujas kārtā atlasītie seši klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumi ir piemērotākie tālākai izpētei Latvijā, minēto izpēti veicot un aprakstot promocijas darba 3. nodaļā.

Katram no sešiem, tālākai izpētei atlasītajiem, klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumiem sagatavots vispārīgs agrotehniskais raksturojums (2.4.tabula), pētniecisko atziņu kopsavilkums par klimata pārmaiņu samazināšanas ietekmi (izmantojot nacionāli un starptautiski veiktu pētījumu rezultātus, kas publicēti zinātniskajā periodikā), raksturojošo rādītāju kopums jeb darba matrica ekonomiskajai analīzei (plašāks izklāsts 3.1. apakšnodaļā) un agrotehnisko rādītāju kopums (3. pielikums).

**Latvijai piemēroto klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu lauksaimniecības  
organiskajā augsnē vispārīgs agrotehniskais raksturojums**

Apzīmējums	Nosaukums	Pasākuma agrotehniskais raksturojums
P 1	Aramzemes pārveide par zālāju	Aramzemes, kurā audzēti graudaugi pārveide par periodiski artu zālāju (stiebrzāļu zālaugu un tauriņziežu (sarkanais vai bastarda āboliņš) maisījums). Apsaimniekošanas mērķis: 1) pirmie trīs gadi – skābsiens; 2) no ceturrtā līdz sestajam gadam – siens (tauriņziežu īpatsvars samazinās). Septītajā gadā paredzēta virspusēja augsnes apstrāde un zālaugu/tauriņziežu maisījuma piesēja bez virsauga. Sākot ar septīto gadu cikls atkārtojas. Pieņemts, ka skābsienu gatavo rulonos, jo organiskā augsne mēdz būt nelielās platībās un rulonu gatavošana ir ekonomiski pamatotākā nekā tranšeju vai stirpu tehnoloģijas izmantošana, kas turklāt nozīmē arī intensīvāku tehnikas izmantošanu, kas pārmitros apstākļos var būt sarežģīti. Kūtsmēslu lietošana organiskā augsnē nav plānota, jo OV saturs augsnē ir augsts.
P 2	Kontrolētā drenāža	Kontrolētas drenāžas sistēmas ierīkošana periodiski artā zālājā, uzturot paaugstinātu gruntsūdens līmeni visā veģetācijas periodā. Zālāja apsaimniekošanas raksturojums identisks P1.
P 3	Tauriņzieži kultūraugu rotācijā	Tauriņzieži (bastarda āboliņš) rotācijā ar labību (rudzi, auzas). Apsaimniekošanas mērķis: 1) pirmos trīs gadus bastarda āboliņa un timotiņa maisījums (50:50) skābbarībai; 2) trešajā gadā sēj rudzus ziemājiem, ceturtajā un piektajā gadā sēj auzas, sestajā – auzas ar bastarda āboliņa pasēju. Septītajā gadā cikls atkārtojas.
P 4	Agromežsaimniecība	Kokaugu (hibrīdā papele) stādījums aramzemē kombinācijā ar zālaugu (sarkanā auzene) sējumu. Platības segums: 25% kokaugu stādījums, 75% zālaugu sējums. Piecdesmit gadu kokaugu audzēšanas cikls. Apsaimniekošanas mērķis: 1) pirmos trīs gadus sarkano auzeni audzē sēklai; 2) ceturtajā un piektajā gadā iegūst sienu (ruloni), sestajā gadā veic pārsēšanu, ciklu atkārtojot. Papeles (Vesten, OP42 vai līdzīgi kloni ar pierādītu efektivitāti audzēšanai kūdras augsnē) stāda pirmā gada pavasarī ar 4 un 2 metru rindstarpu attālumu (1250 koki ha <sup>-1</sup> ) enerģētiskās vai tehnoloģiskās koksnes ieguvei.
P 5	Apmežošana	Zālāja apmežošana ar egli, stādot pacilās. Piecdesmit gadu audzēšanas cikls ar plantāciju mežaudzes pieju kopšanā un atjaunošanas cirtē, krājas kopšanas cirtē iegūstot sīkbaļķus un papīrmalku, atjaunošanas cirtē – zāģbaļķus un papīrmalku.
P 6	Paludikultūra	Melnalkšņa un bērza (attiecīgi 60% un 40%) stādījums zālājā, stādot pacilās. Piecdesmit gadu audzēšanas cikls ar plantāciju mežaudzes pieju kopšanā un atjaunošanas cirtē, krājas kopšanas cirtē iegūstot malku un papīrmalku, atjaunošanas cirtē – malku, papīrmalku, zāģbaļķus un finierklučus.

Avots: autores veidots



Autore sagatavojusi pētniecisko secinājumu kopsavilkumu par tālākai izpētei atlasīto klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu SEG emisiju samazināšanas un CO<sub>2</sub> piesaistes palielināšanas ietekmi. Zinātniskā literatūra liecina, ka klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu SEG emisiju samazināšanas potenciāls lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā dažādiem pasākumiem ir ļoti atšķirīgs (Paustian et al., 2016), tā pat atšķirīgi un nereti pretrunīgi ir pētījumu secinājumi, līdz ar to nepieciešama diskusija.

Pasākums **(P1) Aramzemes pārveide par zālāju** FAO tehniskajās vadlīnijās augsnes apsaimniekošanas pasākumu izvēlei (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021) atzīts par nozīmīgu klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu. Pētījumi apliecina pasākuma potenciālu palielināt augsnes oglekļa saturu (Khalil & Osborne, 2018) vidējai augsnes oglekļa piesaistei (*sequestration*) 50 gadu laikā esot 0,8 t C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, kas būtiski variē dažādos klimata, augsnes tekstūras un apsaimniekošanas intensitātes apstākļos (Vleeshouwers & Verhagen, 2002). Kā augsnes oglekļa piesaistes blakus labumu pētījumi min augsnes struktūras un porozitātes uzlabošanos, ūdens piesaistes kapacitātes palielināšanos, augsnes mikrobioma un enzīmu daudzveidības uzlabošanos (Khalil & Osborne, 2018), tomēr mazāk pētījumu ir par šī pasākuma ietekmi uz SEG emisiju samazinājumu. Atsevišķi pētījumi uzrāda tehnisko SEG emisiju samazināšanas potenciālu aramzemi pārveidojot par zālāju 4,4 līdz 6,2 t CO<sub>2</sub> ekv. ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> apjomā (Feliciano et al., 2013; Freibauer et al., 2004). Lielbritānijā un Īrijā veiktos pētījumos ziņots par SEG emisiju samazinājumu 0,53 līdz 5,34 t CO<sub>2</sub> ekv. ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> apmērā, pārveidojot aramzemi attiecīgi par periodiski (mazāk kā reizi piecos gados) artu un pastāvīgu (vairāk kā reizi piecos gados artu) zālāju (Smith et al., 2010). Latvijā veikti pētījumi apliecina pasākuma klimata pārmaiņu samazināšanas efektu, uzrādot vidējo SEG emisiju samazinājumu 2,7 t CO<sub>2</sub> ekv. ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> apjomā (Licite & Lupikis, 2020). Sastopami ieteikumi pirmajos gados pēc aramzemes pārveides par zālāju sēt tauriņziežus, lai balansētu slāpekļa saturu augsnē un uzlabotu zālāja produktivitāti, savukārt nākamajos gados ieteikts sēt zālaugu maisījumu (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). Šāda pieeja izmantota arī promocijas darbā, plānojot šī pasākuma agrotehniskos rādītājus. Latvijā veikti pētījumi liecina, ka piemērotākie zālaugi audzēšanai meliorētā kūdras jeb organiskajā augsnē ir pļavas skarene, sarkanā auzene, pļavas timotiņš, bastarda āboliņš un ragainie vanadziņi (Anševica et al., 2016).

Par **(P2) Kontrolētās drenāžas** ierīkošanas pasākumu zinātniskajā literatūrā atrodami pretrunīgi dati. Ir pētījumi, kas liecina, ka organiskās augsnes apsaimniekošanas pasākumi, kas plānoti, lai palielinātu augsnes oglekļa krājumu un samazinātu CO<sub>2</sub> emisijas, nodrošinot anaerobus apstākļus jeb paceļot gruntsūdens līmeni, var novest pie tādām nevēlamām blakus parādībām, kā paskābināšanās, CH<sub>4</sub> un N<sub>2</sub>O emisiju palielināšanās (Scharlemann et al., 2014). Ilgtermiņa pētījumi, salīdzinot brīvās un kontrolētās drenāžas sistēmu SEG emisijas, liecina, ka, pateicoties lielākam augsnes mitrumam un zemākam augsnes O<sub>2</sub> (pieejams aerobo mikroorganismu elpošanai) kontrolētās drenāžas apstākļos, CO<sub>2</sub> emisijas kontrolētās drenāžas sistēmās samazinās par aptuveni 6%, bet N<sub>2</sub>O emisijas palielinās par 21% (Jiang et al., 2019a). Lai gan N<sub>2</sub>O emisijas ievērojami svārstās, to faktiskā ietekme uz kopējo SEG emisiju apjomu ir minimāla (Jiang et al., 2019a) un kopējais SEG emisiju samazinājums, salīdzinot kontrolētu un brīvu drenāžu, kontrolētai drenāžai ir 30% kontrolētai drenāžai (Li et al., 2021).

**(P3) Tauriņziežu ieviešana kultūraugu rotācijā** palielina augsnes oglekļa krājumu pateicoties to specifiskajam mikrobiomam (C. A. Watson et al., 2017), bet par nozīmīgāko tauriņziežu dzimtas (*Leguminosae*) augu devumu lauksaimniecības kultūraugu rotācijā uzskata to spēju piesaistīt atmosfēras slāpekli, tādējādi nodrošinot papildus barības vielas, samazinot nepieciešamību pēc slāpekļa minerālmēsliem un radot fosilas izcelsmes mēslošanas līdzekļu aizvietošanas efektu (Kim et al., 2016). Pieņemts, ka atmosfēras slāpekļa piesaiste tauriņziežu kultūraugu barības vielu nodrošinājuma veidā nerada N<sub>2</sub>O emisijas (Eggleston et al., 2006). Pētījumos noteiktais ikgadējā SEG emisiju samazinājuma potenciāls lauksaimniecības kultūraugu rotācijā iekļaujot tauriņziežus atšķiras, bet Eiropas apstākļos (Lielbritānija) veikti pētījumi liecina, ka tas ir robežās starp 0,5 un 1 t CO<sub>2</sub> ekv. ha<sup>-1</sup> – pateicoties slāpekļa piesaistei

no atmosfēras un papildus oglekļa ienesei augsnē (Rees et al., 2013). Vienlaikus šis pats pētījums uzsver, ka klimata pārmaiņu samazināšanas potenciāls konkrēta lauka līmenī ir būtiski atkarīgs no izvēlēta tauriņziežu veida un klimata apstākļiem.

**(P4) Agromežsaimniecības** pasākumu definē kā praksi kombinēti audzēt kokaugus un lauksaimniecības kultūraugus vienā un tajā pašā zemes platībā vienlaicīgi vai komponentiem secīgi nomainot vienam otru (Nair, 1985). Agromežsaimniecība palielina oglekļa uzkrājumu augsnē, galvenokārt pateicoties papildus OV ienesei ar nobirām, sakņu biomasu, kokaugu kopšanas atliekām un kopumā lielāku biomasas produktivitāti, saimnieciskajā sistēmā integrējot kokaugus (Cardinael, Chevallier, et al., 2017; Cardinael, Guenet, et al., 2017). Agromežsaimniecības prakses dienvidu reģionos galvenokārt izmanto nelielās saimniecībās papildus slāpekļa ienesei un erozijas procesu stabilizēšanai, savukārt Eiropā kokaugi var būt nozīmīgs faktors aizsardzībā pret vēja bojājumiem arī lielās saimniecības sistēmās (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). Saistībā ar klimata pārmaiņu samazināšanu, pasākumam ir konstatēts tiešo N<sub>2</sub>O un CH<sub>4</sub> emisiju samazināšanas potenciāls līdz divām reizēm (Kwak et al., 2019), kā arī netiešo N<sub>2</sub>O emisiju samazinājums, pateicoties mazākai barības vielu notecei. Atrodams arī norādes par SEG emisiju samazinājumu līdz ar minerālā mēslojuma apjomu kritumu – sarūkot aramzemes platībai (Kim et al., 2016). Globāli pieejamo datu analīze liecina, ka vidējais jaunu (aptuveni 14 gadus pēc to ierīkošanas) agromežsaimniecības sistēmu devums klimata pārmaiņu mazināšanā varētu būt 27+/-14 t CO<sub>2</sub> ekv. ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, piesaistītā oglekļa apjomam svārstoties ap 7,2 t C ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup> (no tā biomasā – 70%, bet augsnē – 30%) (Kim et al., 2016).

Pētījumi liecina, ka pasākums **(P5) Apmežošana** nodrošina oglekļa krājumu palielināšanos dzīvajā un nedzīvajā biomasā, tostarp nobirās, augsnē un ilgtermiņa uzkrājumu koksnes produktos (Bastin et al., 2019), kā arī SEG emisiju samazināšanos no augsnes, ņemot vērā zemes lietošanas veida maiņu no lauksaimniecības uz meža zemi (Lazdins et al., 2021; Priede & Gancone, 2019). Tomēr izsaka bažas par nepietiekamu datu pieejamību par kūdras augsnes apmežošanu (Sloan et al., 2018) un dati par SEG emisiju plūsmu nav viennozīmīgi (Reynolds, 2007). Apmežošanas pasākuma klimata pārmaiņu samazināšanas ietekme var atšķirties atkarībā no sākotnējā zemes izmantošanas veida, augsnes sagatavošanas veida pirms apmežošanas, izvēlētais koku sugas, izveidotās mežaudzes vecuma, sākotnējā augsnes oglekļa krājuma, augsnes parametriem, hidroloģiskā režīma (Hong et al., 2020; Laganiere et al., 2010; E. Vanguelova et al., 2018). SEG emisiju samazināšanas potenciāla aplēses atšķiras, bet pētījumi ziņo par 40 līdz 100 Gt oglekļa piesaisti no atmosfēras meža platībām sasniedzot pieaugušu audžu vecumu (Lewis et al., 2019; Veldman et al., 2019). Boreālajā klimata reģionā veiktos pētījumos secināts, ka lauksaimniecības organiskās augsnes apmežošana ievērojami samazina augsnes heterotrofās CO<sub>2</sub> emisijas, bet nemaina N<sub>2</sub>O un CH<sub>4</sub> emisiju plūsmas (Maljanen et al., 2001, 2012) un augsnes SEG emisijas var saglabāties salīdzinoši lielas vēl vairākus gadu desmitus pēc apmežošanas (Regina et al., 2016), tomēr augsnes emisijas var tikt kompensētas ar papildus oglekļa uzkrājumu biomasā un augsnē (E. Vanguelova et al., 2018; E. I. Vanguelova et al., 2019). SEG emisiju bilancē nozīme ir arī tālākajam apmežotās platības apsaimniekošanas veidam (Mäkipää et al., 2023). Uzskata, ka ieteicama tādas organiskās augsnes apmežošana, kuras kūdras slāņa dziļums nepārsniedz 40 – 50 cm (IUCN, 2020). IPCC uzsver negatīvo emisiju tehnoloģiju nozīmi ANO Klimata konvencijas Parīzes nolīguma mērķu sasniegšanā (Masson–Delmotte et al., 2022), tostarp piedāvājot apmežošanu, kā vienu no stratēģiskiem SEG emisiju samazināšanas elementiem (Shukla et al., 2019). Tomēr apmežošanas ietekmes novērtējums pētījumos atšķiras. Daļa pētnieku norāda uz apmežošanas, tostarp paredzot komerciālu meža apsaimniekošanas stratēģiju, augstu potenciālu un stabilu ieguldījumu SEG emisiju samazināšanā un dekarbonizācijas centienos (Forster et al., 2021), savukārt citi atzīst būtisku SEG emisiju samazināšanas potenciālu, bet vienlaikus uzsver arī būtiskas negatīvās blakus ietekmes (*trade-offs*), kā piemēram, lauksaimniecībā izmantojamās zemes platības samazināšanos, potenciālu pārtikas cenu palielinājumu un apmežoto platību

ilgnoturības (*permanence*) risku (Doelman et al., 2020), kā arī apšaubu klimata pārmaiņu samazināšanas efektu saistībā ar albedo izmaiņām (Naudts et al., 2016).

Meža **(P6) Paludikultūru** ierīkošana organiskajā augsnē samazina SEG emisijas no augsnes pateicoties ūdens režīma uzlabošanai (stādot uz pacilām) novadot liekos virsūdeņus, samazina meža dabisko traucējumu riskus, stimulē oglekļa uzkrājumu dzīvajā biomasā, nedzīvajā koksnē, augsnē un meža zemsegā, veicinot fosilo resursu aizstāšanas efektu (meža biomasas un koksnes produkti) (Priede & Gancone, 2019), tomēr joprojām trūkst pētījumu datu vispārīgā klimata pārmaiņu samazināšanas ietekmes novērtējumam (Rumpel, 2023) un pastāv vairākas praktiskās ieviešanas barjeras, piemēram, augstas sākotnējās ierīkošanas izmaksas, ienākumu samazinājums saistībā ar lauksaimniecības ienākumu zudumu, zemes īpašnieku zināšanu un pieredzes trūkums, mainot zemes apsaimniekošanas veidu (Rhymes et al., 2023). Terminu “paludikultūra” lietoto, lai apzīmētu kultūraugu audzēšanu platībā ar paaugstinātu gruntsūdens līmeni vai periodiski applūstošā platībā (Ziegler et al., 2021). Var tikt audzēti dažādi lauksaimniecības kultūraugi un kokaugi, kuri spēj dabiski piemēroties paaugstināta gruntsūdens līmeņa apstākļiem un klimata pārmaiņu samazināšanas efektu saista ar organiskās augsnes oglekļa krājumu saglabāšanu anaerobos apstākļos un papildus oglekļa piesaisti kultūrauga biomasā, kas nodrošina arī ekonomisku ieguvumu (Wichtmann et al., 2016). Meža paludikultūras gadījumā biežāk audzētā koku suga ir melnalksnis (*Alnus glutinosa*) (Rumpel, 2023), kas tā pat kā baltalksnis, pateicoties tā sakņu sistēmas simbiozei ar specifiskām baktērijām (*Frankia bacteria*), spēj piesaistīt atmosfēras slāpekli līdz  $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  (Binkley, 1983; Rytter, 1995). Pētījumi norāda arī uz kūdras akumulāciju melnalkšņu audzēs, tostarp relatīvi sausās platībās, kur gruntsūdens līmenis ir 0 – 20 cm dziļumā (Schäfer & Joosten, 2005). Tādējādi, meža paludikultūra, izmantojot melnalksni, var tikt uzskatīta par piemērotu klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu organiskajā augsnē ar mainīgu gruntsūdens līmeni, tomēr joprojām trūkst SEG emisiju plūsmu datu par paludikultūrām, kas ierīkotas biomasas, tostarp enerģijai, ieguvei (Hiraishi et al., 2014; IPCC & Edenhofer, 2014).

Secināms, ka neskatoties uz nereti konfliktējošām interesēm zemes izmantošanā saistībā ar pārtikas un dzīves telpas nodrošinājumu, zemes īpašumtiesību, apsaimniekošanas sistēmu un kultūru dažādības komplekso raksturu, lauksaimniecības un ZIZIMM sektorā būtisks SEG emisiju samazinājuma potenciāls meklējams tādu pasākumu ieviešanā, kas saistīti ar zemes lietošanas veida maiņu dažādās apmežošanas, atkal apmežošanas, atmežošanas novēršanas un bioenerģijas ieguves kombinācijās (Calvin et al., 2023). Jāņem vērā arī tas, ka zemes īpašnieku rīcību klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu izvēlē ietekmē ne tikai ekonomiskie, bet arī sociāla rakstura apsvērumi (Bowen & Riley, 2003; Thamo & Pannell, 2016). Pieņemot lēmumus par organiskās augsnes apsaimniekošanas stratēģiju jeb klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu izvēli, jāapzina un jāņem vērā gan iespējamie blakus labumi (*co-benefits*), gan nevēlamās ietekmes (*trade-offs*) saistībā ar kopējo ekosistēmu un tās sniegtajiem pakalpojumiem (Scharlemann et al., 2014). Ideālā gadījumā lauksaimniecības organiskās augsnes SEG emisiju samazināšanas centieniem būtu jāņem vērā blakus ieguvumi un apdraudējumi visas pārtikas sistēmas mērogā (Garnett, 2011). Neskatoties uz identificētajiem pasākumiem, 2023. gadā joprojām trūkst pierādījumu bāzes, uz kā pamata pieņemt stratēģiskus lēmumus lauksaimniecības organiskās augsnes SEG emisiju samazināšanai, jo praktiskā ieviešana un ekonomiskā ietekme ir neskaidra (Rhymes et al., 2023; Taft, 2014; Taft et al., 2018).

### **3. LĒMUMU PIEŅEMŠANAS ATBALSTS KLIMATA PĀRMAIŅU SAMAZINĀŠANAI LAUKSAIMNIECĪBAS ORGANISKĀS AUGSNES APSAIMNIEKOŠANĀ**

Nodaļas apjoms 30 lappuses ar 7 tabulām un 12 attēliem. Izvirzītā tēze: *Kvantitatīvu lēmumu pieņemšanas atbalsta metožu izmantošana, dod iespēju plānot izmaksu efektīvu SEG emisiju samazināšanu lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā, sekmējot Latvijas klimata pārmaiņu samazināšanas mērķu sasniegšanu.* Promocijas darba trešajā nodaļā veikts darba otrajā nodaļā atlasīto klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu novērtējums, izmantojot lēmumu pieņemšanas atbalsta metodes. Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu novērtēšanai izveidota agrotehnoloģisko, sociāli ekonomisko un vides rādītāju datu kopa, lai trīs pēctecīgos posmos: 1) ranžētu pasākumus pēc to atrašanās attiecībā pret ideāli pozitīvo un ideāli negatīvo risinājumu, izmantojot daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas analīzes (*Multi – Criteria Decision – Making Analysis, MCDA*) metodi izvēles ranžēšanai pēc līdzības ideālam risinājumam (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS*); 2) aprēķinātu pasākumu izmaksu efektivitāti un konstruētu robežsamazinājuma izmaksu līkni (*Marginal Abatement Cost Curve, MACC*); 3) veiktu SEG emisiju prognožu simulāciju pasākumu ieviešanas iespējamās ietekmes novērtēšanai.

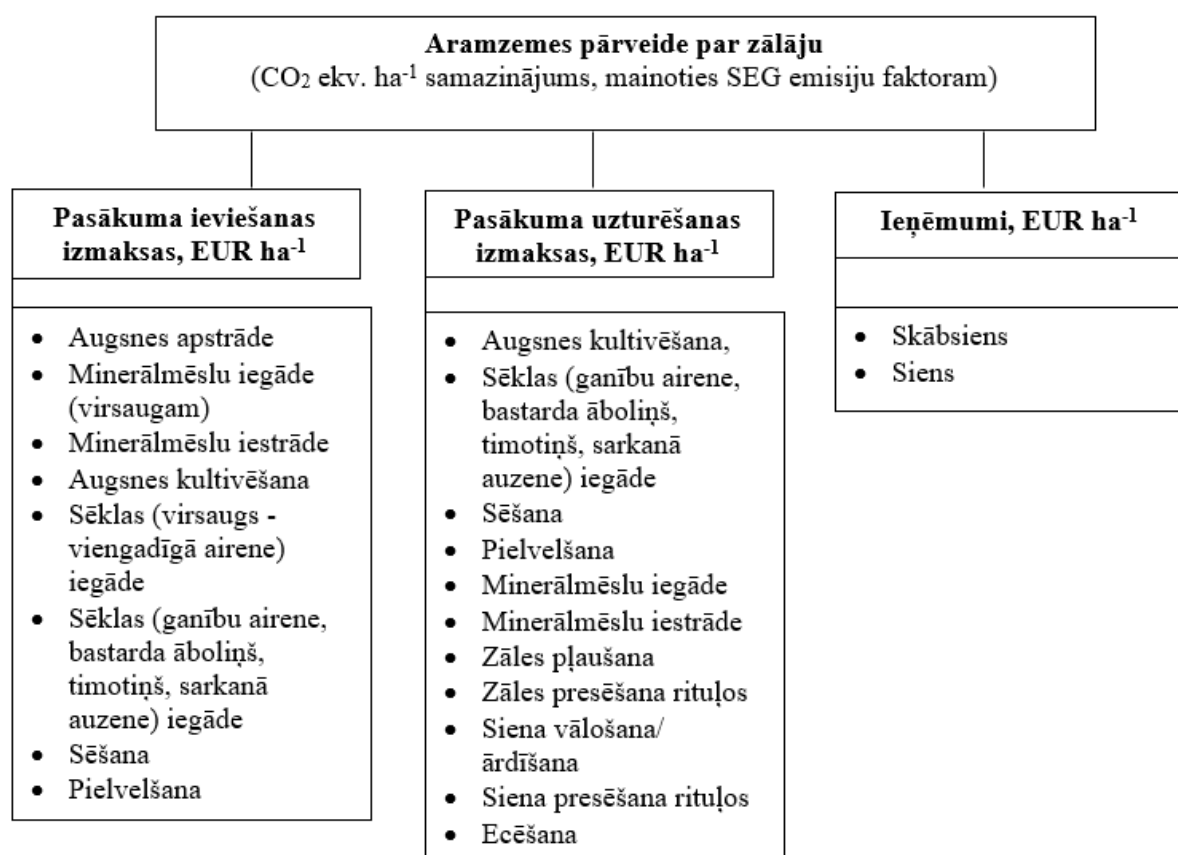
#### **3.1. Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ieviešanas agrotehniskie, sociāli ekonomiskie un vides rādītāji**

Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu savstarpējs novērtējums nav iespējams bez tos raksturojošu rādītāju kopuma. Viena no pieejām rādītāju izvēlei ir pārliecināties par to, lai tie pēc iespējas pilnīgi raksturo pētāmo problēmu, ir viegli saprotami un samazina pētāmās problēmas raksturošanai nepieciešamo aprakstošo parametru skaitu (OECD, 1999). Rādītāju izvēle atkarīga arī no datu pieejamības, ko nereti ierobežo izmaksas un datu tālākas apstrādes un izmantošanas iespējas (Bowen & Riley, 2003). Izpētē lieto dažādas rādītāju sistēmas, bet viena no plaši aprobētām pieejām ir rādītāju izvēlei un grupēšanai izmantot klasisko ilgspējas dimensiju pieeju (Gunnarsdottir et al., 2020). Šo pieeju klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu rādītāju izvēlei izvēlas arī promocijas darba autore, apkopojot agrotehniskos, sociāli ekonomiskos un vides rādītājus.

Promocijas darbā katram no sešiem identificētajiem klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumiem izveidota darba matrica, apkopojot informāciju par pasākumu ieviešanas agrotehniku jeb vidējai Latvijas praksei atbilstošu ražošanas tehnoloģiju, sociāli ekonomiskajiem un vides rādītājiem. Izveidotās agrotehnisko, sociāli ekonomisko un vides datu kopas izmantotas, promocijas darba 3.2., 3.3. un 3.4. apakšnodaļās veiktajā lēmumu pieņemšanas atbalsta analīzē, kuras izpildei izdarīti šādi, rādītāju izvēli ietekmējoši, pieņēmumi: 1) aprēķini veikti, pieņemot, ka visu klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ieviešanu uzsāk vienlaicīgi 2025. gadā un turpina līdz 2050. gadam; 2) pasākumu ieviešanas platība noteikta, izmantojot 2022. gada Latvijas Nacionālā siltumnīcefekta gāzu inventarizācijas ziņojuma datus (LEGMC, 2022b) un statistiku pieeju, jo promocijas darba izstrādes laikā nav pieejamas dinamiskas organiskās augsnes platības izmaiņu prognozes. Platības noteikšanā ņemts vērā ES Dabas atjaunošanas regulas priekšlikums 2022. gada 22. jūnija redakcijā (European Commission, 2022b), tostarp Latvijai piedāvātā izstrādātu kūdras lauku "elastība". Pasākumu ieviešanas platību noteikšana politikas plānošanā ir interešu grupu vienošanās subjekts (Shukla et al., 2019). Promocijas darba pētījumā pieņemts, ka dabas atjaunošanas prasībām, atbilstoši ES Dabas atjaunošanas regulas priekšlikuma 2022. gada 22. jūnija redakcijai, pakļauti 70% no kopējās lauksaimniecības organiskās augsnes platības līdz 2050. gadam jeb 110 810 ha. Kopējās lauksaimniecības organiskās augsnes platības rādītāja (158 320 ha) noteikšanai izmantoti 2022. gada Latvijas Nacionālā siltumnīcefekta gāzu

inventarizācijas ziņojuma dati. Promocijas darbā pieņemts, ka pusi no dabas atjaunošanai (*restoration*) plānotās lauksaimniecības organiskās augsnes pakļauj pārslāpīšanai (*rewetting*), bet atlikušo organiskās augsnes platību aramzemē un zālājā sadala proporcionāli starp pētījumā analizētajiem klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumiem. Kopējā pieņemtā promocijas darbā analizēto pasākumu ieviešanas platība ir 55 405 ha, katra pasākuma ieviešanas platību katru gadu 25 gadu laikā no 2025. gada līdz 2050. gadam paredzot 369 ha; 3) aprēķinos nav ņemts vērā KLP vai jebkāds cits (ES vai valsts) atbalsts, jo atbalsta mehānismi ir politiski noteikti un nepārtraukti mainīgi. Turklāt, KLP gadījumā, liela daļa no atbalsta ir izvēles pasākumi; 4) aprēķinos izmantota 11,5% diskonta likme, ko Latvijas Valsts Kase 2023. gada 2. ceturksnī noteikusi ilgtermiņa ieguldījumu patiesās vērtības noteikšanai lauksaimniecībā (Latvijas Valsts Kase, 2023).

Katram klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumam sagatavots **agrotehnisko darbību jeb rādītāju kopums**, plānojot pasākuma ieviešanas darbības un to ciklisku atkārtotību 25 gadu laikā no 2025. gada līdz 2050. gadam. Aramzemes pārveides par zālāju (P1) pasākuma darbību kopums un izmaksu pozīcijas, kā piemērs, atspoguļotas 3.1. attēlā.



Avots: autores konstrukcija

### 3.1.att. Pasākuma P1 “Aramzemes pārveide par zālāju” ieviešanas agrotehnisko darbību kopums

Agrotehnisko darbību un to izmaksu un ieņēmumu datu sagatavošanai, izmantoti Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centra sagatavotie lauksaimniecības bruto segumu aprēķini 2021. gadam intensīvam, integrētam ražošanas veidam (Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centrs, 2021). Gadījumos, kad bruto segumu informācija nav pieejama, tostarp par pasākumiem, kas saistīti ar kokaugu audzēšanu, izmantoti pētījumu dati (Bardulis et al., 2010; Bisenieks et al., 2010; Daugavietis et al., n.d.; Senhofs et al., 2019; Uri & Vares, 2005), autores eksperta viedoklis un 2021. gada aktuālā tirgus cenu informācija (dažādas tiešsaistes vietnes). Tādējādi visas klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu izmaksas noteiktas kā pasākumu ieviešanas tehniskās izmaksas un ieņēmumi saimniecības līmenī 2021. gada cenās eiro valūtā.

Promocijas darbā analizēto klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu sociāli ekonomiskās un vides ietekmes raksturošanai autore izmanto četrus rādītājus (3.1.tabula).

3.1.tabula

**Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu sociāli ekonomisko un vides ietekmi raksturojoši rādītāji Latvijā 2023. gadā**

Rādītāja raksturotā joma	Rādītājs	Rādītāja mērvienība
Sociālā ietekme	Ekosistēmu pakalpojumi	EUR ha <sup>-1</sup>
Ekonomiskā ietekme	Tīrā tagadnes vērtība SEG emisiju samazinājuma izmaksas	EUR EUR CO <sub>2</sub> ekv. t <sup>-1</sup>
Vides ietekme	SEG emisiju samazināšanas potenciāls	t CO <sub>2</sub> ekv.

Avots: autores veidots

**Ekosistēmu pakalpojumi** kā koncepts pētījumos parādās 20. gadsimta otrajā pusē, kad aktualizējas jautājums par ekosistēmu funkcijām un ar tām saistītajiem ieguvumiem (Gómez–Baggethun et al., 2010). Vienu no pirmajām ekosistēmu funkciju un pakalpojumu klasifikācijām piedāvā Rūdolfs De Grot (Rudolf De Groot) (R. S. De Groot et al., 2002), savukārt, ekosistēmu pakalpojumu ekonomisko novērtēšanu aizsāk Roberts Kostanza (Robert Costanza) (Costanza et al., 1997). 2007. gadā izveidota pirmā globālā ekosistēmu pakalpojumu un bioloģiskās daudzveidības novērtējumu sistēma Ekosistēmas un bioloģiskās daudzveidības ekonomika (*The Economics of Ecosystem and Biodiversity*) (TEEB), kuras sastāvdaļa ir Ekosistēmu pakalpojumu vērtību datu bāze (*Ecosystem Service Value Database*) (ESVD) (R. De Groot et al., 2012). TEEB datu bāze uzskatāma par vienu no plašākajām globāla tvēruma (10 biomi un ar katru no tiem saistīti 22 ekosistēmu pakalpojumi) informācijas vienības saturošām datu bāzēm, kas padara pieejamus datus par faktisko ekosistēmu pakalpojumu vērtību, izteiktu monetārās vienībās uz platības vienību (ha) gadā (R. De Groot et al., 2012). Diskutējot par TEEB datu bāzes izmantošanas iespējām un ierobežojumiem, tās izstrādātāji norāda, ka: 1) ekosistēmu pakalpojumu vērtības nav izmantojamas kā tirgus vērtības, bet gan norāda uz publiski gūstamā labuma vērtību, kas tiktu zaudēts, ja zustu attiecīgā ekosistēma. Tādējādi, ekosistēmu pakalpojumu vērtība visatbilstošāk ir izmantojama kā papildus rādītājs lēmumu pieņemšanas analīzē, lai padarītu “redzamas” pasākumu ārējās ietekmes (*externalities*) (R. De Groot et al., 2012). Promocijas darba pētījumā autore katrā izvēlēta klimata pārmaiņu samazināšanas pasākuma ekosistēmu pakalpojumu rādītāju vērtības noteikšanai izmanto TEEB datu bāzes ESVD daļu (*The Ecosystem Services Valuation Database*, 2020). Ekosistēmu pakalpojumu vērtība izteikta monetārās vienībās EUR ha<sup>-1</sup> un balstīta uz aprēķiniem, kas veikti Latvijas DAP īstenota ES Kohēzijas fonda finansēta projekta “Priekšnosacījumu izveide labākai bioloģiskās daudzveidības saglabāšanai un ekosistēmu aizsardzībai Latvijā” pētījumā "Sociāli ekonomiskās ietekmes analīze par īpaši aizsargājamām dabas teritorijām un konstatētajiem ES nozīmes biotopiem Latvijā, III nodaļa: Ekosistēmu pakalpojumu monetārais novērtējums" 2022. gadā (Dabas aizsardzības pārvalde, 2022). TEEB datu bāzes (ESVD) ekosistēmu pakalpojumu klasifikācija veidota, izmantojot AN 2021. gadā izstrādāto SEEA (*System of Environmental–Economic Accounting*) ekosistēmu pakalpojumu klasifikācijas sistēmu kombinācijā ar AN Statistikas nodaļas izstrādāto CICES (*Common International Classification of Ecosystem Services*) V5.1. sistēmu (*The Ecosystem Services Valuation Database*, 2020). Promocijas darba pētījumā izmantota TEEB datu bāzes pieeja un klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ekosistēmu pakalpojumu vērtībā ietverti apgādes, regulācijas un kultūras pakalpojumi, šo pakalpojumu definējumu izprotot atbilstoši CICES

piedāvātajam ekosistēmu pakalpojumu definējumam, kas **apgādes** pakalpojumus definē kā uzturvielu un citu biotisku un abiotisku materiālu un enerģijas plūsmu nodrošināšanu, **regulācijas** pakalpojumus definē kā visa veida ietekmes, kādās dzīvie un nedzīvie organismi var regulēt un uzturēt apkārtējo vidi, kas ietekmē cilvēku veselību, drošību vai komfortu, savukārt, pie **kultūras** pakalpojumiem pieskaita visas ekosistēmu (biotisko un abiotisko) ietekmes, kas ir nemateriālas, parasti nav tieši patērējamas vai savstarpēji konkurējošas, bet ietekmē cilvēku fizisko un garīgo stāvokli (Haines – Young & Potschin, 2018). Promocijas darbā izmantotās ekosistēmu pakalpojumu vērtības attēlotas 3.2. tabulā.

3.2.tabula

**Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ekosistēmu pakalpojumu vērtības Latvijā 2023. gadā, EUR ha<sup>-1</sup>**

Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākuma nosaukums	Ģeotelpisko vienību un biotopu apakšgrupa	Ekosistēmu pakalpojumu monetārā vērtība, EUR ha <sup>-1</sup>
(P1) Aramzemes pārveide par zālāju	Ilggadīgie zālāji	6445
(P2) Kontrolētā drenāža	Mēreni mitras pļavas	9627
(P3) Tauriņzieži kultūraugu rotācijā	Kultūraugi	1106
(P4) Agromežsaimniecība	Parkveida pļavas un ganības; Meža ganības	10959
(P5) Apmežošana	Slapjaini un gārša. Vidēja vecuma audzes, briestaudzes, drīkst veikt kopšanas cirtes	13058
(P6) Paludikultūra	Slapjaini un gārša. Vidēja vecuma audzes, briestaudzes, drīkst veikt kopšanas cirtes	13058

Avots: autores veidots pēc (The Ecosystem Services Valuation Database, 2020)

Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ekonomiskā snieguma novērtēšanai promocijas darbā izmantots **tīrās tagadnes vērtības** (*Net Present Value*) (NPV) rādītājs, kas raksturo no klimata pārmaiņu samazināšanas pasākuma nākotnē iegūto naudas ieņēmumu tagadnes vērtības un pasākuma ieviešanas izmaksu starpību, ņemot vērā to, ka investīciju tagadnes un nākotnes vērtība nav vienāda. Ilgtermiņa investīciju tagadnes vērtības aprēķināšanai nepieciešama diskonta izmantošana, izvēloties noteiktu procentu likmi. Jo augstāka ir izvēlēta procentu likme, jo zemāka ir investīciju tagadnes vērtība, bet naudas tagadnes vērtība vienmēr ir augstāka par nākotnes vērtību (Škapars, 2008). Ja NPV>0 pasākuma ieviešana uzskatāma par izdevīgu. Promocijas darbā sākotnēji aprēķināta klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu tagadnes vērtība, to tālāk izsakot kā no pasākumu ieviešanas nākotnē iegūto naudas ieņēmumu tagadnes vērtības un pasākumu ieviešanas izmaksu starpību jeb tīro tagadnes vērtību, izmantojot formulas:

$$PV = \sum_{n=1}^n \frac{FV_n}{(1+i)^n} \quad (3.1.)$$

kur

PV – tagadnes vērtība;

i – procentu likme;

FV<sub>n</sub> – atsevišķu gadu nākotnes vērtības.

$$NPV = \frac{FV_1}{(1+i)^1} + \frac{FV_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FV_n}{(1+i)^n} - C \quad (3.2.)$$

kur

$NPV$  – tīrā tagadnes vērtība;

$C$  – pasākuma ieviešanas izmaksas.

Tīrās tagadnes vērtības aprēķināšana ir būtiska politikas veidotāju lēmumu pieņemšanas procesa un atbalsta rīku komponente, jo ir nepieciešams mehānisms, kas dod iespēju salīdzināt dažādos laika posmos notiekošas izmaksas un ieņēmumus. Šāds atbalsta mehānisms ir diskontēšana jeb tagadnes vērtības aprēķināšana, zinot nākotnes izmaksas un izmantojot diskonta jeb procentu likmi (Jarisch et al., 2022). Diskonta likmes izvēle ir politiski pieņemts lēmums (Peng et al., 2023) un viens no centrālajiem elementiem optimālu politikas pasākumu izvēlē klimata pārmaiņu mazināšanai, cenšoties atrast līdzsvaru starp tagadnes izmaksām un salīdzinoši neskaidriem ilgtermiņa SEG emisiju samazināšanas ieguvumiem (Addicott et al., 2020). Pat nelielas izmaiņas diskonta likmes izvēlē būtiski ietekmē aprēķināto investīciju tagadnes vērtību un attiecīgi var būtiski ietekmēt lēmumu pieņēmēju izvēli (He, 2020). Īpaši nozīmīgi tas ir klimata pārmaiņu samazināšanas diskusiju gadījumos, kad izmaksas un ieguvumi ir izteikti nošķirti laikā. Pētījumi lielākoties izmanto vienas diskonta likmes konceptu, tomēr literatūrā ir norādes par to, ka klimata pārmaiņu samazināšanas politikas novērtēšanas gadījumā varētu tikt izmantota vairāku veidu likmju pieeja, piemēram, paralēli finanšu ekvivalenta diskonta likmei, izvēloties arī sabiedriskā labuma diskonta likmi, tādējādi aprēķinos ietverot ne tikai ekonomiskus, bet arī ētiskus apsvērumus (Goulder & Williams, 2012). Par ētikas un filozofiska aspekta jautājumiem diskonta likmes izvēlē runā arī citi pētījumi (Davidson, 2015; Gollier & Hammitt, 2014), kā arī uzsver to, ka klimata pārmaiņu samazināšanas politikas vērtēšanas gadījumā var būt nepieciešamas pieņemt nestandarta risinājumus saistībā ar augsta riska un nenoteiktības klātesamību, jo jāņem vērā ne tikai ekonomiskās, bet arī sociālās (tostarp nākamo paaudžu) intereses un sagaidāmā patēriņa prognozes (Beckerman & Hepburn, 2007). Ņemot vērā diskonta likmes komplekso raksturu un ietekmes, tās izvēle klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu vērtēšanai Latvijas lauksaimniecības un ZIZIMM sektorā varētu tikt ieteikts kā atsevišķs pētījumu temats, bet promocijas darbā autore izvēlas izmantot Latvijas Valsts Kases 2023. gada 2. ceturksnī noteikto diskonta likmi ilgtermiņa ieguldījumu patiesās vērtības noteikšanai lauksaimniecībā (LR Valsts kase, 2023), kas ir 11,5%. 11,5% diskonta likme ir salīdzinoši ļoti augsta (vidējā lauksaimniecības nozares klimata pētījumos lietotā likme 2015. gadā ir 3,5% – 7% (Eory et al., 2015), klimata pētījumos 2021. gadā: 2% – 3% (Rennert et al., 2022)), bet sastopamas arī augstākas vērtības (Kung et al., 2022)), kas varētu liecināt par Latvijas mūsdienu sabiedrības vēlmi šodienai piešķirt lielāku vērtību nekā nākotnei (Gollier & Hammitt, 2014). Tomēr, tā kā šīs likmes vērtības avots ir Latvijas Valsts Kase, var pieņemt, ka šī likme atspoguļo reālo sabiedrības vērtību sistēmu 2023. gada sākumā un līdz ar to autore uzskata to par atbilstošu izmantošanai promocijas darbā.

Promocijas darbā analizēto klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu **SEG emisiju samazināšanas potenciāla** noteikšanai izmantota zinātniskā literatūra (3.3.tabula), jo darba izstrādes laikā autoriem nav pieejami *in situ* SEG emisiju mērījumu rezultāti, kā arī tie par izvēlētajiem pasākumiem nav pieejami IPCC vadlīnijās SEG inventarizācijas sagatavošanai.



**Promocijas darbā izmantotie klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu SEG emisiju samazinājuma potenciāla rādītāji, t CO<sub>2</sub> ekv. ha<sup>-1</sup>**

<b>Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākums</b>	<b>SEG samazināšanas potenciāls, t CO<sub>2</sub> ekv. ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup></b>	<b>SEG samazināšanas mehānisms</b>	<b>Atsauces</b>
(P1) Aramzemes pārveide par zālāju	2,7	Aramzemes pārveide par zālāju samazina CO <sub>2</sub> un N <sub>2</sub> O emisijas (bet var palielināt CH <sub>4</sub> emisijas). SEG emisiju samazinājums noteikts kā emisiju faktora maiņa.	(Licite & Lupikis, 2020)
(P2) Kontrolētā drenāža	5,4	Pie palielināta augsnes mitruma un samazināta skābekļa daudzuma augsnē, kontrolētās drenāžas gadījumā CO <sub>2</sub> emisijas samazinās, bet N <sub>2</sub> O palielinās, salīdzinot ar tradicionālo drenāžu. Kopējais CO <sub>2</sub> ekv. samazinājums par ~ 30%.	(Jiang et al., 2019b)
(P3) Tauriņziežu ietveršana kultūraugu rotācijā	0,8	Tauriņziežu ietveršana kultūraugu rotācijā palielina kopējo organiskās masas ienesi augsnē un daļēji aizstāj minerālmēsļu lietošanu pateicoties tauriņziežu spējai piesaistīt atmosfēras slāpekli. Vidējais ikgadējais SEG emisiju samazinājums lēsts robežās starp 0,5 un 1 t CO <sub>2</sub> ekv. ha <sup>-1</sup> . Tomēr SEG emisiju samazinājuma potenciāls lauka līmenī ir atkarīgs no audzētā tauriņziežu veida un klimata apstākļiem.	(Ladha et al., 2022) (Rees et al., 2013)

Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākums	SEG samazināšanas potenciāls, t CO <sub>2</sub> ekv. ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>	SEG samazināšanas mehānisms	Atsauces
(P4) Agromežsaimniecība	10,4	SEG emisiju samazinājuma efekts noteikts, izmantojot SEG emisiju plūsmas datu salīdzinājumu aramzemē, zālājā un meža zemē (dažāda vecuma mežaudzes) ar organisko augsni.	Daugaviete et al., 2022 (Bārdulis et al., 2022) (Mayrinck et al., 2019) (Pardon et al., 2017) Schoeneberger et al., 2012
(P5) Apmežošana	16,6		(Butlers, Lazdiņš, et al., 2022) (Butlers, Bārdule, et al., 2022) (Lazdins et al., 2021) Licite & Lupikis, 2020
(P6) Paludikultūra	7,4		(Butlers, Lazdiņš, et al., 2022) (Butlers, Spalva, et al., 2022) (Butlers, Bārdule, et al., 2022)

Avots: autores veidots

Promocijas darba pētījumā izmantotie SEG emisiju samazinājuma potenciāla rādītāji izmantoti kā aptuvenās vērtības lēmumu pieņemšanas atbalsta metožu testēšanai (darba 3.2., 3.3. un 3.4. apakšnodaļas). Veicot analīzi reālu politikas lēmumu pieņemšanas atbalstam, būtu izmantojami SEG emisiju samazinājuma rādītāji, kas par katra pasākuma ietekmi aprēķināti uz nacionāli vai reģionāli veiktu SEG emisiju mērījumu datu pamata, piemēram, LIFE OrgaBalt un citos pētījumos.

**SEG emisiju samazinājuma izmaksas** promocijas darbā aprēķinātas klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu tīro tagadnes vērtību dalot ar SEG emisiju samazināšanas potenciālu, tādējādi iegūstot vienas vienības jeb tonnas CO<sub>2</sub> ekv. samazināšanas izmaksas. SEG emisiju samazinājuma izmaksu rādītājs ir būtisks, lai izprastu alternatīvu SEG emisiju samazināšanas pasākumu izmaksas nozares (lauksaimniecības) un starpnozaru (enerģētika, transports u.c.) griezumā. Viens no papildus veidiem, kā izmantot SEG emisiju samazinājuma rādītāju, ir salīdzināt vienas tonnas CO<sub>2</sub> ekv. samazināšanas izmaksas ar aktuālo oglekļa tirgus cenu (Abberton et al., 2010).

### 3.2. Daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas analīze klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu izvēlē

Kopš 20. gadsimta otrās puses attīstītas dažādas MCDA metodes, kas nodrošina daudzveidīgas pētnieciskās iespējas, bet vienlaikus arī sarežģī metodoloģisko izvēli konkrēta

pētījuma gadījumā. Pētījumi liecina, ka MCDA modeļa izvēles noteicošajam elementam ir jābūt konkrētajai lēmumu pieņemšanas situācijai un tās īpatnībām, kuru atbilstoši ietveršanai analizē nepieciešams izvēlēties konkrētu MCDA modeli vai modeļu kombināciju nevis otrādi (Cinelli et al., 2014). Galvenā MCDA pieejas ideja ir savstarpēji novērtēt iespējamus risinājumus jeb alternatīvas, alternatīvu ranžēšanai izmantojot vairāk kā vienu kritēriju. Alternatīvu novērtēšanā izmantotie kritēriji var būt vispārīgi definēti, tomēr katram no tiem ir jābūt saistītam ar kvantificētu vērtību (Ehrgott et al., 2010). MCDA dod iespēju lēmumu pieņemšanā izmantot strukturētu, caurskatāmu un elastīgu pieeju, integrēti analizējot dažādu kritēriju savstarpēju sasaisti un ņemot vērā katra kritērija nozīmīgumu (Cinelli et al., 2014).

Izdala divu veidu MCDA metodes – lēmumu analīze izmantojot reālus skaitļus un lēmumu analīze, izmantojot izplūdušos (*fuzzy*) skaitļus jeb rādītājus, kuriem nav nosakāma precīza piederība datu kopai, bet gan noteikta piederības pakāpe robežās no 0 līdz 1, tādējādi ietverot piederības nenoteiktību (Durbach & Stewart, 2012). Populārs MCDM veids ir modeļi, kuri novērtē alternatīvas, tās salīdzinot ar ideāli pozitīvo un ideāli negatīvo risinājumu, izvēlei iesakot tās alternatīvas, kuras atrodas iespējami tuvāk ideāli pozitīvajam un iespējami tālāk no ideāli negatīvā risinājuma. Lielākā daļa šo modeļu saistāmi ar izvēles ranžēšanas pēc līdzības ideālam risinājumam jeb TOPSIS metodi (Tzeng & Huang, 2011). Pirmie autori, kas 1981. gadā piedāvāja TOPSIS metodi, bija Hvangs (*Hwang*) un Jūns (*Yoon*) (Tzeng & Huang, 2011) un to uzskata par vienu no klasiskām MCDA metodēm, kas plaši izmantota dažādās pētniecības jomās (Papathanasiou & Ploskas, 2018). TOPSIS metodes gadījumā matemātiski definē ideāli pozitīvo risinājumu, kas sastāv no visu alternatīvu maksimālā svērtā novērtējuma un ideāli negatīvo risinājumu, ko veido minimālie novērtējumi. Aprēķinot Eiklīda attālumus (attālums starp diviem punktiem vairākdimensiju telpā), kas ir biežāk izmantotais attālumu veids, starp katru alternatīvu un ideāli pozitīvo un ideāli negatīvo risinājumu, alternatīvas novērtē, pamatojoties uz to attālumu līdz ideālajam risinājumam, izteiktu kā attālumu summas proporciju starp abiem attālumiem (Durbach & Stewart, 2012; Tzeng & Huang, 2011).

Par TOPSIS metodes priekšrocību uzskata to, ka modelis pilnībā izmanto kritēriju informāciju, nepieprasot, lai kritēriji būtu savstarpēji neatkarīgi (Chen & Hwang, 1992; Yoon & Hwang, 1995), metode ir elastīga kritēriju izvēlē, pieļaujot dažādu kvalitatīvo īpašību un mērvienību raksturlielumu izmantošanu (Zavadskas, Govindan, et al., 2016), aprēķini ir salīdzinoši vienkārši, rezultāti labi izskaidrojami un nav nepieciešama liela datu kopa (Roszkowska, 2011), kā arī TOPSIS metode ir viena no tā sauktajām kompensējošajām metodēm, kas pieļauj kompromisus starp kritērijiem, kas nozīmē to, ka zemu viena kritērija vērtību daļēji kompensē ar augstākiem rezultātiem citam kritērijam, tādējādi nodrošinot reālāku modelēšanas veidu, salīdzinot ar modeļiem, kas šādu kompensācijas iespēju nenodrošina (Zavadskas, Govindan, et al., 2016).

TOPSIS pielietojums pētniecībā nosedz plašu tēmu spektru, tostarp ietverot loģistiku un piegādes ķēdes, dažāda veida inženieriju, biznesa administrāciju un tirgzinību, vides, cilvēkresursu, enerģijas un ūdens resursu pārvaldību (Behzadian et al., 2012). Ar zemes izmantošanu, lauksaimniecību un klimata pārmaiņām saistītos pētījumos TOPSIS metode izmantota salīdzinoši retāk, tomēr autori to izvēlas lēmumu pieņemšanas analizē arī šajās jomās (Bagherzadeh & Gholizadeh, 2016; Chang & Liang, 2023; Diaz & Cilinskis, 2019; Hepperle et al., 2017; Morkunas & Volkov, 2023; Namiotko et al., 2022; Nowak & Kaminska, 2016; Tumelienė et al., 2022; Wójcik–Leń et al., 2019; Yang et al., 2023) , tostarp Latvijas pētnieki (Bumbiere et al., 2022; Cilinskis et al., 2017; Dace & Blumberga, 2016; Gancone et al., 2021a; Gancone, 2022; Gancone et al., 2022a; Laktuka et al., 2023).

Klimata pārmaiņas samazinoša organiskās augsnes apsaimniekošanas veida izvēle ir kompleks uzdevums, kura risināšanā nozīmīgs ne tikai klimata pārmaiņu samazināšanas, bet arī ekonomiskais un sociālais aspekts. Zinātniskās literatūras analīze liecina, ka TOPSIS metode ir piemērota lauksaimniecības organiskās augsnes klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ranžēšanai, jo ir iespējams izmantot reālos skaitļos izteiktus kritērijus, kas nosedz gan klimata, gan sociāli ekonomisko jomu, kā arī metode ir salīdzinoši vienkārši pielietojama

un nepieprasa liela apjoma datu kopas, kas varētu būt nozīmīgi, to izmantojot praktiskā politikas plānošanā.

Problēmas identifikāciju un strukturēšanu, kas ir pirmie divi jebkuras MCDA metodes izpildes soļi autore veica promocijas darba pirmajā un otrajā nodaļā. Trešajā jeb TOPSIS modeļa izveides solī: 1) veikta alternatīvu jeb promocijas darba gadījumā – klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu izpēte, sagatavojot tos raksturojošu agrotehnoloģisko, sociāli ekonomisko un vides datu matricu (promocijas darba 3.1. apakšnodaļa); 2) definēti kritēriji pasākumu novērtēšanai un iegūtas kritēriju vērtības (izmantojot 3.1. apakšnodaļā izstrādātas datu matricas un zinātniskās literatūras datus). Noslēdzošajā jeb izveidotā TOPSIS modeļa pielietošanas solī, aprēķināti rezultāti un iegūts pasākumu ranžējums, matemātiski apstiprinot intuitīvo viedokli par to, ka pasākumi, kas saistīti ar kokaugu audzēšanu un zemes lietojuma veida maiņu, varētu būt tuvāki ideālajam risinājumam un tālāki no ideāli negatīvā risinājuma. Jaunas alternatīvas analīzei nav izvirzītas. Jūtīguma analīze veikta, mainot kritēriju svāra sadalījumu. Promocijas darbā autore izmanto TOPSIS metodes klasisko versiju (Roszkowska, 2011; Zavadskas, Antucheviciene, et al., 2016).

MCDA izmantoto kritēriju izvēli iespējams izdarīt dažādos veidos, starp kuriem populārākie ir kritēriju formulēšana: 1) to veicot pašiem pētniekiem; 2) iesaistot nozares ekspertus; 3) interešu grupu vai sabiedrības pārstāvjus. Pētījumos biežāk izmantotā pieeja ir kritēriju izvēle, to veicot pētījuma autoriem (Adem Esmail & Geneletti, 2018). Šādu pieeju izmanto arī promocijas darba autore, kritēriju izvēlē sekojot ilgtspējīgas attīstības trīs dimensiju – vides, sociālā un ekonomiskā dimensija – konceptam (Brundtland, 1987). Apverot klasiskās ilgtspējīgas attīstības perspektīvas, definēti četri alternatīvu jeb klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu novērtēšanas kritēriji: 1) kumulatīvais (25 gadi) katra pasākuma SEG emisiju samazināšanas potenciāls, t CO<sub>2</sub>; 2) ikgadējā katra pasākuma ekosistēmu pakalpojumu vērtība, EUR; 3) katra pasākuma tīrā tagadnes vērtība (periods – 25 gadi), EUR; 4) vienas tonnas SEG emisiju samazināšanas izmaksas, EUR t<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> ekv.

Izmantojot promocijas darba 3.1. apakšnodaļā izveidoto un aprakstīto agrotehnoloģisko, sociāli ekonomisko un vides rādītāju datu kopu, sagatavota TOPSIS darba matrica (3.4 tabula), kuru veido klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumus raksturojošo kritēriju vērtību (to iegūšanas apraksts atrodams promocijas darba 3.1. apakšnodaļā) un analizējamo alternatīvu jeb klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu datu apkopojums.

3.4.tabula

#### TOPSIS analīzes darba matrica

Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākums	Tīrā tagadnes vērtība, EUR	SEG emisiju samazināšanas potenciāls, t CO <sub>2</sub> ekv.	Ekosistēmu pakalpojumu vērtība, EUR ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>	SEG emisiju samazinājuma izmaksas, EUR t <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub> ekv.
Aramzemes pārveide par zālāju	198509	24935	6445	8
Kontrolētā drenāža	1205811	50146	9627	24
Tauriņzieži kultūraugu rotācijā	381123	6926	1106	55
Agromežsaimniecība	-376605	96044	10959	-4
Apmežošana	576315	153301	13058	4
Paludikultūra	387528	98815	13058	4

Avots: autores veidots

Viena no plaši diskutētām MCDA, tostarp arī TOPSIS, sastāvdaļām ir normalizētā svara piešķiršana izvēlētajiem kritērijiem, lietojot pieņēmumu, ka kritēriju svara summai ir jābūt 1 jeb 100% (Danielson & Ekenberg, 2023). Tādējādi, svērtā summa ir kritērijiem piešķirtā svara un attiecīgo vērtību kopsumma. Jo lielāks ir kritērijam piešķirtais svars un tā vērtība, jo vairāk tas ietekmē aprēķinu rezultātu. Noteikta svara piešķiršana kritērijiem ir būtiska, jo tie parasti ir saistīti ar dažādiem viedokļiem un nozīmēm, kas neļauj izdarīt pieņēmumu par to, ka visi kritēriji ir vienādas nozīmes. Svara piešķiršanu kritērijiem var veikt gan lēmumu pieņēmēji vai pētnieki pēc noteiktiem apsvērumiem, gan arī izmantojot matemātiskas metodes (Yoon & Hwang, 1995). Atkarībā no veida kādā kritērijiem piešķir svaru, izdala subjektīvo un objektīvo kritēriju svaru. Subjektīvā svara noteikšanas metodes gadījumā svaru nosaka pilnībā balstoties uz lēmumu pieņēmēju vai ekspertu vērtējumu un pieredzi, savukārt objektīvā svara noteikšanas metodes izmanto tikai matemātisku modeļu pielietojumu, neņemot vērā lēmumu pieņēmēju vai ekspertu vērtējumu (Wang & Lee, 2009). Pastāv uzskats, ka objektīvā svara noteikšanas metodes ir piemērotas gadījumos, kad nepastāv iespēja iegūt un izmantot ekspertu viedokli (Deng et al., 2000).

TOPSIS analīzei izvēlēto kritēriju svara piešķiršanai promocijas darbā autore izvēlas subjektīvās svara noteikšanas pieeju – kritēriju svara piešķiršanai izmantots autores eksperta viedoklis. Kritēriju svara piešķiršana, to veicot pašiem pētījumu autoriem, ir viena no biežāk izmantotajām pieejām MCDA pētījumos zemes izmantošanas jomā, tostarp tādēļ, ka nepietiekama kritēriju svara piešķiršanas procesa izpratne var potenciāli apdraudēt rezultātu atbilstību (Adem Esmail & Geneletti, 2018). Promocijas darba pētījumā šāds lēmums pieņemts, lai izvairītos no interešu grupu subjektivitātes, un lai kritēriju svara vērtējums būtu atbilstošs ES klimata un nozaru politikas videi, kas raksturota darba 1.3. apakšnodaļā. Tādējādi, bāzes scenārijā salīdzinoši lielāks svars piešķirts kritērijiem, kas saistīti ar SEG emisiju samazināšanu un ekosistēmu pakalpojumiem (3.5.tabula).

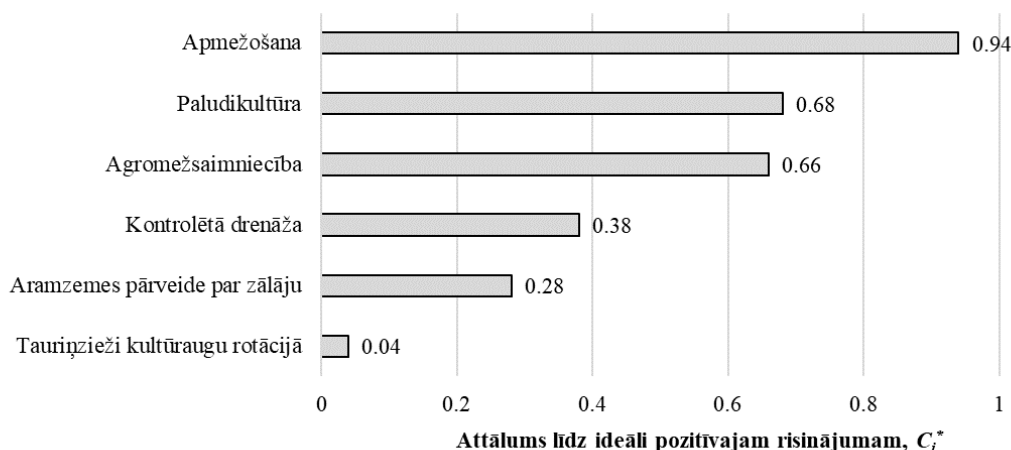
3.5.tabula

### TOPSIS analīzes kritēriju svara rādītāju apkopojums bāzes scenārijā

Nr.	Kritērijs	Kritērijam piešķirtais svars, $w_i$
1.	Tīrā tagadnes vērtība, EUR	0,1
2.	SEG emisiju samazināšanas potenciāls, t CO <sub>2</sub> ekv.	0,4
3.	Ekosistēmu pakalpojumu vērtība, EUR ha <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup>	0,3
4.	SEG emisiju samazinājuma izmaksas, EUR t <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub> ekv.	0,2
Kopā:		1,00 (100%)

Avots: autores veidots

TOPSIS analīzes rezultāti jeb klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ranžējums kritēriju svara izvēles bāzes scenārijā atspoguļots 3.2. attēlā.



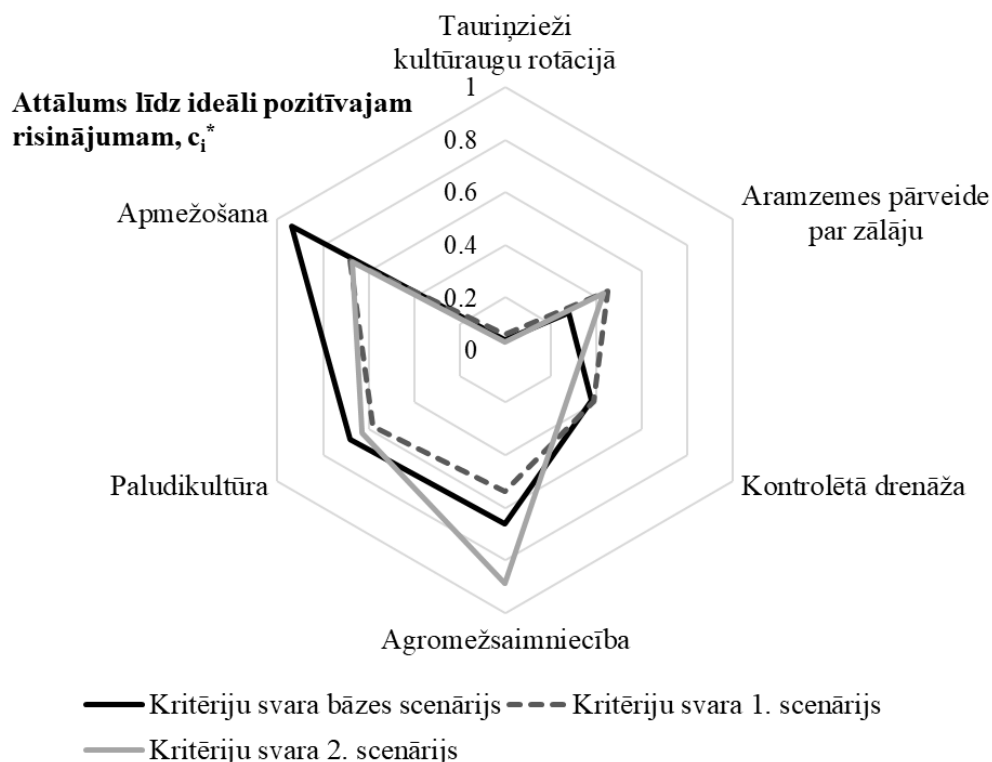
Avots: autores konstrukcija

### 3.2.att. Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu attālumu līdz ideāli pozitīvajam risinājumam raksturojošie koeficienti bāzes scenārijā

TOPSIS analīzes aprēķinu rezultāti, atbilstoši promocijas darbā izdarītajiem pieņēmumiem (pasākumus raksturojošie rādītāji, kritēriju izvēle) un kritērijiem piešķirtā svara bāzes scenārijā, liecina, ka apmežošana ir ideālajam pozitīvajam risinājumam tuvākais klimata pārmaiņu samazināšanas pasākums, kam ranžējumā seko paludikultūru un agromežsaimniecības pasākumi. Tādējādi, trīs pasākumus, kurus raksturo koksnes biomasas audzēšana un būtiskāka vai nebūtiskāka zemes izmantošanas veida maiņa, TOPSIS analīze ranžē kā pasākumus, kas atrodas vistuvāk ideāli pozitīvajam risinājumam un vistālāk no ideāli negatīvā risinājuma. Gluži pretēji, tauriņziežu ietveršana rotācijā dotajā pieņēmumu kopā ir vistuvāk ideāli negatīvajam jeb sliktākajam risinājumam.

MCDA, tostarp TOPSIS metodes, izpildes soļu sastāvdaļa (3.2. attēls) ir jūtīguma analīze. Jūtīguma analīzes mērķis ir novērtēt to, cik lielā mērā lēmumu pieņemšanas modeļa rezultātu ietekmē izmaiņas ievades datos vai izdarītajos pieņēmumos jeb to, kādas ir modeļa iznākuma un ievades rādītāju attiecības (Adem Esmail & Geneletti, 2018). Jūtīguma analīzi veic mainot pētījuma nosacījumus, pieņēmumus vai izejas datus (Danielson & Ekenberg, 2023). Autore jūtīguma analīzi veic mainot kritēriju svaru divos scenārijos: 1) piešķirot visiem kritērijiem vienādu svaru; 2) piešķirot lielāku svaru ekonomiskās dimensijas kritērijiem.

Jūtīguma analīzes rezultāti (3.5. attēls) liecina, ka kritēriju svara bāzes scenārijā iegūtais ranžējums uzskatāms par stabilu attiecībā pret kritēriju svara maiņu. Uz x ass (3.3. attēls) atspoguļots attālums līdz ideāli pozitīvajam risinājumam  $c_i^*$ . Kritēriju svara maiņa 1. scenārijā (vienāds svara sadalījums starp kritērijiem) nerada būtiskas izmaiņas. Kritēriju svara sadalījuma maiņa 2. scenārijā (lielāks svars ekonomiskajiem kritērijiem), ranžējumā rada pārvirzi starp apmežošanas un agromežsaimniecības pasākumiem, kā arī pārvirzi starp kontrolētās drenāžas un aramzemes pārveides par zālāju pasākumiem. Tomēr šīs izmaiņas nemaina to, ka arī 2. scenārijā joprojām tuvāk ideāli pozitīvajam risinājumam atrodas pasākumi, kuri saistīti ar zemes lietošanas veida maiņu (apmežošana, paludikultūra, agromežsaimniecība).



Avots: autores konstrukcija

### 3.3.att. Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ranžējums trīs atšķirīgu kritēriju svara piešķiršanas scenāriju gadījumā

TOPSIS analīzi izmantojot kā vienu no lēmumu pieņemšanas atbalsta rīkiem, jāņem vērā, ka izvēlēto kritēriju svara maiņa ietekmē TOPSIS analīzes rezultātus, tomēr pat būtiskas svara sadalījuma maiņas gadījumā rezultāti var saglabāt stabilitāti, kas apliecina to pilnīgumu un uzticamību izmantošanai lēmumu pieņemšanā.

### 3.3. Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu izmaksu efektivitātes analīze

Lēmumu pieņemšanai un klimata un nozaru politikas veidošanai nepietiek ar informāciju par SEG emisiju samazināšanas tehnisko potenciālu, ir nepieciešams veids, kā reģiona vai valsts līmenī noteikt to pasākumu kopumu, kuru ieviešanas rezultātā būtu iespējams panākt ekonomiski efektīvu klimata pārmaiņu samazināšanu. Pētījumi liecina, ka tehniskais klimata pārmaiņu samazināšanas potenciāls, kādu to nosaka, piemēram, IPCC ziņojumi, pārsniedz ekonomiski efektīvo iespēju apjomu reģiona vai valsts specifiskā griezumā (Abberton et al., 2010).

Izmaksu efektivitātes analīze ir viena no klasiski lietotām un vispāratzītām pieejām alternatīvu klimata pārmaiņu samazināšanas iespēju novērtēšanai, tostarp, izmantojot MACC analīzi (Shukla et al., 2019). MACC analīze izmantojama gan alternatīvu klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu savstarpējai novērtēšanai, gan salīdzinošai analīzei starp nozarēm, kā arī efektīvai klimata pārmaiņu samazināšanas budžeta izstrādei valsts līmenī, kā to 2009. gadā pirmo reizi piedāvā globālā vadības konsultāciju firma *McKinsey&Company* (Enkvist et al., 2010). MACC analīzes metodes pirmsākumi meklējami 20. gadsimta 80. gados, kad uz daļēji līdzsvara modeļa pamata tika izstrādāts optimizācijas modelis dažādu darbību ietekmes novērtēšanai kopēja mērķa sasniegšanā. 20. gadsimta 90. gados T. Džeksons (*T.Jackson*) sākotnējo modeli pielāgoja klimata pārmaiņu samazināšanas politikas analīzes vajadzībām (Jackson, 1993), izveidojot pieeju, ko izmanto gan akadēmiskajā, gan ražošanas un politikas vidē, dēvējot par MACC analīzi (Levihn, 2015). MACC analīzi klimata pārmaiņu

samazināšanas iespēju novērtēšanā izmanto tādas organizācijas, kā IPCC, ANO Klimata konvencija, OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*), FAO, Starptautiskā enerģijas aģentūra (*International Energy Agency*), Pasaules banka (*World Bank*), pētnieciskās institūcijas un domnīcas (*Think Tanks*), piemēram, Stokholmas vides institūts (*Stockholm Environment Institute*) un Nīderlandes Enerģijas izpētes centrs (*Energy Research Centre of the Netherlands*), Starptautiskās attīstības bankas (*Multilateral Development Banks*), valsts pārvalde (piemēram, Lielbritānijā, Īrijā, Meksikā, Polijā, Nikaragvā un Kalifornijā (Ekins et al., 2011)) un privātas kompānijas.

Zinātniskajā literatūrā nav atrodama vienota MACC analīzes klasifikācija, tomēr biežāk izdala divus galvenos pieejas veidus. Viens no tiem ir uz modelēšanas rezultātiem balstīta (*model based*) jeb “no augšas uz apakšu” (*top down*) pieeja. Šajā gadījumā MACC līkni veido, modeļus darbinot ar dažādiem SEG emisiju ierobežojuma nosacījumiem, lai iegūtu CO<sub>2</sub> cenu amplitūdas rādītājus vai arī ar dažādām CO<sub>2</sub> cenām, lai modelētu atbilstošus SEG emisiju rādītājus. Modelēšanā iegūtos SEG emisiju un CO<sub>2</sub> cenu datus izmanto MACC līknes konstruēšanai (Du et al., 2015). Viens no šādi izmantoto modeļu piemēriem lauksaimniecībā ir CAPRI modelis teorētiskai SEG emisiju atļauju tirgus (ES SEG emisiju tirdzniecības sistēmā) modelēšanai, izmantojot atļauju cenas un reģionālo SEG emisiju limita datus tirgus līdzsvara punkta (SEG emisiju atļaujas cena sakrīt ar robežsamazinājuma izmaksām) noteikšanai (Pérez Dominguez et al., 2009). Otrs MACC veids ir uz ekspertu analīzes rezultātiem balstīta jeb “no apakšas uz augšu” (*bottom up*) pieeja. Šo pieeju mēdz dēvēt arī par tehnoloģisko izmaksu vai izmaksu inženierijas pieeju (Du et al., 2015; Vermont & De Cara, 2010a).

Viens no nozīmīgākajiem ekspertu pieejas piemēriem ir *McKinsey&Company* veidotie globālie SEG emisiju samazinājuma novērtējumi dažādām nozarēm, tostarp globāls lauksaimniecības SEG emisiju samazinājuma novērtējums, analizējot divdesmit piecus klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumus (Ahmed et al., 2020).

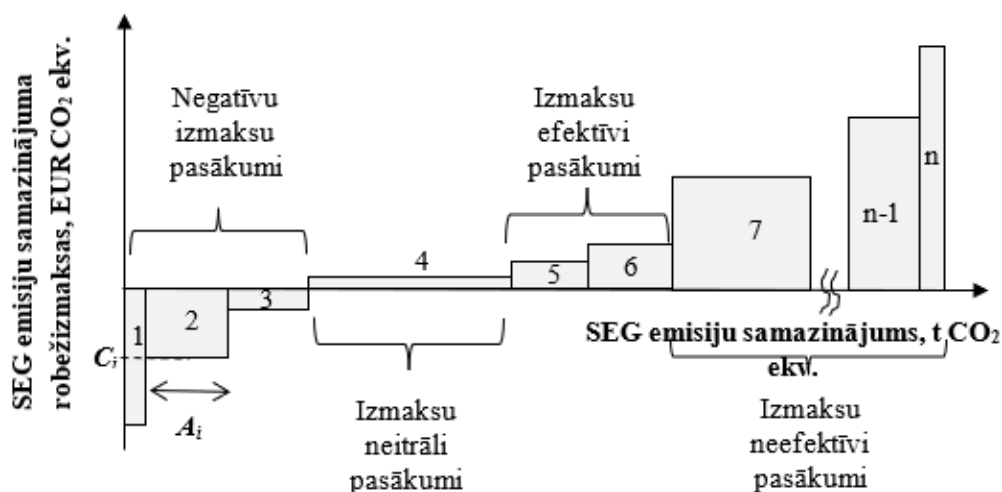
Viens no redzamākajiem MACC izmantošanas piemēriem lauksaimniecībā pasaulē ir *McKinsey&Company* pētījumi (Ahmed et al., 2020), kā arī FAO pētījumi lauksaimniecības politikas ekonomiskajam novērtējumam (Bockel et al., 2012), OECD ziņojumi (Macleod et al., 2015; Wreford et al., 2010) un pārskata pētījumi, piemēram, (Vermont & De Cara, 2010b). Eiropā MACC metode ar lauksaimniecību saistītos pētījumos izmantota gan ES valstu snieguma analīzē (De Cara & Jayet, 2011; Eory et al., 2018; Fellmann et al., 2021; Vogt–Schillb & Hallegatte, 2014), gan atsevišķu valstu pētījumos, piemēram, Lielbritānijā (Eory et al., 2013; MacLeod et al., 2010; Macleod et al., 2015; Moran et al., 2009; Moran, Macleod, et al., 2011; Moran, MacLeod, et al., 2011; Smith & Olesen, 2010), Šveicē (Huber, Späti, et al., 2023; Huber, Tarruella, et al., 2023; Kreft et al., 2023), Francijā (Dequiedt & Moran, 2015; Doreau et al., 2014; Pellerin et al., 2017), Īrijā (O’Brien et al., 2014; Schulte et al., 2012a), Austrijā (Wächter, 2013) un citur. Latvijā MACC metode aprobēta izmantošanai lauksaimniecības nozares klimata pārmaiņu pasākumu analīzē kopš 2015. gada (Gancone et al., 2021b, 2022b; Kreišmane et al., 2018; Lenerts et al., 2021; Naglis–Liepa et al., 2018, 2021; Popluga et al., 2017; Popluga & Naglis–Liepa, 2015).

MACC līknes ir politikas plānošanā izmantojams rīks, kas sniedz informāciju par vienas papildus SEG emisiju vienības (izteiktas CO<sub>2</sub> ekv.) samazināšanas izmaksām un dod iespēju šīs izmaksas attēlot līknē, kas parāda attiecīgās darbības ieguvumu SEG emisiju samazinājuma apjoma veidā (Macleod et al., 2015). Tādējādi, MACC līknes (3.4. attēls) horizontālā ass attēlo katra analizējamā pasākuma  $i$  SEG emisiju samazinājuma potenciālu  $A_i$ , savukārt, vertikālā ass – SEG emisiju samazinājuma robežizmaksas  $C_i$ . Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu izvietojums MACC līknē dod iespēju tos sadalīt nosacītās izmaksu efektivitātes grupās un šo dalījumu uzskatāmi vizualizēt. Pasākumi, kuru ieviešanas gadījumā SEG emisiju samazināšanas robežizmaksas ir negatīvas (3.6. attēlā – “Negatīvu izmaksu pasākumi”), MACC līknes attēlojumā atrodas zem horizontālās ass. Šo pasākumu ieviešana vienlaicīgi nodrošina gan SEG emisiju samazinājumu, gan arī negatīvas izmaksas jeb izmaksu ietaupījumu. Izmaksu neitrālu pasākumu izvēle nodrošina iespēju mazināt klimata pārmaiņu ietekmi ar salīdzinoši



nelieliem izdevumiem, kas ilgtermiņā tuvojas nulles izmaksu atzīmei. Izmaksu efektīvo pasākumu grupa nodrošina sabalansētu izdevumu un klimata pārmaiņu samazināšanas proporciju. Pētījumos šīs grupas definējumam kā šķirkli mēdz izmantot aktuālo un prognozēto oglekļa cenu, respektīvi, šo pasākumu ieviešana klimata pārmaiņu samazināšanā uzskatāma par lētāku salīdzinājumā ar attiecīga daudzuma oglekļa vienību iegādi (Schulte et al., 2012b). Promocijas darbā izmantota ES Zaļā kursa ietekmes novērtējuma ziņojumā (European Commission, 2020b) izmantotā vidējā oglekļa cena 55 EUR t<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> ekv. Izmaksu neefektīvo pasākumu gadījumā katras CO<sub>2</sub> ekv. tonnas samazinājums ir būtiski dārgāks nekā citās pasākumu grupās un šo pasākumu ieviešana klimata pārmaiņu samazināšanai ir dārgāka nekā attiecīga daudzuma oglekļa vienību iegāde. Pētījumi uzsver, ka nav vēlams koncentrēties tikai uz izmaksu ziņā efektīvāko pasākumu ieviešanu, bet gan sākt ieviest izmaksu ietilpīgākos pasākumus (ja to inerce un klimata pārmaiņu samazināšanas potenciāls ir augsts) pirms ir izsmelts ieviešanā lētāko pasākumu klimata pārmaiņu samazināšanas potenciāls, kā arī to, ka optimāls pasākumu kopums īstermiņa mērķa sasniegšanai ir atkarīgs no pasākumiem, kuri nepieciešami ilgtermiņa mērķu sasniegšanai (Vogt–Schilb & Hallegatte, 2014). Tādējādi, ņemot vērā dinamikas un inerces efektus, ir iespējams noteikt optimālu klimata pārmaiņu pasākumu ieviešanas laiku gadījumos, kad tas dažādiem pasākumiem plānots atšķirīgs.

No politikas veidošanas perspektīvas, MACC atbild uz jautājumu kā tirgus reaģēs vai kā tam vajadzētu reaģēt uz politikas iniciatīvām (klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ieviešanu), un kuras ir labākās pieejamās alternatīvas nākotnes investīcijām klimata pārmaiņu samazināšanā (Levihn et al., 2014).



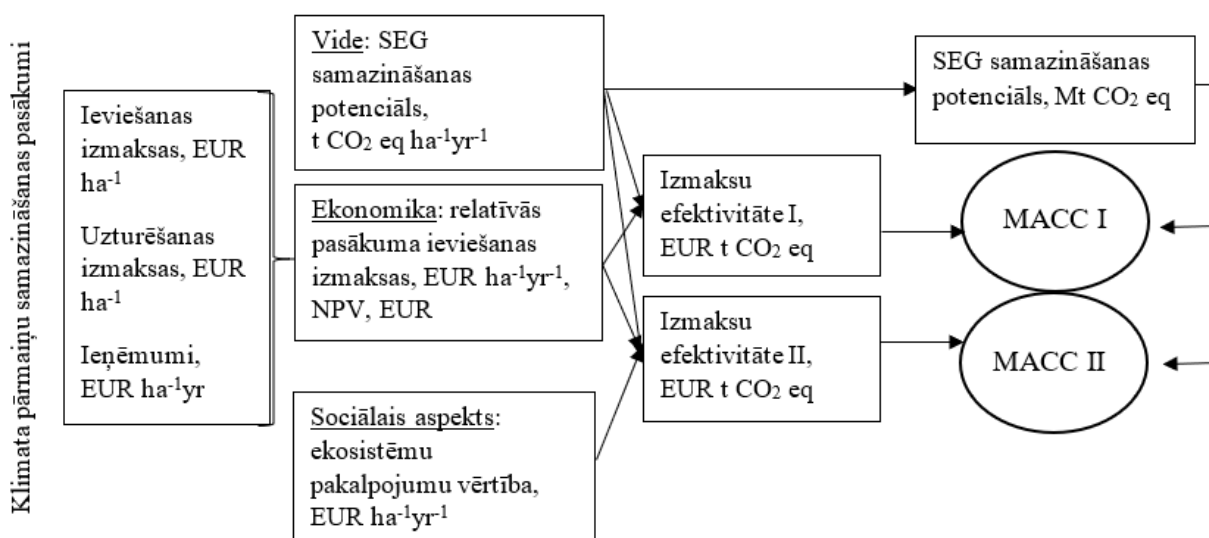
Avots: autores konstrukcija pēc (Schulte et al., 2012b; Vogt–Schilb & Hallegatte, 2014)

### 3.4.att. Ekspertu jeb “no apakšas uz augšu” MACC pieejas klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu izmaksu efektivitātes līknes teorētiskais piemērs

Lai gan pētījumi atzīmē arī ekspertu pieejas MACC vājās puses, piemēram, to, ka: 1) katrs klimata pārmaiņu samazināšanas pasākums tiek aplūkots atsevišķi, nepietiekami ņemot vērā pasākumu savstarpējo ietekmi; 2) ņem vērā tehnoloģiskās, bet ignorē saistītās transakciju izmaksas; 3) ietekmi parasti novērtē statistiski un šauri tehnoloģiski, neņemot vērā institucionālo un uzvedības modeļu kontekstu (Kesicki & Strachan, 2011), autore promocijas darbā izvēlas izmantot šo pieeju, jo tā dod iespēju analizēt izmaksu efektivitāti nozares vai nozares segmenta līmenī, kas promocijas darba gadījumā ir lauksaimniecības organiskā augsne.

Promocijas darbā autore MACC metodi izmanto, lai analizētu klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu izmaksu efektivitāti lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā Latvijas ZIZIMM sektorā valsts līmenī. Aprēķini un MACC līkņu konstrukcija veikta atbilstoši klasiskajai robežsamazinājuma izmaksu analīzes koncepcijai,

izsakot naudas izteiksmē kopējās katra pasākuma ieviešanas izmaksas (pozitīvas vai negatīvas) par katru papildus radīto CO<sub>2</sub> ekv. samazinājuma tonnu (Chairat et al., 2022a; Eory et al., 2018), izmantojot 3.1. apakšnodaļā aprakstīto katra pasākuma darba matricu un 3.5. attēlā redzamo MACC aprēķina modeli.



Avots: autores veidots

### 3.5.att. Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu MACC aprēķina modelis lauksaimniecības organiskajai augsnei Latvijā

Par katru no klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumiem apkopoti izmaksu (pasākumu ieviešanas un uzturēšanas) un ieņēmumu dati, atbilstoši 3.1. apakšnodaļā aprakstītajiem klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ieviešanas agrotehniskajiem, sociāli ekonomiskajiem un vides rādītājiem un aprēķināta izmaksu efektivitāte ar un bez ekosistēmu pakalpojumiem, sagatavojot MACC datu matricu (3.6.tabula). Pozitīvas izmaksu efektivitātes vērtības norāda uz to, ka SEG emisiju samazināšana ir izmaksas radoša, savukārt, negatīvas norāda uz ekonomiskiem ieguvumiem SEG emisiju samazināšanā (Eory et al., 2013).

3.6.tabula

### Datu matrica klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu MACC analīzei lauksaimniecības organiskajā augsnē Latvijā 2022. gadā

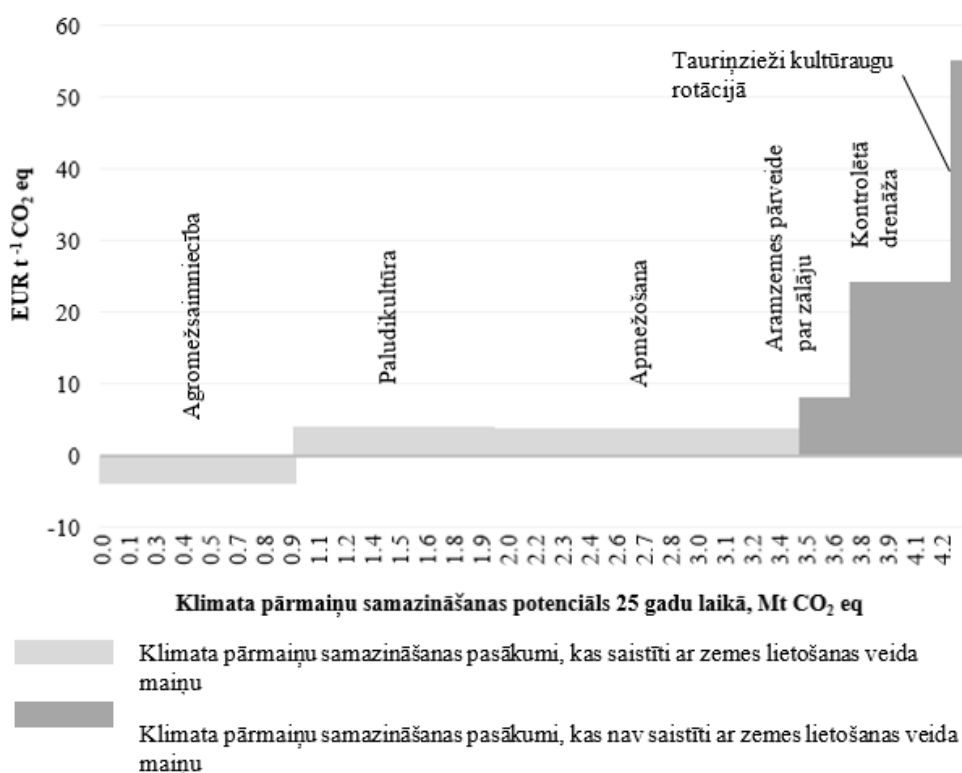
Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākums	Ekosistēmu pakalpojuma vērtība, EUR ha <sup>-1</sup>	SEG emisiju samazināšanas potenciāls (25 yr), Mt CO <sub>2</sub> ekv.	Izmaksu efektivitāte, EUR t <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub> ekv.	
			Ar ekosistēmu pakalpojumiem	Bez ekosistēmu pakalpojumiem
Agromežsaimniecība	10959	0,1	-342,1	-3,9
Paludikultūra	13058	0,1	-393,6	3,9
Apmežošana	13058	0,2	-252,9	3,8
Aramzemes pārveide par zālāju	6445	0,02	-767,7	8,0
Kontrolētā drenāža	9627	0,05	-552,1	24,1
Tauriņzieži kultūraugu rotācijā	1106	0,01	-424,2	55,0

Avots: autores konstrukcija

MACC analīzi autore veic divos variantos – bez un ar ekosistēmu pakalpojumu vērtības klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu tīrajā tagadnes vērtībā, attiecīgi sagatavojot MACC

I (3.8. attēls) un MACC II (3.9. attēls). Ekosistēmu pakalpojumu vērtību izmantošanu MACC analizē autore izvēlas testēt, kā inovatīvu pieeju, kas līdz šim pētījumos nav izmantota. Sociālā aspekta iekļaušana MACC analizē paplašina analīzes tvērumu un teorētiski var paplašināt pielietojamības tvērumu.

MACC analīzes rezultātu vizualizācija MACC I (3.8. attēls) atspoguļo izvēlēto klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu CO<sub>2</sub> ekv. samazināšanas potenciālu lauksaimniecības organiskajā augsnē Latvijā, atbilstoši klimata pārmaiņu samazināšanas izmaksām, neietverot ekosistēmu pakalpojumu vērtību, un veidojot pasākumu ranžējumu pēc to ieviešanas izmaksu efektivitātes. Autore MACC vizualizācijās klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumus sadalījusi divās grupās pēc to ieviešanas veida, izdalot pasākumus, kas saistīti ar zemes lietošanas veida maiņu no lauksaimniecībā izmantojamas zemes uz meža zemi vai agromežsaimniecības sistēmu un pasākumus, kas nav saistīti ar zemes lietošanas veida maiņu (3.6. un 3.7. attēls). Dalījums veikts, lai indikatīvi raksturotu pasākumu sociālās pieņemamības potenciālu, pieņemot, ka pasākumi, kuru ieviešana nav saistīta ar zemes lietošanas veida maiņu, varētu būt sociāli pieņemamāki raugoties no lauksaimniecības zemes īpašnieka skatpunkta.



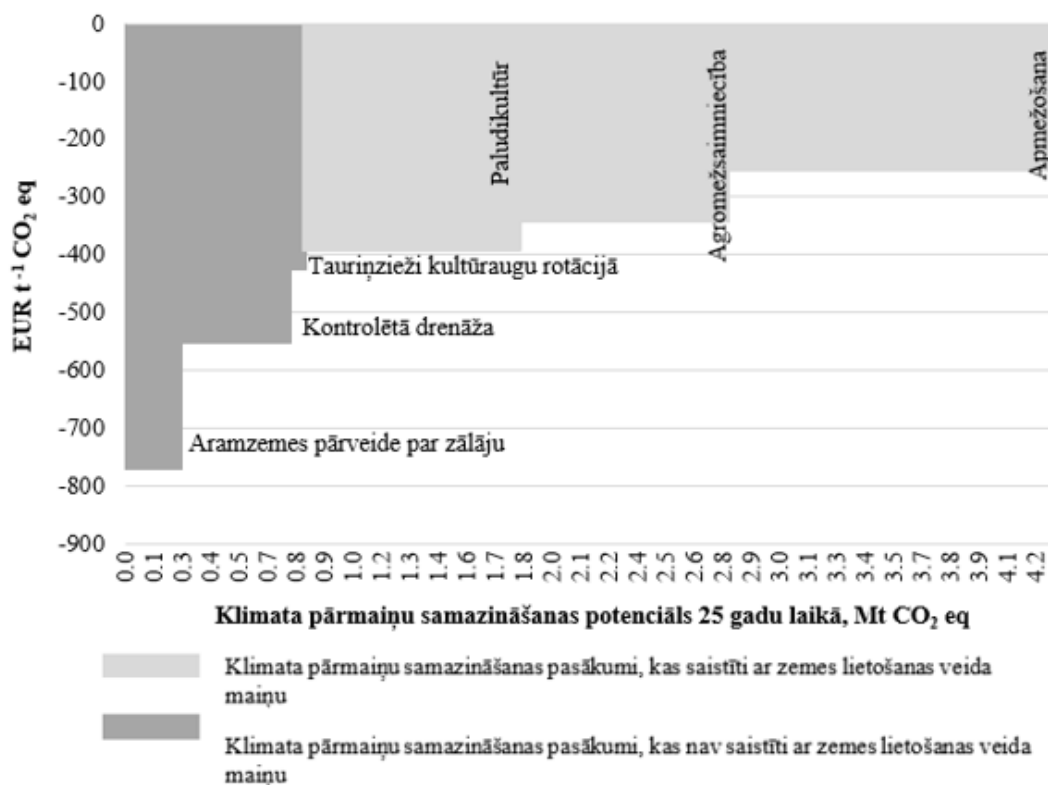
Avots: autores konstrukcija

### 3.6.att. Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu SEG emisiju samazinājuma potenciāls un izmaksas lauksaimniecības organiskajā augsnē Latvijā 2022. gadā (MACC I)

Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ranžējums bez ekosistēmu pakalpojumu vērtības (MACC I, 3.8. attēls) norāda uz pasākumu, kas saistīti ar zemes lietošanas veida maiņu (agromežsaimniecība, paludikultūra, aomežošana), lielāku SEG emisiju samazināšanas potenciālu ar zemākām vienas CO<sub>2</sub> ekv. tonnas samazinājuma izmaksām, starp kuriem agromežsaimniecības pasākums ir negatīvo izmaksu kategorijā. Visu šo pasākumu ieviešanas gadījumā tiek audzēta koksnes biomasa, kas nozīmē papildu oglekļa piesaisti un kopumā lielāku emisiju samazināšanas potenciālu. Pasākumi, kuri saistīti ar zemes lietošanas veida maiņu, atbilstoši promocijas darbā izdarītajiem pieņēmumiem, atrodas izmaksu efektīvu (aramzemes pārveide par zālāju un kontrolētā drenāža) un izmaksu neefektīvu (tauriņzieži kultūraugu rotācijā) pasākumu kategorijā. Tiem ir mazāks SEG emisiju samazinājuma potenciāls

(piemēram, tauriņziežu ietveršana kultūraugu rotācijā) un lielākas sākotnējo investīciju izmaksas (piemēram, kontrolēta drenāža). Tomēr jāņem vērā, ka ar zemes lietošanas veida maiņu saistītie pasākumi indikatīvi ir ar zemāku sociālo pieņemamību, kas varētu to ieviešanai pievienot papildus izmaksas, kas promocijas darba pētījumā nav analizētas.

MACC analīzes rezultāti aprēķinos ietverot ekosistēmu pakalpojumu vērtību, atspoguļoti 3.7. attēls. Šajā gadījumā (MACC II) visi klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumi izmaksu efektivitātes līknē pārvirzās uz negatīvo izmaksu jeb ieguvuma zonu.



Avots: autore konstrukcija

### 3.7.att. Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu SEG emisiju samazinājuma potenciāls un izmaksas lauksaimniecības organiskajā augsnē Latvijā 2022. gadā (MACC II)

Lai gan ekosistēmu pakalpojumi ir būtiski plašāka tvēruma vides ietekmes novērtēšanai (līdztekus SEG emisiju samazinājumam) (Pascual et al., 2023), kā arī vērtējot šo pakalpojumu nozīmi klimata pārmaiņu samazināšanas alternatīvu ranžēšanā (Taft, 2014), tomēr to vērtības parasti nav ietvertas MACC aprēķinos. Promocijas darbā tas darīts ar nolūku testēt šo pieeju, kā rezultātā autore secina, ka modificētās MACC II analīzes aprēķina rezultāti uzskatāmi par orientējoši informatīviem, jo nemateriālo vērtību monetizācijas metodoloģijas joprojām tiek izstrādātas un rezultāti ir pakļauti daudziem pieņēmumiem. Turklāt pētījumi liecina, ka negatīvu izmaksu gadījumā MACC izmantošanā vēlams ievērot piesardzību (Ekins et al., 2011; Levihn, 2015; Ponz-Tienda et al., 2017; Taylor, 2012; Ward, 2014), jo: 1) var tikt pārvērtēts negatīvu izmaksu pasākumu klimata pārmaiņu samazināšanas potenciāls, neveltot pietiekamu uzmanību pasākumiem, kuri izmaksu ziņā ir mazāk efektīvi; 2) negatīvu izmaksu pasākumi tiek adekvāti novērtēti kā izmaksu efektīvākie jeb ienākumus nesošie, bet to savstarpējais ranžējums var nebūt korekts metodes matemātiskā algoritma īpatnību dēļ. Tā kā promocijas darba izstrādes laikā nav pieejama vispārāzīta pieeja, kā šo MACC metodes trūkumu novērst, autore pieņem, ka “negatīvu izmaksu pasākumi” ranžējumā uztverami kā vienlīdzīgi. Līdz ar to MACC II gadījumā rezultāti nav tieši interpretējami pasākuma ranžējuma veidā, bet gan lietojami, kā norāde uz nemateriālo vērtību (tostarp sociālo, kultūras, vēsturisko u.c.) esamību

un nozīmi (aprēķinu rezultāts būtiski mainās), vēršot lēmumu pieņemēju uzmanību uz nepieciešamību apsvērt šāda veida vērtību ietveršanu politikas lēmumu pieņemšanas procesos, kā arī apsvērt atbalstu tālāku pētījumu veikšanai.

Promocijas darbā MACC metode testēta kā lēmumu pieņemšanas atbalsta rīks, koncentrējoties uz metodoloģisko aspektu nevis konkrētu klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu novērtēšanu ieviešanai politikas plānošanā. Lēmumu pieņēmējiem jāapzinās, ka mainot izdarītos pieņemumus, tostarp, iegūstot precīzākus datus par pasākumu klimata pārmaiņu samazināšanas potenciālu, lēmumu pieņemšanas atbalsta metožu ģenerētie rezultāti var būtiski mainīties.

Pētījumi liecina, ka viena atsevišķa lēmumu pieņemšanas atbalsta rīka, tostarp MACC līknes, izmantošana lēmumu pieņemšanā var būt ierobežojoša (Kesicki & Strachan, 2011) un ir vēlams MACC pieeju kombinēt ar citām metodēm, piemēram, kādu no daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas atbalsta metodēm (Chairat et al., 2022b), kā tas darīts promocijas darbā. Promocijas darbā MACC analīze kombinēta ar MCDA TOPSIS metodi. Neskatoties uz metodoloģiskajām atšķirībām, abas metodes klimata pārmaiņu pasākumu ranžējumā uzrāda līdzīgus rezultātus. Ar zemes lietošanas veida maiņu saistītie klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumi (apmežošana, paludikultūras, agromežsaimniecība) parādās kā izmaksu efektīvāki un ideālajam risinājumam tuvāki. TOPSIS metode ietver sociālās vērtības aspektu (kuru var attīstīt tālāk, ja pieņem attiecīgu lēmumu), bet ranžēšana pēc MACC metodes sniedz skaidru izpratni par izmaksu efektivitāti. MCDA TOPSIS un MACC metožu kombinēta izmantošana var kalpot par stabilu pamatu līdzsvarotu un zinātniski pamatotu lēmumu pieņemšanai klimata politikas plānošanā lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanai.

#### **3.4. SEG emisiju prognožu simulācija klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu iespējamās ietekmes novērtēšanai Latvijas klimata politikas saistību izpildē**

Lēmumu pieņēmēji nereti ir spiesti strādāt lielas nenoteiktības apstākļos, īpaši, ja ir runa par ilgtermiņa ietekmēm, ietekmju sekām un politikas plānošanu, kā tas ir klimata politikas gadījumā (Ascher, 2004). Klimata pārmaiņu prognozēšanai izstrādāti globāli un reģionāli modeļi (Knutti et al., 2010; Oo et al., 2019; Randall et al., 2007 u.c.), kuru rezultātus regulāri apkopo dažāda veida starptautiskos ziņojumos, starp kuriem pazīstamākiem ir IPCC ziņojumi, un izmantoti klimata pārmaiņu samazināšanas politikas mērķu noteikšanā. Iespējamo attīstības scenāriju plānošana un to ietekmes aprēķināšana ir viena no bieži lietotām pieejām, kas ļauj visa veida ieinteresētajām pusēm ņemt vērā dažādas attīstības iespējas, ieskaitot tās, kas ir diskutablas organizatorisku, sociālu vai politisku iemeslu dēļ, kā arī akceptēt fundamentālo nenoteiktību, kas saistās ar ilgtermiņa prognozēm (Doukas & Nikas, 2020).

Promocijas darbā analizēto klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu potenciālas ieviešanas radītā SEG emisiju samazinājuma prognožu simulācijas sagatavošanai izdarīti šādi pieņēmumi: 1) ņemot vērā ES un Latvijas klimatneitralitātes mērķi līdz 2050. gadam (plašāk aprakstīts darba 1.3. apakšnodaļā), prognozēs plānots maksimālais tehniskās ieviešanas potenciāls no 2025. līdz 2050. gadam visiem pētījumā izvēlētajiem klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumiem lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā, apzinoties, ka pasākumu pakāpeniskākas ieviešanas pieeja varētu izlīdzināt SEG emisiju prognožu līknes, bet nemainītu kopējos rezultātus; 2) SEG emisiju prognožu simulācija veikta Latvijas ZIZIMM sektoram (tā aramzemes un zālāja kategorijām), lai gan ietekme uz SEG emisiju prognozēm pasākumu ieviešanas gadījumā būtu vērojama arī SEG inventarizācijas lauksaimniecības sektorā saistībā ar apsaimniekotas organiskās augsnes platību samazinājumu zemes lietošanas veida maiņas gadījumā. Autore izvēlas SEG emisiju prognožu simulāciju veikt ZIZIMM sektoram (aramzemes un zālāju kategorijās), jo darba mērķis ir izstrādāt priekšlikumus lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas uzlabošanai, koncentrējoties uz lēmumu pieņemšanas iespēju nevis konkrētu pasākumu ietekmes novērtēšanu, kā arī saistībā ar

darba apjoma ierobežojumiem; 3) SEG emisiju prognožu simulācija veikta, par bāzes scenāriju, izmantojot Latvijas 2023. gadā sagatavoto SEG emisiju prognožu WAM scenāriju ZIZIMM sektoram (Ministry of Climate and Energy of Latvia, 2023).

SEG emisiju prognožu simulācijai izmantotie dati sistematizēti 3.7.tabulā.

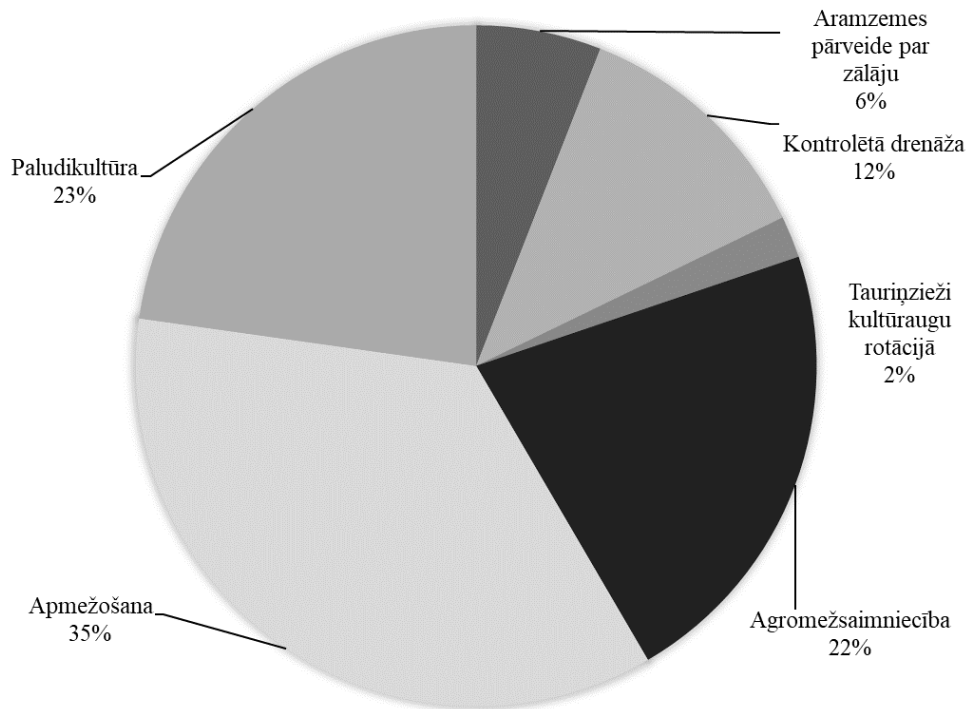
3.7.tabula

**Datu matrica SEG emisiju prognožu simulācijas sagatavošanai Latvijas ZIZIMM sektora aramzemes un zālāju kategorijās 2023. gadā**

Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākums	Pasākuma ieviešanas platība, ha yr <sup>-1</sup>	Pasākuma ieviešanas platība 25 yr, ha	Pasākuma SEG emisiju samazināšanas potenciāls, t CO <sub>2</sub> ekv. yr <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>	Pasākuma SEG emisiju samazināšanas potenciāls, t CO <sub>2</sub> ekv. yr <sup>-1</sup>	Pasākuma SEG emisiju samazināšanas potenciāls, t CO <sub>2</sub> ekv. 25 yr
Aramzemes pārveide par zālāju	369	9235	2,7	997	24935
Kontrolētā drenāža	369	9235	5,4	1995	49869
Tauriņzieži kultūraugu rotācijā	369	9235	0,8	296	7388
Agromežsaimniecība	369	9235	10,4	3842	96044
Apmežošana	369	9235	16,6	6132	153301
Paludikultūra	369	9235	10,7	3953	98815

*Avots: autores veidots*

Pieņemts (pieņemuma plašāks skaidrojums sniegts darba 3.1. apakšnodaļā), ka ikgadējās apsaimniekošanas izmaiņas skar 2216 ha lauksaimniecībā izmantotas organiskās augsnes jeb 55 350 ha 25 gados. Kopējais kumulatīvais promocijas darbā analizēto klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu SEG emisiju samazināšanas potenciāls šajā pētījumā veikto pieņēmumu gadījumā 25 gados ir 430,2 kt CO<sub>2</sub> ekv. Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu SEG emisiju samazināšanas potenciāls savstarpējā salīdzinājumā atspoguļots 3.10. attēlā. Atbilstoši izdarītajiem pieņēmumiem, pēc proporcijas būtiskākais SEG emisiju samazinājums panākams veicot lauksaimniecības organiskās augsnes apmežošānu (35%), kam seko paludikultūras ierīkošana stādot melnalksni un bērzu (23%), kā arī agromežsaimniecības sistēmas ierīkošana lauksaimniecības organiskajā augsnē veidojot ātraudzīgu kokaugu un zālaugu ekosistēmu (22%). Tomēr jāņem vērā, ka šie pasākumi ir saistīti ar zemes lietošanas veida pilnīgu vai daļēju maiņu no ierasti apsaimniekotas lauksaimniecības zemes uz meža zemi vai zemi, kurā audzē kokaugus kombinācijā ar lauksaimniecības kultūraugiem. Promocijas darbā nav veikts ieinteresēto pušu attieksmes novērtējums, bet pētījumi liecina, ka sociāli psiholoģiskie un sociāli ekonomiskie faktori būtiski iespaido zemes īpašnieku lēmumus, tostarp par zemes lietošanas vai saimniekošanas veida maiņu, tāpat kā zināšanas par klimata pārmaiņu procesiem (Pascual et al., 2023), kā rezultātā, politisko lēmumu īstenošana var tikt kavēta, ja tiem neseiko pietiekams izglītojošais darbs un nav pietiekami ņemtas vērā zemes īpašnieku specifiskās vajadzības un mērķi (Van Den Berg et al., 2023), piemēram, turpināt ierasto lauksaimniecības praksi. Klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu, kuru ieviešanas gadījumā netiek veikta zemes izmantošanas veida maiņa, sociālā pieņemamība zemes īpašnieku vidū varētu būt augstāka, bet kopējais klimata pārmaiņu samazināšanas potenciāls veido salīdzinoši nelielu daļu (20%) no kopējā analizēto pasākumu potenciāla.



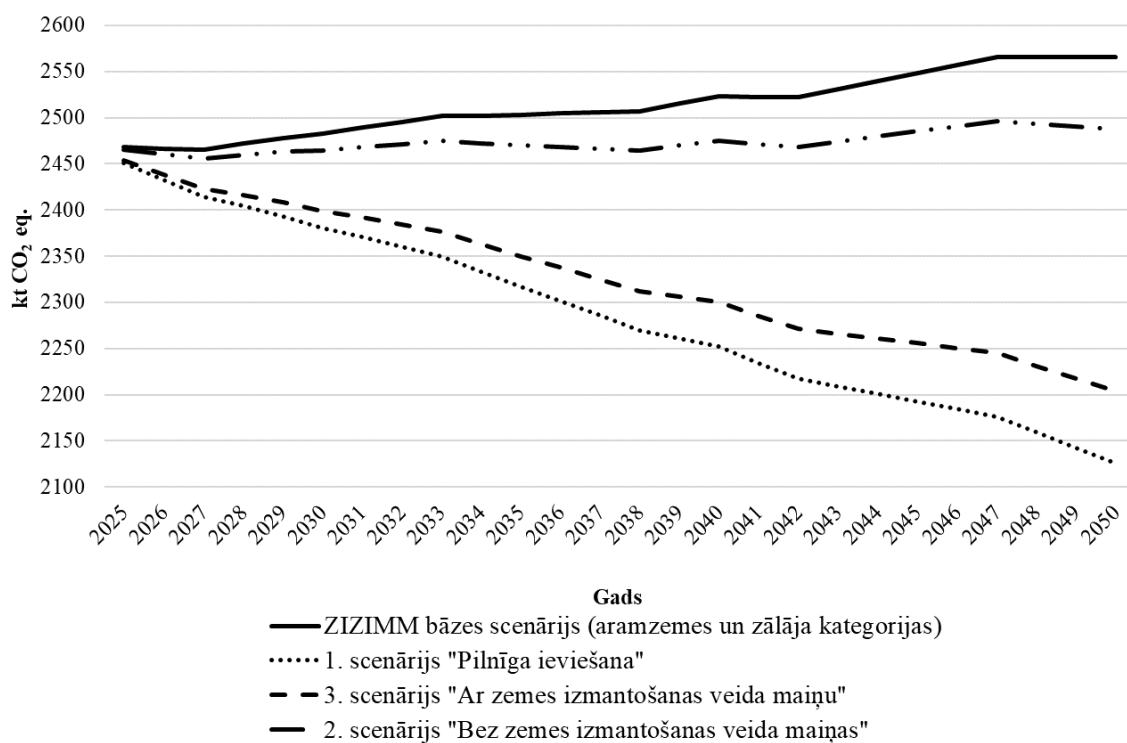
Avots: autores veidots

### 3.8.att. Lauksaimniecības organiskās augsnes klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu SEG emisiju samazināšanas potenciāla savstarpējs salīdzinājums Latvijā 2023. gadā

Jāņem vērā, ka šīm SEG emisiju samazinājuma vērtībām ir ilustratīvs raksturs, jo promocijas darba 3. nodaļā pārbaudītas daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas un izmaksu efektivitātes analīzes metodes organiskās augsnes apsaimniekošanas lēmumu pieņemšanā nevis novērtēts konkrēto pasākumu SEG emisiju samazināšanas potenciāls. Šāda veida analīze – ar mērķi novērtēt reālo SEG emisiju samazinājuma potenciālu – būtu jāveic turpmākajos pētījumos, kad pasākumiem ir pieejami reģionāli SEG emisiju mērījumu dati un aprēķināti reģionāli SEG emisiju faktori, piemēram, projektā LIFE OrgBalt.

Promocijas darbā SEG emisiju prognožu simulācija veikta trīs alternatīviem scenārijiem, tos plānojot 55 405 ha mērķa platībā (mērķa platības izvēles pamatojums skaidrots darba 3.1. apakšnodaļā):

- 1) 1. scenārijs “Pilnīga ieviešana”, paredzot visu darbā analizēto klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu vienlaicīgu ieviešanu (izņemot “tauriņzieži kultūraugu rotācijā”, jo tas jau ir ietverts bāzes scenārijā) to ieviešanas tehniskā potenciāla apjomā;
- 2) 2. scenārijs “Bez zemes izmantošanas veida maiņas” ietver divu klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu īstenošanu – “aramzemes pārveide par zālāju” un “kontrolētā drenāža”. Trešais “bez zemes izmantošanas maiņas” pasākums “tauriņzieži kultūraugu rotācijā” netika iekļauts šajā scenārijā, lai izvairītos no dubultās uzskaites, jo pasākuma ietekme jau ir iekļauta Latvijas 2023. gadā sagatavoto SEG emisiju WAM scenārijā lauksaimniecības sektorā;
- 3) 3. scenārijs “Ar zemes izmantošanas veida maiņu” ietver trīs klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ieviešanu, kuri TOPSIS analīzē identificēti kā tuvākie ideāli pozitīvam risinājumam un MACC analīzē ranžēti kā izmaksu efektīvākie. Šo pasākumu īstenošana ierosina zemes lietojuma maiņu no lauksaimniecības zemes uz meža zemi (pasākumi “Apmežošana” un “Paludikultūra”) vai agromežsaimniecības sistēmu (pasākums “Agromežsaimniecība”).



Avots: autores veidots

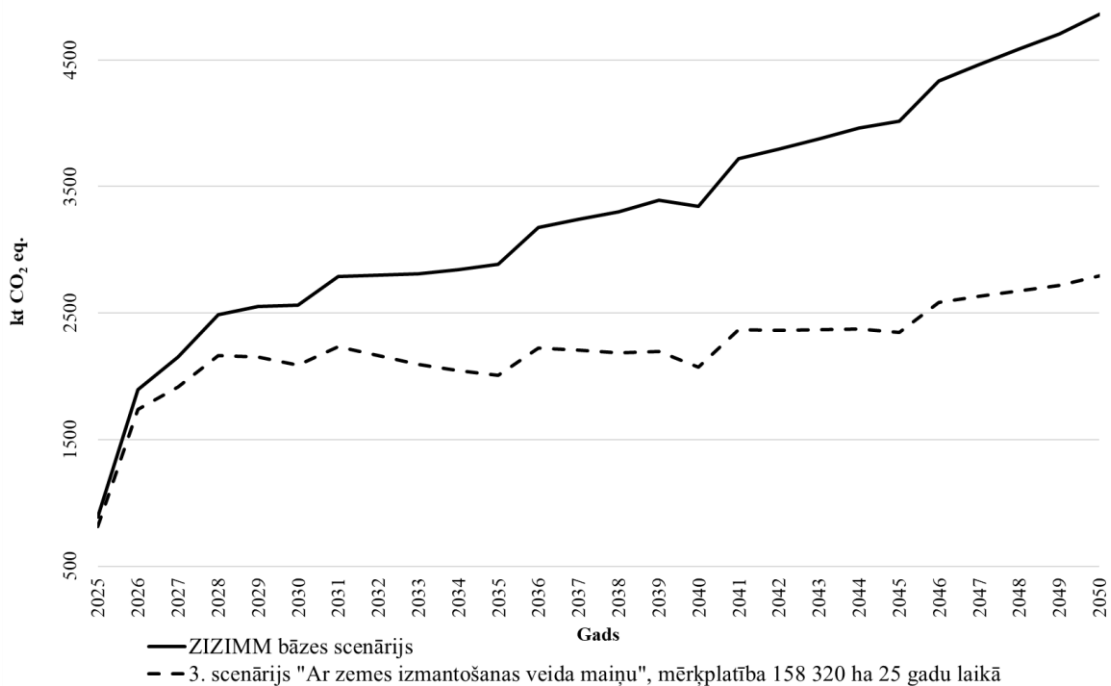
### 3.9.att. ZIZIMM sektora SEG emisiju prognožu simulācija potenciālas klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ieviešanas gadījumā trīs scenārijos Latvijā

Prognožu simulācijas rezultāti (3.9. attēls) liecina, ka ieviešot klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumus lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā promocijas darbā izvēlētajā mērķplatībā, lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas radītās SEG emisijas ZIZIMM sektorā visvairāk samazinās 1. scenārija un 3. scenārija realizācijas gadījumā, kas saistīts ar oglekļa piesaisti kokaugu biomasā un zemes izmantošanas veida maiņu. Savukārt, 2. scenārija īstenošana jeb divu zemes lietošanas veida maiņu neizraisīšu pasākumu ieviešana emisiju līkni būtiski nemaina. Tā kā bāzes scenārijs ir Latvijas nacionālo SEG emisiju prognožu WAM aprēķini (2023. gada iesniegums), plānotie pasākumi veido klimata pārmaiņu samazināšanas pienesumu virs pašreizējā politikas uzstādījuma, to ieviešanai būtu nepieciešami papildus politiskie stimuli.

Aprēķinos izmantotais klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ieviešanas potenciāls plānots tehniski īstenojamā maksimumā jau no pirmā īstenošanas gada (2025. gadā), jo gan starptautiskā, gan ES un nacionālā līmenī ir steidzami jārod risinājums, kā virzīties uz saistošā klimata neitralitātes mērķa sasniegšanu (Calvin et al., 2023).

Pieņemot, ka 3. scenārija pasākumus ievieš visā lauksaimniecības organiskās augsnes platībā Latvijā jeb 158 320 ha (atbilstoši 2022. gada Latvijas Nacionālā siltumnīcefekta gāzu inventarizācijas ziņojuma datiem) katru gadu 6329 ha vienādā attiecībā starp trijiem 3. scenārija pasākumiem, panākams ZIZIMM sektora SEG emisiju samazinājums (3.10. attēls), tomēr SEG emisijas joprojām ir pozitīvas. Respektīvi, ar 3. scenārija pasākumu ieviešanu lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā Latvijā līdz 2050. gadam ZIZIMM sektorā nav nodrošinātas negatīvas SEG emisijas jeb piesaiste (atbilstoši promocijas darbā lietotiem pieņēmumiem).





Avots: autore veidots

**3.10.att. ZIZIMM sektora SEG emisiju prognožu simulācija, pieņemot, ka 3. scenārija pasākumus ievieš visā lauksaimniecības organiskās augsnes platībā Latvijā**

Promocijas darbā nav analizēta politikas plānošanas instrumentu dažādība, bet lēmumu pieņēmējiem ir iespējas izmantot komplicētu instrumentu un stimulu kopumu (Capano & Howlett, 2020), tostarp ES jauno zaļās uzņēmējdarbības iniciatīvu par oglekļa saistīgo lauksaimniecību (European Commission, 2021), lai sasniegtu maksimālo klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ieviešanas tehnisko potenciālu papildus cita veida politikas intervencēm. SEG emisiju prognožu simulācijas rezultāti (3.9. un 3.10. attēls) norāda uz iespēju samazināt ZIZIMM sektora SEG emisijas, mainot lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanu Latvijā, kas potenciāli sniegtu ieguldījumu valsts klimata politikas mērķu sasniegšanā līdz 2050. gadam.

## GALVENIE SECINĀJUMI

1. Latvijas klimata politikas galvenais mērķis – sasniegt klimatneitralitāti, kompensējot nesamazināmās antropogēnās SEG emisijas ar CO<sub>2</sub> piesaisti ZIZIMM sektorā – ir tiešā veidā saistīts ar lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanu, tā sasniegšana var nebūt iespējama bez būtiska lauksaimniecības organiskās augsnes SEG emisiju samazinājuma.
2. Lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas politika veidojas klimata pārmaiņu samazināšanas un lauksaimniecības politikas saskarē, klimata politikai esot iniciējošā lomā. Latvijas politiku organiskās augsnes apsaimniekošanas jomā virza starptautiskās un ES politiskās norises. Lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas politiskā aktualitāte kopš 2013. gada ir nemainīgi augsta.
3. 2012. – 2020. gadā promocijas darbā izvēlētajā lauksaimniecības organiskās augsnes izpētes platībā (aptuveni 30% no kopējās Latvijas organiskās augsnes platības lauksaimniecības zemē) notikušās organiskās augsnes apsaimniekošanas izmaiņas nav ne izteikti veicinājušas, ne izteikti kavējušas klimata pārmaiņu samazināšanu, jo ilggadīgo stādījumu (ogulāji, augļu koki un kārkli) un zālāja (atmata un dažāda veida zālaugi) platības palielināšanās (attiecīgi par 66,1% un 61,9%) vērtējama kā pozitīva, SEG emisijas samazinoša tendence, bet vienlaikus noticis arī pretējais process, par 32,2% palielinoties graudaugu, eļļas augu un kukurūzas platībai, turklāt graudaugu, eļļas augu un kukurūzas platība dominē pēc kopējā īpatsvara.
4. Latvijā trūkst datu par organiskās augsnes apsaimniekošanu, netiek veikts apsaimniekošanas veida monitorings, kas ir būtisks priekšnoteikums mērķtiecīgai klimata pārmaiņu samazināšanas politikas īstenošanai. Gan faktoru, gan klasteru analīzes rezultāti 2012. – 2020. gadam liecina par to, ka ES atbalsts organiskās augsnes apsaimniekošanā nav bijis saistīts ar faktiskajiem agroekoloģiskajiem apstākļiem vai augsnes īpašībām, tādējādi netiek nodrošināts tas, ka organiskās augsnes apsaimniekošanas prakse dotu iespēju virzīties uz valsts klimata pārmaiņu samazināšanas mērķu sasniegšanu.
5. Integrēta MCDA TOPSIS un MACC metožu izmantošana var sekmēt līdzsvarotu un zinātniski pamatotu lēmumu pieņemšanu lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā. Metodes ir relatīvi viegli piemērojamas, nepieciešama salīdzinoši viegli iegūstama ievades datu kopa un tās kompensē viena otras trūkumus. TOPSIS vērtējumā iespējams ietvert sociālo vērtību aspektu, bet MACC metodes sniegtais klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ranžējums nodrošina skaidru sapratni par izmaksu efektivitāti.
6. Gan MCDA TOPSIS, gan MACC metožu pielietošanas rezultāti norāda uz zemes lietojuma veida maiņu izraisītiem klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumiem (apmežošana, agromežsaimniecība, paludikultūra), kā tuvākajiem ideālajam risinājumam, ņemot vērā SEG emisiju samazināšanas potenciāla un ekosistēmu pakalpojumu vērtības kombinēto ietekmi. Tomēr jāuzsver, ka abas metodes ir jūtīgas pret pieņēmumu un SEG emisiju samazināšanas potenciāla datu izmaiņām.
7. SEG emisiju prognožu simulācija norāda uz nozīmīgu klimata pārmaiņu samazināšanas potenciālu, kas Latvijā nav izmantots lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā, bet var dot ievērojamu ieguldījumu valsts klimatneitralitātes mērķa sasniegšanā līdz 2050. gadam, vienlaikus turpinot produktīvu lauksaimniecības zemes ar organisko augsni apsaimniekošanu.
8. Tādējādi promocijas darbam izvirzītā hipotēze – zinātniski pamatota un aprēķinos bāzēta organiskās augsnes apsaimniekošanas lēmumu pieņemšana sekmē Latvijas klimata politikas mērķu sasniegšanu – ir pierādīta, pētījumam izvirzītais mērķis ir sasniegts un noteiktie darba uzdevumi ir izpildīti. Iegūtie pētījuma rezultāti apstiprina, ka kvantitatīvas lēmumu pieņemšanas atbalsta metodes ir efektīvi pielietojamas plānojot izmaksu efektīvu SEG emisiju samazināšanu lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā Latvijā, sekmējot Latvijas klimata pārmaiņu samazināšanas mērķu sasniegšanu.

## PROBLĒMAS UN PRIEKŠLIKUMI TO RISINĀŠANAI

### 1. problēma.

Neskatoties uz lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas nozīmīgo lomu virzībā uz Latvijas klimata politikas mērķu sasniegšanu, Latvijā netiek veikts regulārs lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas un apsaimniekošanas attīstības tendenču monitorings. Nav pieejama aktuāla informācija par to, kā organiskā augsne tiek apsaimniekota, līdz ar to politikas veidotājiem un pētniekiem trūkst bāzes informācijas – attiecīgi politikas lēmumu un pētniecisko priekšlikumu sagatavošanai.

#### **Problēmas risinājuma priekšlikums:**

Lai nodrošinātu regulāru (vēlams ikgadēju) lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas un apsaimniekošanas attīstības tendenču informācijas ieguvu Latvijā, kas dotu iespēju izmantot aktuālu un pilnīgu datu materiālu, savlaicīgi plānot zemes izmantošanas politikas attīstību un nepieciešamo izpēti, būtu nepieciešams:

- 1) **ZM** iekļaut regulāru organiskās augsnes apsaimniekošanas informācijas ieguvu lauksaimniecībā izmantojamo zinātnes pētījumu darba uzdevumos. Iespējams, kā daļu no lauksaimniecības attīstības prognozēšanas sistēmas;
- 2) **ZM sadarbībā ar LAD** nodrošināt lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas informācijas ieguvu un uzturēšanu Lauku reģistra datu bāzē, tādējādi nodrošinot valsts informācijas sistēmu maksimāli efektīvu izmantošanu valstij nozīmīgu problēmu risināšanā, tostarp veidojot un regulāri atjauninot datu bāzi organiskās augsnes apsaimniekošanas analīzei.

### 2. problēma.

Promocijas darba rezultāti liecina, ka Latvijā nav mērķtiecīgas un pētniecības datus balstītas lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas politikas. Līdzšinējie atbalsta pasākumi (pat, ja to mērķis ir mazināt klimata pārmaiņas) nav mērķtiecīgi vērsti uz klimata pārmaiņu samazināšanu lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanā. Turpmāka saimnieciskās darbības attīstīšana lauksaimniecības organiskajā augsnē bez skaidras politikas un mērķtiecīgi vērstiem pasākumiem būtiski kavētu Latvijas klimata politikas mērķu sasniegšanu gan 2030., gan turpmākajos gados.

#### **Problēmas risinājuma priekšlikums:**

Rekomendējama lauksaimniecības organiskās augsnes apsaimniekošanas perspektīvas maiņa orientējoties uz mērķtiecīgāku pārvaldības praksi, izmantojot pētniecības datus, tāpēc nepieciešams:

- 1) **ZM** un tās sadarbības partneriem izvērtēt iespēju Latvijas KLP Stratēģiskā plāna 2023. – 2027. gadam ikgadējā snieguma novērtēšanas laikā papildināt LA 7.1 intervenci “Ieguldījumi meža ieaudzēšanai, nomaīnai, atjaunošanai un retināšanai”, nosakot paaugstinātu atbalsta intensitāti organiskās augsnes apmežošanai (tostarp meža paludikultūrai), tādējādi šo intervenci tieši attiecinot uz SEG emisiju samazināšanu organiskās augsnes apsaimniekošanā;
- 2) **ZM** apsvērt nacionālā atbalsta iespējas klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ieviešanai organiskās augsnes apsaimniekošanā, kā arī, strādājot pie ES standarta oglekļa piesaistes sertifikācijai un ES Dabas atjaunošanas regulas priekšlikuma, uzsvērt Latvijas situāciju organiskās augsnes apsaimniekošanas jomā un iespēju robežās nodrošināt nacionāli identificēto klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ietveršanu dabas atjaunošanas prakšu (*restoration*) un oglekļa saistīgās lauksaimniecības (*carbon farming*) pasākumu kopumā;
- 3) **ZM** un **KEM** ministrijām turpināt un iespēju robežās intensificēt atbalstu nacionālu pētījumu veikšanai par organiskās augsnes SEG emisiju plūsmu dažādu apsaimniekošanas scenāriju gadījumā.

### 3. problēma.

Latvijā SEG emisiju samazināšanas pasākumu ietekmes novērtēšanai un SEG emisiju prognožu scenāriju sagatavošanai netiek izmantotas kvantitatīvas lēmumu pieņemšanas atbalsta metodes un trūkst kvantificētu datu lauksaimniecības organiskās augsnes klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ietekmes novērtēšanai un izmaksu efektivitātes aprēķināšanai.

#### **Problēmas risinājuma priekšlikums:**

Politikas plānošanā rekomendējama lēmumu pieņemšanas atbalsta metožu izmantošana, kas lieto vietēji iegūtus datus par alternatīvu augsnes apsaimniekošanas veidu klimata pārmaiņu samazināšanas ietekmēm, vietējiem apstākļiem raksturīgus agrotehniskos un ekonomiskos, kā arī sociālās ietekmes rādītājus. Atbilstoši promocijas darba secinājumiem, ieteicama vairāku lēmumu pieņemšanas metožu kombinēta izmantošana, piemēram, šajā pētījumā lietoto MCDA TOPSIS un MACC kombinācija, tādēļ ieteicams:

- 1) **ZM** turpmāk, strādājot pie papildus pasākumu izvēles ietveršanai nacionālajos politikas plānošanas dokumentos (ES KLP plānošanas dokumenti, Nacionālais enerģētikas un klimata plāns, atsevišķu apakšsektoru attīstības stratēģijas un citi) **sadarbībā ar nozaru ekspertiem**, lēmumu pieņemšanai izmantot aprobētas lēmumu pieņemšanas atbalsta metodes, piemēram MACC analīzi un MCDA TOPSIS modeli. Regulāri (reizi divos gados, kas sakrīt ar SEG emisiju prognožu sagatavošanas ciklu) nodrošināt lēmumu pieņemšanas modeļos izmantoto rādītāju atjaunošanu atbilstoši aktuālajai sociāli ekonomiskajai situācijai;
- 2) **KEM** izskatīt iespēju papildināt Ministru kabineta 2022. gada 25. oktobra noteikumus Nr. 675 "Siltumnīcefekta gāzu inventarizācijas sistēmas, prognožu sistēmas un sistēmas ziņošanai par pielāgošanos klimata pārmaiņām izveidošanas un uzturēšanas kārtība" ar nosacījumu SEG emisiju prognožu sagatavošanas nacionālās sistēmas dalībniekiem lauksaimniecības un ZIZIMM sektoriem (LBTU un LVMI "Silava") **sadarbībā ar Klimata un enerģētikas ministriju** sagatavojot siltumnīcefekta gāzu prognožu, rīcībpolitiku un pasākumu aprakstu atbilstoši regulas 2018/1999 un regulas 2020/1208, kā arī klimata konvencijas un Parīzes nolīguma prasībām nacionālo ziņojumu un divgadu pārskatu izstrādei, tajā ietvert arī informāciju par klimata pārmaiņu samazināšanas pasākumu ietekmes novērtēšanai izmantotajām lēmumu pieņemšanas analīzes metodēm un to rezultātiem.

## INTRODUCTION

Sustainable development of sectors and the overall economy in today's world is impossible without integrating efforts to reduce climate change in national and sectoral-level development planning documents and actions. Climate change mitigation and adaptation are key challenges for sustainable development in the 21<sup>st</sup> century (United Nations General Assembly, 2015). The concentration of greenhouse gas emissions in the atmosphere has continuously increased since the beginning of the Industrial Revolution in the early 17th century, linked to unsustainable energy use, changes in lifestyle and consumption, as well as unsustainable land use and changes in land use practices, clearly leading to global warming (Calvin et al., 2023). Despite the global political decisions adopted to mitigate climate change and the nationally declared efforts (Nationally Determined Contributions), there is still a gap between the projected volume of greenhouse gas emissions and the goal of the 2015 Paris Agreement of the United Nations Framework Convention on Climate Change to keep the global average temperature increase significantly below 2 °C compared to the pre-industrial levels and strive to limit the rise to 1.5 °C (Calvin et al., 2023). Climate change does not stop at national administrative borders; unified action is necessary. The European Union has identified climate change reduction as one of its main priorities in foreign policy, expressing its commitment to strengthening climate and energy diplomacy (Council of the European Union, 2023). At the same time, the European Union has declared climate change reduction as an internal policy priority, committing to achieve climate neutrality in the European Union by 2050, transforming into a fair and prosperous society with a modern and competitive economy (European Council, 2019).

European Union member states, including Latvia, develop national policy planning documents to determine the direction at the national level towards achieving the common goal of European Union climate neutrality. In 2020, Latvia approved the informative report "Latvia's Strategy for Achieving Climate Neutrality by 2050" (Cabinet of Ministers of the Republic of Latvia, 2020). Considering the observed and projected trends in greenhouse gas emissions, climate change mitigation is acknowledged globally and regionally as highly challenging and impossible without implementing nature-based solutions and involving scientific research. This involves integrated collaboration between researchers in natural and social sciences (Malhi et al., 2020). The required solutions vary for each region and country. Still, both global and European Union climate policy planning documents and Latvia emphasize the significant role of peat or organic soil and the specific management of agricultural organic soil in achieving climate change reduction goals. In Latvia, the management of agricultural organic soil is one of the significant sources of greenhouse gas emissions on agricultural land. Despite occupying approximately 7% of Latvia's agricultural land area, the emissions from organic soil exceed 30% of agricultural land greenhouse gas emissions (LEGMC, 2022b). Although the area covered by organic soil is relatively small, its management is socially and economically significant, impacting approximately 48% of all Latvian rural farms to some extent (Pilvere, 2017). Reducing greenhouse gas emissions caused by the management of agricultural organic soil is crucial for achieving the European Union's climate neutrality goal (European Commission, 2022a). Furthermore, achieving Latvia's climate policy goals is not feasible without proactive and targeted planning and implementing of climate change reduction measures in managing agricultural organic soil (Cabinet of Ministers of the Republic of Latvia, 2020).

Research on agricultural organic soils has seen parallel development in the ecological and economic research domains globally and at the national level. Studies on the ecology and biophysical properties of peat or organic soils have been conducted both worldwide (Hiraishi et al., 2014) and in Latvia (Lazdins et al., 2021; Lazdiņš et al., 2016; Licite & Lupikis, 2020, etc.). However, there has been rare analysis of how the obtained results could be utilized in policy planning and what the implementation potential of recommendations, considering socio-

economic aspects, even though the perspective and challenges of ecological and economic development in the 21<sup>st</sup> century are more intertwined than ever before (Söderqvist, 2011). Scientific research on sustainable development primarily focuses on natural sciences, while economic research often occurs separately from exploring challenges in sustainable development (Polasky et al., 2019). Research in natural sciences demonstrates technological possibilities for sustainable development, including climate change mitigation. However, contemporary society's most significant challenge is ensuring that bio–physically proven innovations are effectively implemented, navigating a complex economic, political, and social environment (Tallis et al., 2018). This complexity may contribute to the ongoing struggle for successful climate change mitigation. Integrating biological sciences and social sciences, along with applying insights from social and human sciences in implementing technological solutions for climate change mitigation, is a way to find truly effective solutions and change societal concepts (Nightingale et al., 2020).

In the decision–making process, including in the fields of climate and agriculture policy, there is a lack of quantified data usage approaches and analysis of social impacts (Will et al., 2020). Policy decisions are often made without sufficient process evaluation, relying on emotionally driven rather than data–driven and calculated conclusions (Huber et al., 2018). This makes the implementation of decisions less effective and formal. In the European Union, measures to reduce greenhouse gas emissions from managing agricultural organic soils are included in the policy planning documents of Sweden, Finland, Denmark, Luxembourg, and Germany. However, the potential for emission reduction is often not quantified (European Commission. Directorate General for Climate Action. & IEEP., 2018), and the scope of implementation and impact on reducing greenhouse gas emissions is unclear. In Latvia, there is a lack of information on cost–effective climate change mitigation measures (Licite & Popluga, 2022a), as well as possibilities for quantifying and ranking the impact of measures. This would enable policymakers to implement scientifically based solutions. Therefore, the author chooses to conduct an in–depth study of the management of agricultural organic soils and climate change mitigation possibilities in Latvia. This involves an integrated analysis of organic soil management's biophysical and socio–economic aspects. The research also proposes a quantitative data usage approach to support decision–making in achieving the goals set for the doctoral thesis.

Based on the assessment of the situation, the scientific **hypothesis** of the doctoral thesis has been formulated – scientifically justified and calculation–based decision–making on the management of organic soils contributes to the achievement of Latvia's climate policy goals. The **objective** of the doctoral thesis is to develop proposals for improving the agricultural organic soil management decision making to promote the achievement of Latvia's climate policy objectives.

To achieve the set objective, the **tasks** are formulated as follows:

- 1) investigate the main theoretical and political aspects of organic soil management in agriculture for mitigating climate change;
- 2) evaluate the practice of organic soil management in Latvian agriculture and identify potentially cost–effective measures for reducing climate change;
- 3) assess and compare the cost–effectiveness of the identified climate change mitigation measures, preparing proposals for decision–making in organic soil management in agriculture.

The research **object** is organic soil in Latvian agriculture, while the research **subject** is the management of the agricultural organic soil for the reduction of climate change.

To fulfil the tasks of the doctoral thesis, the author employs various research **methods**:

- 1) *comparative analysis and synthesis* methods are used to identify and analyze the theoretical aspects of organic soil management in agriculture. This involves utilizing information from scientific sources, policy documents, and normative repositories;

- 2) *graphic and spatial analysis (ArcGIS software)* is applied to analyze organic soil management in Latvian agriculture and reflect the obtained results;
- 3) *statistical analysis methods (correlation, factor, and cluster analysis using IBM SPSS Statistics 26 (Statistical Package for Social Sciences))* are utilized to analyze the correlations between agricultural support policies and organic soil management. This includes determining complex factors that explain the interconnections of different types of organic soil management and categorizing various groups of organic soil based on the impact of these complex factors on management practices;
- 4) *expert interviews* are conducted to select climate change mitigation measures by interviewing leading scientific experts from the Baltic States and Finland. This process considers the potential climate change mitigation contribution and cost-effectiveness of the measures;
- 5) *the multi-criteria decision-making analysis method TOPSIS and the cost-effectiveness analysis method MACC* are employed for the mutual evaluation and ranking of climate change mitigation measures. This also involves assessing the potential impact of these measures on reducing climate change through the simulation of greenhouse gas emissions projections.

The execution of the specified tasks and the achievement of the doctoral thesis's objective involve the use of various **data sources and materials**:

For task execution, scientific publications indexed in international scientific literature databases in agriculture and climate policy, greenhouse gas emission calculations, assessment of the impact of climate change mitigation measures, decision-making analysis, and support areas have been utilized. The exploration of policy and normative environments has relied on sources such as the Official Journal of the European Union (EUR-Lex), the legislative portal of the Republic of Latvia (Likumi.lv), the policy planning information system database (POLSYS) of the Republic of Latvia, and the database of documents and decisions of the United Nations Framework Convention on Climate Change and documents available on various institutions' websites.

To characterize and evaluate Latvia's agricultural organic soil management practices in correlation with received agricultural support, the Rural Support Service of the Republic of Latvia Rural Land Register Information System and the State Plant Protection Service's soil agrochemical research database have been used. For characterizing the agro-technical, socio-economic, and environmental indicators of the implementation of climate change mitigation measures, gross coverage data prepared by the Latvian Rural Advisory and Training Center, publications, market price information from various online sources, the databases of Economics of Ecosystem and Biodiversity, the Ecosystem Service Value Database, and the Republic of Latvia State Treasury discount rate calculator have been employed.

#### **Research Limitations**

Organic soil in Latvia can be found in both agricultural and forest land. In a doctoral thesis, the author analyzes agricultural organic soil, meaning organic soil in agricultural land. There are two types of organic soil – nutrient-rich (minerotrophic) and nutrient-poor (ombrotrophic) organic soil. Nutrient-poor organic soil is mainly found in cultivated peat bogs. In contrast, nutrient-rich organic soil makes up the rest of the agricultural organic soil area, the management of which produces the most significant amount of greenhouse gas emissions. The thesis researches nutrient-rich (minerotrophic) agricultural organic soil, justifying such a choice because this soil group dominates agricultural land in terms of area and the proportion of greenhouse gas emissions generated. The doctoral thesis research was carried out at the national level of Latvia. However, the developed approach to assessing the impact of measures to reduce climate change can also be used at the regional level or in neighbouring countries of Latvia with appropriate adjustments.

#### **Novelty and Scientific Significance**

The doctoral thesis possesses scientific and practical novelty in Latvia. The author has conducted a comprehensive assessment of the impact of climate change on agricultural organic soil and the possibilities for mitigating this impact. With the developed proposals, the author suggests ways to improve decision-making regarding managing agricultural organic soil and encourages further scientific research. Recommendations have been formulated for assessing and prioritising measures to mitigate climate change's impact on agricultural organic soil. This involves using a relatively uncommon quantitative data approach in Latvia and combining innovative decision-support methods. The testing of ecosystem service values in calculating the cost-effectiveness of climate change mitigation measures, utilizing the marginal abatement cost curve method, represents a scientific research innovation in Latvia.

### **Economic Significance**

The results of the doctoral thesis on climate change mitigation measures in the management of agricultural organic soil are practically applicable at both the national and rural farm levels for economic decision-making and development planning.

In the case of non-compliance with national climate policy goals, the country may face financial sanctions, negatively impacting economic development. The implementation of the proposals from the doctoral research, in the author's opinion, could significantly promote the reduction of greenhouse gas emissions resulting from the management of agricultural organic soil and contribute to the achievement of Latvia's climate change mitigation policy goals.

### **Theses Put Forward to be Defended**

- 1) Agricultural organic soil plays a significant role in developing agricultural and climate policies.
- 2) Latvia's agricultural policy in organic soil management is not oriented towards achieving the national climate change mitigation goals. Choosing cost-effective climate change mitigation measures in managing agricultural organic soil is possible.
- 3) Using quantitative decision support methods provides the opportunity to plan cost-effective reduction of greenhouse gas emissions in managing agricultural organic soil, thereby contributing to achieving Latvia's climate change mitigation goals.



# 1. THEORETICAL AND POLITICAL ASPECTS OF AGRICULTURAL ORGANIC SOIL MANAGEMENT FOR CLIMATE CHANGE MITIGATION

The chapter has a volume of 33 pages, including 5 figures and 6 tables. The thesis put forward: *agricultural organic soil holds a special significance in the development of agricultural and climate policies*. In the **first chapter** of the doctoral thesis, an exploration of the phenomenon, distribution, and socio-economic importance of agricultural organic soil is conducted. The focus is particularly on the analysis of policy processes and research results related to the awareness of the impact of agricultural organic soil on climate change and the theoretical aspects of its assessment. The period covered in the analysis of policy processes in the doctoral thesis is from 1994 to 2022. Therefore, the processes related to agricultural organic soil reflect the state of affairs until the third quarter of 2022, providing a comprehensive overview of the situation in the year 2023.

## 1.1. Phenomenon of Agricultural Organic Soil and its Socioeconomic Role

Soil is the largest terrestrial carbon reservoir, with a total accumulation that exceeds three times the above-ground biomass and more than twice the atmospheric carbon pool (Scharlemann et al., 2014), thus even small changes in soil organic carbon accumulation can significantly impact climate change processes (Minasny et al., 2017). Undisturbed peatland ecosystems can be effective carbon sinks, as untouched peat soils contain approximately one-third of the total soil carbon stocks globally (Joosten et al., 2016; Yu et al., 2011). Peatland soil covers about 4 000 000 km<sup>2</sup> (approximately 3%) of the Earth's land area (Clarke & Rieley, 2010), with 80% of it located in the boreal climatic zone (Wieder et al., 2006). Organic soil in the boreal climate zone contains, on average, seven times more organic matter (OM) than mineral soil, while in tropical zones, this ratio is up to ten times higher (Parish et al., 2008). Peatlands simultaneously sequester and accumulate a large amount of carbon in peat form, but they also produce CO<sub>2</sub>, methane (CH<sub>4</sub>), and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions (Gorham, 1991), due to complex aerobic and anaerobic processes dependent on various environmental and climatic conditions, peat chemical composition, and the presence of microorganisms (Couëteaux et al., 1995; Limpens et al., 2008). Different soil management practices in peatland influence the decomposition of accumulated carbon, resulting in increased CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions and reduced CH<sub>4</sub> emissions under aerobic conditions (Kasimir Klemedtsson et al., 2009). Historically, peatland ecosystems have often been drained for peat extraction, later subjected to various land management scenarios, including conversion to arable land and grasslands with organic soil. Drained and agriculturally used peat soils emit approximately 37.5 t CO<sub>2</sub> equivalent (eq.) ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>, which is 60 times higher carbon loss per unit area compared to mineral soil (Leifeld & Menichetti, 2018). Globally, about 13% of peatlands have been transformed into forests, agricultural fields, or peat extraction areas (Säurich et al., 2021). Nowadays, one of the typical methods of organic soil management is agriculture (Nordic Council of Ministers, 2015), and agricultural activities often involve land drainage (Tanneberger, Moen, et al., 2021; Verhoeven & Setter, 2010).

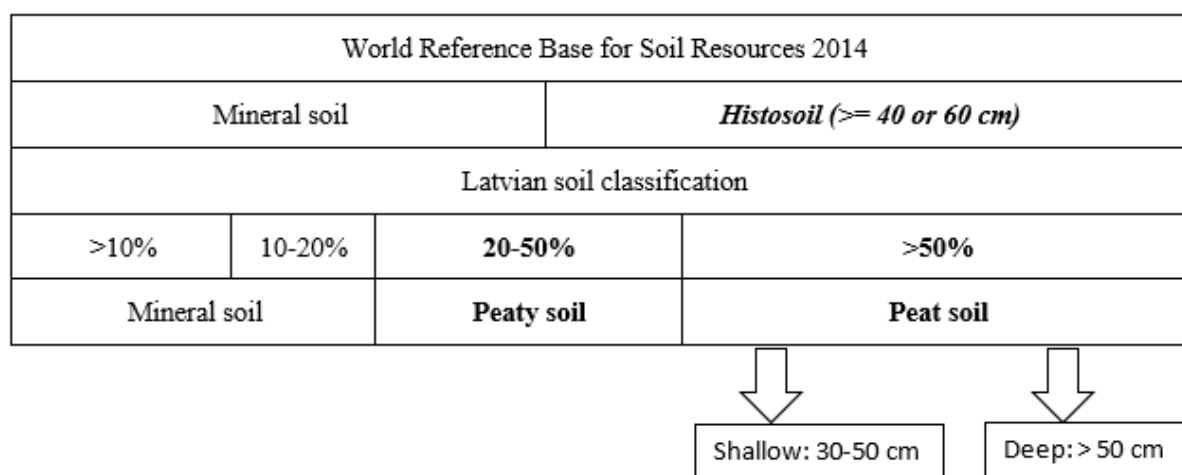
In 2020, the Food and Agriculture Organization (FAO) conducted assessments of the global distribution of organic soil from 1990 to 2019, analyzing data from FAO member countries where organic soil is found. The definition of drained soil in the FAO's 2020 assessments is derived from the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) guidelines, stating that drained organic soil is soil that has been permanently or partially drained for agricultural purposes, including the cultivation of annual or perennial crops, tree plantations, or pastures (Eggleston et al., 2006). It was concluded that in 2019, the total area of drained organic soil worldwide reached 25 million hectares, showing an increasing trend since 1990

when this area was 23 million hectares. Fourteen million hectares of improved organic soil are located in temperate and boreal climatic zone regions in the northern hemisphere, while the remaining areas are mainly in tropical regions in the southern hemisphere (FAO, 2020). Another source indicates an identical global area of drained organic soils for agricultural needs – 25 million hectares, but with slightly different percentage distribution – 60% in the boreal and cool temperate climatic zones, 34% in tropical regions, and 5% in the warm temperate climatic zone, noting that the global emissions volume from these areas annually amounts to approximately one million tons of CO<sub>2</sub> equivalent (915 Mt CO<sub>2</sub> eq. per year), of which 85% of the emissions volume consists of CO<sub>2</sub> emissions, representing approximately 1/4 of the total global agricultural, forestry, and land use CO<sub>2</sub> emissions (Tubiello et al., 2016). According to the FAO's 2020 assessments, the total global emissions of greenhouse gases (GHGs) from drained organic agricultural soil amount to 883 Mt CO<sub>2</sub> eq. of this total, 87% is attributed to CO<sub>2</sub> emissions, and 13% to N<sub>2</sub>O gas. Furthermore, emissions from improved organic soil globally account for approximately 8% of the total GHG emissions generated by agriculture globally (FAO, 2020).

Soil rich in OM, commonly referred to as peat soil, is classified using various definitions in the soil classification systems of different countries (Dunn & Freeman, 2011). Examples include peat soils, bog soils, and organic soils. However, at the international level, according to the FAO soil classification, these soils are most broadly labeled as histosols. A common characteristic of organic soils is their high content of organic material. In the context of climate change, organic soil is significant because, despite its relatively small proportion in terms of land area, it contributes substantially to GHG emissions (Nordic Council of Ministers, 2015). Different soil classification systems are used worldwide, each with its definition of soil rich in OM. Definitions are often adapted for various types of information use. For calculating GHG emissions, a modified methodology based on the World Reference Base for Soil Resources (WRB) is often employed, using the term "organic soil" (Eggleston et al., 2006; Hiraishi et al., 2014). This terminology is also used in the doctoral thesis.

In the 2014 version of the World Soil Classification (IUSS Working Group WRB, 2014) soil rich in OM is encompassed within the basic soil group called histosols. This group is characterized by partially decomposed plant residues with the addition of sand or clay or without it. Histosols are more commonly found in boreal, subarctic, and arctic regions. Globally, the distribution of histosols is approximately 325–375 million hectares, mainly concentrated in the boreal, subarctic, and arctic regions of the Northern Hemisphere. Only a small fraction, about one-tenth of histosols, is found in tropical regions (IUSS Working Group WRB, 2014).

Latvia's soil classification system does not have a direct correspondence with the internationally used World Reference Base for Soil Resources. The development of Latvia's soil classification system has been gradual. Initially, during the large-scale soil mapping from 1960 to 1991, the 1987 "Technical Guidelines for Soil Mapping and Internal Land Valuation for Agricultural Work in the Latvian SSR" were employed (LPSR Valsts Zemes ierīcības projektēšanas institūts Zemesprojekts, 1987). A more recent version of Latvia's soil classification units was published by the Latvia Soil Authority (Kārklīšs, 2009). Latvia's soil classification system identifies three main soil classes, using the dominant soil water regime as the criterion. These classes are automorphic soil, semi-hydromorphic soil, and hydromorphic soil (Kārklīšs, 2009). The differences between Latvia's and the World Soil Classification systems in terms of mineral soils and those rich in OM are shown in Figure 1.1, depending on the depth of organic material occurrence (in centimeters) and the percentage of soil OM.



Source: author's construction based on (Kārklīš, 2016a)

**Fig. 1.1. Separation of soils in mineral soils and organic soil groups in accordance with worldwide and Latvian soil classification systems**

To address specific questions and ensure international data comparability, specially crafted definitions can be used, on which agreement has been reached regarding their application. To solve specific issues, in order to ensure international comparability of data, specially developed definitions can be used, the use of which has been agreed upon. Such an internationally developed definition of soil rich in OM is used in preparing GHG inventory calculations under the United Nations (UN) Framework Convention on Climate Change (Climate Convention) (United Nations, 1992). GHG inventory reports, prepared in accordance with the international agreements of the Climate Convention and its Kyoto Protocol conferences, utilize the methodology or guidelines developed by the IPCC. In the annex to Chapter 3A.5 of the fourth volume of the 2006 IPCC Guidelines on "Agriculture, Forestry, and Other Land Use," the definition of organic soils is provided (Eggleston et al., 2006). The organic soil definition given in the 2006 IPCC Guidelines is based on the 1998 version of the World Soil Classification (FAO, 1998) and generally aligns with the FAO definition, although modification has been made by excluding detailed criteria for the depth of occurrence of organic material, with the aim of creating greater flexibility for the use of national soil classifications (Hiraishi et al., 2014). The 2006 IPCC Guidelines allow the use of national soil classifications, but in such cases, there must be a clearly defined concept of organic soil separation. The definition must be applied in all categories of land use in GHG emission calculations throughout the time series and combined with national emission factors (Eggleston et al., 2006; Hiraishi et al., 2014).

A. Kārklīš (Kārklīš, 2016b), in analyzing the definition of organic soils in GHG emission calculations according to IPCC guidelines, emphasizes that the criteria used by IPCC result in encompassing a much larger set of soils in the organic soil category than what corresponds to the histosols soil main group in the 2014 updated version of the World Reference Base for Soil Resources or the relevant soil in the current Latvian soil classification. This is due to the fact that the criteria in the IPCC guidelines set a lower minimum required  $C_{org}$  quantity (12% compared to 20%) and a lower minimum required soil organic carbon layer thickness (10 cm compared to 40 cm) (Kārklīš, 2016b). Considering A. Kārklīš' identification of the correspondence of organic-rich soils to the current World and Latvian soil classifications and the defined organic soil definition in the IPCC guidelines (Kārklīš, 2016a, 2016b), Figure 1.2 provides a schematic approximation of this correspondence.

World Reference Base for Soil Resources 2014		
Mineral soil	<i>Histosols</i>	
Latvian soil classification units according to determinant of 2009		
Mineral soil	<b>Peaty/semi – hydromorphic soil</b>	<b>Peat/ hydromorphic soil</b>
<b>IPCC 2006 guideline`s definition of organic soil</b>		
Mineral soil	<b>Nutrient – rich organic soil</b>	<b>Nutrient – poor organic soil</b>

Source: author`s construction based on (Kārklīņš, 2016a, 2016b)

**Fig. 1.2. Compliance correlations of soils rich in organic material among World, Latvian and IPCC guidelines definition**

The IPCC guidelines specify that soil rich in OM, depending on whether it is ombrotrophic or minerotrophic, can be classified into two broad soil groups – nutrient-rich soil (minerotrophic conditions) and nutrient-poor soil (ombrotrophic conditions) (Hiraishi et al., 2014). In cases where precise data on the distribution of organic soil, including the division into nutrient-rich and nutrient-poor organic soil, are not available for a country, moderate climate zone countries are advised, as good practice, to assume that all organic soil is nutrient-rich (Hiraishi et al., 2014). This recommendation ensures that an inappropriately low volume of GHG emissions is not calculated. In the 2006 IPCC guidelines, a classification of climate zones is specified for use in GHG emission calculations, according to which Latvia falls into the cool temperate moist climate zone (Eggleston et al., 2006). In the doctoral thesis, an assessment of the possibilities for mitigating climate change in the management of nutrient-rich (minerotrophic) organic soils in agriculture is carried out.

In Europe, the distribution of organic soil is geographically uneven. A higher concentration of organic soil is observed in the northern part of Europe (Tanneberger et al., 2017). The total area covered by organic soil (with a peat layer >0) in Europe is estimated to be approximately 1,000,000 km<sup>2</sup>, which is almost 10% of the land area (Tanneberger, Appulo, et al., 2021). The distribution is mainly influenced by climatic conditions over the last 10,000 years, including precipitation levels and temperature regimes. Higher summer temperatures and lower precipitation amounts determine lower distribution indicators in the respective regions (Van Diggelen, 2018). In European Union (EU) countries, peat soil occupies approximately 7.7% (241 812 km<sup>2</sup>) of the total area, mainly concentrated in the northern, eastern, and central parts of the EU. In some countries, GHG emissions from managed organic soil constitute more than a fifth of the national total emissions (Tanneberger et al., 2017). Nearly one-third of the organic soil area in Europe is found in Finland, and more than one-quarter is in Sweden. Poland, the United Kingdom, Norway, Germany, Ireland, Estonia, Latvia, the Netherlands, France, Lithuania, Hungary, Denmark, and the Czech Republic also have significant areas of organic soil (Montanarella et al., 2006).

In Latvia, the assessment of the distribution of organic soil is hindered by both the lack of current soil cartographic information and the inconsistency between the national and internationally used soil classifications. The State Uniform Geospatial Information Portal provides geospatial information about Latvian agricultural soil, which was digitized from soil mapping materials prepared between 1960 and 1991 (LR Zemkopības ministrija, 2020). Organic soil in Latvia has formed in areas where the groundwater level has been or is naturally elevated, covering the majority of Latvia's agricultural soil (approximately 1.5 million hectares). Consequently, the soil, rich in OM, was subjected to drainage activities between 1966

and 1985 (Sauka et al., 1987). The drainage and regular agricultural practices such as soil cultivation, liming, and fertilization have led to a gradual mineralization of OM, resulting in a reduction of both soil OV content and the thickness of the organic material layer (Tanneberger et al., 2022). As a consequence of the ongoing mineralization processes, areas where peaty and peaty–gley soils were identified during the soil mapping until 1991 might no longer exhibit these soil types (Kārklīņš, 2016a). In 2021, a project funded by the Norwegian Financial Mechanism (2014 – 2021) under the program "Mitigation of Climate Change, Adaptation to Climate Change, and the Environment" was initiated to improve information about the soil used in Latvian agriculture (LR Zemkopības ministrija, 2021). This project, among other objectives, includes mapping the distribution of peat soils. Therefore, by 2024 (the project's scheduled completion time), more accurate information about the actual distribution of hydromorphic soils in Latvia is expected. However, the actual distribution of semi–hydromorphic soils, will remain unclear.

In situation where current cartographic information about the distribution of organic soil in Latvia is unavailable, but there is reason to believe that the current distribution differs from that recorded in historical map materials (Kārklīņš, 2016a), research has been conducted to model the present distribution. With state support for agricultural science projects in 2016, the Latvian State Forest Research Institute "Silava" (LVMI Silava) conducted a scientific study "Improvement of the Greenhouse Gas Emission and CO<sub>2</sub> Sequestration Accounting System Resulting from the Management of Arable Land and Perennial Grasslands and Development of Appropriate Methodological Solutions." The study analyzed available data in digital soil maps, surveyed National Forest Inventories statistically representative sample plots with organic soil (corresponding to digitized historical soil map materials), and conducted soil analyses to determine compliance with the IPCC guidelines' definition of organic soil. The study also identified the distribution of organic soil in arable land and grasslands by interpolating data series and determining changes in the area of organic soil in arable land and grasslands from 1990 to 2014 (Lazdiņš et al., 2016; Petaja et al., 2018). The results of the study, using extrapolation methods since 2018, have been utilized in the preparation of Latvia's National GHG Inventory reports, confirming the assumption of the mineralization process of organic soil. From 1990 to 2018, the area of organic soil in arable land and grasslands (according to the National GHG Inventory Report land categories) decreased by 18.86%, from 195.1 thousand hectares in 1990 to 158.3 thousand hectares in 2018. In 2018, organic soil in Latvia occupies 6.3% of the total agricultural land (arable land and grassland) area (LEGMC, 2020).

One of the phenomena in organic soil is the disproportion of area concerning the volume of GHG emissions generated by the management of this soil. The GHG emissions from managed organic soils are one of the major sources of GHG emissions in agriculture, land use change, and forestry (ALUCF) sectors in many European and Asian countries (Drösler et al., 2008; Tiemeyer et al., 2020; F. Tubiello et al., 2016). It is also noteworthy that emissions from arable land and grassland, according to IPCC guidelines, are calculated and reported both in the agriculture sector (N<sub>2</sub>O) and Land Use, Land–Use Change, and Forestry (LULUCF) sector (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>). In European countries where organic soil covers approximately 3% of the agricultural land area, the emissions from the management of this soil contribute to over 50% of the total emissions from agricultural land management (Nordic Council of Ministers, 2015). Globally, emissions from the management of drained organic agricultural soils account for 2 – 5% of total anthropogenic GHG emissions (Joosten, 2009; Leifeld & Menichetti, 2018). Despite the significance and proportion of GHG emissions from organic soil management in EU countries, emission calculations are still approximate, and emissions are not reported with sufficient accuracy (Holmberg et al., 2023). Calculation deficiencies are linked to insufficient information, insufficient detail in activity data, and inappropriate or low–quality emission factors (Houghton et al., 2012; Tubiello et al., 2016). In Latvia, the volume of GHG emissions from the management of agricultural organic soils, similar to EU countries, is disproportionately large compared to its area and constitutes over 30% of total emissions from

agricultural activities in the national GHG inventory in the agriculture and LULUCF sectors (LEGMC, 2020).

The socio-economic role of organic soil is relatively underexplored; however, planning any management changes without evaluating socio-economic and political influences can not be sustainable. In political and scientific discussions, the economic importance of organic soil management is often discussed in terms of soil protection. This includes practices such as raising groundwater levels or excluding organic soil from management. There is a general discussion about protecting tropical peat soils in the context of land-use change and initial land use restoration (Joosten, 2009; Leifeld & Menichetti, 2018; Smith et al., 2014). At the EU level, there is a current debate on the protection of soils rich in OM, aiming to reduce the impact of management and addressing issues like flooding (elimination of drainage systems or water level raising through other means) as a management practice that could reduce CO<sub>2</sub> emissions (European Commission, 2018b). Against this background, the economic aspects of organic soil management, including economic impacts of excluding this soil from agricultural production, are less explored. However, globally, potential increases in agricultural production costs and food price hikes have been discussed (Hasegawa et al., 2018; Humpenöder et al., 2020). Studies in Scandinavian countries acknowledge the economic significance of agricultural organic soil for many landowners and local communities, where soil management is a primary or one of the main sources of income (Kløve et al., 2017). It is emphasized that the sufficient and relatively constant moisture in this soil acts as a mitigating factor against the risk of crop failure during dry periods. Additionally, as the organic soil mineralizes, it releases nutrients, reducing the need for nitrogen mineral (Kløve et al., 2017). The attitude of landowners toward possible changes in the management of agricultural organic soil to support climate policy goals is not extensively studied. However, a study in Germany indicates a reserved attitude, suggesting that compensation for economic losses would be necessary for implementing management changes. The amount of compensation could vary depending on technological possibilities, agricultural productivity in the region, and the potential overall impact on the affected organic soil area (Schaller et al., 2011). A survey of interested groups in the UK indicates a general understanding of the need for changes in the management of agricultural organic soil. However, there is no consensus on whether organic soil use in agriculture should continue or if active management of these areas should be discontinued (Rawlins & Morris, 2010).

An inclusive and neutral assessment of the economic impacts of organic soil management is essential for planning policy measures using objective economic calculations. Such calculations have been conducted at the level of individual countries, for example, in the UK. However, a study conducted in 2013 is published with strict limitations, including a high level of assumptions and simplifications, which render the results suitable for educational purposes but not for policy planning (Graves & Morris, 2013). It is also crucial to consider that it has been demonstrated that for every economic, environmental, and social benefit associated with reducing GHG emissions, there are specific negative side effects. Ignoring these side effects hinders the achievement of a holistic, sustainable approach (Harrison et al., 2021). During the development of doctoral thesis, there is currently no available estimation of how much food is globally or at the EU level produced by managing organic soil and what the economic and social consequences of discontinuing this production might be.

Considering the territorial distribution of organic soils and their impact on GHG emissions, an economic assessment of soil management has been conducted in Latvia. In the 2017 study titled "Estimation of the Contribution of Organic Soils in Latvian Agriculture", a collective of authors from Latvia University of Agriculture (renamed as Latvia University of Life Sciences and Technologies (LBTU) from September 1, 2022) evaluated the productivity of organic soils in Latvia. This evaluation involved integrating digitized historical soil cartographic information, Rural Support Service (RSS) data at the land parcel level, and Agricultural Data Center data on animal holdings. The data were analyzed according to the national soil classification, distinguishing between hydromorphic and semi-hydromorphic

soils. Since the study uses historical cartographic information, the mineralization processes that likely affected semi-hydromorphic soil are not taken into account. Analyzing the results of the study allows to conclude that, although the management of organic soils does not contribute significantly to the overall agricultural production value of Latvia at the national level (approximately 4%), its socio-economic role at the individual farm level could be significant. This is because the presence of organic soils, according to historical cartographic material, has been identified in almost half of Latvia's farm holdings (approximately 48%). At the individual farm level, constraints or changes in the management of organic soils could have significant implications.

## **1.2. Theoretical Aspects of Climate Change Impact Assessment and GHG Emission Reporting Procedures**

To assess the impact of climate change on agricultural organic soils, it is necessary to understand the biological processes that generate this impact and how to reliably and internationally comparable quantify the potential effects.

Plants, during the process of photosynthesis, capture carbon dioxide from the atmosphere and nitrogen from the soil, thereby creating OM that forms both aboveground and belowground biomass, as well as dead plant parts and soil OM. The reverse process occurs during plant respiration processes, breaking down dead plant parts and OM in the soil, and in combustion processes – CO<sub>2</sub> and non-CO<sub>2</sub> gases such as CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O are released into the atmosphere (Hall & Rao, 2001). These processes are natural and have occurred and continue to occur independently of human involvement, but anthropogenic activities intensify them. The management of agricultural organic soils triggers processes that create CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions (OM mineralization and N<sub>2</sub>O emissions related to drainage), which would not occur or would occur much more slowly without anthropogenic influence (Smith et al., 2014). The IPCC Special Report on LULUCF (Watson et al., 2000), mentions, concerning terrestrial ecosystems, that human or anthropogenic activities may result in a negative net biomass productivity, indicating an annual net carbon loss to the atmosphere, affecting climate change processes. The intensity of CO<sub>2</sub> uptake and release processes in a particular ecosystem is determined by the climatic conditions of the ecosystem (processes occur more rapidly in warmer conditions), nutrient availability, water saturation, and the presence of oxygen (Conchedda & Tubiello, 2020; Eggleston et al., 2006). Under aerobic conditions (presence of oxygen), CO<sub>2</sub> predominates in the breakdown processes of OM, while under anaerobic conditions (absence of oxygen), CH<sub>4</sub> emissions dominate (Moore & Knowles, 1989).

Determining and planning for the reduction of GHG emissions to address climate change goals requires more than theoretical knowledge about the amount of GHG emissions produced by organic soil areas and the biological processes that influence these emissions. A systematic account of GHG emissions and an internationally harmonized approach for countries to calculate and regularly report generated GHG emissions are necessary (Gulluscio et al., 2020). Countries that are UN members and Parties to the Climate Convention calculate and report anthropogenic GHG emissions according to the IPCC methodology or guidelines approved at the Conferences of the Parties to the Climate Convention (United Nations, 1992). Parties listed in Annex I of the Climate Convention (countries listed in Annex I of the Convention, including the European Union), in accordance with the decision 24/CP.19 of the Conference of the Parties (Conference of the Parties, 2013), use the 2006 IPCC Guidelines (Eggleston et al., 2006) for GHG emission calculations. These Parties are encouraged to use the 2013 IPCC Supplement to the 2006 Guidelines for Wetlands (Hiraishi et al., 2014) as well. However, it's important to note that the use of this supplement is not formally approved or binding, as it has not been endorsed by the Conference of the Parties to the Climate Convention. The guidelines approved in Annex I of the decision 24/CP.19 also govern the preparation of annual GHG inventory reports and

national communication documents of Parties listed in Annex I of the Climate Convention. The use of unified IPCC and Conference of the Parties guidelines for GHG emission calculations and reporting ensures mutual comparability of the results obtained, which is essential for climate policy planning. It also ensures adherence to the basic principles of GHG inventory preparation: transparency, consistency, comparability, completeness, and accuracy (Conference of the Parties, 2013).

In accordance with how the GHG inventory report is structured as per the annex to the decision 24/CP.19 of the Conference of the Parties to the Climate Convention, the GHG emissions resulting from organic soil management in agricultural land are reported in two sections or sectors of the GHG inventory report: (1) the sector of Agriculture (Section 3 of the Common Reporting Format) and (2) the LULUCF sector (Section 4 of the Common Reporting Format). Following IPCC guidelines, emissions of N<sub>2</sub>O resulting from organic soil management in agricultural land are calculated and reported in the sector of Agriculture, while CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emissions are reported in the LULUCF sector.

The general principle of calculating GHG emissions according to IPCC guidelines involves two main components for determining GHG emission volume: activity data and emission factors. In the case of organic soil, these components are:

- 1) activity data – the area of organic soil in the respective year;
- 2) emission factors – the volume of CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> gases that arise per unit area (ha) during the year corresponding to the available data.

Both globally (Friedlingstein et al., 2020; Scharlemann et al., 2014; Smith et al., 2014; Tubiello et al., 2015), and at the EU level (Petrescu et al., 2020), it is acknowledged that there is significant uncertainty (+/-50%) in the calculated GHG emissions from the agriculture organic soil in LULUCF sector. This uncertainty is attributed to insufficient and low-quality activity data, as well as imprecise emission factors (lack of nationally developed GHG emission factors) and inadequate technical capabilities and knowledge for data acquisition, including institutional aspects. The uncertainty for national-level data is not as pronounced as it is in the case of regional and global data aggregation and analyses. Additionally, uncertainty and data gaps are more pronounced for developing countries compared to developed ones (Tubiello et al., 2016). Often, countries choose not to address the reduction of uncertainty in the LULUCF sector due to insufficient data and modeling resources. This can lead to a situation where planned GHG emission reduction actions in the sector correspond to the uncertainty level (McGlynn et al., 2022). A similar situation is observed with reported organic soil emissions in the sector of Agriculture. These findings highlight the need to work on improving the quality and availability of data for GHG inventory.

Latvia's obligations for regular GHG emission and CO<sub>2</sub> sequestration reporting are determined by the commitments it has undertaken by adopting and approving the Climate Convention in Latvia (LR Saeima, 1995). Additionally, each EU member state assumes responsibilities for GHG emission calculation, reporting, and accounting in line with their commitments. The preparation of national GHG inventories, forecasts, and related reports in Latvia is regulated at the level of the Cabinet of Ministers, specifying the areas of responsibility for various involved institutions (LR Ministru kabinets, 2022). National GHG inventory is prepared annually for the period from 1990 to year  $x - 2$ , where  $x$  is the year when the GHG inventory is submitted to the European Commission (EC) and the Secretariat of the Climate Convention. According to Cabinet of Ministers regulations in the field of GHG inventory, the calculations for GHG emissions in the LULUCF sector are prepared by the Latvian State Forest Research Institute "Silava", while for the sector of Agriculture, it is done by the LBTU.

In Latvia, until the National GHG Inventory Report submission for the year 2021, a Tier 1 approach was used for calculating GHG emissions from organic soils in the LULUCF sector. This approach involves multiplying activity data (organic soil area) by default IPCC guidelines GHG emission factors. The data on organic soil areas in agricultural land were obtained using historical cartographic material for agricultural soils (LR Zemkopības ministrija, 2020) and the



results of nationally conducted studies (Lazdiņš et al., 2016). In Latvia's 2021 National GHG Inventory submission, nationally derived GHG emission factors (Licite & Lupikis, 2020) were used for calculating GHG emissions from organic soils in the LULUCF sector and the sector of Agriculture. Since these national organic soil emission factors are calculated as average values, without considering the dynamic environmental factors, future research would need to integrate environmental factors. Common challenges in preparing GHG emission calculations for organic soils, which can also be related to agricultural soil, include insufficient data, primarily concerning environmental measurements that would enable the preparation of nationally derived emission factors that dynamically encompass environmental impacts (as opposed to average values), as well as a lack of data on shallow and deep-drained soils (Jauhiainen et al., 2019).

The methodological approach used for forecasting GHG emissions does not differ from that employed in the preparation of annual GHG inventory reports (LEGMC, 2021b). However, a crucial component of GHG emission forecasting is not only the calculation of emissions but also the methods used to assess the impact of existing and planned climate change mitigation measures outlined in climate policies and planning documents. This evaluation is essential for preparing scenarios necessary for policy planning. In EU countries, there is a lack of quantitative data and approaches in the preparation of GHG emission forecasting scenarios. Qualitative data and descriptions still dominate, helping to understand the impact of climate change mitigation measures but lacking the ability to analyze the full spectrum of indicators, identify expected challenges, and explore opportunities needed for scientifically substantiated political decision-making (Dauwe et al., 2019; European Environment Agency, 2018).

Indicators (e.g., environmental, agronomic, socio-economic) considered in the scenario preparation process can significantly differ in their scope and detail. Latvian normative and policy documents do not mandate the use of decision support methods for the preparation of GHG emission forecasting scenarios. Consequently, these methods are not utilized when preparing the annual informative report on the fulfillment of commitments related to GHG emission reduction and carbon dioxide sequestration, as indicated by nationally conducted studies (Gancone, 2022). These studies emphasize that decision support methods would certainly be applicable in cases where the informative reports reveal that national climate change reduction targets have not been achieved.

In the author's opinion, the use of decision support methods for evaluating climate change mitigation measures and preparing and analyzing scenarios for GHG emission projections could be beneficial in the regular processes of the Agriculture and LULUCF sectors, not only in cases where climate change reduction targets have not been met.

### **1.3. Agricultural Organic Soil within the Context of Climate and Agricultural Policies**

The historical development of climate and agricultural policies has been shaped by long-term and complex interactions, both converging and diverging, in accordance with the prevailing political trends of specific periods. However, since the beginning of the 21st century, there has been an unmistakable convergence, with active promotion at the international level (UNFCCC, 2015), as well as at the EU and national (Member States) levels, of integrating climate policies into all sectoral policies (European Parliament, 2021). Agriculture policy is by no means an exception; rather, it particularly facilitates the integration of climate policies in the agricultural sector. This is because the sector receives public funding from the EU Common Agricultural Policy (CAP), which ensures the existence of policy instruments and opportunities for implementing policies, including those related to public interests such as environmental and climate issues, in the agricultural production process.

The origins of climate policy are linked to the Climate Convention adopted on May 9, 1992 (United Nations, 1992). The regulatory framework of climate policy encompasses a

complex set of international, EU-level, and national political decisions, defining the respective levels of regulation and common policy objectives, including at the sectoral level. It also establishes specific requirements and rules for reporting and accounting for GHG emissions and CO<sub>2</sub> sequestration. These data are further used to assess the possibilities and directions for achieving the set climate policy goals. In the context of the doctoral theses, the author considers the international level of climate policy to be the level of the UN member states.

Internationally, climate policy objectives are based on the principles outlined in the UNFCCC and the resulting international agreements (such as the Kyoto Protocol and the Paris Agreement), which specify how countries have agreed to move toward achieving these objectives. Given the global nature of climate change, globally implementable solutions are necessary. The Climate Convention is the first international climate policy document with its own framework and implementation mechanisms. The convention's goal is to reduce GHG concentrations in the atmosphere to a level that prevents dangerous anthropogenic interference with climate processes (United Nations, 1992). The Climate Convention emphasizes the factor of anthropogenic climate change impacts, which are reported, recorded, and influenced through all resulting regulations in various ways.

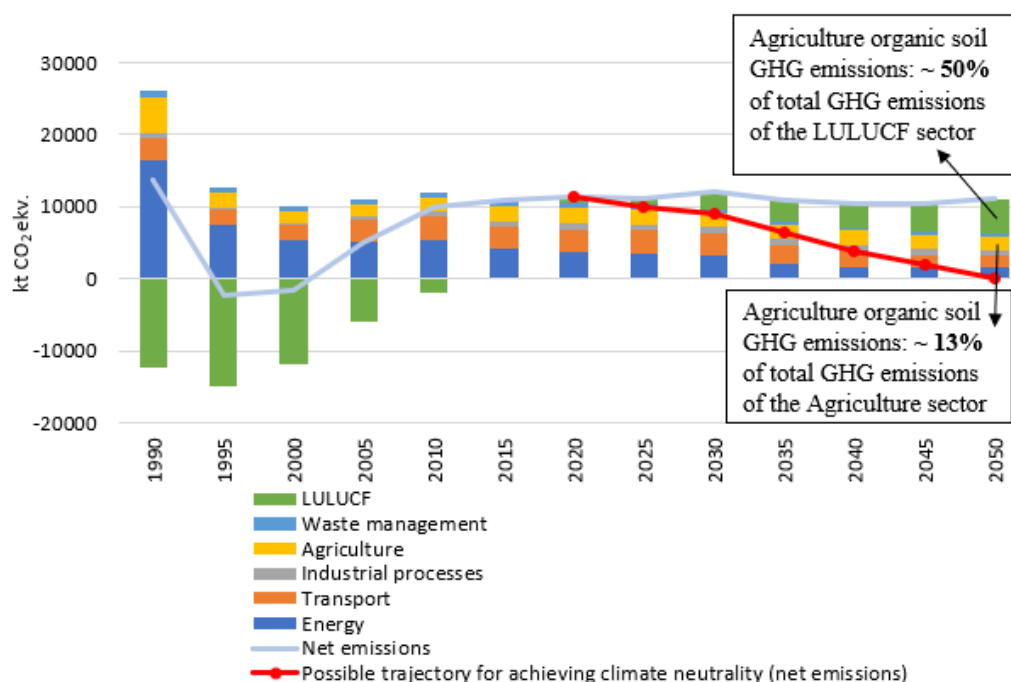
To understand the significance of agricultural land in climate policy, the author analyzes the goals and development of climate policy at international, EU, and national levels. In 1997, the Kyoto Protocol was adopted for the implementation of the Climate Convention (UNFCCC, 1997). This protocol set specific emission reduction targets for developed countries or countries listed in Annexes 1 and 2 of the Climate Convention for two periods (from 2008 to 2012 and from 2013 to 2020). The legal regulation of climate change policy at the international level after 2020 is shaped by the Paris Agreement, which was approved by UN member states on December 12, 2015, replacing the Kyoto Protocol after its expiration. The Paris Agreement's primary goal is to keep the global average temperature increase significantly below 2 °C compared to pre-industrial levels, with an additional aim to limit the increase within 1.5 °C (UNFCCC, 2015). Concerning land management, the Paris Agreement establishes a specific sub-goal for achieving the overarching objective defined beforehand. It sets a common commitment for the second half of the 21<sup>st</sup> century to achieve a balance between anthropogenic GHG emissions and CO<sub>2</sub> sequestration, essentially meaning that all anthropogenic emissions should be offset by CO<sub>2</sub> sequestration, with 100% originating from the LULUCF sector (UNFCCC, 2015). While the Kyoto Protocol imposed binding climate targets only on developed countries, the Paris Agreement assigns climate goals to all countries based on the level of contribution each country has defined in its nationally determined contributions (NDCs). In the Paris Agreement, the EU member states collectively commit to reducing GHG emissions by at least 40% by 2030 compared to 1990 levels, and a reduction of 80–95% by 2050. As the EU moves towards climate neutrality, these efforts are reflected in the updated information in the climate change mitigation contribution report. Emissions generated from organic soils are included in the overall effort to achieve the specified goals, varying only in their national significance based on the area occupied. To achieve the internationally set goals, the EU establishes internal regulations for climate policy.

In 2018, the EU presented a public strategic vision document titled "A Clean Planet for All!" (European Commission, 2018a), reflecting the EC's vision for achieving European climate neutrality by 2050. The strategic vision outlines various scenarios toward climate neutrality, emphasizing an 80–100% net reduction in GHG emissions. Building on the guidelines of "A Clean Planet for All!", the EU continued its efforts in 2019 to review climate policy goals and introduced the Communication on the Green Deal (European Commission, 2019). The main objective of the Green Deal is to steer towards climate neutrality, envisioning Europe as the world's first climate-neutral part. The updated GHG emission reduction target for 2019 stipulates that all GHG emissions generated by the EU must be compensated by CO<sub>2</sub> sequestration by no later than 2050. Furthermore, this must be achieved at the European level (domestically) without relying on external markets. In 2021, the commitments expressed in the

Green Deal communication were reinforced with the enactment of the EU Climate Law (European Parliament, 2021). This law includes a target of a 55% reduction in GHG emissions by 2030 compared to 1990 levels and the goal of achieving EU climate neutrality by 2050. The GHG emissions from the Agriculture sector are linked to biological processes, including the management of organic soils. Therefore, considering the available and developing technologies, it is not entirely possible to avoid these emissions. This aspect has been taken into account when establishing the EU's 2050 climate neutrality target (European Union, 2020). To practically implement the provisions of the EU Climate Law, on July 14, 2021, the EC published the "Fit for 55" communication document, outlining the revision of EU regulations to align with the goals set in the EU Climate Law. This revision includes the review of regulations in the non-ETS (non-Emission Trading System) and LULUCF sectors. In the non-ETS sector (which includes agriculture), Latvia's GHG emission reduction target has been increased from -6% reduction against the 2005 level to a -17% reduction (European Parliament, 2023c). In the LULUCF sector, Latvia has been assigned a target of achieving -644 kt CO<sub>2</sub> eq. sequestration by 2030 (European Parliament, 2023b). However, in a report prepared by Latvia's Ministry of Climate and Energy in 2023, it is assessed that achieving both the -17% non-ETS sector target and the LULUCF sector target is deemed impossible, necessitating additional policies and measures (LR Klimata un enerģētikas ministrija, 2023).

The main national-level documents for Latvia's climate policy commitments and implementation planning are as follows: 1) the Latvia's Strategy for Achieving Climate Neutrality by 2050, approved by the Cabinet of Ministers in 2020. The overarching goal of this strategy is to achieve climate neutrality in Latvia by 2050, compensating for the non-reducible anthropogenic GHG emissions through CO<sub>2</sub> removal in the LULUCF sector; 2) the National Energy and Climate Plan for Latvia for the period 2021 – 2030, developed in 2020 and subject to update in 2023/2024. This plan integrates and reflects Latvia's climate and energy policy commitments, outlining the planned measures for their implementation; 3) the Latvia's Climate Change Adaptation Plan until 2030, approved by the Cabinet of Ministers in 2019, which includes various measures for adapting to climate change.

The objective of the Latvia's Strategy for Achieving Climate Neutrality by 2050 is to attain climate neutrality by compensating for non-reducible anthropogenic GHG emissions through CO<sub>2</sub> removals in the LULUCF sector. This goal is directly linked to the management of organic soils in agriculture. In Latvia, almost 100% of GHG emissions from agricultural land in the LULUCF sector are associated with the presence of organic soils. The net GHG emission balance in the LULUCF sector is determined by the sum of GHG emissions and CO<sub>2</sub> removals (both GHG emissions and CO<sub>2</sub> removals are reported and offset each other). This implies that each ton of GHG emissions in the LULUCF sector needs to be offset by a ton of CO<sub>2</sub> removals to achieve net CO<sub>2</sub> removals for compensating non-reducible anthropogenic GHG emissions in other sectors. Figure 1.3 reflects the trajectory of Latvia's climate neutrality goal (Latvia's Strategy for Achieving Climate Neutrality by 2050) and the proportion of GHG emissions from agricultural organic soils in the LULUCF sector and the sector of Agriculture' projected GHG emissions in 2050 — namely, 50% and 13%, respectively. This indicates that achieving Latvia's climate neutrality goal is likely not possible without a substantial reduction in GHG emissions from agricultural organic soils.



Source: author's construction using Latvian Strategy for Achieving Climate Neutrality by 2050, figure 5 "Latvia's total GHG emissions (until 2017) and GHG projections (2018 – 2050) in the scenario "with existing measures"(1990 – 2050)" and Latvia's "with additional measures" scenario of the GHG projections prepared in 2023 for the LULUCF sector (Ministry of Climate and Energy of Latvia, 2023)

**Fig. 1.3. The target trajectory of Latvia's climate neutrality goal and the projected agricultural organic soil GHG emissions in 2050**

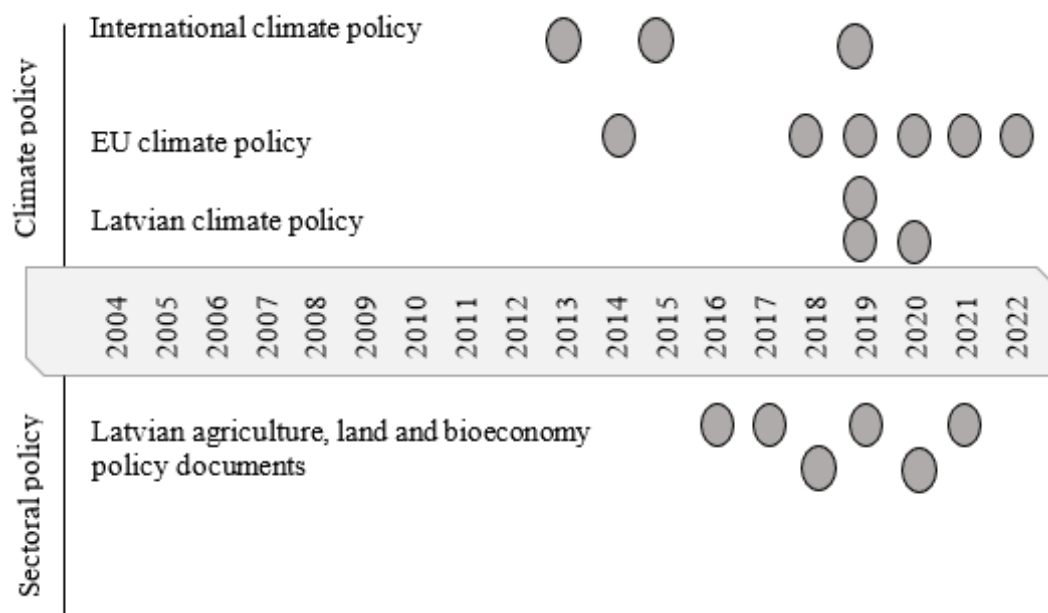
Considering the significance of the LULUCF sector in achieving Latvia's Climate Neutrality Strategy by 2050, Ministry of Climate and Energy, in collaboration with Ministry of Agriculture, in accordance with the delegation in paragraph 28 of the protocol No.36 of the Cabinet of Ministers meeting on April 27, 2021, aims to develop an informative report on the progress of the LULUCF sector towards climate neutrality in 2023. The preparation of the report is carried out in collaboration with experts from scientific institutions. The integrated use of decision-makers' practical experience and theoretical insights from science is the most effective way of planning sustainable policies (O'Connor et al., 2019), which can be implemented by achieving a balance between the assessments provided by mathematical models and other quantitative calculations and the opinions of local interest groups, whose decisions are likely to impact (Hemmerling et al., 2020; Kiskaddon et al., 2023).

To explore when the issue of organic soil in agriculture emerged and how it is reflected in the international, EU, and national policy document hierarchy in climate and agriculture policies, the author conducts a detailed analysis of policy and regulatory documents (34 documents) during the research period from 1992 to June 30, 2022.

The results of the analysis of international-level documents indicate that the topic of organic soil has gained significance gradually. The trend started in 2013 when IPCC guidelines first included emission factors for GHG emissions from organic soil (Hiraishi et al., 2014). In 2019, the IPCC emphasized the importance of this soil group in achieving climate policy goals (Shukla et al., 2019), thus internationally marking the direction of the development of agricultural organic soil management policies. From the summary of the analysis of EU-level documents, it is concluded that the issue of agricultural organic soil was brought to attention in 2014 (with the inclusion of the LULUCF sector in EU climate targets and the setting of specific, individually binding emission reduction targets for Member States). This occurred a year after the "default" emission factors for organic soil first appeared in international GHG emission calculation guidelines. Therefore, political changes at the EU level appear to be driven by

international processes. Starting in 2014, agricultural organic soil is explicitly mentioned in all analyzed EU–level documents. Results of the analysis of documents at the national level in Latvia indicate that the connection between organic soil management and climate change mitigation policies in climate and agricultural policy documents becomes apparent starting in 2016. Given the document preparation process in Latvia (Ministru kabinets, 2021), this can be considered an immediate response to the international attention in 2013 and the EU–level attention in 2014. In Latvia, the issue of organic soil was initially addressed in land management and bioeconomy documents, and only in 2020 was the significance of emissions generated by organic soil management highlighted in the context of Latvia's climate change mitigation policy, specifically in the Climate Neutrality Strategy by 2050.

The author has compiled the results of the analysis of climate and agricultural policy documents at the international, EU, and national levels in Figure 1.4, which graphically represents the most significant documents analyzed, mentioning agricultural organic soil in chronological order. The figure indicates the initial emphasis on the issue of organic soil in international climate policy, followed by changes in EU climate policy and Latvian documents related to land management policy with a one–year interval. With the publication of the EC's announcement "European Green Deal" in 2019, the question of agricultural organic soil has been addressed in all thematically related EU and Latvian climate policy documents, as well as becoming a focal point in Latvia's agricultural policy.



Source: author`s construction based on policy documents analyzed in the doctoral theses

**Fig.1.4. Graphic representation of international, EU and Latvian national level climate and agricultural policy and regulatory documents, which mention agricultural organic soil, according to their topic and time of approval in 1992 – 2022**

However, despite the awareness of the impact of organic soil management on climate change at the national level and the emphasis on the issue in political and regulatory documents, no specific climate change mitigation measures related to organic soil in agriculture have been identified in Latvia during the research period. National documents highlight the need for research on organic soil, primarily concerning the acquisition of distribution mapping data. To investigate the national research conducted on organic soil and identify the necessary research, the author analyzes Latvia's policy and regulatory documents, as well as the research needs mentioned in national GHG emission reporting and projections documents from 2000 to 2022. The results of this analysis are summarized in Figure 1.5.

Analized documents	How many times is the need for research mentioned in the documents	Research need
Latvian climate and agricultural sector policy and regulatory documents, as well as documents related to GHG emission reporting and projections	8	1) cartographic information on the distribution of organic soilkartogrāfiskā informācija par organiskās augsnes izplatību
	5	2) identification of land management practices reducing GHG emissions and assessment of the impact on mitigating climate change
	4	3) monitoring and research of agricultural soil
	4	4) research on biological processes in organic soil and modelling of GHG emissions and activity data
	4	5) methodological improvements for assessing carbon changes in organic soil

Source: author`s construction based on normative and policy documents analyzed in the doctoral theses and Latvian national GHG inventory and projections documents (LEGMC, 2019, 2021a, 2021b, 2022a; Ministry of Agriculture of the Republic of Latvia, 2021)

**Fig.1.5. Agricultural organic soil research needs identified in Latvian policy, regulatory and GHG emission reporting and forecasting documents in 2000 – 2022**

Among the research needs, the most frequently mentioned is the necessity to obtain and update geographically referenced information on the distribution of organic soil (mentioned in 8 documents). Another common research need is the identification of measures to reduce GHG emissions (mentioned in 5 documents) and the assessment of their potential impact. Simultaneously, research needs such as agricultural soil monitoring and study, exploration of biological processes in organic soil, modeling of GHG emissions, and methodological improvements for determining carbon sequestration in organic soil are also highlighted (see Figure 1.5). At the national level, there is no identified need to conduct a socio-economic impact assessment of organic soil management in agriculture and monitoring of management changes. However, these research areas can be considered partially encompassed within the research needs related to assessing the impact of GHG emission reduction measures and soil monitoring.

In 2023, the EU's political agenda includes the development of several documents related to the management of agriculture organic soil. One significant component of the EU Biodiversity Strategy for 2030 (European Commission, 2020a) is the establishment of a unified EU nature restoration regulation through the adoption of the Nature Restoration Regulation. This law, a regulation by the European Parliament and the Council on nature restoration, aims to set legally binding nature restoration targets for all EU member states and obliges them to develop national nature restoration plans, including for the management of agricultural organic soil. The EC proposed the regulation in June 2022 (European Commission, 2022a), and a general approach was reached in the European Council on June 20, 2023 (European Council, 2023), specifying the further progress of the Nature Restoration Regulation, including provisions related to the restoration of agricultural organic soil in amount of 50% of the area by 2050 (restoring at least half of the area by raising the groundwater level). Examples of nature restoration measures provided in Annex 7 of the proposal include establishing paludiculture or agroforestry systems in agricultural organic soil, among other measures. The proposal for the Nature Restoration Regulation, as published by the EC in June 2022, is taken into account in subsection 3.3 of the doctoral thesis, where an analysis of the cost-effectiveness of climate change mitigation measures is conducted to make informed decisions about the implementation area of climate change mitigation measures in Latvia.

## 2. MANAGEMENT EVALUATION AND MANAGEMENT IMPROVEMENT POSSIBILITIES OF AGRICULTURAL ORGANIC SOIL IN LATVIA

The chapter consists of 23 pages with 6 tables and 5 figures. The thesis proposed: *Latvia's agricultural policy in managing organic soil is not directed towards achieving the goals of reducing climate change at the national level. It is possible to choose cost-effective measures for reducing climate change in the management of agricultural organic soil.* In the **second chapter**, an assessment of organic soil management in Latvian agriculture is carried out for 2012 – 2020. Based on the obtained evaluation, climate change mitigation measures for managing agricultural organic soil that are suitable and potentially cost-effective for Latvian conditions are selected for further exploration in the third chapter of the thesis.

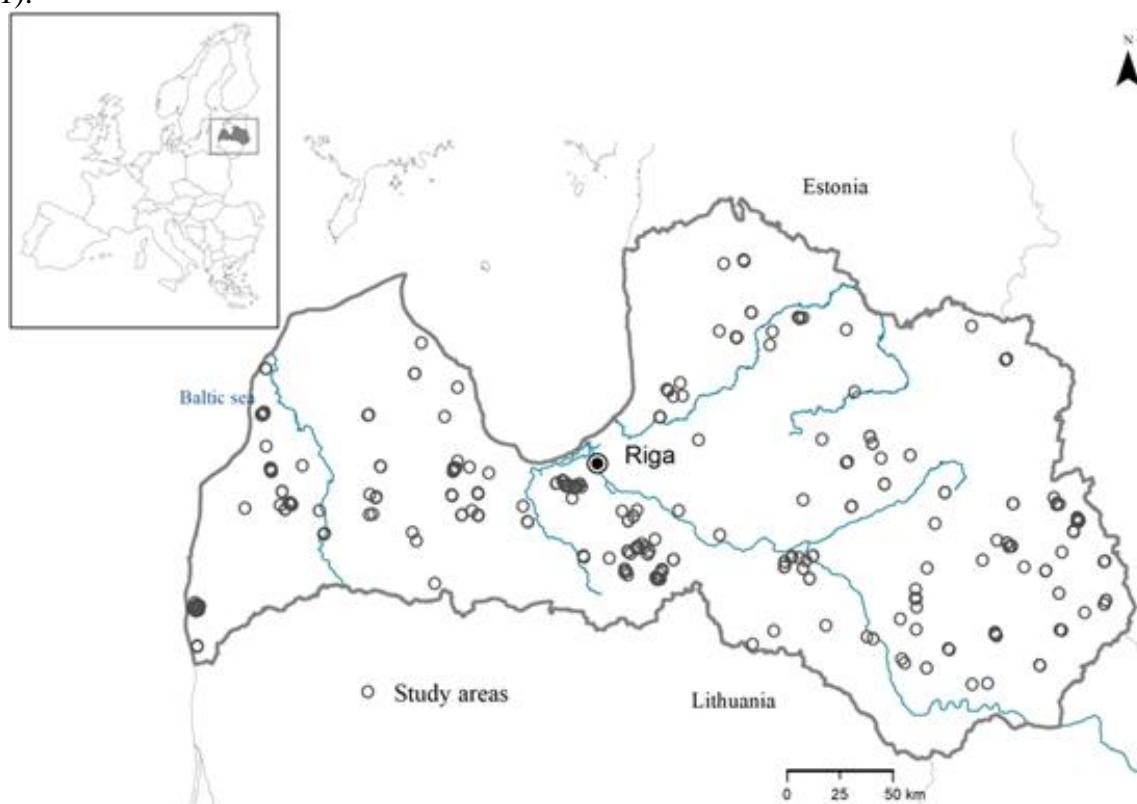
### 2.1. Characteristics of Agricultural Organic Soil Management

Despite the significance of GHG emissions from agricultural organic soil in Latvia's pursuit of climate policy goals (as detailed in subsection 1.3), regularly obtained, published, and analyzed data on the management of organic soil in Latvia are not available. Scientific research data on this subject are sporadic, with researchers acquiring them through short-term research projects. A similar situation is observed at the EU level. Data on the management of agricultural organic soil in a specific year and changes in management practices over the years—such as land use type (arable land or grassland), cultivated agricultural crops, yields obtained, fertilizer doses used, etc.—are either unavailable or incomplete (Minasny et al., 2023). However, studies indicate a pronounced heterogeneity in management practices, ranging from highly productive systems in the Netherlands to mixed intensive and extensive management approaches in the northern part of Europe (Buschmann et al., 2020).

The author aims to characterize the practice of managing organic soils in Latvian agriculture, as well as analyze the interconnections between agricultural support policies and the management of organic soils in agriculture (subsection 2.2 of the thesis). For further analysis, the author has compiled a dataset describing organic soils in agriculture by obtaining information from two databases maintained by Latvian state institutions: 1) RSS Rural Land Register Information System for the administration of agricultural and rural support policies, state and EU support measures, and 2) State Plant Protection Service (SPPS) soil agrochemical research database. Data were collected for the years 2012 – 2020, with cadastral numbers used as unique identifiers. The year 2012 is the first year for which information related to EU-supported activities is available in digital format in the RSS database. The author justifies the choice of using state information system databases (RSS and SPPS databases) for data collection by noting that during the development of the thesis, there was no up-to-date cartographic information available in Latvia on the distribution of organic soils in agriculture (the available geospatial information is based on soil surveys from 1966 to 1985 (LR Zemkopības ministrija, 2020). However, for the characterization of management practices, a geographically referenced dataset is necessary, including information on both the type of organic soil management and the type of state and EU support received, as well as other agronomic and geographic indicators of the area. Studies (Lazdiņš et al., 2016) suggest that information obtained from historical soil digital databases regarding the distribution of organic soils should be treated with caution because some of the agricultural organic soils mapped from 1966 to 1985 have mineralized, and the situation in nature no longer corresponds to the cartographic material. The integrated use of RSS and SPPS database information allows the analysis of areas where the presence of organic soils has been laboratory proven (identified soil types: Tz, AT, VGt, E2Pv, Vkg, AG, Pgv, Tp, E1Pv, Pg) based on field surveys (SPPS

agrochemical research), as well as data on management and the type of EU support received (RSS Rural Land Register information).

The research area for the characterization of organic soil management in agriculture covers the entire territory of Latvia. The study areas are evenly distributed throughout the country and correspond to the points of the SPPS agrochemical research in organic soil (Figure 2.1).



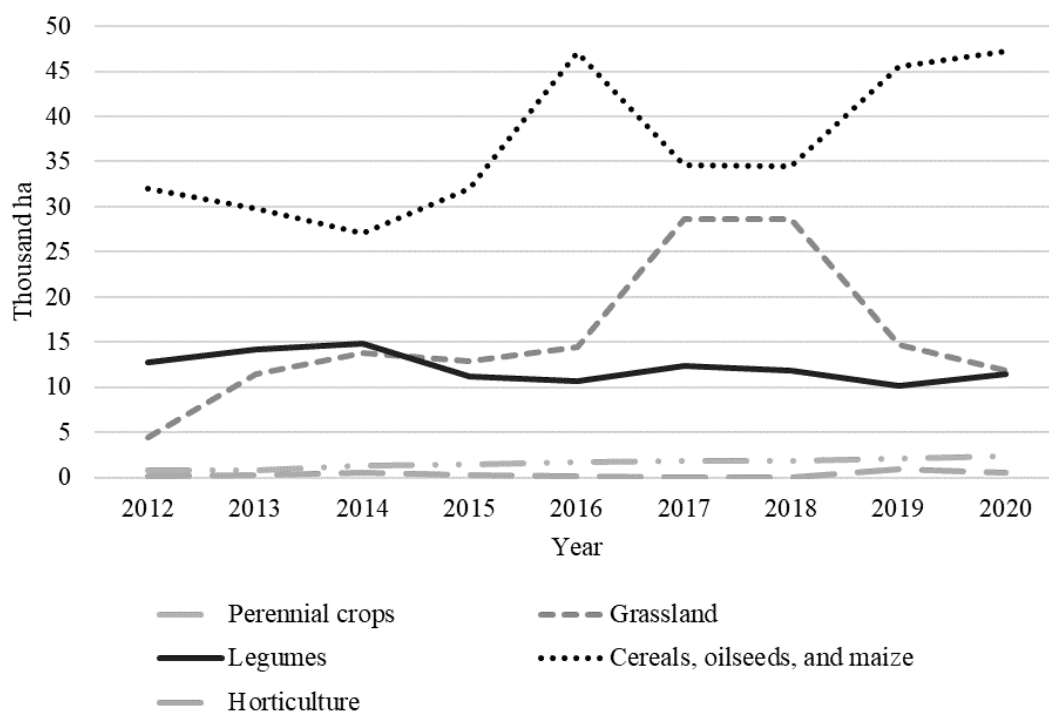
Source: author's construction based on unpublished data for 2012 – 2020 from the SPPS soil agrochemical research database

**Fig.2.1. Distribution of the study areas of agricultural organic soil management characteristics research in Latvia in 2022**

The initial dataset was narrowed down by imposing research constraints, excluding areas where the soil carbon content shows threshold values and areas lacking any of the indicators or where the indicator values are zero. As a result, a dataset consisting of 2,547 entries was created, representing approximately 30% of Latvia's agricultural land with organic soils (48,900.57 ha) – if the reference size is based on the reported area of organic soils for the year 2020 in the Latvia National GHG Inventory (166,800 ha) (LEGMC, 2022b). However, it should be noted that the actual proportion of the analyzed area could be larger, as the reported area of organic soils in the inventory has not been field-verified and could include areas where mineralization processes have already occurred.

To characterize the management of organic soils in Latvian agriculture, the author, utilizing the prepared dataset, conducts spatial and graphical analysis. Spatial analysis is performed using ArcGIS software, grouping agricultural crops into four subgroups according to the IPCC international guidelines on the preparation of national GHG inventories (Eggleston et al., 2006) for the impact of cultivated crops on climate change. The grouping is done from the lowest impact group (1) to the highest impact group (5): (1) perennial crops; (2) grassland; (3) legumes; (4) horticulture; (5) cereals, oilseeds, and maize. The spatial analysis aims to visually depict and analyze changes in the management of organic soils over time (2012 – 2020) and across regions (57 districts in Latvia). To better describe the results of the spatial analysis (Figure 2.3), a graphical interpretation is provided (Figure 2.2).





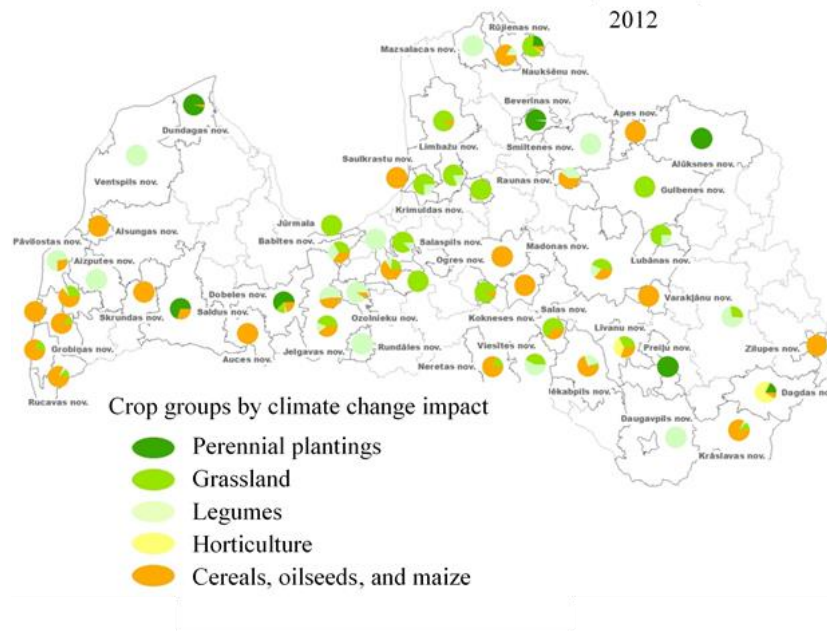
Source: author's construction based on unpublished data for 2012 – 2020 from the RSS Rural Land Register Information System for the administration of agricultural and rural support policies

**Fig.2.2. Dynamics of agricultural organic soil management in Latvia in 2012 – 2020**

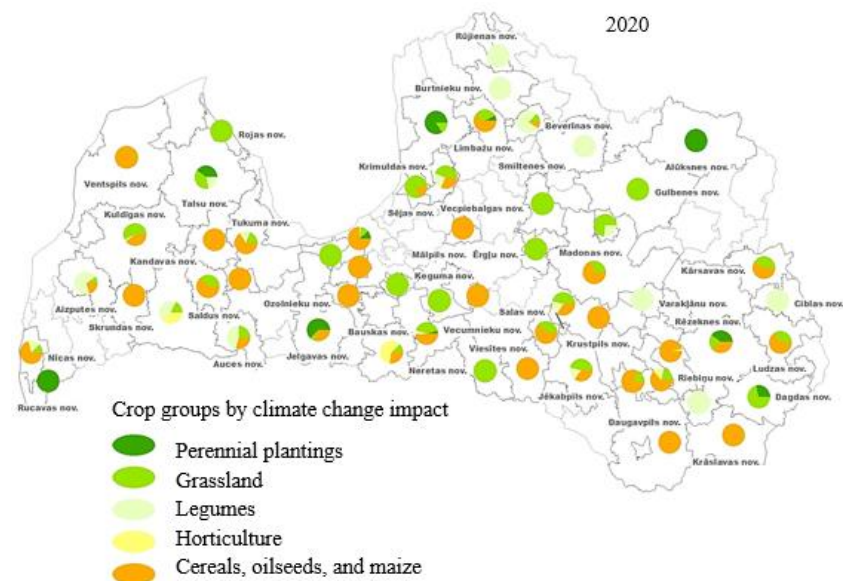
The graphical analysis indicates relatively small changes in management from 2012 to 2020. However, the total area of organic soils receiving EU support increased by 31% during the study period. This growth could be explained by general trends in agricultural development in Latvia. Latvia's accession to the EU in 2004 and adoption of the euro in 2014 supported the dynamic development of agriculture (OECD, 2019), with the most significant increases observed in cereal and dairy production. The managed agricultural land area increased by 9.1% from 2010 to 2020 (Central Statistical Bureau of Latvia, 2022). Consequently, it is logical that the area of managed organic soils also increased. A more detailed analysis of organic soil management in agriculture reveals an increase in production areas for (1) grassland and (2) cereals, oilseeds, and maize. These two systems together constitute the majority of the area (24% and 55%, respectively). The increasing trend in grassland area may be explained by the development of the beef cattle sector, while fluctuations in 2017 and 2018 may be linked to the 2017 milk price crisis and the growth of large commercial farms, leading to the closure of small domestic farms (Pilvere et al., 2020). Considering the impact of the identified agricultural crop groups on climate change (according to (Eggleston et al., 2006)), the increase in perennial crop (orchards and berries) and grassland areas (including pastures and various types of grasslands) by 66.1% and 61.9%, respectively, is viewed as a positive trend with emission-reducing effects. At the same time, there has been a contrary trend, with a 32.2% increase in the area of cereals, oilseeds, and maize, dominating in terms of total proportion. Thus, the author concludes that the changes in the management of organic soils within the study area from 2012 to 2020 have not distinctly contributed to or hindered climate change mitigation. However, since the study area covers approximately 30% of Latvia's total organic soil area in agricultural land, the analysis of changes in land management from 2012 to 2020 is more suitable for identifying trends than making general conclusions about the overall situation in Latvia.

To conduct the spatial analysis of the selected dataset during the chosen nine-year period in the thesis research, the data are grouped into administrative territorial units (57 districts) and visualized in map form using ArcGIS software (Figure 2.3). Data for the years 2012 and 2020 are chosen for visualization because they represent the beginning and end years of the research

period selected for the characterization of organic soil management in agriculture in the thesis. This choice allows for the visualization of changes that occurred over the nine-year period.



a) the share of agricultural crop groups by area in the study of the characterization of organic soil management in Latvia in 2012



b) the share of agricultural crop groups by area in the study of the characterization of organic soil management in Latvia in 2020

Source: author's construction based on unpublished data for 2012 – 2020 from the RSS Rural Land Register Information System and SPSS soil agrochemical research database

**Fig.2.3. Spatial representation of the area share of agricultural crop groups in administrative compartments of Latvia in 2012 and 2020**

Although spatial analysis does not reveal a clear management connection with regions or specific administrative territories, certain trends can be observed in individual regions. For example, in the northern part of Latvia, perennial plantings, grass, legumes are more prevalent. This could be explained by the region's relatively uneven relief, lower soil fertility, and suitability for cattle farming (Zvirbule & Andersons, 2018). In contrast, central and southern

Latvia is more characterized by crop farming systems, including the cultivation of cereals, oilseeds, and maize in organic soil. An assessment of organic soil management in Latvian agriculture from 2012 to 2020, conducted in the thesis, indicates that Latvia has untapped potential for climate change mitigation through organic soil management. The results of the assessment align with the findings of the only previous study on the use of organic soil in Latvian agriculture conducted in 2017 where grains and oilseeds were identified as the second most common management scenario, but historical trends were not explored, and a different dataset was used for the assessment (Pilvere, 2017). The lack of a systematic scientific evaluation of organic soil management in agriculture hinders effective climate change policy planning due to a lack of information on the actual methods of organic soil management. Another obstacle to obtaining quality data is the current lack of cartographic information on the distribution of organic soil in agricultural land (Donlan et al., 2016; Kekkonen et al., 2019; Pilvere, 2018; Roßkopf et al., 2015; Wittnebel et al., 2021). The question of the availability of current cartographic information becomes increasingly significant in relation to political processes, such as: 1) the EU CAP conditionality system for 2023 – 2027, requires geographically linked information on the distribution of organic soil for the implementation of wetland and peatland protection requirements (Latvijas Republikas Zemkopības ministrija, 2023); 2) the EU Biodiversity Strategy for 2030 (European Commission. Directorate General for Environment., 2021) and EC's proposal for the Nature Restoration Regulation, which, as of July 12, 2023, was approved by the European Parliament in the first reading (European Parliament, 2023a), establishes binding national targets for organic soil management in agriculture. The realization of binding and financially demanding political objectives requires up-to-date, accurate, georeferenced information obtained using a mutually comparable methodological approach.

## **2.2. Interconnections between Agricultural Support Policy and Agricultural Organic Soil Management**

In this subsection, a detailed analysis of the dataset of organic soil in agriculture, created by the author (described in Section 2.1), continues. The purpose is to assess the mutual impact of agricultural support policies and the management of organic soil.

As identified in subsection 1.3 of the thesis, during the implementation period of the EU CAP from 2014 to 2020 in Latvia, no support measures directly related to the management of organic soil in agriculture were established. Analyzing the dataset of organic soil in agriculture created for the research in Chapter 2 of the thesis, it was found that between 2012 and 2020, fifteen different types of support were received. The most frequently received types of support include: 1) the single area payment; 2) payment for agricultural production in areas with unfavorable natural conditions that are not mountainous regions; 3) support under the Rural Development Program measures "Agri–environment and climate" and "Organic farming"; 4) various voluntarily related support types; and 5) payment for young farmers. The thesis does not evaluate the amount of support received in monetary terms but rather analyzes whether there is a correlation between changes in the type of organic soil management from 2012 to 2020 and the type of support received. The analysis utilizes IBM SPSS Statistics 26 software (*Statistical Package for Social Sciences*) and applies factor and cluster analysis methods:

- 1) Principal Component Factor Analysis was utilized to determine the relationships between various features of organic soil management practices. The aim was to extract factors that could explain these relationships;
- 2) Cluster Analysis was employed to identify distinct groups or clusters of organic soil receiving EU support based on the complex, descriptive factors influencing the type of management.

The **factor analysis**, first introduced by Charles Spearman in 1909 (Bartholomew, 1995) encompasses two main types: exploratory and less commonly used conformity methods, employed for hypothesis testing (Kline, 2008). In the thesis, an exploratory factor analysis method was applied. Factor analysis elucidates correlations by identifying hidden or latent factors that determine and explain these correlations. In other words, factor analysis determines whether variables  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  are linearly related to a smaller number of directly unobservable factors  $F_1, F_2, F_3, \dots, F_k$  (Mooi et al., 2018). The key steps in executing factor analysis (Izenman, 2008) are as follows: 1) data set creation; 2) construction of correlation matrices (providing an approximate view of variable groups) and performing Bartlett's test of sphericity to determine the suitability of the data set for factor analysis; 3) conducting the Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) test to assess data adequacy for factor analysis. High KMO values ( $0.5 \geq 1.0$ ) indicate suitability. Data is considered unsuitable if  $KMO < 0.5$ ; 4) determination of the number of factors and rotation to eliminate cross-loading; 5) interpretation of factor structure using computed factor loading indicators, determining the strength of linear relationships between variables and factors. A factor loading is considered high if it exceeds 0.6 (the positive or negative nature of the value is irrelevant), moderately high if it surpasses 0.3, and not usable if it is  $< 0.3$  (Kline, 2008).

Twelve variables characterizing the land units contained in the research dataset are used for the factor and cluster analysis (Table 2.1).

Table 2.1

**Description of variables characterizing the land units contained in the LAD and VAAD agricultural organic soil research dataset in 2012 – 2020**

<b>Variable</b>	<b>Description of variable</b>
Land use	cropland, grassland, perennial planting (0–20 years), perennial planting (20–40 years), horticulture, fallow, overgrown agricultural land
Soil moisture conditions	normal, periodically moist, moist, dry
Terrain	flat terrain, undulating terrain, slight slope – weak erosion, steep slope – moderate to strong erosion, very steep slope
Stoniness	no stones, rare stones, stony, isolated stone piles, isolated large stones, numerous stones of various sizes
Soil organic carbon content	value %
Soil pH <sub>KCl</sub>	value in the range from $< 4.6$ to $> 6.5$
Cultivation degree	low, medium, high
Soil type	peat and peaty soil according to the Latvian national classification
Land value	land value in relative units from $< 10$ to $> 60$
Type of received support	EU support types
Agricultural crop	agricultural crop (e.g., perennial crops, grassland, horticultural crops, cereals, overgrown areas)
Support area	hectares

*Source: author's construction based on unpublished data for 2012 – 2020 from the RSS Rural Land Register Information System and SPSS soil agrochemical research database*

RSS and SPSS organic soil datasets for each of the study years (2012 to 2020) are organized into a two-dimensional matrix. The first column corresponds to the selected 283 land units, and the remaining columns contain the values of the 12 variables (Table 2.1) for the respective years. Thus, the rows of the table characterize the studied object (selected land units).

The suitability of the created data matrix for factor analysis was assessed by performing the Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) and Bartlett tests. The KMO test yielded a value of 0.785, and the result of the Bartlett test (Sig. = 0.000) indicates that the dataset is suitable for factor analysis (KMO test result exceeds 0.5). The dispersion of indicators characterizing land units can be explained by complex factors, and 79% of the variance in the analyzed indicators is caused by these factors. For the selection of explanatory complex factors in factor analysis (value  $\geq 1$ ), the Varimax orthogonal rotation method was employed. Factor analysis was conducted for each of the study years (2012 to 2020). However, as no significant differences were observed between the years, the dataset for the year 2020 was used for describing the results.

Ensuring that the dataset is suitable for factor analysis, an initial factor intercorrelation matrix was created, and the results of the initial factor correlation analysis were obtained (Table 2.2).

Table 2.2

**Multivariate correlation results for variables of agricultural organic soil land units selected for research in Latvia in 2020**

Variable	Positive correlation (0,01 level (2-tailed))			Variables with very strong correlation (>0,6)
	Weak (0,1 – 0,3)	Medium (0,31 – 0,5)	Strong ( $\geq 0,51$ )	
<b>Number of correlating variables</b>				
Land use	1	1	3	Terrain
Soil moisture conditions	4	1	3	Stoniness; Terrain
Terrain	4	1	3	Land Use; Soil moisture conditions; Stoniness
Stoniness	4	1	3	Soil moisture conditions; Terrain
Soil organic carbon content	0	4	2	nav
Soil pH <sub>KCL</sub>	4	0	2	Cultivation degree
Cultivation degree	5	0	2	Soil pH <sub>KCl</sub>
Soil type	0	0	0	-
Land value	5	0	0	-
Type of received support	1	0	0	-
Agricultural crop	1	0	0	-
Support area	3	0	0	-

Source: author's construction

The multivariate correlation analysis indicates that the most significant positive correlations ( $\geq 0.51$ ) are observed between land use, soil moisture conditions, terrain, and stoniness - each of these variables with three other variables. The strongest correlation is between terrain, land use, soil moisture conditions, and stoniness. Soil type feature shows no correlation with the other variables, while received support shows a slight negative correlation with four analyzed variables, moderate negative correlation with two, and weak positive correlation (-0.276) with one variable - cultivated crops. Received support does not correlate with soil type and land value indicator, which could be because the support provided is unrelated to land evaluation or soil type.

Using factor analysis, the variables were grouped into 4 complex factors that explain 68% of the total data variance, while the remaining 32% is explained by other factors. Each selected factor consists of variables whose factor loading is greater than 0.5. Hidden, latent influences

exist among the interrelated variables within these complex factors. The complex factors, the variables included in them, and the factor loadings of the variables (after applying rotation) are presented in Table 2.2.

Table 2.2

**Factor analysis results for variables of agricultural organic soil land units selected for research in Latvia in 2020**

Variable (explained, %)	Factor load
<b>1. factor. F1 Agroecological Conditions (26.1%)</b>	
Land use	0.79
Soil moisture conditions	0.89
Terrain	0.90
Stoniness	0.85
<b>2. factor. F2 Soil Quality (20.9%)</b>	
Soil organic carbon content	0.81
Soil pH <sub>KCl</sub>	0.88
Cultivation degree	0.87
<b>3. factor. F3 Land value (10.6%)</b>	
Soil type	-0.51
Land value	-0.54
Support area	0.74
<b>4. factor, F4 Support (10.5%)</b>	
Type of received support	0.54
Agricultural crop	0.89

Source: author`s construction

The first complex factor, *Agroecological Conditions*, explains 26.1% of the relationships among variables characterizing organic soil units selected for the study. This is the complex factor with the highest number of combined features, incorporating 4 variables that describe the agroecological situation – terrain, soil moisture conditions, stoniness, and land use. The highest factor loads are found for terrain (0.90) and soil moisture conditions (0.89). The second complex factor, *Soil Quality*, accounts for 20.9% of the variance and includes indicators characterizing soil quality such as organic carbon content, soil pH KCl, and cultivation degree. All indicators have high positive factor loads, above 0.8. The third complex factor, *Land Value*, explains 10.6% of the variance and includes indicators of soil type, land value, and support area. Two of the indicators (soil type and land value) in the third complex factor correlate negatively, which could be explained by the fact that the values of land value and soil type indicators are not updated, using historical data that likely no longer characterize the actual environmental situation. The fourth complex factor, *Support*, explains 10.5% of the variance and consists of two indicators – the type of received support and the agricultural crop, with high and positive factor loads of 0.54 and 0.89, respectively.

Thus, it can be observed that the first complex factor, *Agroecological Conditions*, has the highest explanatory capacity and the highest positive factor loads. Meanwhile, the second factor, *Soil Quality*, is not far behind in terms of impact. This could indicate that the most significant indicators characterizing organic soil units selected for the study are related to the agroecological conditions of the land area and soil quality, with relatively less apparent connections to land assessment indicators and received support.

Using the complex factors obtained through factor analysis, a **cluster analysis** was performed to identify distinct groups or clusters of organic soil units selected for the study based on the influence of complex factors characterizing the management type. With the help of

cluster analysis, elements (organic soil units selected for the study)  $n$ , based on their properties (indicators characterizing soil units)  $p$  ( $p > 0$ ), are grouped into internally homogeneous but mutually distinct clusters  $k$  ( $k > 1$ ). The aim is to have homogeneous clusters in their average properties, meaning that objects with maximally similar features are grouped together within a cluster, while clusters are heterogeneously different from each other. The number of clusters is determined using the Elbow method, resulting in the identification of 5 clusters indicating how the organic soil units selected for the study are grouped. The smallest number of soil units in one of the clusters (the second one) is 3, suggesting that this cluster might be considered more as an exception than a cohesive group. ANOVA analysis indicates that the most significant complex factors in the separation of clusters are F2 Soil Quality and F3 Land Value, which have significantly higher F values.

Table 2.3

**Cluster analysis results for agricultural organic soil land units selected for research in Latvia in 2020**

Factor	Cluster 1 (n=225)	Cluster 2 (n=3)	Cluster 3 (n=9)	Cluster 4 (n=12)	Cluster 5 (n=20)
	Cluster Center Relative Values				
F1 Agroecological Conditions	0.018	1.246	-0.534	-0.922	0.401
F2 Soil Quality	0.259	0.555	-2.202	-3.299	-0.022
F3 Land value	-0.096	-4.339	-1.143	-0.195	2.363
F4 Support	-0.166	0.279	2.757	-0.744	1.026

Source: author's construction

The first cluster is characterized by both positive and negative cluster center values. In this cluster, the largest number of land units are grouped – 225 units. The cluster is characterized by good soil quality and agroecological conditions. The second cluster could be considered an exception, as it only combines 3 selected agricultural organic soil units for analysis. The number of land units grouped in the third, fourth, and fifth clusters is small (9, 12, and 20 units respectively), indicating a homogeneous data (land unit) structure as they are grouped in the same cluster. Cluster analysis is a research technique whose main goal is not to draw conclusions about the parameters of the analyzed object, but rather to indicate the structure of the data (Landau & Chis Ster, 2010), which in the research of the thesis is evaluated as uniform.

The results of the factor analysis confirm the author's assumption that EU support for the management of agricultural organic soil in Latvia from 2012 to 2020 has not been targeted or related to actual agroecological conditions or soil properties. Similar trends are observed in other countries rich in organic soil when evaluating the methodological approaches of land use data analysis and concluding that there is insufficient coordination and scope for data collection in assessing the effectiveness of climate change mitigation measures (European Commission. Directorate General for Climate Action. & IEEP., 2018). Based on the information provided by the countries in the study (European Commission. Directorate General for Climate Action. & IEEP., 2018), data on policy measures (mainly under the EU CAP) used for the management of agricultural organic soil have been compiled. However, the actual targeting and impact of the included policy measures have not been assessed. The results of factor analysis confirm the need to consider not only the number of policy measures but especially the actual targeting and relevance of actions to the specific characteristics of a particular territory. Otherwise, political influence may be overestimated or underestimated, and political goals may not be achieved. This conclusion is supported by studies on organic soil in agriculture in Finland, such as the potential for reducing GHG emissions, noting that the type of soil can be included as one of the support criteria (Regina et al., 2016). Meanwhile, an analysis of the future management

possibilities of peat soils in the Nordic countries (Kløve et al., 2017) reveals the need to base political decisions on local observations and to correctly understand the long-term impact of management measures.

### **2.3. Climate Change Mitigation Measures in Agricultural Organic Soil Management**

The potential impact of implementing climate change mitigation measures in forestry, agriculture, and wetland management could contribute to approximately 30% of the globally needed GHG emission reduction by 2050 to achieve the 1.5 °C target outlined in the Paris Agreement (Roe et al., 2019). The implementation of sustainable climate change mitigation measures in the management of agricultural organic soil could make a significant contribution to achieving national and international climate change reduction goals (Rhymes et al., 2023). The level of GHG emissions from organic soil management at the global and EU levels suggests the need for cost-effective emission reduction measures (European Commission, 2018b). The IPCC (Shukla et al., 2019) emphasizes that the successful implementation of climate change mitigation measures is not possible without considering local conditions and socio-economic factors. Regarding the management of organic soil, it is highlighted with a high reliability coefficient that the presence of this soil determines specific agro-ecological conditions, and the effectiveness of implemented measures depends on how much these specific conditions are taken into account.

The efforts of EU countries in the implementation of various climate change mitigation measures in LULUCF sector, including those related to the management of agricultural organic soil, are partially summarized in national progress reports on the implementation of the LULUCF Action Plans, in accordance with EU regulations (European Commission, 2013). Additionally, regular national reports on policies, measures, and GHG emission projections are prepared according to EU regulations (European Commission, 2018c). The EC, based on reports submitted by Member States, compiles information summaries on planned and implemented climate change mitigation measures in land management within the framework of LULUCF and the agricultural sector (Paquel et al., 2017). Most of the reported measures are activities supported by funding from the EU CAP. Regarding agricultural organic soil, countries report measures such as support for converting arable land into natural areas (wetlands) in cases where organic soil is present (a measure supported in Germany), various variations of wetland protection measures (not directly related to agricultural land), conversion of arable land from regularly cultivated areas to areas for the cultivation of perennial crops, and grassland protection to prevent their plowing, which leads to enhanced carbon losses. While indirect connections to the management of organic soil are established, there are no direct, targeted measures aimed at reducing GHG emissions from agricultural organic soil management in the reported actions of EU Member States. Therefore, it can be concluded that despite the significant share of GHG emissions attributed to agricultural organic soil, most EU countries lack policies or regulations to reduce these emissions (Regina et al., 2016), and there is a lack of data to quantify the potential for reducing GHG emissions (Paquel et al., 2017).

Scientific literature mentions various climate change mitigation measures related to the management of agricultural organic soil. Among the frequently mentioned measures are rewetting with or without subsequent cultivation of paludiculture, maintaining grasslands and converting arable land into grassland (Beetz et al., 2013; Paul et al., 2018; Wen et al., 2021), reduced nitrogen fertilizer application, decreased livestock units, and alternative soil management practices (Paul et al., 2018), regulation of groundwater levels (Campbell et al., 2015; Musarika et al., 2017; Regina et al., 2015), maintaining intensive grassland management practices (Ferré et al., 2019), among others. It has been noted that the transfer of agricultural production from organic soil to mineral soil may not result in the expected reduction in GHG emissions, as the amount of N<sub>2</sub>O emissions in certain conditions can significantly exceed the



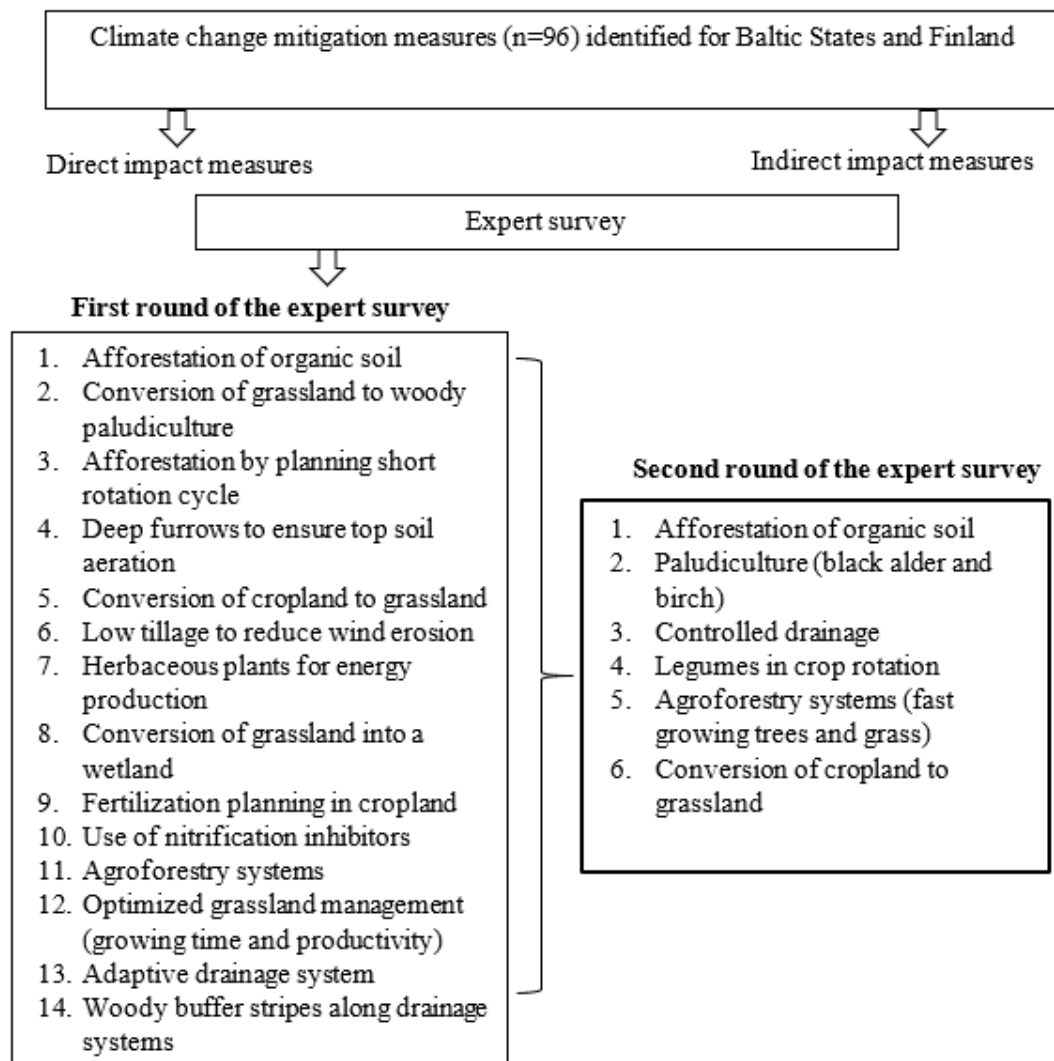
reduction in CO<sub>2</sub> emissions (Taft, 2014). The lifting of groundwater levels is considered a prospective measure, but studies acknowledge its complexity when viewed from the perspectives of landowners, policies, and market dynamics, as this measure conflicts with further land management in agriculture (Ferré et al., 2019). Most studies on the selection and exploration of climate change mitigation measures have been conducted in Central European countries (Germany, the UK, Ireland, Denmark, etc.), and their conclusions may not be directly applicable to the Baltic region and Latvia. In Latvia, there have not been extensive studies on climate change mitigation measures related to the management of agricultural organic soil. However, a study conducted in 2017 evaluated the management of agricultural organic soil and proposed improvements (Pilvere, 2017). The main recommendations from this study include: 1) increase production intensity in organic soils, thereby increasing the value of production output and reducing GHG emissions per unit of produced output; 2) consider changing land use to forest in areas unsuitable for or difficult to manage in agriculture, thereby reducing GHG emissions and increasing CO<sub>2</sub> removals (tree biomass).

The author uses the results of a study conducted during the preparation of the application for the LIFE program project "Demonstration of climate change mitigation potential of nutrients rich organic soils in Baltic States and Finland" (LIFE18CCM/LV/001158) (LIFE OrgBalt) in 2018 – 2020 to select the most suitable GHG emission reduction measures for Latvian conditions in the management of organic agricultural soils. The author further justifies the use of the results of the LIFE OrgBalt project's climate change mitigation measures selection study in her thesis by noting that Latvia is a partner country in the project. Additionally, the use of data from Lithuania, Estonia, and Finland provides the opportunity to cover a geographically, climatically, and socio–economically comparable territorial spectrum of neighboring countries. The selection of climate change mitigation measures in the LIFE OrgBalt project's study is carried out in several research steps: 1) analyzing the planning documents of the Baltic States and Finland (as of December 31, 2020), conducting a situational analysis, and obtaining data on implemented and planned climate change mitigation measures; 2) surveying leading scientific experts in the Baltic States and Finland to create an initial, theoretical assessment of the most suitable climate change mitigation measures for Latvia and the Baltic region.

In the LIFE OrgBalt study on the selection of climate change mitigation measures, experts were chosen based on their previous experience in researching climate change mitigation issues related to soil management, as well as their involvement in preparing research reports for climate and sector policymakers. Each of the Baltic States and Finland was represented by two experts (n=8), specifically from leading scientific research centers in the field of climate change mitigation in agriculture and forestry: the Latvian State Forest Research Institute "Silava" (LSFRI Silava) in Latvia, the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Tartu University in Estonia, and the Finnish Natural Resources Institute (LUKE). The experts involved in preparing the assessments have extensive experience in data acquisition and processing for national GHG inventory reports, addressing methodological issues in GHG inventory and projections, and preparing national reports. All experts involved in the study represent scientific institutions, initial selection of measures is scientifically based, avoiding assessments that could be based on emotional, economic, or political considerations, as might be the case with the involvement of representatives of other interest groups. The analysis of planning documents in the Baltic States and Finland involved a review of EU CAP framework documents, national climate and sector policy strategies, programs, and plans up to December 31, 2020. It was concluded that the situation in the Baltic States and Finland differs, but the overall trend indicates a lack of targeted climate change mitigation measures in the management of organic agricultural soils. While all EU CAP measures for land management in the Baltic States and Finland indirectly apply to organic soil management, even if this soil group is not separately identified, in such cases, it is practically impossible to accurately calculate the extent of the climate change mitigation effect specifically related to organic soil. Therefore, climate change mitigation in the management of organic agricultural soils, in cases where measures are

not specifically related to organic soil, is achieved accidentally, which cannot be considered deliberate policy planning. Ninety–six climate change mitigation measures were identified in the Baltic States and Finland, with both direct and indirect potential impacts, considering as indirect impact measures those focused on climate change mitigation in agricultural soil management but not related to organic soil management.

LSFRI Silava as the leading partner of the LIFE OrgBalt project, conducted the expert survey remotely, discussing the results with the involved experts during online conference calls. In the first round of the expert survey (Figure 2.4), fourteen direct impact climate change mitigation measures (directly related to organic agricultural soil) were selected, and this number was reduced to six measures in the second round (Figure 2.4). In the second round of the survey, experts selected those measures that, in their assessment, have the most significant potential for reducing GHG emissions and practical implementation, taking into account regional conditions (infrastructure readiness, local geological conditions, practical resources available, the projected level of farmer acceptance) in the Baltic States and Finland. Thus, the six climate change mitigation measures selected in the second round are considered by experts as potentially the most effective and regionally appropriate for further evaluation, including local in situ GHG emissions and environmental data measurements, as well as socio–economic assessment.



Source: author`s construction

**Fig.2.4. The results of the LIFE OrgBalt project's research on selection of measures to reduce climate change in the Baltic States and Finland in 2018 – 2020**

The author of the thesis makes the assumption that the six climate change mitigation measures selected in the second round of the expert survey in the LIFE OrgBalt project are the most suitable for further research in Latvia. The author conduct and describe this research in Chapter 3 of the thesis.

For each of the six selected climate change mitigation measures, a general agrotechnical description (Table 2.4). Additionally, a summary of research findings on the impact of climate change mitigation (using national and international research results published in scientific periodicals), a set of descriptive indicators or a work matrix for economic analysis (elaborated in Section 3.1), and a set of agrotechnical indicators (Annex 3) have been developed.

Table 2.4

**General agrotechnical characteristics of climate change mitigation measures in agricultural organic soil in Latvia**

<b>Notation</b>	<b>Title</b>	<b>Agrotechnical characteristics of the measure</b>
P 1	Conversion of cropland to grassland	Conversion of cereal-grown cropland to intermittently plowed grassland, consisting of a mixture of perennial grasses and clover (red or bastard). The management objectives are as follows: 1) for the first three years – silage; 2) from the fourth to the sixth year – hay (with a decrease in the proportion of clover). In the seventh year, surface soil cultivation and sowing of the grass/clover mixture without a cover plant. Starting from the seventh year, the cycle repeats. It is assumed that silage is prepared in rolls because organic soil tends to be in small areas, and preparing rolls is economically justified compared to using trench or stubble technologies, which also involve more intensive machinery use that can be challenging in wet conditions. The use of manure in organic soil is not planned, as the soil already has a high OM content.
P 2	Controlled drainage	The installation of controlled drainage systems in periodically plowed grassland, maintaining an elevated groundwater level throughout the vegetation period. The management description of the grassland is identical to P1.
P 3	Legumes in crop rotation	Legumes (bastard clover) in rotation with cereals (rye, oats). The management objective is as follows: 1) for the first three years, a mixture of clover and timothy (50:50) for silage; 2) in the third year, sow winter rye, in the fourth and fifth years, sow oats, and in the sixth year, sow oats with bastard clover undersow. The cycle repeats in the seventh year.
P 4	Agroforestry	A planting of tree species (hybrid poplar) in cropland in combination with sowing grass (red fescue). The land cover comprises 25% tree planting and 75% grass sowing. A fifty-year cycle for growing trees is planned. The management objectives are as follows: 1) for the first three years, cultivate red fescue for seed production; 2) in the fourth and fifth years, harvest the forage (in rolls), and in the sixth year, perform reseedling, repeating the cycle. Poplar trees (such as Vesten, OP42, or similar clones with proven effectiveness in peat soil cultivation) are planted in the spring of the first year with a row spacing of 4 and 2 meters (1250 trees ha <sup>-1</sup> ) for energy or technological wood production.

Notation	Title	Agrotechnical characteristics of the measure
P 5	Afforestation	Afforestation with spruce by planting on mounds. A fifty-year cultivation cycle with a plantation forest stand approach in maintenance and restoration felling, with small logs and paperwood being obtained in the maintenance felling, and sawlogs and paperwood in the restoration felling.
P 6	Paludiculture	Plantation of black alder and birch (60% and 40%, respectively) in grassland by planting on mounds. A fifty-year cultivation cycle with a plantation forest stand approach in maintenance and restoration felling. Firewood and paperwood is planned in maintenance felling, and firewood, paperwood, saw logs and veneer blocks in restoration felling.

Source: author's construction

The author has prepared a research conclusion summary on the climate change mitigation measures selected for further research within the doctoral theses. Scientific literature indicates that the potential of climate change mitigation measures to reduce GHG emissions in organic soil management varies significantly depending on the specific measures employed (Paustian et al., 2016). Research findings are diverse and often contradictory, necessitating a discussion.

Measure (P1) **Conversion of cropland to grassland**, recognized as a significant measure for mitigating climate change in the FAO technical guidelines for soil management measures (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021), has been shown in studies to have the potential to increase soil carbon content (Khalil & Osborne, 2018). The average soil carbon sequestration potential over 50 years is reported to be  $0.8 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ , varying significantly under different climate, soil texture, and management intensity conditions (Vleeshouwers & Verhagen, 2002). Research also indicates benefits such as improvement in soil structure and porosity, increased water retention capacity, and enhancement of soil microbiome and enzyme diversity (Khalil & Osborne, 2018). However, there is limited research on the impact of this measure on reducing GHG emissions. Some studies show the technical potential for reducing GHG emissions by transforming arable land into grassland, ranging from  $4.4$  to  $6.2 \text{ t CO}_2 \text{ eq. ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  (Feliciano et al., 2013; Freibauer et al., 2004). Studies in the UK and Ireland report GHG emission reductions ranging from  $0.53$  to  $5.34 \text{ t CO}_2 \text{ eq. ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ , when cropland is converted into periodically ploughed (more often than once every five years) and permanent grassland (ploughing less than once every five years), respectively (Smith et al., 2010). Research in Latvia confirms the climate change mitigation effect of the measure, with an average GHG emission reduction of  $2.7 \text{ t CO}_2 \text{ eq. ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  (Licite & Lupikis, 2020). Recommendations include sowing legumes in the first years after transforming cropland into grassland to balance nitrogen content in the soil and improve grassland productivity, followed by the sowing of grass mixtures in subsequent years (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). Studies in Latvia suggest that the most suitable grasses for cultivation in drained organic soils are meadow fescue, red fescue, timothy, bastard clover, and tall fescue (Anševica et al., 2016).

Regarding (P2) **Controlled drainage** measure, conflicting data can be found in the scientific literature. Some studies indicate that organic soil management measures intended to increase soil carbon accumulation and reduce  $\text{CO}_2$  emissions, by raising the water table and providing anaerobic conditions, can lead to undesired effects such as acidification and increased  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$  emissions (Scharlemann et al., 2014). Long-term studies comparing GHG emissions between free and controlled drainage systems show that, due to higher soil moisture

and lower soil O<sub>2</sub> (available for aerobic microbial respiration) in controlled drainage conditions, CO<sub>2</sub> emissions in controlled drainage systems decrease by about 6%, while N<sub>2</sub>O emissions increase by 21% (Jiang et al., 2019a). Although N<sub>2</sub>O emissions vary significantly, their actual impact on the total GHG emission volume is minimal (Jiang et al., 2019a), and the overall GHG emission reduction comparing controlled and free drainage is 30% for controlled drainage (Li et al., 2021).

(P3) **Introducing legumes into crop rotation** increases soil carbon accumulation due to their specific microbiome (C. A. Watson et al., 2017). Leguminous plants, considered the most significant contributors to agricultural crop rotations in the Leguminosae family, have the ability to fix atmospheric nitrogen, providing additional nutrients, reducing the need for nitrogen fertilizers, and creating a replacement effect for fossil-based fertilizers (Kim et al., 2016). It is assumed that atmospheric nitrogen fixation by legumes in the form of nutrient supply does not result in N<sub>2</sub>O emissions (Eggleston et al., 2006). Studies have identified the potential annual GHG emission reduction in agricultural crop rotations by including legumes, but results vary. In European conditions (UK), research indicates a reduction ranging from 0.5 to 1 t CO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup>, thanks to nitrogen fixation from the atmosphere and additional carbon input into the soil (Rees et al., 2013). At the same time, the study emphasizes that the potential for reducing climate change at a specific field level depends significantly on the choice of legume type and climate conditions.

(P4) **Agroforestry** measures are defined as the practice of simultaneously or sequentially growing trees and crops on the same land or by replacing one component with another (Nair, 1985). Agroforestry increases carbon accumulation in the soil, primarily due to additional OM input through litter, root biomass, and overall higher biomass productivity when integrating trees into the agricultural system (Cardinael, Chevallier, et al., 2017; Cardinael, Guenet, et al., 2017). Agroforestry practices in southern regions are mainly used in small farms for additional nitrogen input and erosion control. In Europe, trees can also play a significant role in protecting against wind damage in large farm systems (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). Regarding climate change mitigation, there is evidence of a potential 2-fold reduction in direct N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions (Kwak et al., 2019) and an indirect reduction in N<sub>2</sub>O emissions due to reduced nutrient runoff. There are also indications of a reduction in GHG emissions along with a decrease in the amount of mineral fertilizers – as the area of arable land shrinks (Kim et al., 2016). Global data analysis indicates that the average contribution of new (approximately 14 years after implementation) agroforestry systems to climate change mitigation could be 27±14 t CO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, with carbon sequestration accounting for approximately 7.2 t C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> (70% from biomass and 30% from the soil) (Kim et al., 2016).

(P5) **Afforestation** is reported to increase carbon storage in both living and non-living biomass, including litter, soil, and long-term accumulation in wood products (Bastin et al., 2019). It also reduces soil emissions from land use change, transitioning from agriculture to forest land (Lazdins et al., 2021; Priede & Gancone, 2019). However, concerns are raised about the insufficient data availability on peatland afforestation (Sloan et al., 2018), and emissions data from soil are not consistent (Reynolds, 2007). The impact of afforestation on climate change mitigation can vary depending on the initial land use, soil preparation before afforestation, tree species selected, age of the established forest, initial soil carbon, soil parameters, and hydrological regime (Hong et al., 2020; Laganier et al., 2010; E. Vanguelova et al., 2018). Estimates of the potential reduction in GHG emissions vary, but studies report carbon removals from the atmosphere by forest areas reaching mature age, ranging from 40 to 100 Gt (Lewis et al., 2019; Veldman et al., 2019). Research in boreal climate regions suggests that afforestation of agricultural organic soils significantly reduces heterotrophic CO<sub>2</sub> emissions but does not affect N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emission fluxes (Maljanen et al., 2001, 2012). Soil GHG emissions can remain relatively high for several decades after afforestation (Regina et al., 2016), but they may be compensated by additional carbon accumulation in biomass and soil (Vanguelova et al., 2018; Vanguelova et al., 2019). The further management of the afforested

area is also important in the GHG emissions balance (Mäkipää et al., 2023). It is considered that afforestation of organic soil with a peat layer depth of no more than 40–50 cm is recommended (IUCN, 2020). The IPCC emphasizes the importance of negative emission technologies in achieving the goals of the Paris Agreement of the Climate Convention (Masson–Delmotte et al., 2022), including proposing afforestation as one of the strategic elements for reducing GHG emissions (Shukla et al., 2019). However, assessments of afforestation impacts in studies differ. Some researchers point to the high potential and stable contribution of afforestation, including a commercial forest management strategy, to the reduction of GHG emissions and decarbonization efforts (Forster et al., 2021). Others acknowledge significant potential for reducing GHG emissions but also emphasize negative trade-offs, such as a reduction in agricultural land, potential increases in food prices, and the risk of permanence of afforested areas (Doelman et al., 2020). There are also doubts about the effectiveness of afforestation in reducing climate change due to albedo changes (Naudts et al., 2016).

**Forest paludiculture** (P6) involves establishing paludiculture in organic soil that reduces GHG emissions from the soil due to the improvement of the water regime (planting on mounds) by draining excess surface water, reduces the risks of natural disturbances in the forest, stimulates carbon accumulation in living biomass, dead wood, soil and forest understory, promoting the replacement of fossil resources effect (forest biomass and wood products) (Priede & Gancone, 2019). However, there is a lack of comprehensive research data on the climate change mitigation effects of paludiculture (Rumpel, 2023), and there are practical implementation barriers, such as high initial installation costs, income reduction associated with agricultural income loss, lack of knowledge and experience among landowners when changing land management practices (Rhymes et al., 2023). The term "paludiculture" is used to describe the cultivation of crops in areas with elevated groundwater levels or periodically flooded areas (Ziegler et al., 2021). Various agricultural crops and trees capable of adapting to elevated groundwater conditions and reducing the effects of climate change are cultivated, associating the effect of maintaining the carbon stock in organic soil under anaerobic conditions and additional carbon sequestration in crop biomass with economic benefits (Wichtmann et al., 2016). In the case of forest paludiculture, black alder (*Alnus glutinosa*) is a commonly cultivated tree species (Rumpel, 2023). Black alder can fix atmospheric nitrogen up to 100 kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> through symbiosis with specific bacteria (*Frankia bacteria*) in its root system (Binkley, 1983; Rytter, 1995). Studies also indicate peat accumulation in black alder stands, including relatively dry areas with groundwater levels at a depth of 0-20 cm (Schäfer & Joosten, 2005). Thus, forest paludiculture using black alder can be considered a suitable climate change mitigation measure in organic soil with fluctuating groundwater levels. However, there is still a lack of GHG emission flux data for paludiculture, including biomass, for energy production (Hiraishi et al., 2014; IPCC & Edenhofer, 2014).

In conclusion, despite conflicting land use interests related to food and living space provision, land ownership, management system, and cultural diversity, the agricultural and forest sectors have significant potential for reducing GHG emissions through various afforestation, reforestation, deforestation prevention, and bioenergy extraction combinations (Calvin et al., 2023). It is essential to consider that landowner decisions on climate change mitigation measures are influenced not only by economic factors but also by social considerations (Bowen & Riley, 2003; Thamo & Pannell, 2016). Potential co-benefits and trade-offs related to the overall ecosystem and its services should be taken into account (Scharlemann et al., 2014). Ideally, efforts to reduce GHG emissions from agricultural organic soils should consider both the benefits and risks to the entire food system (Garnett, 2011). Despite identified measures, as of 2023, there is still a lack of evidence-based grounds for making strategic decisions on reducing GHG emissions from agricultural organic soils, as practical implementation and economic impact remain unclear (Rhymes et al., 2023; Taft, 2014; Taft et al., 2018).

### **3. DECISION-MAKING SUPPORT FOR CLIMATE CHANGE MITIGATION IN AGRICULTURAL ORGANIC SOIL MANAGEMENT**

The volume of the chapter is 21 pages with 10 tables and 7 figures. The thesis put forward is: *The use of quantitative decision support methods enables cost-effective reduction of GHG emissions in organic soil management in agriculture, thereby contributing to achieving Latvia's climate change mitigation goals.* In the third chapter of the thesis, an evaluation of the selected climate change mitigation measures (the second chapter) is conducted using decision support methods. For the assessment of climate change mitigation measures, a dataset of agrotechnological, socio-economic, and environmental indicators has been established to: 1) rank measures based on their proximity to the ideal positive and ideal negative solutions using the Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) method for ranking by similarity to the ideal solution (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS); 2) calculate the cost-effectiveness of measures and construct a Marginal Abatement Cost Curve (MACC); 3) perform simulation of GHG emission projections to assess the potential impact of measure implementation.

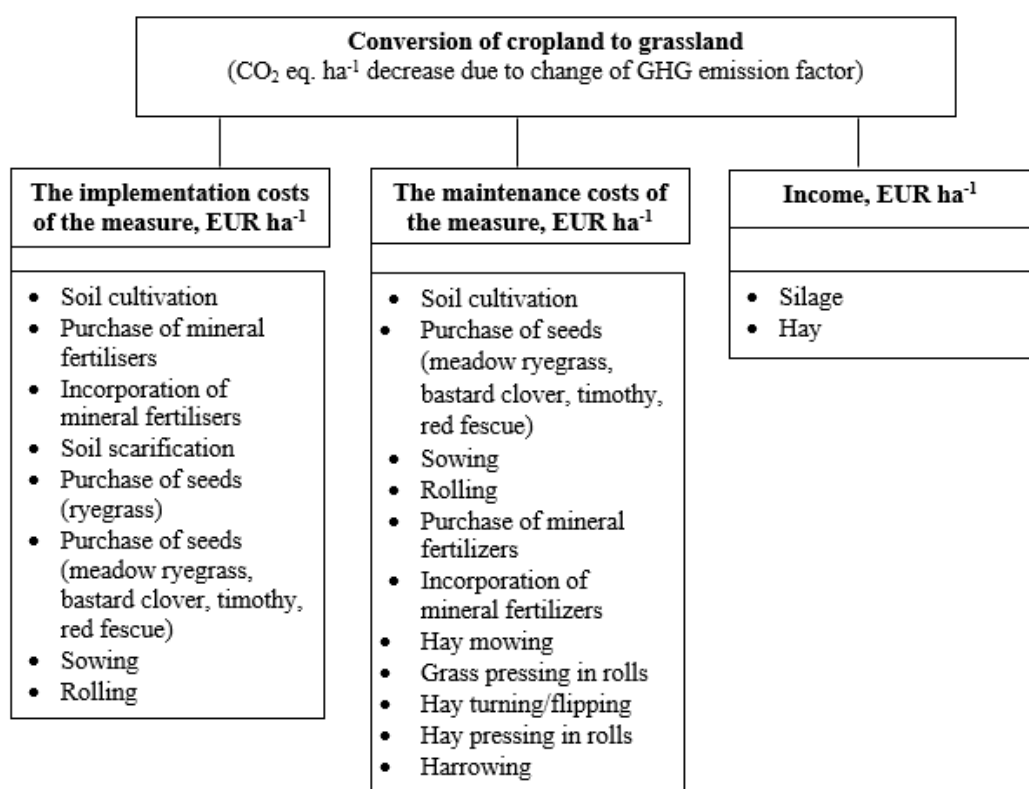
#### **3.1. Agrotechnological, Socio-economic and Environmental Criteria for Implementing Climate Change Mitigation Measures**

Mutual evaluation of climate change mitigation measures is not possible without a set of indicators that characterize them. One approach to selecting indicators is to ensure that they comprehensively describe the research problem, are easily understandable, and reduce the number of descriptive parameters needed to characterize the problem (OECD, 1999). The choice of indicators also depends on data availability, which is often constrained by costs and the possibilities of further data processing and utilization (Bowen & Riley, 2003). Various indicator systems are used in research, but one widely tested approach is to use the classical dimensions of sustainability for indicator selection and grouping (Gunnarsdottir et al., 2020). The author of the doctoral theses chooses this approach for selecting indicators for climate change mitigation measures, compiling agrotechnical, socio-economic, and environmental indicators.

In the doctoral theses, a work matrix has been developed for each of the six identified climate change mitigation measures, summarizing information on the implementation agrotechniques, or production technologies corresponding to average Latvian practices, socio-economic, and environmental indicators. The created datasets of agrotechnical, socio-economic, and environmental data were used in the decision support analysis conducted in subsections 3.2, 3.3, and 3.4 of the doctoral theses. The following assumptions were made for the analysis: 1) calculations were performed assuming that the implementation of all climate change mitigation measures starts simultaneously in 2025 and continues until 2050; 2) the implementation area of the measures was determined using data from the 2022 Latvian National GHG Inventory Report (LEGMC, 2022b) and a static approach, as dynamic forecasts of changes in organic soil area were not available during the doctoral theses development. The determination of the implementation area took into account the proposed "flexibility" of peatland for Latvia, as outlined in the EC's proposal for the Nature Restoration Regulation on June 22, 2022 (European Commission, 2022b). Determining the implementation area is a subject of agreement among interest groups in policy planning (Shukla et al., 2019). The study assumes that 70% of the total agricultural organic soil area, or 110,810 ha, will be subject to nature restoration requirements by 2050, according to the June 22, 2022, proposal of the Nature Restoration Regulation. The total agricultural organic soil area indicator (158,320 ha) was determined using data from the Latvian National GHG Inventory Report submission 2022. It is assumed in the doctoral theses that half of the agricultural organic soil planned for restoration

is subjected to rewetting, and the remaining organic soil area in arable land and grassland is proportionally distributed among the analyzed climate change mitigation measures. The total implementation area assumed in the doctoral thesis for the analyzed measures is 55,405 ha, with an annual implementation area for each measure of 369 ha over a 25-year period from 2025 to 2050; 3) the calculations do not take into account CAP or any other (EU or national) support, as support mechanisms are politically determined and constantly changing. Moreover, in the case of CAP, a large part of the support is optional; 4) the calculations use an 11.5% discount rate, set by the Treasury of the Republic of Latvia in the second quarter of 2023 for determining the present value of long-term investments in agriculture (Latvijas Valsts Kase, 2023).

For each climate change mitigation measure, a set of **agrotechnical operations or indicators** has been prepared, planning the implementation activities of the measure and their cyclic repetition over a 25-year period from 2025 to 2050. The set of activities and cost positions for the conversion of arable land to grassland (P1) are reflected in Figure 3.1 as an example.



Source: author's construction

**Fig.3.1. Implementation of the measure P1 “Conversion of cropland to grassland”**

Data on agrotechnical operations, as well as cost and income data, utilized in the calculations of the agricultural gross margin are taken from calculations of gross margin done by the Latvian Rural Advisory and Training Centre for the year 2021 for an intensive, integrated production type (Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centrs, 2021). In cases where gross margin information was not available, including for measures related to tree cultivation, research data (Bardulis et al., 2010; Bisenieks et al., 2010; Daugavietis et al., n.d.; Senhofa et al., 2019; Uri & Vares, 2005), the author's expert opinion, and current market price information for the year 2021 (from various online sources) were used. Consequently, all costs associated with climate change mitigation measures were determined as the technical implementation costs of the measures and expressed in euros at 2021 prices.



In the doctoral theses, the author employs four indicators (as shown in Table 3.1) to characterize the socio-economic and environmental impacts of the analyzed climate change mitigation measures.

Table 3.1

**Indicators characterizing the socio-economic and environmental impact of the selected climate change mitigation measures in Latvia in 2023**

Indicator descriptive area	Indicator	Indicator unit
Social impact	Ecosystem services	EUR ha <sup>-1</sup>
Economic impact	Net Present Value Cost of GHG emission reduction	EUR EUR CO <sub>2</sub> eq. t <sup>-1</sup>
Environmental impact	Potential of GHG emission reduction	t CO <sub>2</sub> eq.

Source: author's construction

The concept of **ecosystem services** in research emerged in the second half of the 20th century when the question of ecosystem functions and related benefits became prominent (Gómez-Baggethun et al., 2010). One of the first classifications of ecosystem functions and services was proposed by Rudolf De Groot (R. S. De Groot et al., 2002), while the economic assessment of ecosystem services was initiated by Robert Costanza (Costanza et al., 1997). In 2007, the first global system for assessing ecosystem services and biodiversity, known as The Economics of Ecosystem and Biodiversity (TEEB), was established. A component of TEEB is the Ecosystem Service Value Database (ESVD) (R. De Groot et al., 2012). The TEEB database is considered one of the most extensive global databases, containing information on 10 biomes and 22 associated ecosystem services for each, providing data on the actual value of ecosystem services expressed in monetary units per unit area (ha) per year (R. De Groot et al., 2012). Discussing the possibilities and limitations of using the TEEB database, its developers indicated that: 1) the values of ecosystem services cannot be used as market values but rather indicate the public benefit value that would be lost if the respective ecosystem were to disappear. Therefore, the value of ecosystem services is most appropriately used as an additional indicator in decision-making analysis to make the external impacts of actions "visible" (R. De Groot et al., 2012). In the research presented in this thesis, the author used the TEEB database, specifically the ESVD part (The Ecosystem Services Valuation Database, 2020), to determine the values of ecosystem service indicators for each chosen climate change mitigation measure. The value of ecosystem services is expressed in monetary units (EUR/ha) and is based on calculations conducted in the research project "Priekšnosacījumu izveide labākai bioloģiskās daudzveidības saglabāšanai un ekosistēmu aizsardzībai Latvijā" (*Socio-economic impact analysis of specially protected natural areas and identified EU importance biotopes in Latvia*), Chapter III: Monetary assessment of ecosystem services" implemented by Latvian Environmental Protection Fund in 2022 (Dabas aizsardzības pārvalde, 2022). The classification of ecosystem services in the TEEB database (ESVD) was developed using the System of Environmental-Economic Accounting (SEEA) ecosystem service classification system developed in 2021, in combination with the Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 system developed by the UN Statistics Division (The Ecosystem Services Valuation Database, 2020). In this thesis research, the TEEB database approach was used, and the values of ecosystem services for climate change mitigation measures encompassed provisioning, regulatory, and cultural services. The definition of these services follows CICES, which defines provisioning services as the provision of biotic and abiotic materials and energy flows, regulatory services as the various impacts through which living and non-living organisms can regulate and maintain the environment affecting human health, safety, or comfort. Cultural services include all ecosystem (biotic and abiotic) influences that are non-material, usually not

directly consumable, or mutually exclusive but affect human physical and mental well-being (Haines – Young & Potschin, 2018). The values of ecosystem services used in the thesis are presented in Table 3.2.

Table 3.2

**Climate change mitigation measures' ecosystem service values in Latvia in 2023, EUR ha<sup>-1</sup>**

<b>Climate change mitigation measure</b>	<b>Geospatial unit and habitat subgroup</b>	<b>Monetary value of ecosystem services, EUR ha<sup>-1</sup></b>
(P1) Conversion of cropland to grassland	Perennial grasslands	6445
(P2) Controlled drainage	Moderately moist meadows	9627
(P3) Legumes in crop rotation	Cultivated plants	1106
(P4) Agroforestry	Park-like meadows and pastures; Forest meadows	10959
(P5) Afforestation	Forest on organic soil; Medium-aged stands, mature stands, maintenance cuts are allowed	13058
(P6) Paludiculture	Forest on organic soil; Medium-aged stands, mature stands, maintenance cuts are allowed	13058

Source: author's construction based on (The Ecosystem Services Valuation Database, 2020)

The **Net Present Value** (NPV) indicator is used in the thesis to assess the economic performance of climate change mitigation measures. NPV characterizes the present value of future cash inflows from climate change mitigation measures minus the present value of implementation costs, considering that the present and future values of investments are not equal. Discounting is necessary for calculating the present value of long-term investments, where a specific interest rate is chosen. A higher chosen interest rate results in a lower present value of investments, but the present value of cash inflows is always higher than the future value (Škapars, 2008). If  $NPV > 0$ , the implementation of the measure is considered advantageous. In the thesis, the present value of climate change mitigation measures was initially calculated, expressed as the net present value, which is the difference between the present value of future cash inflows and the implementation costs of the measures, using the formulas:

$$PV = \sum_{n=1}^n \frac{FV_n}{(1+i)^n} \quad (3.1.)$$

where

$PV$  – present value;

$i$  – interest rate;

$FV_n$  – future values of individual years.

$$NPV = \frac{FV_1}{(1+i)^1} + \frac{FV_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FV_n}{(1+i)^n} - C \quad (3.2.)$$

where

$NPV$  – net present value;

$C$  – implementation costs.

The calculation of NPV is a crucial component in the decision-making process. It provides a mechanism to compare costs and benefits occurring at different time intervals. Discounting, or the calculation of present values, is a key support mechanism, involving the consideration of future costs and using a discount rate or interest rate (Jarisch et al., 2022). The choice of the discount rate is a politically decided factor (Peng et al., 2023) and is a central element in selecting optimal policy measures for climate change mitigation, seeking a balance between present costs and relatively uncertain long-term benefits of reducing GHG emissions (Addicott et al., 2020). Even small changes in the choice of the discount rate significantly impact the calculated present value of investments and, consequently, can influence decision-makers' choices (He, 2020). This becomes particularly significant in discussions on climate change mitigation when costs and benefits are spread over time. Research generally uses a single discount rate concept, but there are indications in the literature that a multi-rate approach could be employed in the evaluation of climate change mitigation policies. This may include using a social discount rate alongside the financial equivalent discount rate, incorporating not only economic but also ethical considerations (Goulder & Williams, 2012). Other studies also discuss ethical and philosophical aspects of choosing the discount rate (Davidson, 2015; Gollier & Hammitt, 2014), emphasizing the need for unconventional solutions in the evaluation of climate change mitigation policies due to high risks and uncertainties. This involves considering not only economic but also social (including future generations) interests and expected consumption forecasts (Beckerman & Hepburn, 2007). Given the complex nature and impact of the discount rate, its choice for evaluating climate change mitigation measures in the Latvian agricultural and LULUCF sectors could be recommended as a separate research topic. However, in the thesis, the author chooses to use the discount rate set by the Treasury of the Republic of Latvia determining the real value of long-term investments in agriculture (LR Valsts kase, 2023), which is 11.5%. This rate is relatively high (the average rate used in climate studies in the agricultural sector was 3.5% – 7% in 2015 (Eory et al., 2015), and in climate studies in 2021: 2% – 3% (Rennert et al., 2022), but higher values are also found (Kung et al., 2022), indicating a contemporary societal preference to assign greater value to the present than the future (Gollier & Hammitt, 2014). However, as the source of this rate is the Treasury of the Republic of Latvia, it can be assumed that this rate reflects the real societal value system at the beginning of 2023. Therefore, the author considers it appropriate for use in the doctoral theses.

The scientific literature (Table 3.3) was used to determine the **potential for reducing GHG emissions** for the analyzed climate change mitigation measures in the doctoral theses. During the development of the research, the author did not have access to *in situ* GHG emission measurement results, and such data for the selected measures were not available in the IPCC guidelines for preparing GHG inventories.

Table 3.3

**Indicators of GHG reduction potential of climate change mitigation measures used in the thesis, t CO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup>**

Climate change mitigation measure	GHG reduction potential, t CO <sub>2</sub> eq. ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>	GHG reduction mechanism	Reference
(P1) Conversion of cropland to grassland	2.7	Conversion of cropland to grassland reduces CO <sub>2</sub> and N <sub>2</sub> O emissions (but may increase CH <sub>4</sub> emissions). GHG emission reduction is defined as a change in the emission factor.	(Licite & Lupikis, 2020)

<b>Climate change mitigation measure</b>	<b>GHG reduction potential, t CO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup></b>	<b>GHG reduction mechanism</b>	<b>Reference</b>
(P2) Controlled drainage	5.4	With increased soil moisture and reduced oxygen content in the soil, in the case of controlled drainage, CO <sub>2</sub> emissions decrease, but N <sub>2</sub> O increases compared to traditional drainage. The overall reduction in CO <sub>2</sub> eq. is around ~30%.	(Jiang et al., 2019b)
(P3) Legumes in crop rotation	10.4	Incorporating legumes into crop rotation increases the overall input of OM into the soil and partially replaces the use of mineral fertilizers due to legume's ability to capture atmospheric nitrogen. The average annual reduction in GHG emissions is estimated to be between 0.5 and 1 t CO <sub>2</sub> eq. per hectare. However, the potential for GHG emission reduction at the field level depends on the type of legume grown and climatic conditions.	(Ladha et al., 2022) (Rees et al., 2013)
(P4) Agroforestry	16.6	The effect of GHG emission reduction is determined by comparing GHG emission flux data in cropland, grassland, and forest (various ages of forest stands) with organic soil.	Daugaviete et al., 2022 (Bārdulis et al., 2022) (Mayrinck et al., 2019) (Pardon et al., 2017) Schoeneberger et al., 2012
(P5) Afforestation	7.4		(Butlers, Lazdiņš, et al., 2022) (Butlers, Bārdule, et al., 2022) (Lazdins et al., 2021) Licite & Lupikis, 2020
(P6) Paludiculture	10.4		(Butlers, Lazdiņš, et al., 2022) (Butlers, Spalva, et al., 2022) (Butlers, Bārdule, et al., 2022)

Source: author`s construction

In the thesis research, indicators of GHG emission reduction potential were used as approximate values for testing decision support methods (Sections 3.2, 3.3, and 3.4 of the thesis). When analyzing real policy decision support, GHG emission reduction indicators could be employed, calculated based on nationally or regionally measured GHG emission data, such as in the LIFE OrgaBalt project and other studies.

The **costs of GHG emission reduction** in the thesis were calculated by dividing the NPV of climate change mitigation measures by their GHG emission reduction potential, thus obtaining the cost per unit or ton of CO<sub>2</sub> eq. reduction. The GHG emission reduction cost indicator is essential for understanding the costs of alternative GHG emission reduction measures within the sector (e.g. agriculture) and across sectors (energy, transportation, etc.). One additional way to utilize the GHG emission reduction cost indicator is to compare the cost of reducing one ton of CO<sub>2</sub> eq. with the current carbon market price (Abberton et al., 2010).

### **3.2. Multi-Criteria Decision-Making Analysis in the Selection of Climate Change Mitigation Measures**

Since the second half of the 20<sup>th</sup> century, various MCDA methods have been developed, providing diverse research opportunities but, at the same time, complicating the methodological choice in a specific research context. Research shows that the determining element of choosing an MCDA model should be the specific decision-making situation and its peculiarities, for the appropriate inclusion of which in the analysis it is necessary to choose a specific MCDA model or a combination of models and not the other way around (Cinelli et al., 2014). The main idea behind MCDA is to mutually evaluate possible solutions or alternatives by using more than one criterion for ranking alternatives. The criteria used in evaluating alternatives can be broadly defined, but each of them must be associated with a quantified value (Ehrgott et al., 2010). MCDA allows for the use of a structured, transparent, and flexible approach in decision-making, integrating the analysis of the interrelationships among various criteria and taking into account the significance of each criterion (Cinelli et al., 2014).

The scientific literature distinguishes between two types of MCDA methods – decision analysis using crisp numbers and decision analysis using fuzzy numbers or indicators, where the degree of membership in a data set ranges from 0 to 1, encompassing uncertainty of membership (Durbach & Stewart, 2012). A popular type of MCDM involves models that evaluate alternatives by comparing them with ideal positive and ideal negative solutions, recommending alternatives that are as close as possible to the ideal positive and as far as possible from the ideal negative solution. Many of these models are associated with choice ranking based on the similarity to the ideal solution, such as the TOPSIS method (Tzeng & Huang, 2011). The TOPSIS method, first proposed in 1981 by Hwang and Yoon (Tzeng & Huang, 2011), is considered one of the classical MCDA methods widely used in various research fields (Papathanasiou & Ploskas, 2018). In the TOPSIS method, the ideal positive solution is mathematically defined as consisting of the maximum weighted evaluation of all alternatives, and the ideal negative solution is formed by minimal evaluations. Euclidean distances (distance between two points in multidimensional space) are then calculated between each alternative and the ideal positive and ideal negative solutions. Alternatives are evaluated based on their distance to the ideal solution, expressed as the ratio of the sum of distances between the two distances (Durbach & Stewart, 2012; Tzeng & Huang, 2011).

The advantages of the TOPSIS method include its complete utilization of criterion information without requiring criteria to be mutually independent (Chen & Hwang, 1992; Yoon & Hwang, 1995). The method is flexible in criterion selection, allowing the use of various qualitative attributes and units of measurement (Zavadskas, Govindan, et al., 2016). Calculations are relatively simple, results are easily explainable, and a large dataset is not necessary (Roszkowska, 2011). Additionally, TOPSIS is considered one of the compensatory

methods, allowing trade-offs between criteria, meaning that a low value for one criterion can be partially compensated for by higher results in another criterion, thus providing a more realistic modeling approach compared to models that do not allow such compensation (Zavadskas, Govindan, et al., 2016). The application of the TOPSIS method in research covers a wide range of topics, including logistics and supply chains, various engineering disciplines, business administration and marketing, environmental issues, human resources, and the management of energy and water resources (Behzadian et al., 2012). While in research related to land use, agriculture, and climate change, the TOPSIS method is less frequently used, authors choose to employ it in decision-making analysis in these fields as well (Bagherzadeh & Gholizadeh, 2016; Chang & Liang, 2023; Diaz & Cilinskis, 2019; Hepperle et al., 2017; Morkunas & Volkov, 2023; Namiotko et al., 2022; Nowak & Kaminska, 2016; Tumelienė et al., 2022; Wójcik-Leń et al., 2019; Yang et al., 2023), including researchers in Latvia (Bumbiere et al., 2022; Cilinskis et al., 2017; Dace & Blumberga, 2016; Gancone, 2022; Gancone et al., 2021a, 2022a; Laktuka et al., 2023). The choice of organic soil management practices to mitigate climate change is a complex task, with significant implications not only for reducing climate change but also for economic and social aspects. A literature review indicates that the TOPSIS method is suitable for ranking climate change mitigation measures in agricultural organic soils because it allows the use of criteria expressed in real numbers, covering both climate and socio-economic dimensions. The method is relatively easy to apply and does not require a large volume of data, which can be significant in practical policy planning.

The author performed the first two steps of any MCDA method, namely problem identification and structuring, in the first and second chapters of the doctoral theses. In the third step, the creation of the TOPSIS model, the author conducted the exploration of alternatives, in this case, the study of climate change mitigation measures, by preparing matrices describing them with agro-technological, socio-economic, and environmental data (subsection 3.1 of the doctoral theses). Criteria for evaluating measures were defined, and criterion values were obtained using the matrices and literature data developed in subsection 3.1. In the final step, the application of the developed TOPSIS model, results were calculated, and measures were ranked, mathematically confirming the intuitive opinion that measures related to tree cultivation and land-use change could be closer to the ideal solution and further from the ideal negative solution. No new alternatives were introduced for analysis. Sensitivity analysis was performed by changing the weight distribution of criteria. The author used the classical version of the TOPSIS method in the doctoral theses (Roszkowska, 2011; Zavadskas, Antucheviciene, et al., 2016).

The choice of criteria for MCDA can be made in various ways, with the most popular approaches being: 1) formulation by researchers themselves; 2) involvement of industry experts; 3) involvement of interest groups or representatives of the public. The more commonly used approach in research is criteria selection by the researchers themselves (Adem Esmail & Geneletti, 2018). The author also uses this approach in the doctoral theses, selecting criteria following the concept of three dimensions of sustainable development – environmental, social, and economic dimensions (Brundtland, 1987). Four criteria for evaluating climate change mitigation measures were defined by reversing the classical perspectives of sustainable development: 1) the cumulative (25 years) carbon equivalent reduction potential of each measure, t CO<sub>2</sub>; 2) the annual value of ecosystem services for each measure, EUR; 3) the NPV of each measure (25 years period), EUR; 4) the cost of reducing one ton of carbon equivalent emissions, EUR t<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>.

Using the agro-technological, socio-economic, and environmental indicator dataset created in subsection 3.1 and described in the doctoral theses, a TOPSIS work matrix was prepared (Table 3.4), consisting of criterion values characterizing climate change mitigation measures (description of data collection is found in subsection 3.1) and the dataset of analyzed alternatives or climate change mitigation measures.

TOPSIS analysis decision matrix

Climate change mitigation measure	Net present value, EUR	GHG emission reduction potential, t CO <sub>2</sub> eq.	Value of ecosystem services, EUR ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>	Cost of reducing GHG emissions, EUR t <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub> eq.
Conversion of cropland to grassland	198509	24935	6445	8
Controlled drainage	1205811	50146	9627	24
Legumes in crop rotation	381123	6926	1106	55
Agroforestry	-376605	96044	10959	-4
Afforestation	576315	153301	13058	4
Paludiculture	387528	98815	13058	4

Source: author's construction

One of the widely discussed components of MCDA methods, including TOPSIS, involves the normalization of weights assigned to selected criteria, assuming that the sum of criteria weights should be 1 or 100% (Danielson & Ekenberg, 2023). Therefore, the weighted sum is the product of the weight assigned to a criterion and its corresponding value. The larger the weight assigned to a criterion and its value, the more it influences the calculation result. Assigning specific weights to criteria is crucial because they are typically associated with various opinions and meanings, preventing the assumption that all criteria are equally important. Criteria weighting can be done by decision-makers or researchers based on certain considerations, as well as through mathematical methods (Yoon & Hwang, 1995). Depending on how weights are assigned to criteria, subjective and objective criteria weights are distinguished. In the case of subjective weight determination methods, weights are determined entirely based on the judgment and experience of decision-makers or experts. On the other hand, objective weight determination methods use only the application of mathematical models, without considering the judgment of decision-makers or experts (Wang & Lee, 2009). It is believed that objective weight determination methods are suitable in cases where it is not possible to obtain and use expert opinions (Deng et al., 2000). The author chooses a subjective weight determination approach, using her expert opinion for criteria weighting. This decision is made in the thesis research to avoid subjectivity from interest groups and to ensure that the criteria weight assessment aligns with the current EU policy environment described in section 1.3 of the thesis. Thus, in the base scenario, relatively higher weight is assigned to criteria related to reducing GHG emissions and ecosystem services (Table 3.5).

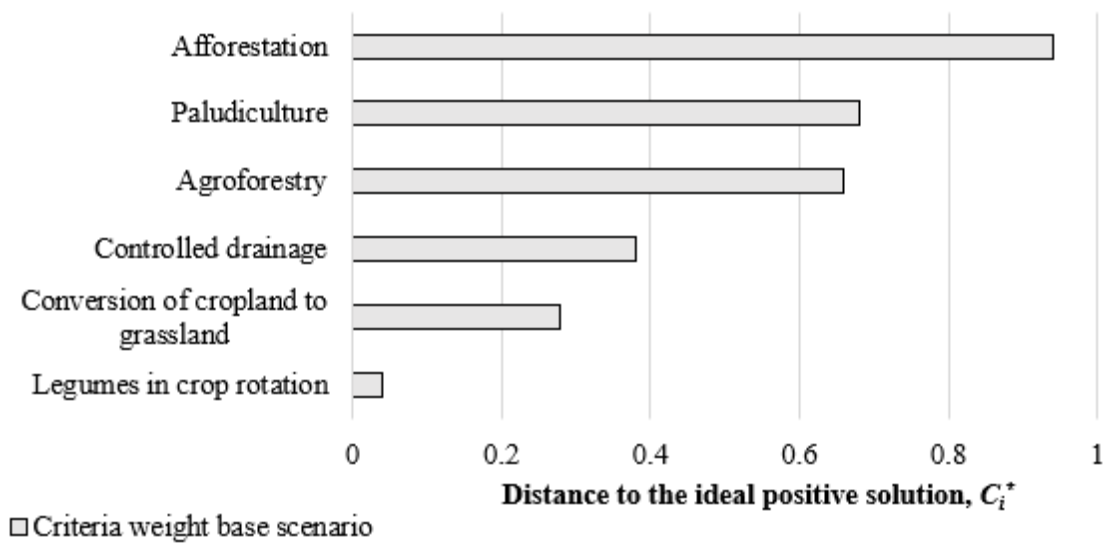
Table 3.5

Aggregation of TOPSIS Analysis Criterion Weight Indices in the Baseline Scenario

No	Criterion	The weight assigned to the criterion, w <sub>i</sub>
1.	Net Present Value, EUR	0.1
2.	GHG emission reduction potential, t CO <sub>2</sub> eq.	0.4
3.	Value of ecosystem services, EUR ha <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup>	0.3
4.	Cost of reducing GHG emissions, EUR t <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub> eq.	0.2
Total:		1.00 (100%)

Source: author's construction

The results of the TOPSIS analysis, or the ranking of climate change mitigation measures based on the chosen criteria weights in the baseline scenario, are reflected in Figure 3.4.



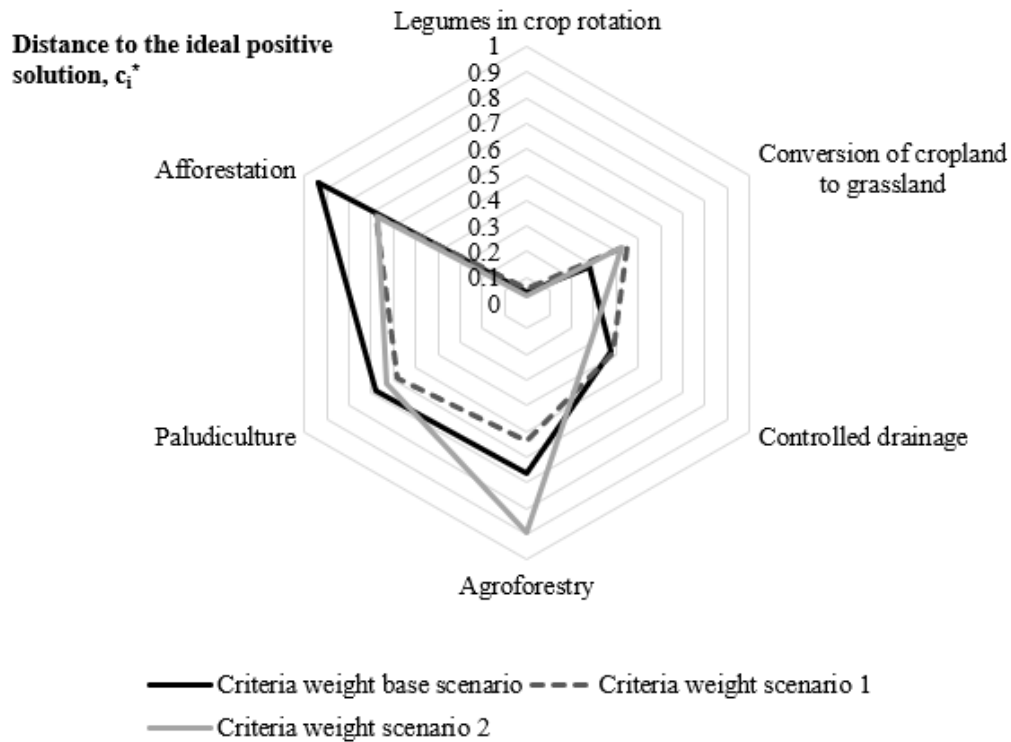
Source: author's construction

**Fig.3.2. Relative distances characterising the closeness to ideal solution of climate change mitigation measures in the baseline scenario**

The results of the TOPSIS analysis, according to the assumptions made in the thesis (indicators describing measures, criteria selection) and the criteria weights assigned in the baseline scenario, indicate that afforestation is the closest climate change mitigation measure to the ideal positive solution. It is followed in the ranking by paludiculture and agroforestry measures. Therefore, the TOPSIS analysis ranks three measures — characterized by wood biomass growing and significant or not so significant changes in land use — as the ones closest to the ideal positive solution and farthest from the ideal negative solution. In contrast, the inclusion of legumes in the crop rotation in the given set of assumptions is closest to the ideal negative or worst solution.

A component of the MCDA steps, including the TOPSIS method (Figure 3.2), is sensitivity analysis. The purpose of sensitivity analysis is to evaluate how changes in input data or assumptions affect the results of the decision-making model, or the relationships between the model's outcome and input indicators (Adem Esmail & Geneletti, 2018). Sensitivity analysis is performed by altering research conditions, assumptions, or input data (Danielson & Ekenberg, 2023). The author conducts sensitivity analysis by changing the criteria weights in two scenarios: 1) assigning equal weights to all criteria; 2) assigning higher weights to economic dimension criteria. The results of the sensitivity analysis (Figure 3.5) indicate that the ranking obtained in the baseline scenario is considered stable concerning changes in criteria weights. On the x-axis (Figure 3.5), the distance to the ideal positive solution  $c_i^*$  is reflected. Changing the criteria weights in the 1<sup>st</sup> scenario (equal weight distribution among criteria) does not cause significant changes in the ranking. Changing the criteria weight distribution in the 2<sup>nd</sup> scenario (higher weight for economic criteria) results in a shift in ranking between afforestation and agroforestry measures, as well as a shift between controlled drainage and conversion of arable land into grassland measures. However, these changes do not alter the fact that, even in the 2<sup>nd</sup> scenario, measures related to changes in land use (afforestation, paludiculture, agroforestry) remain closer to the ideal positive solution.





Source: author's construction

**Fig.3.3. Ranking of climate change mitigation measures in the case of three different criteria weight assignment scenarios**

When using the TOPSIS analysis as one of the decision-making support tools, it should be taken into account that the change in the weight of the selected criteria affects the results of the TOPSIS analysis; however, even in case of a significant change in the weight distribution, the results can remain stable, which proves their completeness and reliability for use in decision-making.

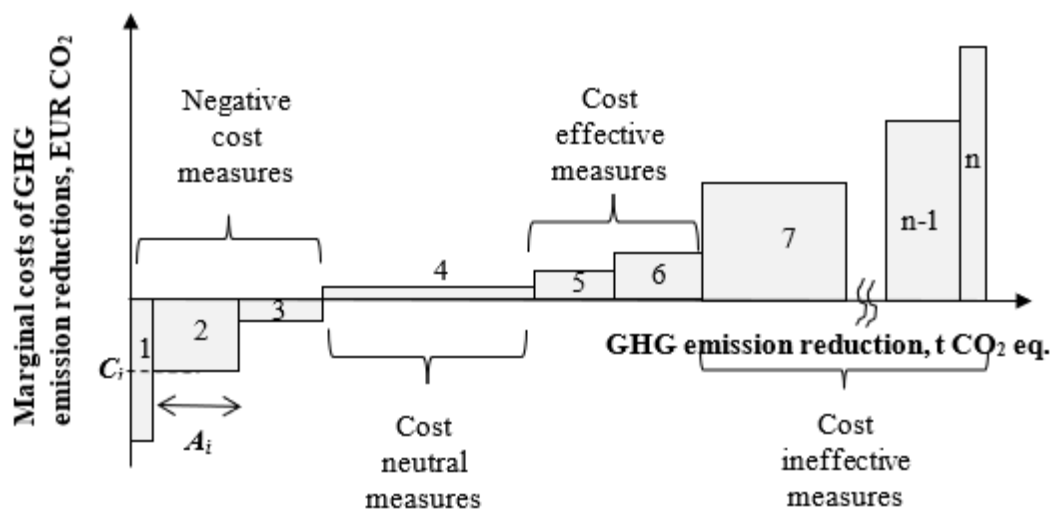
### 3.3. Analysis of Cost Effectiveness of Climate Change Mitigation Measures

Decision-making and the formulation of climate and sector policies require more than just information on the technical potential of reducing GHG emissions. There is a need to establish a set of measures at the regional or national level, the implementation of which would result in economically effective mitigation of climate change. Research indicates that the technical potential for climate change mitigation, as defined by reports such as those from the IPCC, exceeds the scope of economically effective options on a regional or country-specific basis (Abberton et al., 2010). Cost-effectiveness analysis is a commonly used and widely recognized approach for evaluating alternative climate change mitigation options, including the use of Marginal Abatement Cost Curve Analysis (MACC) analysis (Shukla et al., 2019). MACC analysis is applicable for both the mutual assessment of alternative climate change mitigation measures and the comparative analysis between sectors. It is also useful for developing an effective climate change mitigation budget at the national level, as proposed by McKinsey & Company in 2009 (Enkvist et al., 2010). The roots of MACC analysis methods can be traced back to the 1980s when an optimization model was developed based on a partial equilibrium model to assess the impact of various activities in achieving a common goal. In the 1990s, T. Jackson adapted the original model for the analysis of climate change mitigation policies (Jackson, 1993), creating an approach known as MACC analysis, utilized in academia, industry, and policy environments (Levihn, 2015).

MACC analysis in evaluating climate change mitigation options is employed by organizations such as the IPCC, Climate Convention, Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), FAO, International Energy Agency, World Bank, research institutions, think tanks (e.g., Stockholm Environment Institute), the Energy Research Centre of the Netherlands, Multilateral Development Banks, government bodies (e.g., in the UK, Ireland, Mexico, Poland, Nicaragua, and California (Ekins et al., 2011)), and private companies. In scientific literature, there is no unified classification for MACC analysis, but two main approaches are often distinguished. One is the model-based or "top-down" approach, where the MACC curve is constructed based on modeling results with different GHG emission constraints to obtain cost-effectiveness indicators or with different carbon prices to model corresponding GHG emission indicators. The data pairs of GHG emissions and CO<sub>2</sub> prices obtained in the modeling are used to construct the MACC curve (Du et al., 2015). One example of models used in agriculture is the CAPRI model for modeling the theoretical market for GHG emission allowances in the EU ETS, determining the market equilibrium point (where the GHG emission allowance price equals the marginal abatement cost) using allowance prices and regional GHG emission limit data (Pérez Dominguez et al., 2009). The other type of MACC analysis is the expert-based or "bottom-up" approach, also known as the technological cost or cost engineering approach. One of the significant examples of the expert-based approach is McKinsey & Company's global assessments of GHG emission reduction in various sectors, including global agricultural GHG emission reduction assessment analyzing twenty-five climate change mitigation measures (Ahmed et al., 2020). One prominent application of MACC in agriculture globally is McKinsey & Company's research (Ahmed et al., 2020), as well as FAO studies on the economic assessment of agricultural policies (Bockel et al., 2012), OECD reports ziņojumi (Macleod et al., 2015; Wreford et al., 2010), and review studies like (Vermont & De Cara, 2010b). In Europe, the MACC method has been used in agricultural studies for the performance analysis of EU member states (De Cara & Jayet, 2011; Eory et al., 2018; Fellmann et al., 2021; Vogt-Schilb & Hallegatte, 2014) and individual country studies, such as in the UK (Eory et al., 2013; MacLeod et al., 2010; Macleod et al., 2015; Moran et al., 2009; Moran, Macleod, et al., 2011; Moran, MacLeod, et al., 2011; Smith & Olesen, 2010), Switzerland (Huber, Späti, et al., 2023; Huber, Tarruella, et al., 2023; Kreft et al., 2023), France (Dequiedt & Moran, 2015; Doreau et al., 2014; Pellerin et al., 2017), Ireland (O'Brien et al., 2014; Schulte et al., 2012a), Austria (Wächter, 2013), and elsewhere. In Latvia, the MACC method has been applied for the analysis of climate change measures in agriculture since 2015 (Gancone et al., 2021b, 2022b; Kreišmane et al., 2018; Lenerts et al., 2021; Naglis-Liepa et al., 2018, 2021; Popluga et al., 2017; Popluga & Naglis-Liepa, 2015).

MACC curves serve as a planning tool in policy, providing information on the costs of reducing one additional unit of GHG emissions (expressed in CO<sub>2</sub> eq.) and allowing these costs to be visualized in a curve that shows the benefit of the respective action in terms of GHG emission reduction. Thus, MACC curves (Figure 3.4) display the potential reduction in GHG emissions  $A_i$  for each analyzed measure  $i$  on the horizontal axis, while the marginal abatement costs  $C_i$  are shown on the vertical axis. The placement of climate change mitigation measures on the MACC curve allows for their categorization into cost-effectiveness groups, and this division is visually represented. Measures that result in negative marginal abatement costs (as shown in Figure 3.6 – "Negative cost measures") are located below the horizontal axis. The implementation of these measures simultaneously provides both GHG emission reduction and cost savings. The choice of cost-neutral measures allows for the reduction of the impact of climate change with relatively small expenses, approaching zero cost in the long term. The group of cost-effective measures ensures a balanced ratio between expenses and climate change mitigation. In studies, the definition of these groups often relies on the current and projected carbon price, respectively, considering the implementation of these measures in climate change mitigation as cheaper compared to acquiring a corresponding quantity of carbon units (Schulte et al., 2012b). The average carbon price used in this study is 55 EUR t<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> eq., as employed

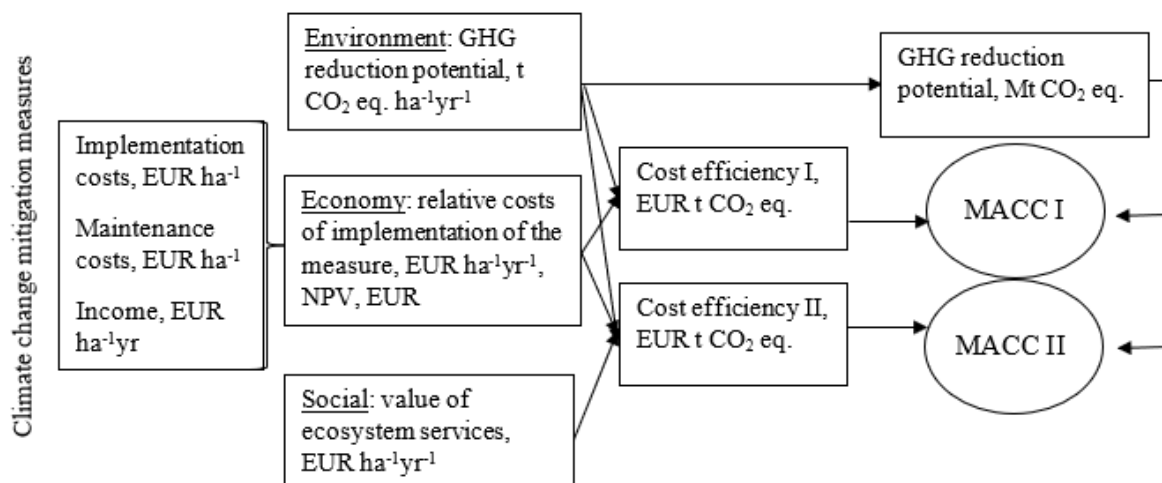
in the impact assessment report of the European Green Deal (European Commission, 2020b). In the case of cost-ineffective measures, the reduction of each ton of CO<sub>2</sub> eq. is significantly more expensive than in other groups, making the implementation of these measures for climate change mitigation more expensive than acquiring a comparable quantity of carbon units. Studies emphasize the importance of not focusing solely on the implementation of the most cost-effective measures but rather initiating the implementation of cost-intensive measures (if their inertia and climate change mitigation potential are high) before the potential of implementing cheaper measures in climate change mitigation is exhausted. It is also highlighted that the optimal set of measures for achieving short-term goals depends on the measures required for achieving long-term goals (Vogt-Schilb & Hallegatte, 2014). Thus, considering dynamics and inertia effects, it is possible to determine the optimal timing for the implementation of climate change measures in cases where implementation plans differ for various measures. From a policy perspective, MACC answers the question of how the market will respond or how it should respond to policy initiatives (implementation of climate change mitigation measures). It also identifies the best available alternatives for future investments in climate change mitigation (Levihn et al., 2014).



Source: author's construction based on (Schulte et al., 2012b; Vogt-Schilb & Hallegatte, 2014)

**Fig.3.4. The theoretical example of expert based or bottom-up MACC approach for designing the cost efficiency curve of climate change mitigation measures**

Although studies acknowledge weaknesses in expert-based MACC approaches, such as: 1) treating each climate change mitigation measure individually without adequately considering their mutual interactions; 2) considering technological but ignoring associated transaction costs; 3) usually evaluating impacts statically and narrowly in a technological context, without accounting for the institutional and behavioral models' context (Kesicki & Strachan, 2011), the author in the thesis chooses to use this approach. This decision is made because it allows for the analysis of cost-effectiveness at the industry or sectoral segment level, which, in the case of the thesis, is organic soil management in the Latvian agricultural sector. In the thesis, the author employs the MACC method to analyze the cost-effectiveness of climate change mitigation measures in managing organic soil in Latvia's agriculture sector at the national level. Calculations and the construction of MACC curves are carried out according to the classical concept of marginal abatement cost analysis, expressing the total costs (positive or negative) in monetary terms for each additional ton of CO<sub>2</sub> eq. reduction generated by the implementation of each measure (Chairat et al., 2022a; Eory et al., 2018). This is done using the work matrix for each measure as described in subsection 3.1 and the MACC calculation model shown in Figure 3.7.



Source: author`s construction

**Fig.3.5. Model for calculations of MACC for climate change mitigation measures for agriculture organic soil in Latvia**

For each climate change mitigation measure, cost data (implementation and maintenance) and income data have been compiled according to the agrotechnical, socio-economic, and environmental indicators described in subsection 3.1. Cost-effectiveness has been calculated with and without ecosystem services, preparing the MACC data matrix (Table 3.6), as outlined in subsection 3.1. Positive values of cost-effectiveness indicate that reducing GHG emissions is cost-effective, while negative values indicate economic benefits from reducing GHG emissions (Eory et al., 2013).

Table 3.6

**Data matrix for climate change mitigation measures MACC analysis in agriculture organic soil in Latvia in 2022**

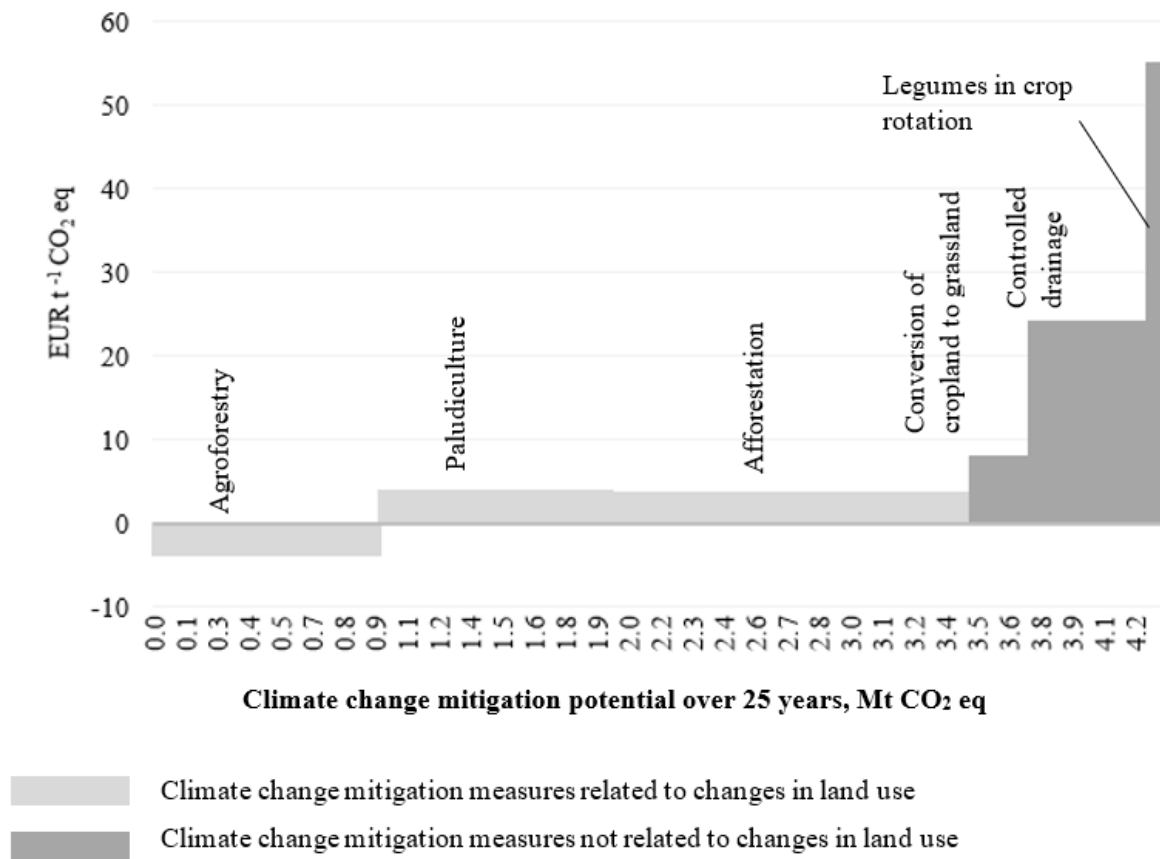
Climate change mitigation measure	Value of ecosystem services, EUR ha <sup>-1</sup>	GHG emission reduction potential (25 yr), Mt CO <sub>2</sub> eq.	Cost efficiency, EUR t <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub> eq.	
			With ecosystem services	Without ecosystem services
Agroforestry	10959	0.1	-342.1	-3.9
Paludiculture	13058	0.1	-393.6	3.9
Afforestation	13058	0.2	-252.9	3.8
Conversion of cropland to grassland	6445	0.02	-767.7	8.0
Controlled drainage	9627	0.05	-552.1	24.1
Legumes in crop rotation	1106	0.01	-424.2	55.0

Source: author`s construction

The author conducts the MACC analysis in two variants – without and with the value of ecosystem services for climate change mitigation measures in the NPV. This is done by preparing MACC I (Figure 3.6) and MACC II (Figure 3.7) representations. The use of ecosystem service values in the MACC analysis is chosen as an innovative approach that has not been used in previous studies. Incorporating the social aspect into the MACC analysis broadens the scope of the analysis and theoretically expands its applicability.

The visualization of MACC analysis results in MACC I (Figure 3.6) reflects the CO<sub>2</sub> eq. reduction potential of selected climate change mitigation measures in organic soil agriculture

in Latvia, according to the costs of climate change mitigation, excluding the value of ecosystem services, and ranking the measures based on their cost–effectiveness. In the visualizations, the author categorizes climate change mitigation measures into two groups based on their implementation type, separating measures related to changes in land use from agriculturally usable land to forest land or agroforestry systems, and measures not related to changes in land use (Figures 3.8 and 3.9). This categorization is done to indicative showcase the potential social acceptability of the measures, assuming that measures not related to changes in land use might be more socially acceptable from the perspective of agricultural landowners.

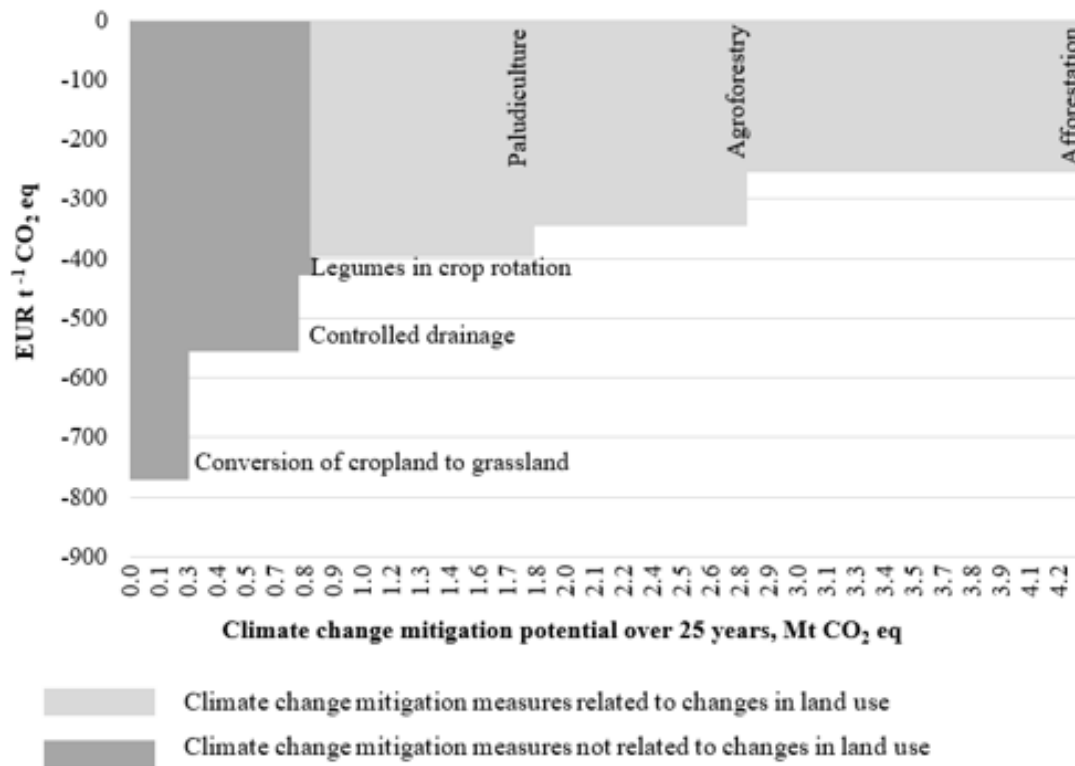


Source: author`s construction

**Fig.3.6. The costs and potential for reducing GHG emissions under climate change mitigation measures in agricultural organic soil in Latvia in 2022 (MACC I)**

The ranking of climate change mitigation measures without the value of ecosystem services (MACC I, Figure 3.6) indicates measures related to changes in land use (agroforestry, paludiculture, afforestation) with a higher potential for reducing GHG emissions at lower costs per ton of CO<sub>2</sub> eq. reduction. Among these measures, agroforestry falls into the category of negative costs. In the implementation of all these measures, additional carbon sequestration through the cultivation of woody biomass occurs, leading to an overall higher potential for emission reduction. Measures related to changes in land use, based on the assumptions made in the thesis, are categorized as cost–effective (conversion of arable land to grassland and controlled drainage) and cost–ineffective (cultivation of legumes in crop rotation). The former have a lower potential for GHG emission reduction (e.g., including legumes in crop rotation) and higher initial investment costs (e.g., controlled drainage). However, it should be noted that measures related to changes in land use are indicative of lower social acceptability, which could add additional costs to their implementation that were not analyzed in the thesis. The results of the MACC analysis including the value of ecosystem services are reflected in Figure 3.9. In

this case (MACC II), all climate change mitigation measures in the cost–effectiveness curve shift towards the negative cost or benefit zone.



Source: author's construction

**Fig.3.7. The costs and potential for reducing GHG emissions under climate change mitigation measures in agricultural organic soil in Latvia in 2022 (MACC II)**

While ecosystem services are crucial for a broader assessment of environmental impacts (in addition to reducing GHG emissions) (Pascual et al., 2023) and evaluating the importance of these services in ranking alternatives for climate change mitigation (Taft, 2014), their values are usually not included in MACC calculations. In the doctoral theses, the intention is to test this approach, leading the author to conclude that the results of the modified MACC II analysis are indicative and informative. This is because the methodologies for monetizing non–material values are still being developed, and the results are subject to various assumptions. Furthermore, studies suggest exercising caution in using MACC in cases of negative costs (Ekins et al., 2011; Levihn, 2015; Ponz–Tienda et al., 2017; Taylor, 2012; Ward, 2014). This caution is necessary because: 1) the potential of climate change mitigation measures with negative costs may be overestimated, diverting attention from less cost–effective measures; 2) negative cost measures are appropriately assessed as cost–effective, but their relative ranking may not be correct due to peculiarities in the mathematical algorithm of the method. As a general approach to addressing the shortcomings of the MACC method is not available during the development of the doctoral theses, the author assumes that measures with "negative costs" are considered equal in the ranking. Therefore, in the case of MACC II, the results are not directly interpretable in the form of a ranking but can be used as an indication of the existence and significance of non–material values (including social, cultural, historical, etc.). This draws attention to the need to consider incorporating such values into policy decision–making processes and to consider support for further research.

In the doctoral theses, the MACC method is tested as a decision support tool, focusing on methodological aspects rather than evaluating specific climate change mitigation measures in policy planning. Decision–makers need to be aware that changing assumptions, including

obtaining more accurate data on the potential of climate change mitigation measures, can significantly alter the results generated by decision support methods. Research indicates that the use of a single decision support tool, including MACC curves, in decision-making can be restrictive (Kesicki & Strachan, 2011). It is advisable to combine the MACC approach with other methods, such as one of the multi-criteria decision support methods (Chairat et al., 2022b). In the doctoral theses, MACC analysis is combined with the MCDA TOPSIS method. Despite methodological differences, both methods yield similar results in ranking climate change mitigation measures. Measures related to land use change (afforestation, paludiculture, agroforestry) appear more cost-effective and closer to the ideal solution. The TOPSIS method includes the aspect of social values (which can be further developed with the adoption of a relevant decision), while ranking by the MACC method provides a clear understanding of cost-effectiveness. The combined use of MCDA TOPSIS and MACC methods can serve as a solid foundation for balanced and scientifically informed decision-making in climate policy planning for the management of organic soil in agriculture.

### **3.4. Simulation of GHG Emission Projections to Assess the Impact of Climate Change Mitigation Measures on the Fulfillment of Latvia's Climate Policy Commitments**

Decision-makers are often forced to work in conditions of significant uncertainty, especially when it comes to long-term impacts, consequences of influences, and policy planning, as is the case with climate policy (Ascher, 2004). Globally and regionally, models have been developed for predicting climate change (Knutti et al., 2010; Oo et al., 2019; Randall et al., 2007 u.c.), and their results are regularly compiled in various international reports. Among the most well-known are the reports of the IPCC, which are used in setting climate change mitigation policy goals. Planning possible development scenarios and calculating their impact is one of the commonly used approaches, allowing all interested parties to consider various development possibilities, including those that are debatable due to organizational, social, or political reasons, and to accept the fundamental uncertainty associated with long-term forecasts (Doukas & Nikas, 2020).

The following assumptions were made for the preparation of the simulation of GHG emission reduction projections resulting from the potential implementation of climate change mitigation measures analyzed in the thesis: 1) considering the EU and Latvia's climate neutrality goal by 2050 (more detailed in section 1.3 of the thesis), the maximum technical implementation potential from 2025 to 2050 is projected for all selected climate change mitigation measures in the organic soil management in agriculture. It is acknowledged that the gradual implementation approach might smooth out the curves of GHG emission projections but would not change the overall results; 2) the simulation of GHG emission projections was performed for Latvia's LULUCF sector (in Cropland land and Grassland categories), although the impact on GHG emission projections in the case of implementing measures would also be observed in the sector of Agriculture of the GHG inventory related to the reduction in managed organic soil area due to changes in land use. The author chooses to simulate GHG emission forecasts for the LULUCF sector (in Cropland land and Grassland categories) considering the limitations of the scope of the work and the overall goal of the thesis to propose improvements in organic soil management in agriculture, focusing on decision-making possibilities rather than assessing the specific impacts of measures; 3) the base scenario used in simulation of GHG emission projections in the doctoral theses was the LULUCF sector WAM scenario prepared by Latvia in 2023 (Ministry of Climate and Energy of Latvia, 2023).

The data used for the GHG emission projections simulation are systematized in Table 3.7.

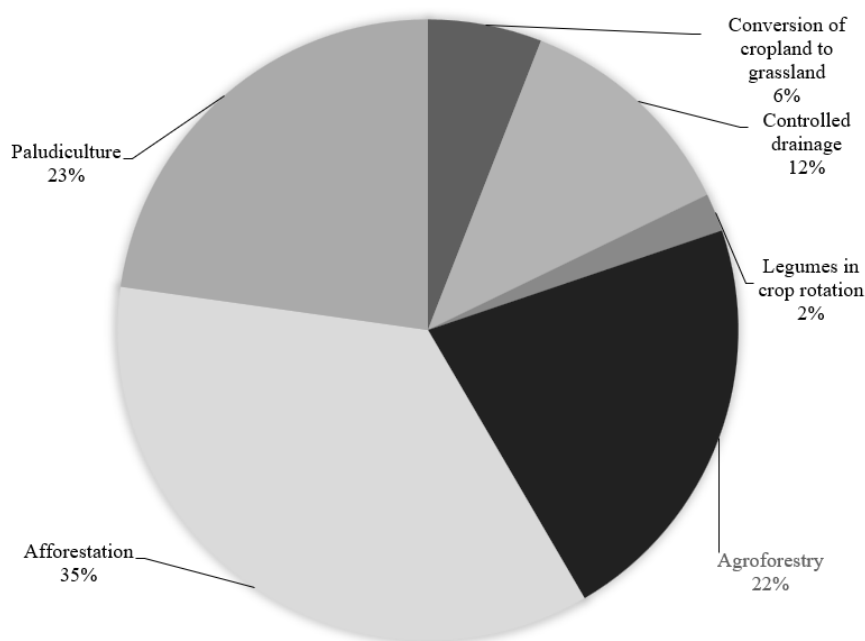
**Data matrix for simulation of GHG emission projections for Cropland and Grassland categories of the LULUCF sector of Latvia in 2023**

Climate change mitigation measure	The area of implementation of the measure, ha yr <sup>-1</sup>	The area of implementation of the measure within 25 years, ha	GHG emission reduction potential of the measure, t CO <sub>2</sub> eq. yr <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>	GHG emission reduction potential of the measure, t CO <sub>2</sub> eq. yr <sup>-1</sup>	GHG emission reduction potential of the measure, t CO <sub>2</sub> eq. 25 yr
Conversion of cropland to grassland	369	9235	2,7	997	24935
Controlled drainage	369	9235	5,4	1995	49869
Legumes in crop rotation	369	9235	0,8	296	7388
Agroforestry	369	9235	10,4	3842	96044
Afforestation	369	9235	16,6	6132	153301
Paludiculture	369	9235	10,7	3953	98815

Source: author's construction

It is assumed (a more detailed explanation of the assumption is provided in section 3.1 of the thesis) that annual management changes affect 2216 hectares of managed agricultural organic soil or 55,350 hectares over 25 years. The cumulative potential for reducing GHG emissions from the climate change mitigation measures analyzed in the doctoral thesis, based on the assumptions made in this study, is 430.2 kt CO<sub>2</sub> eq. over 25 years. The potential reduction of GHG emissions from climate change mitigation measures is reflected in Figure 3.10. According to the assumptions made, the most significant reduction in GHG emissions is achieved by converting agricultural organic soil into forestland (35%), followed by establishing paludiculture by planting black alder and birch (23%), and implementing agroforestry systems in organic agricultural soil to create a rapidly growing ecosystem of trees and grasses (22%). However, it should be noted that these measures are associated with a complete or partial change in land use from conventionally managed agricultural land to forestland or land where trees are grown in combination with agricultural crops. The thesis does not include an assessment of the attitudes of stakeholders, but studies indicate that socio-psychological and socio-economic factors significantly influence landowners' decisions, including decisions about changing land use or management practices, as well as knowledge about climate change processes (Pascual et al., 2023). As a result, the implementation of political decisions may be delayed if there is insufficient follow-up educational work and the specific needs and goals of landowners are not adequately taken into account (Van Den Berg et al., 2023), for example, to continue the usual agricultural practices. The social acceptability among landowners for climate change mitigation measures that do not involve a change in land use might be higher, but the overall potential for climate change mitigation constitutes a relatively small portion (20%) of the total potential of the analyzed measures.





Source: author`s construction

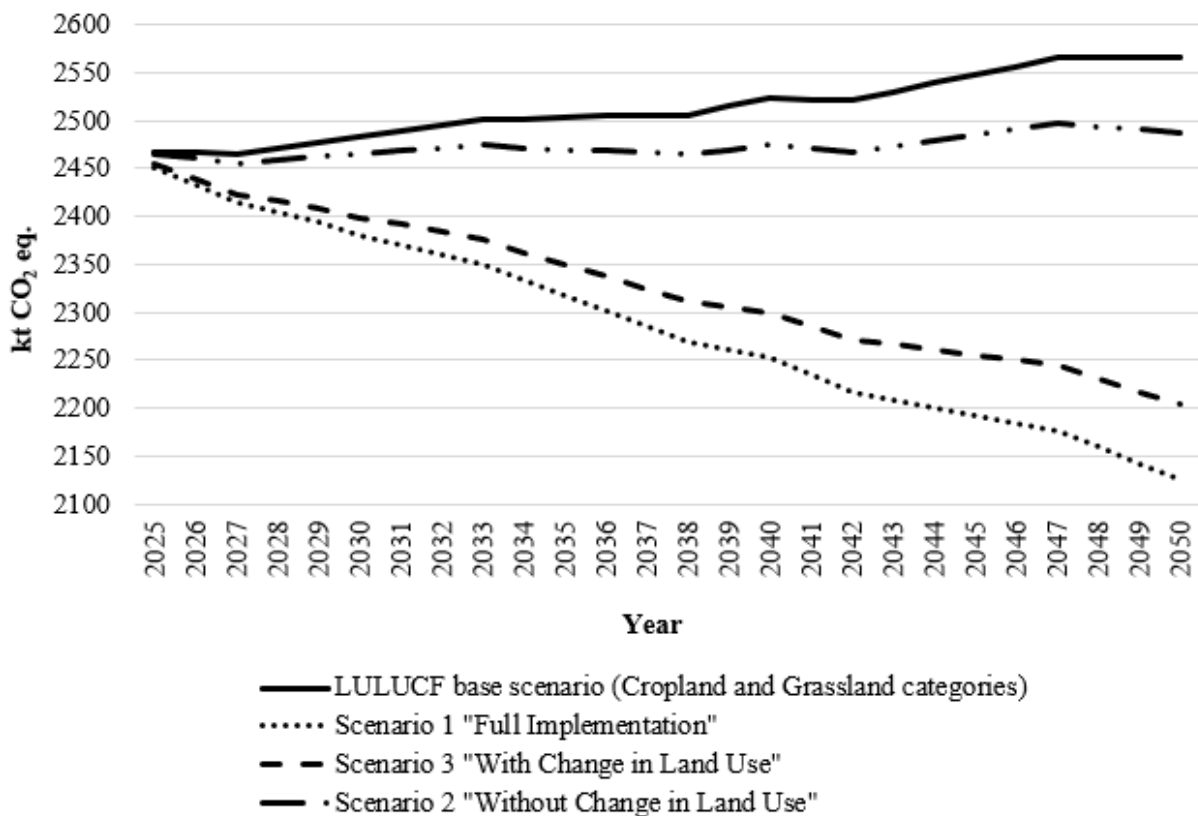
**Fig.3.8 Comparison of the GHG emissions reduction potential of agricultural organic soil climate change mitigation measures in Latvia in 2023**

It should be noted that the values of GHG emission reductions presented are illustrative in nature, as in Chapter 3 of the thesis, multi-criteria decision-making and cost-effectiveness analysis methods for organic soil management decisions were tested, rather than evaluating the specific potential of GHG emission reductions for individual measures. Such an analysis, with the aim of assessing the actual potential for GHG emission reduction, should be conducted in future studies when regional GHG emission measurement data for measures are available, and regional GHG emission factors are calculated, as for example in the LIFE OrgBalt project.

In the thesis, the simulation of GHG emission forecasts was carried out for three alternative scenarios, planned for a target area of 55,405 hectares (the rationale for selecting the target area is explained in section 3.1 of the thesis):

- 1) Scenario 1 "Full Implementation," envisages the simultaneous implementation of all analyzed climate change mitigation measures (excluding "legumes in crop rotation," as it is already included in the base scenario) in terms of their technical implementation potential;
- 2) Scenario 2 "Without Change in Land Use" includes the implementation of two climate change mitigation measures – "conversion of arable land to grassland" and "controlled drainage." The third measure "legumes in crop rotation" was not included in this scenario to avoid double counting, as its impact is already included in Latvia's 2023 GHG emission projections WAM scenario for the sector of Agriculture;
- 3) Scenario 3 "With Change in Land Use" includes the implementation of three climate change mitigation measures identified as the closest to the ideal positive solution in the TOPSIS analysis and ranked as the most cost-effective in the MACC analysis. The implementation of these measures suggests a change in land use from agricultural land to forestland ("Afforestation" and "Paludiculture") or agroforestry systems ("Agroforestry").

Results of the GHG emissions projections simulation are summarized in Figure 3.11. and Figure 3.10.



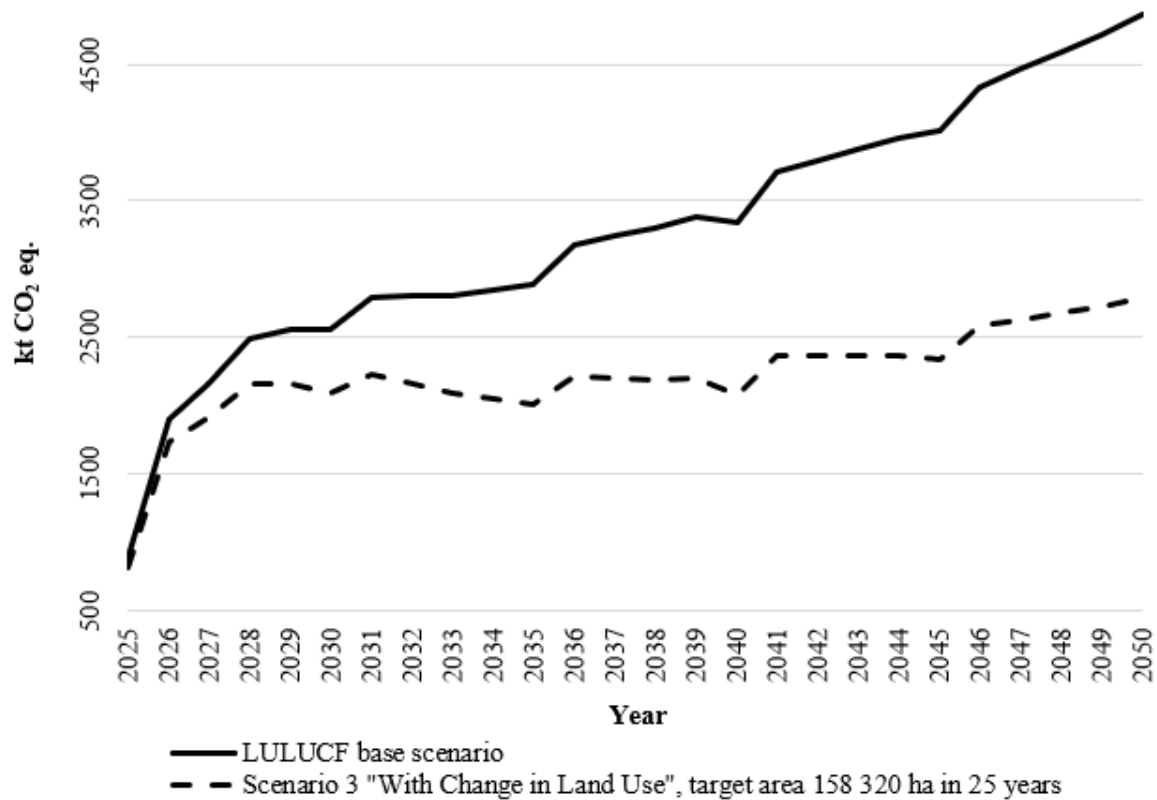
Source: author`s construction

**Fig.3.9. Simulation of GHG emission projections of the LULUCF sector in case of implementation of potential climate change mitigation measures in three scenarios in Latvia**

The results of the GHG emissions projections simulation indicate that implementing climate change mitigation measures in the management of agricultural organic soils in the target area chosen for the doctoral theses research leads to the greatest reduction in GHG emissions in the LULUCF sector in the case of the Scenario 1 and the Scenario 3 implementation. This is associated with carbon sequestration in tree biomass and changes in land use. On the other hand, the implementation of measures that do not involve changes in land use, as in the Scenario 2, does not significantly alter the emission curve. Since the baseline scenario is based on Latvia's national GHG emission projections using the WAM calculations (2023 submission), the planned measures constitute a contribution to reducing climate change beyond the current policy framework. Additional political stimuli would be necessary for their implementation.

The potential for the implementation of climate change mitigation measures used in the calculations is planned at the technically feasible maximum from the first year of implementation (in 2025), because at the international, EU and national level, a solution must be urgently found to move towards the achievement of the binding goal of climate neutrality (Calvin et al., 2023).

Assuming that the measures of the Scenario 3 are implemented on all agricultural land with organic soil in Latvia, i.e., 158,320 hectares (according to the data from the submission 2022 of the National GHG Inventory Report of Latvia) annually, with 6,329 hectares allocated equally among the three measures, a reduction in GHG emissions in the LULUCF sector is achieved (Figure 3.10); however, GHG emissions remain positive. In other words, with the implementation of the measures in the Scenario 3, negative GHG emissions or removals are not ensured in the LULUCF sector by 2050, according to the assumptions used in the thesis research.



Source: author's construction

**Fig.3.10 Simulation of GHG emission projections of the LULUCF sector, assuming that Scenario 3 is implemented in the entire area of agricultural organic soil in Latvia**

In the doctoral theses research, the diversity of policy planning instruments has not been analyzed. However, decision-makers have the opportunity to utilize a complex set of instruments and incentives (Capano & Howlett, 2020), including the new EU Green Deal initiatives on carbon farming (European Commission, 2021). This can be done to achieve the maximum technical potential for the implementation of climate change mitigation measures, in addition to other types of policy interventions.

The results of the GHG projection simulation (Figures 3.9 and 3.10) indicate the possibility of reducing emissions in the LULUCF sector by altering the management of agricultural organic soils in Latvia, which would potentially contribute to the achievement of the national climate policy goals by 2050.

## MAIN CONCLUSIONS

1. The main goal of Latvia's climate policy is to achieve climate neutrality by offsetting unreduced anthropogenic GHG emissions with CO<sub>2</sub> removals in the LULUCF sector. This goal is directly linked to the management of agricultural organic soils, and its achievement may not be possible without a significant reduction in GHG emissions from these soils.
2. The policy for the management of agricultural organic soils is shaped at the intersection of climate change mitigation and agricultural policies, with climate policy playing an initiating role. Latvia's policies in the management of organic soils are influenced by international and EU political developments. The relevance of policies in the management of organic soils has consistently remained high since 2013.
3. Changes in the management of organic soils in the selected research area (approximately 30% of Latvia's total organic soil area in agricultural land) from 2012 to 2020 have not distinctly promoted or hindered climate change mitigation. The increase in perennial crops (orchards, fruit trees, and berries) and grassland (pasture and various types of grasses) areas by 66.1% and 61.9%, respectively, is viewed as a positive trend with a reduction in GHG emissions. However, there is also an opposing trend, with a 32.2% increase in the area of cereals, oil crops, and maize dominating in terms of the overall balance.
4. Latvia lacks data on the management of organic soils, and there is no monitoring of management practices. This absence is a significant obstacle to the targeted implementation of climate change mitigation policies. Both factor and cluster analysis results for the period 2012 – 2020 indicate that EU support for the management of organic soils has not been linked to actual agroecological conditions or soil properties. As a result, the practice of managing organic soils does not necessarily contribute to achieving the country's climate change reduction goals.
5. The integrated use of MCDA TOPSIS and MACC methods can facilitate balanced and scientifically based decision-making in the management of organic agricultural soils. These methods are relatively easy to apply, requiring a relatively easily obtainable dataset, and they compensate for each other's shortcomings. TOPSIS assessment allows for the inclusion of social value aspects, while the ranking of climate change mitigation measures provided by the MACC method ensures a clear understanding of cost-effectiveness.
6. The results of both MCDA TOPSIS and MACC methods indicate that land-use changes caused by climate change mitigation measures (afforestation, agroforestry, paludiculture) are considered as the closest to the ideal solution, taking into account the combined impact of GHG emission reduction potential and the value of ecosystem services. However, it is crucial to emphasize that both methods are sensitive to changes in assumptions and data regarding GHG emission reduction potential.
7. The simulation of GHG emissions projections indicates significant potential for climate change mitigation in Latvia, which has not been utilized in the management of agricultural organic soils. This potential can make a considerable contribution to achieving the national climate neutrality goal by 2050, while continuing the productive management of agricultural land with organic soil.
8. Thus, the hypothesis proposed for the doctoral thesis - scientifically based and calculation-based organic soil management decision-making contributes to achieving Latvian climate policy goals - has been proven, the goal set for the research has been achieved, and the research work tasks have been fulfilled. The research results confirm that quantitative decision-making support methods can be effectively applied when planning the cost-effective reduction of GHG emissions in agricultural organic soil management in Latvia, contributing to achieving Latvian climate change mitigation goals.

## PROBLEMS AND PROPOSALS FOR THEIR SOLUTION

### **Problem 1.**

Despite the significant role of agricultural organic soil management in advancing Latvia's climate policy goals, there is no regular monitoring of trends in the management of agricultural organic soils in the country. Current information on how organic soil is managed is not available. Consequently, policymakers and researchers lack fundamental information essential for the preparation of policy decisions and research solutions.

### **Proposals for solving the problem.**

In order to ensure regular (preferably annual) acquisition of information on trends in the management of organic soil in agriculture in Latvia, enabling the use of relevant and comprehensive data for timely planning of land use policy development and necessary research, it would be necessary to:

- 1) include regular acquisition of information on organic soil management in the tasks of scientific research utilized in agriculture by the **Ministry of Agriculture**. This could be integrated as part of the agricultural development forecasting system;
- 2) the **Ministry of Agriculture in cooperation with the Rural Support Service** ensure the acquisition and maintenance of information on agricultural organic soil management in the database of the Rural Land Register, thus ensuring the maximum effective use of state information systems in solving problems important to the state, including creating and regularly updating the database for the analysis of organic soil management.

### **Problem 2.**

The results of the thesis indicate that in Latvia, there is a lack of targeted and research-based policies for the management of organic soil in agriculture. Previous support measures, even if aimed at mitigating climate change, are not specifically directed towards reducing climate change through the management of agriculture organic soil. Further development of economic activities in agriculture organic soil without clear policies and targeted measures would significantly hinder the achievement of Latvia's climate policy goals both by 2030 and 2050.

### **Proposals for solving the problem.**

It is recommended to change the perspective of agricultural organic soil management, focusing on more targeted management practices, using research data, therefore it is necessary to:

- 1) The **Ministry of Agriculture** and its collaboration partners should evaluate the possibility during the annual performance evaluation of the Latvian CAP Strategic Plan for 2023 – 2027 to supplement LA 7.1 intervention "Investments in afforestation, replanting, restoration, and thinning of forests", by determining an increased intensity of support for afforestation (including forest paludiculture) of organic soil, thus this intervention directly referring to the reduction of GHG emissions in organic soil management;
- 2) The **Ministry of Agriculture** should consider national support options for implementing climate change mitigation measures in the management of organic soil. Additionally, while working on the EU carbon removal certification framework and the proposal for the EU Nature Restoration Regulation, it is crucial to emphasize the Latvian situation in the field of organic soil management. Within the limits of possibilities, ensure the inclusion of nationally identified climate change mitigation measures in the overall framework of nature restoration practices and carbon farming activities;
- 3) The **Ministry of Agriculture** and the Ministry of Climate and Energy should continue and, within the limits of possibilities, intensify support for national research on GHG emission dynamics from organic soil under various management scenarios.

### **Problem 3.**

Quantitative decision-making support methods are not used in Latvia to assess the impact of GHG emissions reduction measures and prepare GHG emissions projection scenarios, and there is a lack of quantified data for assessing the impact of agricultural organic soil climate change mitigation measures and calculating cost effectiveness.

#### **Proposals for solving the problem.**

In policy planning, it is recommended to use decision support methods that incorporate locally obtained data on alternative soil management practices, considering their impacts on climate change mitigation, as well as locally relevant agrotechnical, economic, and social indicators. Based on the findings of the thesis research, a combined use of multiple decision-making methods is suggested, for example, the combination of MCDA TOPSIS and MACC methods. Therefore, it is advisable to:

- 1) For the **Ministry of Agriculture**, while working on incorporating additional measures into national policy planning documents (such as EU CAP planning documents, National Energy and Climate Plan, sector-specific development strategies, and others) in cooperation with sector experts, it is recommended to utilize aproated decision support methods, such as MACC analysis and the MCDA TOPSIS model, for decision-making. Regular updates (every two years, coinciding with the cycle of preparing GHG emission projections) should be ensured for the indicators used in decision-making models, aligning them with the socio-economic situation of the time;
- 2) The **Ministry of Climate and Energy** is advised to consider the possibility of amending Regulations of the Cabinet of Ministers No. 675 of October 25, 2022, " The procedure for creating and maintaining the GHG inventory system, the projections system and the system for reporting on adaptation to climate change" with the condition that the participants of the national system for preparing GHG emission projections for the sectors of Agriculture and LULUCF (respectively – LBTU and LSFRI Silava) inform on decision-making analysis methods used for assessing the impact of climate change mitigation measures and their results.

## GALVENO IZMANTOTO LITERATŪRAS AVOTU SARAKSTS / LIST OF THE BIBLIOGRAPHIC SOURCES USED

1. Abberton, M. T., Conant, R. T., Batello, C., Food and Agriculture Organization of the United Nations, & Food and Agriculture Organization of the United Nations (Eds.). (2010). *Grassland carbon sequestration: Management, policy and economics: proceedings of the Workshop on the Role of Grassland Carbon Sequestration in the Mitigation of Climate Change, Rome, April 2009*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
2. Addicott, E. T., Fenichel, E. P., & Kotchen, M. J. (2020). Even the Representative Agent Must Die: Using Demographics to Inform Long-Term Social Discount Rates. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 7(2), 379–415. <https://doi.org/10.1086/706885>
3. Adem Esmail, B., & Geneletti, D. (2018). Multi-criteria decision analysis for nature conservation: A review of 20 years of applications. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(1), 42–53. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12899>
4. Ahmed, J., Almeida, E., Aminetzah, D., Denis, N., Henderson, K., Katz, J., Kitchel, H., & Mannion, P. (2020). *Agriculture and climate change: Reducing emissions through improved farming practices*. McKinsey&Company.
5. Anševica, A., Kažotnieks, J., & Magdalenoka, I. (2016). *Zālāju rokasgrāmata*. SIA “Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centrs”.
6. Ascher, W. L. (2004). Scientific information and uncertainty: Challenges for the use of science in policymaking. *Science and Engineering Ethics*, 10(3), 437–455. <https://doi.org/10.1007/s11948-004-0002-z>
7. Bagherzadeh, A., & Gholizadeh, A. (2016). Modeling land suitability evaluation for wheat production by parametric and TOPSIS approaches using GIS, northeast of Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(3), 126. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0177-8>
8. Bārdulis, A., Daugaviete, M., Bārdule, A., & Lazdins, A. (2010). The biomass production in above and under-ground grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) young stands. *Proceedings of the Solutions on Harmonising Sustainability and Nature Protection with Socio-Economic Stability*, 19–20.
9. Bārdulis, A., Ivanovs, J., Bārdule, A., Lazdiņa, D., Purviņa, D., Butlers, A., & Lazdiņš, A. (2022). Assessment of Agricultural Areas Suitable for Agroforestry in Latvia. *Land*, 11(10), 1873. <https://doi.org/10.3390/land11101873>
10. Bartholomew, D. J. (1995). Spearman and the origin and development of factor analysis. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 48(2), 211–220. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8317.1995.tb01060.x>
11. Bastin, J.-F., Finegold, Y., Garcia, C., Mollicone, D., Rezende, M., Routh, D., Zohner, C. M., & Crowther, T. W. (2019). The global tree restoration potential. *Science*, 365(6448), 76–79. <https://doi.org/10.1126/science.aax0848>
12. Beckerman, W., & Hepburn, C. (2007). Ethics of the discount rate in the Stern Review on the economics of climate change. *World Economics-Henley on Thames*, 8(1), 187.
13. Beetz, S., Liebersbach, H., Glatzel, S., Jurasinski, G., Buczko, U., & Höper, H. (2013). Effects of land use intensity on the full greenhouse gas balance in an Atlantic peat bog. *Biogeosciences*, 10(2), 1067–1082. <https://doi.org/10.5194/bg-10-1067-2013>
14. Behzadian, M., Khanmohammadi Otagsara, S., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13051–13069. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>
15. Binkley, D. (1983). Ecosystem production in Douglas-fir plantations: Interaction of red alder and site fertility. *Forest Ecology and Management*, 5(3), 215–227. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(83\)90073-7](https://doi.org/10.1016/0378-1127(83)90073-7)
16. Bisenieks, J., Daugavietis, M., & Daugaviete, M. (2010). *Productivity models of grey alder stands*. 21, 31–44.

17. Bockel, L., Sutter, P., Touchemoulin, O., & Jönsson, M. (2012). *Using Marginal Abatement Cost Curves to Realize the Economic Appraisal of Climate Smart Agriculture Policy Options*. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.
18. Bowen, R. E., & Riley, C. (2003). Socio-economic indicators and integrated coastal management. *Ocean & Coastal Management*, 46(3–4), 299–312. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(03\)00008-5](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(03)00008-5)
19. Brundtland, G. H. (1987). *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development* (UN Dokument A/42/427). <http://www.un-documents.net/ocf-ov.htm>
20. Bumbiere, K., Diaz Sanchez, F. A., Pubule, J., & Blumberga, D. (2022). Development and Assessment of Carbon Farming Solutions. *Environmental and Climate Technologies*, 26(1), 898–916. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2022-0068>
21. Buschmann, C., Röder, N., Berglund, K., Berglund, Ö., Lærke, P. E., Maddison, M., Mander, Ü., Myllys, M., Osterburg, B., & Van Den Akker, J. J. H. (2020). Perspectives on agriculturally used drained peat soils: Comparison of the socioeconomic and ecological business environments of six European regions. *Land Use Policy*, 90, 104181. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104181>
22. Butlers, A., Bārdule, A., Spalva, G., & Muižnieks, E. (2022). N2O AND CH4 EMISSIONS FROM NATURALLY WET AND DRAINED NUTRIENT-RICH ORGANIC FOREST SOILS. *RURAL DEVELOPMENT* 2019, 2021(1), 196–200. <https://doi.org/10.15544/RD.2021.030>
23. Butlers, A., Lazdiņš, A., Kalēja, S., & Bārdule, A. (2022). Carbon Budget of Undrained and Drained Nutrient-Rich Organic Forest Soil. *Forests*, 13(11), 1790. <https://doi.org/10.3390/f13111790>
24. Butlers, A., Spalva, G., Licite, I., & Purvina, D. (2022, May 25). *Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from naturally wet and drained nutrient-rich organic forests soils*. 21st International Scientific Conference Engineering for Rural Development. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF190>
25. Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., ... Péan, C. (2023). *IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]*. IPCC, Geneva, Switzerland. (First). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
26. Campbell, D. I., Wall, A. M., Nieveen, J. P., & Schipper, L. A. (2015). Variations in CO<sub>2</sub> exchange for dairy farms with year-round rotational grazing on drained peatlands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 202, 68–78. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.12.019>
27. Capano, G., & Howlett, M. (2020). The Knowns and Unknowns of Policy Instrument Analysis: Policy Tools and the Current Research Agenda on Policy Mixes. *SAGE Open*, 10(1), 215824401990056. <https://doi.org/10.1177/2158244019900568>
28. Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Béral, C., Barthès, B. G., Dupraz, C., Durand, C., Kouakoua, E., & Chenu, C. (2017). Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 236, 243–255. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.011>
29. Cardinael, R., Guenet, B., Chevallier, T., Dupraz, C., Cozzi, T., & Chenu, C. (2017). *High organic inputs explain shallow and deep SOC storage in a long-term agroforestry system – Combining experimental and modeling approaches* [Preprint]. Biogeochemistry: Soils. <https://doi.org/10.5194/bg-2017-125>



30. Central Statistical Bureau of Latvia. (2022). *Official statistics portal of Latvia. Size of agricultural holdings, and the utilized agricultural land they manage increased* [dataset]. Official Statistics of Latvia. <https://stat.gov.lv/en/statistics-themes/business-sectors/agriculture/press-releases/7021-provisional-results-agricultural>
31. Chairat, A. S. N., Abdullah, L., Maslan, M. N., & Batih, H. (2022a). Applications of Marginal Abatement Cost Curve (MACC) for Reducing Greenhouse Gas Emissions: A Review of Methodologies. *Nature Environment and Pollution Technology*, *21*(3), 1317–1323. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2022.v21i03.038>
32. Chairat, A. S. N., Abdullah, L., Maslan, M. N., & Batih, H. (2022b). Applications of Marginal Abatement Cost Curve (MACC) for Reducing Greenhouse Gas Emissions: A Review of Methodologies. *Nature Environment and Pollution Technology*, *21*(3), 1317–1323. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2022.v21i03.038>
33. Chang, Y., & Liang, Y. (2023). Intelligent Risk Assessment of Ecological Agriculture Projects from a Vision of Low Carbon. *Sustainability*, *15*(7), 5765. <https://doi.org/10.3390/su15075765>
34. Chen, S.-J., & Hwang, C.-L. (1992). Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods. In M. Beckmann & W. Krelle (Eds.), *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making* (Vol. 375, pp. 289–486). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-46768-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-46768-4_5)
35. Cilinskis, E., Indzere, Z., & Blumberga, D. (2017). Prioritization methodology for the determination of national targets. *Energy Procedia*, *128*, 215–221. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.058>
36. Cinelli, M., Coles, S. R., & Kirwan, K. (2014). Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. *Ecological Indicators*, *46*, 138–148. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.011>
37. Clarke, D., & Rieley, J. (2010). *Strategy for responsible peatland management*.
38. Conchedda, G., & Tubiello, F. N. (2020). Drainage of organic soils and GHG emissions: Validation with country data. *Earth System Science Data*, *12*(4), 3113–3137. <https://doi.org/10.5194/essd-12-3113-2020>
39. Conference of the Parties. (2013). *Decision 24/CP.19. Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention*. <https://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/eng/10a03.pdf#page=2>
40. Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, *387*(6630), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
41. Couˆteaux, M.-M., Bottner, P., & Berg, B. (1995). Litter decomposition, climate and litter quality. *Trends in Ecology & Evolution*, *10*(2), 63–66. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)88978-8](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88978-8)
42. Council of the European Union. (2023). *Council conclusions on Climate and Energy Diplomacy*. <https://www.consilium.europa.eu/media/62942/st07248-en23.pdf>
43. Dabas aizsardzības pārvalde. (2022). *Sociāli-ekonomiskās ietekmes analīze par īpaši aizsargājamām dabas teritorijām un konstatētajiem ES nozīmes biotopiem Latvijā*. <https://ppdb.mk.gov.lv/datubaze/sociali-ekonomiskas-ietekmes-analize-par-ipasi-aizsargajamam-dabas-teritorijam-un-konstatetajiem-es-nozimes-biotopiem-latvija/>
44. Dace, E., & Blumberga, D. (2016). How do 28 European Union Member States perform in agricultural greenhouse gas emissions? It depends on what we look at: Application of the multi-criteria analysis. *Ecological Indicators*, *71*, 352–358. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.016>
45. Danielson, M., & Ekenberg, L. (2023). *Real-Life Decision-Making* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003406709>
46. Daugaviete, M., Makovskis, K., Lazdins, A., & Lazdina, D. (2022). Suitability of Fast-Growing Tree Species (*Salix* spp., *Populus* spp., *Alnus* spp.) for the Establishment of

- Economic Agroforestry Zones for Biomass Energy in the Baltic Sea Region. *Sustainability*, 14(24), 16564. <https://doi.org/10.3390/su142416564>
47. Daugavietis, M., Daugaviete, M., & Bisenieks, J. (n.d.). The management of Grey alder (*Alnus incana* Moench.) stands in Latvia. In *Proceedings of the 8th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development"*, 229–234.
  48. Dauwe, T., Young, K., Mandl, N., & Jozwicka, M. (2019). *Overview of reported national policies and measures on climate change mitigation in Europe in 2019* (Eionet Report ETC/CME 5/2019; p. 42). <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-cme/products/etc-cme-reports/etc-cme-report-5-2019-overview-of-reported-national-policies-and-measures-on-climate-change-mitigation-in-europe-in-2019>
  49. Davidson, M. D. (2015). Climate change and the ethics of discounting: Climate change and the ethics of discounting. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 6(4), 401–412. <https://doi.org/10.1002/wcc.347>
  50. De Cara, S., & Jayet, P.-A. (2011). Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions from European agriculture, cost effectiveness, and the EU non-ETS burden sharing agreement. *Ecological Economics*, 70(9), 1680–1690. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.05.007>
  51. De Groot, R., Brander, L., Van Der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., McVittie, A., Portela, R., Rodriguez, L. C., Ten Brink, P., & Van Beukering, P. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1(1), 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>
  52. De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393–408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
  53. Deng, H., Yeh, C.-H., & Willis, R. J. (2000). Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights. *Computers & Operations Research*, 27(10), 963–973. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(99\)00069-6](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(99)00069-6)
  54. Dequiedt, B., & Moran, D. (2015). The cost of emission mitigation by legume crops in French agriculture. *Ecological Economics*, 110, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.12.006>
  55. Diaz, F., & Cilinskis, E. (2019). Use of Multi-Criteria TOPSIS Analysis to Define a Decarbonization Path in Colombia. *Environmental and Climate Technologies*, 23(3), 110–128. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2019-0083>
  56. Doelman, J. C., Stehfest, E., Van Vuuren, D. P., Tabeau, A., Hof, A. F., Braakhekke, M. C., Gernaat, D. E. H. J., Van Den Berg, M., Van Zeist, W., Daioglou, V., Van Meijl, H., & Lucas, P. L. (2020). Afforestation for climate change mitigation: Potentials, risks and trade-offs. *Global Change Biology*, 26(3), 1576–1591. <https://doi.org/10.1111/gcb.14887>
  57. Donlan, J., O'Dwyer, J., & Byrne, K. A. (2016). Area estimations of cultivated organic soils in Ireland: Reducing GHG reporting uncertainties. *Mires and Peat*, 18, 1–8. <https://doi.org/10.19189/MaP.2016.OMB.230>
  58. Doreau, M., Bamière, L., Pellerin, S., Lherm, M., & Benoit, M. (2014). Mitigation of enteric methane for French cattle: Potential extent and cost of selected actions. *Animal Production Science*, 54(9), 1417. <https://doi.org/10.1071/AN14207>
  59. Doukas, H., & Nikas, A. (2020). Decision support models in climate policy. *European Journal of Operational Research*, 280(1), 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.01.017>
  60. Drösler, M., Freibauer, A., Christensen, T. R., & Friborg, T. (2008). Observations and Status of Peatland Greenhouse Gas Emissions in Europe. In A. J. Dolman, R. Valentini, & A. Freibauer (Eds.), *The Continental-Scale Greenhouse Gas Balance of Europe* (Vol. 203, pp. 243–261). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-76570-9\\_12](https://doi.org/10.1007/978-0-387-76570-9_12)

61. Du, L., Hanley, A., & Wei, C. (2015). Estimating the Marginal Abatement Cost Curve of CO<sub>2</sub> Emissions in China: Provincial Panel Data Analysis. *Energy Economics*, 48, 217–229. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.01.007>
62. Dunn, C., & Freeman, C. (2011). Peatlands: Our greatest source of carbon credits? *Carbon Management*, 2(3), 289–301. <https://doi.org/10.4155/cmt.11.23>
63. Durbach, I. N., & Stewart, T. J. (2012). Modeling uncertainty in multi-criteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 223(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.04.038>
64. Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*. IGES, Japan. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_00\\_Cover.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_00_Cover.pdf)
65. Ehrgott, M., Figueira, J. R., Greco, S., Figueira, J. R., & Greco, S. (Eds.). (2010). *Trends in multiple criteria decision analysis*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5904-1>
66. Ekins, P., Kesicki, F., & Smith, A. Z. P. (2011). *Marginal Abatement Cost Curves: A call for caution* [A report from the UCL Energy Institute to, and commissioned by, Grenpeace UK].
67. Enkvist, P. A., Dinkel, J., & Lin, C. (2010). *Impact of the financial crisis on carbon economics: Version 2.1 of the global greenhouse gas abatement cost curve* (p. 374). McKinsey & Company.
68. Eory, V., MacLeod, M., Topp, C. F. E., Rees, R. M., Webb, J., McVittie, A., Wall, E., Borthwick, F., Watson, C. A., Waterhouse, A., Wiltshire, J., Bell, H., Moran, D., & Dewhurst, R. (2015). *Review and update the UK agriculture MACC to assess the abatement potential for the 5th carbon budget period and to 2050* [Final report submitted for the project contract “Provision of services to review and update the UK agriculture MACC and to assess abatement potential for the 5th carbon budget period and to 2050”. Prepared for the Climate Change Committee.].
69. Eory, V., Pellerin, S., Carmona Garcia, G., Lehtonen, H., Licite, I., Mattila, H., Lund-Sørensen, T., Muldowney, J., Popluga, D., Strandmark, L., & Schulte, R. (2018). Marginal abatement cost curves for agricultural climate policy: State-of-the art, lessons learnt and future potential. *Journal of Cleaner Production*, 182, 705–716. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.252>
70. Eory, V., Topp, C. F. E., & Moran, D. (2013). Multiple-pollutant cost-effectiveness of greenhouse gas mitigation measures in the UK agriculture. *Environmental Science & Policy*, 27, 55–67. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.11.003>
71. European Commission. (2013). *Decision No 529/2013/EU of the European Parliament and of the Council of 21 May 2013 on accounting rules on greenhouse gas emissions and removals resulting from activities relating to land use, land-use change and forestry and on information concerning actions relating to those activities*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32013D0529>
72. European Commission. (2018a). *Communication from the Commission A Clean Planet for all A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0773>
73. European Commission. (2018b). *In-depth analysis in support of the Commission communication COM (2018) 773, A Clean Planet for all a European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*. [https://ec.europa.eu/clima/sites/default/files/docs/pages/com\\_2018\\_733\\_analysis\\_in\\_support\\_en\\_0.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/default/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en_0.pdf)
74. European Commission. (2018c). *Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Governance of the Energy Union and Climate Action, amending Regulations (EC) No 663/2009 and (EC) No 715/2009 of the*

- European Parliament and of the Council, Directives 94/22/EC, 98/70/EC, 2009/31/EC, 2009/73/EC, 2010/31/EU, 2012/27/EU and 2013/30/EU of the European Parliament and of the Council, Council Directives 2009/119/EC and (EU) 2015/652 and repealing Regulation (EU) No 525/2013 of the European Parliament and of the Council.* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1999&qid=1693931592251>
75. European Commission. (2019). *Communication from the Commission The European Green Deal.* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>
  76. European Commission. (2020a). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions EU Biodiversity Strategy for 2030.* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52020DC0380>
  77. European Commission. (2020b). *Impact Assessment accompanying the document Stepping up Europe's 2030 Climate Ambition.* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020SC0176>
  78. European Commission. (2021). *Communication from the Commission to the European Parliament and the Council Sustainable Carbon Cycles.* [https://climate.ec.europa.eu/system/files/2021-12/com\\_2021\\_800\\_en\\_0.pdf](https://climate.ec.europa.eu/system/files/2021-12/com_2021_800_en_0.pdf)
  79. European Commission. (2022a). *Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on nature restoration.* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/DOC/?uri=CELEX:52022PC0304>
  80. European Commission. (2022b). *Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on nature restoration.*
  81. European Commission. Directorate General for Climate Action. & IEEP. (2018). *Analysis of LULUCF actions in EU Member States as reported under Art. 10 of the LULUCF Decision: Final report.* Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2834/571578>
  82. European Commission. Directorate General for Environment. (2021). *EU biodiversity strategy for 2030: Bringing nature back into our lives.* Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/677548>
  83. European Council. (2019). *European Council meeting (12 December 2019) – Conclusions.* <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-29-2019-INIT/en/pdf>
  84. European Council. (2023). *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on nature restoration—General approach.* <https://www.consilium.europa.eu/media/65128/st10867-en23.pdf>
  85. European Environment Agency. (2018). *National policies and measures on climate change mitigation in Europe in 2017: Technical overview of the information reported by Member States under the European Union's climate monitoring mechanism regulation.* Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/560932>
  86. European Parliament. (2021). *Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law').* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32021R1119>
  87. European Parliament. (2023a). *Amendments\* adopted by the European Parliament on 12 July 2023 on the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on nature restoration.* [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0277\\_EN.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0277_EN.html)
  88. European Parliament. (2023b). *Consolidated text: Regulation (EU) 2018/841 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry in the 2030 climate and energy framework, and amending Regulation (EU) No 525/2013 and Decision No*

- 529/2013/EU (Text with EEA relevance). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02018R0841-20230511&qid=1694951474944>
89. European Parliament. (2023c). *Regulation (EU) 2023/857 of the European Parliament and of the Council of 19 April 2023 amending Regulation (EU) 2018/842 on binding annual greenhouse gas emission reductions by Member States from 2021 to 2030 contributing to climate action to meet commitments under the Paris Agreement, and Regulation (EU) 2018/1999*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32023R0857>
  90. European Union. (2020). *Long-term low greenhouse gas emission development strategy of the European Union and its Member States*. <https://unfccc.int/documents/210328>
  91. FAO. (1998). *World reference base for soil resources* [dataset]. <http://www.fao.org/3/w8594e/w8594e00.htm>
  92. FAO. (2020). *Drained organic soils 1990–2019. Global, regional and country trends* (No 4) [FAOSTAT Analytical Brief Series].
  93. Feliciano, D., Hunter, C., Slee, B., & Smith, P. (2013). Selecting land-based mitigation practices to reduce GHG emissions from the rural land use sector: A case study of North East Scotland. *Journal of Environmental Management*, 120, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.02.010>
  94. Fellmann, T., Domínguez, I. P., Witzke, P., Weiss, F., Hristov, J., Barreiro-Hurle, J., Leip, A., & Himics, M. (2021). Greenhouse gas mitigation technologies in agriculture: Regional circumstances and interactions determine cost-effectiveness. *Journal of Cleaner Production*, 317, 128406. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128406>
  95. Ferré, M., Muller, A., Leifeld, J., Bader, C., Müller, M., Engel, S., & Wichmann, S. (2019). Sustainable management of cultivated peatlands in Switzerland: Insights, challenges, and opportunities. *Land Use Policy*, 87, 104019. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.038>
  96. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Recarbonizing global soils: A technical manual of recommended sustainable soil management*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb6595en>
  97. Forster, E. J., Healey, J. R., Dymond, C., & Styles, D. (2021). Commercial afforestation can deliver effective climate change mitigation under multiple decarbonisation pathways. *Nature Communications*, 12(1), 3831. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24084-x>
  98. Freibauer, A., Rounsevell, M. D. A., Smith, P., & Verhagen, J. (2004). Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma*, 122(1), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.021>
  99. Friedlingstein, P., O’Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., Olsen, A., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Le Quéré, C., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S., Aragão, L. E. O. C., Arneeth, A., Arora, V., Bates, N. R., ... Zaehle, S. (2020). Global Carbon Budget 2020. *Earth System Science Data*, 12(4), 3269–3340. <https://doi.org/10.5194/essd-12-3269-2020>
  100. Gancone, A. (2022). *Transition Towards Result-Based Agriculture Sector and Climate Targets*. RTU Press. <https://doi.org/10.7250/9789934227967>
  101. Gancone, A., Pubule, J., & Blumberga, D. (2021a). Valorization Methodology for Agriculture Sector Climate Change Mitigation Measures. *Environmental and Climate Technologies*, 25(1), 944–954. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2021-0071>
  102. Gancone, A., Pubule, J., & Blumberga, D. (2021b). Valorization Methodology for Agriculture Sector Climate Change Mitigation Measures. *Environmental and Climate Technologies*, 25(1), 944–954. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2021-0071>
  103. Gancone, A., Viznere, R., Kaleja, D., Pubule, J., & Blumberga, D. (2022a). Towards Climate Neutrality via Sustainable Agriculture in Soil Management. *Environmental and Climate Technologies*, 26(1), 535–547. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2022-0041>

104. Gancone, A., Vignere, R., Kaleja, D., Pubule, J., & Blumberga, D. (2022b). Towards Climate Neutrality via Sustainable Agriculture in Soil Management. *Environmental and Climate Technologies*, 26(1), 535–547. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2022-0041>
105. Garnett, T. (2011). Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system (including the food chain)? *Food Policy*, 36, S23–S32. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.10.010>
106. Gollier, C., & Hammitt, J. K. (2014). The Long-Run Discount Rate Controversy. *Annual Review of Resource Economics*, 6(1), 273–295. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100913-012516>
107. Gómez-Baggethun, E., De Groot, R., Lomas, P. L., & Montes, C. (2010). The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics*, 69(6), 1209–1218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.007>
108. Gorham, E. (1991). Northern Peatlands: Role in the Carbon Cycle and Probable Responses to Climatic Warming. *Ecological Applications*, 1(2), 182–195. <https://doi.org/10.2307/1941811>
109. Goulder, L. H., & Williams, R. C. (2012). THE CHOICE OF DISCOUNT RATE FOR CLIMATE CHANGE POLICY EVALUATION. *Climate Change Economics*, 03(04), 1250024. <https://doi.org/10.1142/S2010007812500248>
110. Graves, A. R., & Morris, J. (2013). *Restoration of Fenland Peatland under Climate Change. Report to the Adaptation Sub-Committee of the Committee on Climate Change*. Cranfield University.
111. Gulluscio, C., Puntillo, P., Luciani, V., & Huisingh, D. (2020). Climate Change Accounting and Reporting: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 12(13), 5455. <https://doi.org/10.3390/su12135455>
112. Gunnarsdottir, I., Davidsdottir, B., Worrell, E., & Sigurgeirsdottir, S. (2020). Review of indicators for sustainable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110294. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110294>
113. Haines - Young, R., & Potschin, M. B. (2018). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*. <http://www.cices.eu/>
114. Hall, D. O., & Rao, K. K. (2001). *Photosynthesis* (6. ed., repr). Cambridge University Press.
115. Harrison, M. T., Cullen, B. R., Mayberry, D. E., Cowie, A. L., Bilotto, F., Badgery, W. B., Liu, K., Davison, T., Christie, K. M., Muleke, A., & Eckard, R. J. (2021). Carbon myopia: The urgent need for integrated social, economic and environmental action in the livestock sector. *Global Change Biology*, 27(22), 5726–5761. <https://doi.org/10.1111/gcb.15816>
116. Hasegawa, T., Fujimori, S., Havlík, P., Valin, H., Bodirsky, B. L., Doelman, J. C., Fellmann, T., Kyle, P., Koopman, J. F. L., Lotze-Campen, H., Mason-D’Croz, D., Ochi, Y., Pérez Domínguez, I., Stehfest, E., Sulser, T. B., Tabeau, A., Takahashi, K., Takakura, J., Van Meijl, H., ... Witzke, P. (2018). Risk of increased food insecurity under stringent global climate change mitigation policy. *Nature Climate Change*, 8(8), 699–703. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0230-x>
117. He, L. (2020). Discount rate behaviour in fair value reporting. *Journal of Behavioral and Experimental Finance*, 28, 100386. <https://doi.org/10.1016/j.jbef.2020.100386>
118. Hemmerling, S. A., Barra, M., & Bond, R. H. (2020). Adapting to a Smaller Coast: Restoration, Protection, and Social Justice in Coastal Louisiana. In S. Laska (Ed.), *Louisiana’s Response to Extreme Weather* (pp. 113–144). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-27205-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27205-0_5)
119. Hepperle, E., Dixon-Gough, R., Paulsson, J., Mansberger, R., Hernik, J., Kalbro, T., & Europäische Akademie für Bodenordnung (Eds.). (2017). *Land ownership and land use development: The Integration of past, present, and future in spatial planning and land management policies*. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.

120. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. (2014). *IPCC 2014, 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*. IPCC, Switzerland. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Wetlands\\_Supplement\\_Entire\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Wetlands_Supplement_Entire_Report.pdf)
121. Holmberg, M., Junttila, V., Schulz, T., Grönroos, J., Paunu, V.-V., Savolahti, M., Minunno, F., Ojanen, P., Akujärvi, A., Karvosenoja, N., Kortelainen, P., Mäkelä, A., Peltoniemi, M., Petäjä, J., Vanhala, P., & Forsius, M. (2023). Role of land cover in Finland's greenhouse gas emissions. *Ambio*. <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01910-8>
122. Hong, S., Yin, G., Piao, S., Dybzinski, R., Cong, N., Li, X., Wang, K., Peñuelas, J., Zeng, H., & Chen, A. (2020). Divergent responses of soil organic carbon to afforestation. *Nature Sustainability*, 3(9), 694–700. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0557-y>
123. Houghton, R. A., House, J. I., Pongratz, J., Van Der Werf, G. R., DeFries, R. S., Hansen, M. C., Le Quéré, C., & Ramankutty, N. (2012). Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeosciences*, 9(12), 5125–5142. <https://doi.org/10.5194/bg-9-5125-2012>
124. Huber, R., Bakker, M., Balmann, A., Berger, T., Bithell, M., Brown, C., Grêt-Regamey, A., Xiong, H., Le, Q. B., Mack, G., Meyfroidt, P., Millington, J., Müller, B., Polhill, J. G., Sun, Z., Seidl, R., Troost, C., & Finger, R. (2018). Representation of decision-making in European agricultural agent-based models. *Agricultural Systems*, 167, 143–160. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.09.007>
125. Huber, R., Späti, K., & Finger, R. (2023). A behavioural agent-based modelling approach for the ex-ante assessment of policies supporting precision agriculture. *Ecological Economics*, 212, 107936. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107936>
126. Huber, R., Tarruella, M., Schäfer, D., & Finger, R. (2023). Marginal climate change abatement costs in Swiss dairy production considering farm heterogeneity and interaction effects. *Agricultural Systems*, 207, 103639. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2023.103639>
127. Humpenöder, F., Karstens, K., Lotze-Campen, H., Leifeld, J., Menichetti, L., Barthelmes, A., & Popp, A. (2020). Peatland protection and restoration are key for climate change mitigation. *Environmental Research Letters*, 15(10), 104093. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abae2a>
128. IPCC, & Edenhofer, O. (Eds.). (2014). *Climate change 2014: Mitigation of climate change: Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
129. IUCN. (2020). *IUCN UK Peatland Programme*. <https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/sites/default/files/2020-04/IUCN%20UK%20PP%20Peatlands%20and%20trees%20position%20statement%202020.pdf>
130. IUSS Working Group WRB. (2014). *World reference base for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps* ([3. ed.]). FAO.
131. Izenman, A. J. (2008). *Modern multivariate statistical techniques: Regression, classification, and manifold learning*. Springer.
132. Jackson, T. (1993). Greenhouse conjectures—And refutations. *Energy Policy*, 21(7), 722–725. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(93\)90142-3](https://doi.org/10.1016/0301-4215(93)90142-3)
133. Jarisch, I., Bödeker, K., Bingham, L. R., Friedrich, S., Kindu, M., & Knoke, T. (2022). The influence of discounting ecosystem services in robust multi-objective optimization – An application to a forestry-avocado land-use portfolio. *Forest Policy and Economics*, 141, 102761. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102761>
134. Jauhiainen, J., Alm, J., Bjarnadottir, B., Callesen, I., Christiansen, J. R., Clarke, N., Dalsgaard, L., He, H., Jordan, S., Kazanavičiūtė, V., Klemedtsson, L., Lauren, A., Lazdins, A., Lehtonen, A., Lohila, A., Lupikis, A., Mander, Ü., Minkkinen, K., Kasimir, Å., ... Laiho, R. (2019). Reviews and syntheses: Greenhouse gas exchange data from drained organic

- forest soils – a review of current approaches and recommendations for future research. *Biogeosciences*, 16(23), 4687–4703. <https://doi.org/10.5194/bg-16-4687-2019>
135. Jiang, Q., Qi, Z., Madramootoo, C. A., & Crézé, C. (2019a). Mitigating greenhouse gas emissions in subsurface-drained field using RZWQM2. *Science of The Total Environment*, 646, 377–389. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.285>
  136. Jiang, Q., Qi, Z., Madramootoo, C. A., & Crézé, C. (2019b). Mitigating greenhouse gas emissions in subsurface-drained field using RZWQM2. *Science of The Total Environment*, 646, 377–389. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.285>
  137. Joosten, H. (2009). The Global Peatland CO<sub>2</sub> Picture: Peatland status and drainage related emissions in all countries of the world. *Wetlands International*. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20093336601>
  138. Joosten, H., Gaudig, G., Krawczynski, R., Tanneberger, F., Wichmann, S., & Wichtmann, W. (2015). Managing soil carbon in Europe: Paludicultures as a new perspective for peatlands. In S. A. Banwart, E. Noellemeyer, & E. Milne (Eds.), *Soil carbon: Science, management and policy for multiple benefits* (1st ed., pp. 297–306). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781780645322.0297>
  139. Joosten, H., Sirin, A., Couwenberg, J., Laine, J., & Smith, P. (2016). The role of peatlands in climate regulation. In A. Bonn, T. Allott, M. Evans, H. Joosten, & R. Stoneman (Eds.), *Peatland Restoration and Ecosystem Services*.
  140. Kārkliņš, A. (2009). *Latvijas Augšņu noteicējs* (Kārkliņš A.). Latvijas Lauksaimniecības universitāte.
  141. Kārkliņš, A. (2016a). Histosols Latvijas Augšņu klasifikācijas kontekstā. *Zinātniski Praktiskās Konferences ‘Līdzsvarota Lauksaimniecība’ Raksti*, 45–49. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20163246929>
  142. Kārkliņš, A. (2016b). Organiskās augsnes SEG emisiju aprēķinu kontekstā. *Zinātniski Praktiskās Konferences ‘Līdzsvarota Lauksaimniecība’ Raksti*, 40–44.
  143. Kasimir Klemetsson, Å., Weslien, P., & Klemetsson, L. (2009). Methane and nitrous oxide fluxes from a farmed Swedish Histosol. *European Journal of Soil Science*, 60(3), 321–331. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01124.x>
  144. Kekkonen, H., Ojanen, H., Haakana, M., Latukka, A., & Regina, K. (2019). Mapping of cultivated organic soils for targeting greenhouse gas mitigation. *Carbon Management*, 10(2), 115–126. <https://doi.org/10.1080/17583004.2018.1557990>
  145. Kesicki, F., & Strachan, N. (2011). Marginal abatement cost (MAC) curves: Confronting theory and practice. *Environmental Science & Policy*, 14(8), 1195–1204. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.08.004>
  146. Khalil, M. I., & Osborne, B. A. (2018). Improving estimates of soil organic carbon (SOC) stocks and their long-term temporal changes in agricultural soils in Ireland. *Geoderma*, 322, 172–183. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.038>
  147. Kim, D.-G., Kirschbaum, M. U. F., & Beedy, T. L. (2016). Carbon sequestration and net emissions of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O under agroforestry: Synthesizing available data and suggestions for future studies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 226, 65–78. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.011>
  148. Kiskaddon, E., Dalyander, P. S., DeJong, A., McHugh, C., Parfait, J., Littman, A., Hemmerling, S. A., & Dausman, A. (2023). Evaluation of emission reduction and other societal and environmental outcomes: Structured decision making for the Louisiana climate action plan. *Journal of Environmental Management*, 345, 118936. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118936>
  149. Kline, P. (2008). *An easy guide to factor analysis* (Repr). Routledge.
  150. Kløve, B., Berglund, K., Berglund, Ö., Weldon, S., & Maljanen, M. (2017). Future options for cultivated Nordic peat soils: Can land management and rewetting control greenhouse gas emissions? *Environmental Science & Policy*, 69, 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.12.017>



151. Knutti, R., Furrer, R., Tebaldi, C., Cermak, J., & Meehl, G. A. (2010). Challenges in Combining Projections from Multiple Climate Models. *Journal of Climate*, 23(10), 2739–2758. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI3361.1>
152. Kreft, C., Finger, R., & Huber, R. (2023). Action- versus results-based policy designs for agricultural climate change mitigation. *Applied Economic Perspectives and Policy*, aepp.13376. <https://doi.org/10.1002/aepp.13376>
153. Kreišmane, Dz., Lenerts, A., Naglis-Liepa, K., Popluga, D., & Rivža, P. (2018). Siltumnīcas efektu izraisīto gāzu emisiju robežsamazinājuma izmaksu līknes (MACC) tipiskajiem Latvijas lauku saimniecību klasteriem. In *Siltumnīcefekta Gāzu Emisiju Samazināšanas Iespējas Ar Klimatam Draudzīgu Lauksaimniecību Un Mežsaimniecību Latvijā* (pp. 158–203). Latvijas Lauksaimniecības universitāte.
154. Kung, C.-C., Fei, C. J., McCarl, B. A., & Fan, X. (2022). A review of biopower and mitigation potential of competing pyrolysis methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 162, 112443. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112443>
155. Kwak, J.-H., Lim, S.-S., Baah-Acheamfour, M., Choi, W.-J., Fatemi, F., Carlyle, C. N., Bork, E. W., & Chang, S. X. (2019). Introducing trees to agricultural lands increases greenhouse gas emission during spring thaw in Canadian agroforestry systems. *Science of The Total Environment*, 652, 800–809. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.241>
156. Ladha, J. K., Peoples, M. B., Reddy, P. M., Biswas, J. C., Bennett, A., Jat, M. L., & Krupnik, T. J. (2022). Biological nitrogen fixation and prospects for ecological intensification in cereal-based cropping systems. *Field Crops Research*, 283, 108541. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108541>
157. Laganier, J., Angers, D. A., & Parā, D. (2010). Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: A meta-analysis: SOC ACCUMULATION FOLLOWING AFFORESTATION. *Global Change Biology*, 16(1), 439–453. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01930.x>
158. Laktuka, K., Blumberga, D., & Rozakis, S. (2023). Assessing Bioeconomy Development Opportunities in the Latvian Policy Planning Framework. *Sustainability*, 15(2), 1634. <https://doi.org/10.3390/su15021634>
159. Landau, S., & Chis Ster, I. (2010). Cluster Analysis: Overview. In *International Encyclopedia of Education* (pp. 72–83). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-044894-7.01315-4>
160. Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centrs. (2021). *Lauksaimniecības bruto segumu aprēķini par 2021. Gadu* [dataset]. <https://new.llkc.lv/lv/nozares/augkopiba-ekonomika-lopkopiba/sagatavoti-bruto-segumu-aprekini-par-2021-gadu>
161. Latvijas Republikas Zemkopības ministrija. (2023). *Latvijas Kopējās lauksaimniecības politikas stratēģiskais plāns 2023.- 2027.gadam*. <https://www.zm.gov.lv/lv/media/5409/download?attachment>
162. Latvijas Valsts Kase. (2023). *Diskonata likmes* [dataset].
163. Lazdiņš, A., Bārdule, A., Butlers, A., Lupiķis, A., Okmanis, M., & Bebre, I. (2016). *Projekts "Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO2) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana"* (Project "Improving the accounting system of CO2 removals and GHG emissions due to management practices in cropland and grassland and development of methodological solutions"). 2016. *Gada starpziņojums* (No. 101115/S109). [https://drive.google.com/open?id=0Bxv4jQ\\_04jXZRExSMWhPMWhDNDg](https://drive.google.com/open?id=0Bxv4jQ_04jXZRExSMWhPMWhDNDg)
164. Lazdins, A., Sņepsts, G., Butlers, A., Purvina, D., Zvaigzne, Z. A., & Licite, I. (2021, May 27). *Evaluation of middle term Greenhouse Gas (GHG) mitigation potential of birch plantations with mineral and organic soils*. 20th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF005>

165. LEGMC. (2019). *Latvia`s Fourth Biennial Report Under the United Nations Framework Convention on Climate Change*.  
[https://unfccc.int/sites/default/files/resource/LATVIA\\_BR4\\_27122019.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/LATVIA_BR4_27122019.pdf)
166. LEGMC. (2020). *Latvia`s National Inventory Report Submission under UNFCCC and the Kyoto Protocol 1990—2018*. <https://unfccc.int/documents/227704>
167. LEGMC. (2021a). *Latvia`s National Inventory under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), the Kyoto Protocol and Regulation (EU) No 525/2013 for 1990–2019*. <https://unfccc.int/documents/271530>
168. LEGMC. (2021b). *Reporting on Policies and Measures under Article 18 of Regulation (EU) No. 2018/1999 of the European Parliament and of the Council, Latvia*.  
[file:///C:/Users/ieval/Downloads/LV\\_Report%20Projections%20and%20PAMs\\_2021\\_Final.pdf](file:///C:/Users/ieval/Downloads/LV_Report%20Projections%20and%20PAMs_2021_Final.pdf)
169. LEGMC. (2022a). *Latvia`s Eight National Communication and Fifth Biennial Report under the United Nations Framework Convention on Climate Change*.  
[https://unfccc.int/sites/default/files/resource/LATVIA\\_NC8\\_BR5\\_Final.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/LATVIA_NC8_BR5_Final.pdf)
170. LEGMC. (2022b). *Latvia`s National Inventory under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), the Kyoto Protocol and Regulation (EU) No 525/2013 for 1990–2020*. <https://unfccc.int/documents/461908>
171. Leifeld, J., & Menichetti, L. (2018). The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies. *Nature Communications*, 9(1), 1071.  
<https://doi.org/10.1038/s41467-018-03406-6>
172. Lenerts, A., Naglis-Liepa, K., Popluga, D., Kreišmane, Dz., Aplociņa, E., Bērziņa, L., & Frolova, O. (2021). *Marginal abatement cost curve for an ammonia reduction measure in agriculture: The case of Latvia* [PDF]. 848.8Kb. <https://doi.org/10.15159/AR.21.130>
173. Levihn, F. (2015). *Investments, system dynamics, energy management, and policy: A solution to the metric problem of bottom-up supply curves*. Industrial Engineering and Management, KTH Royal Institute of Technology.
174. Levihn, F., Nuur, C., & Laestadius, S. (2014). Marginal abatement cost curves and abatement strategies: Taking option interdependency and investments unrelated to climate change into account. *Energy*, 76, 336–344. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.08.025>
175. Lewis, T., Verstraten, L., Hogg, B., Wehr, B. J., Swift, S., Tindale, N., Menzies, N. W., Dalal, R. C., Bryant, P., Francis, B., & Smith, T. E. (2019). Reforestation of agricultural land in the tropics: The relative contribution of soil, living biomass and debris pools to carbon sequestration. *Science of The Total Environment*, 649, 1502–1513.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.351>
176. Li, Z., Qi, Z., Jiang, Q., & Sima, N. (2021). An economic analysis software for evaluating best management practices to mitigate greenhouse gas emissions from cropland. *Agricultural Systems*, 186, 102950. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102950>
177. Licite, I., & Lupikis, A. (2020, May 20). *Impact of land use practices on greenhouse gas emissions from agriculture land on organic soils*. 19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF492>
178. Licite, I., & Popluga, D. (2022). *IDENTIFICATION OF THE CLIMATE CHANGE MITIGATION TARGETED MANAGEMENT PRACTICES FOR ORGANIC SOIL MANAGEMENT IN THE BALTIC REGION*. 303–310.  
<https://doi.org/10.5593/sgem2022V/4.2/s19.38>
179. Limpens, J., Berendse, F., Blodau, C., Canadell, J. G., Freeman, C., Holden, J., Roulet, N., Rydin, H., & Schaepman-Strub, G. (2008). Corrigendum to “Peatlands and the carbon cycle: From local processes to global implications a synthesis”; published in *Biogeosciences*, 5, 1475–1491, 2008. *Biogeosciences*, 5(6), 1739–1739.  
<https://doi.org/10.5194/bg-5-1739-2008>

180. LPSR Valsts Zemes ierīcības projektēšanas institūts Zemesprojekts. (1987). *Tehniskie norādījumi augsnes kartēšanas un saimniecību iekšējās zemes vērtēšanas lauku darbiem Latvijas PSR*. Apstiprināti ar direktora pavēli Nr. 17-V, 1987. gada 20. aprīlī.
181. LR Klimata un enerģētikas ministrija. (2023). *Informatīvais ziņojums "Par siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanas un oglekļa dioksīda piesaistes saistību izpildi" Projekta versija*. <https://www.zemeunvalsts.lv/documents/view/8d55a249e6baa5c06772297520da2051/Informaat%20C4%20ABvais%20zi%20C5%2086ojums%20VARAM%20ZM%20EM%20Par%20siltumn%20C4%20ABcefekta%20g%2081zu%20emisiju%20samazin%20C4%2081%20C5%20A1anas%20un%20oglek%20BCa%20dioks%20C4%20ABda%20piesaistes%20saist%20C4%20ABbu%20izpildi%20Latvijas%20SEG%20saist%20C4%20ABbu%20izpilde%202023%20marts.pdf>
182. LR Ministru kabinets. (2020). *Informatīvais ziņojums 'Latvijas stratēģija klimatneitralitātes sasniegšanai līdz 2050. Gadam'*. <https://likumi.lv/ta/id/342214-latvijas-strategija-klimatneitralitates-sasniegsanai-lidz-2050-gadam>
183. LR Ministru kabinets. (2022). *Siltumnīcefekta gāzu inventarizācijas sistēmas, prognožu sistēmas un sistēmas ziņošanai par pielāgošanos klimata pārmaiņām izveidošanas un uzturēšanas kārtība*. Latvijas vēstnesis. <https://likumi.lv/ta/id/336733-siltumnicefekta-gazu-inventarizacijassistemas-prognozu-sistemas-un-sistemas-zinosanai-par-pielagosanos-klimata-parmainam>
184. LR Saeima. (1995). *Par Apvienoto Nāciju Organizācijas Vispārējo konvenciju par klimata pārmaiņām*. <https://likumi.lv/ta/id/34198-par-apvienoto-naciju-organizācijas-visparejo-konvenciju-par-klimata-parmainam>
185. LR Valsts kase. (2023). *LR Valsts kases diskonta likmes MK 13.02.2018. Noteikumos Nr.87 paredzētos gadījumos aktīvu vai saistību pašreizējās vērtības aprēķināšanai*. <https://www.kase.gov.lv/metodika/diskonta-likmes>
186. LR Zemkopības ministrija. (2020). *Vēsturiskā augsnes digitālā datubāze [dataset]*. <https://geolatvija.lv/geo/p/242>
187. LR Zemkopības ministrija. (2021, April 3). Jaunais augsnes izpētes projekts palīdzēs gudrāk izmantot lauksaimniecības zemi. *Zemkopības Ministrijas Paziņojumi Presei*. <https://www.zm.gov.lv/presei/jaunais-augšnes-izpetes-projekts-palidzes-gudrak-izmantot-lauksaimniec?id=12077>
188. Macleod, M., Eory, V., Gruere, G., & Lankoski, J. (2015). *Cost-Effectiveness of Greenhouse Gas Mitigation Measures for Agriculture: A Literature Review* (OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers 89; OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, Vol. 89). <https://doi.org/10.1787/5jrvvkq900vj-en>
189. MacLeod, M., Moran, D., Eory, V., Rees, R. M., Barnes, A., Topp, C. F. E., Ball, B., Hoad, S., Wall, E., McVittie, A., Pajot, G., Matthews, R., Smith, P., & Moxey, A. (2010). Developing greenhouse gas marginal abatement cost curves for agricultural emissions from crops and soils in the UK. *Agricultural Systems*, 103(4), 198–209. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.01.002>
190. Mäkipää, R., Abramoff, R., Adamczyk, B., Baldy, V., Biryol, C., Bosela, M., Casals, P., Curiel Yuste, J., Dondini, M., Filipek, S., Garcia-Pausas, J., Gros, R., Gömöryová, E., Hashimoto, S., Hasegawa, M., Immonen, P., Laiho, R., Li, H., Li, Q., ... Lehtonen, A. (2023). How does management affect soil C sequestration and greenhouse gas fluxes in boreal and temperate forests? – A review. *Forest Ecology and Management*, 529, 120637. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120637>
191. Malhi, Y., Franklin, J., Seddon, N., Solan, M., Turner, M. G., Field, C. B., & Knowlton, N. (2020). Climate change and ecosystems: Threats, opportunities and solutions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794), 20190104. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0104>
192. Maljanen, M., Hytönen, J., & Martikainen, P. J. (2001). Fluxes of N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> on afforested boreal agricultural soils. *Plant and Soil*, 231(1), 113–121. <https://doi.org/10.1023/A:1010372914805>

193. Maljanen, M., Shurpali, N., Hytönen, J., Mäkiranta, P., Aro, L., Potila, H., Laine, J., Li, C., & Martikainen, P. J. (2012). Afforestation does not necessarily reduce nitrous oxide emissions from managed boreal peat soils. *Biogeochemistry*, *108*(1–3), 199–218. <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9591-1>
194. Masson-Delmotte, V., Zhai, H., Pörtner, D., Roberts, J., Skea, P. R., Shukla, P. R., & Pirani, A. (2022). *Global Warming of 1.5°C: IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty* (1st ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940>
195. Mayrinck, R. C., Laroque, C. P., Amichev, B. Y., & Van Rees, K. (2019). Above- and Below-Ground Carbon Sequestration in Shelterbelt Trees in Canada: A Review. *Forests*, *10*(10), 922. <https://doi.org/10.3390/f10100922>
196. McGlynn, E., Li, S., F. Berger, M., Amend, M., & L. Harper, K. (2022). Addressing uncertainty and bias in land use, land use change, and forestry greenhouse gas inventories. *Climatic Change*, *170*(1–2), 5. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03254-2>
197. Minasny, B., Adetsu, D. V., Aitkenhead, M., Artz, R. R. E., Baggaley, N., Barthelmes, A., Beucher, A., Caron, J., Conchedda, G., Connolly, J., Deragon, R., Evans, C., Fadnes, K., Fiantis, D., Gagkas, Z., Gilet, L., Gimona, A., Glatzel, S., Greve, M. H., ... Zak, D. (2023). Mapping and monitoring peatland conditions from global to field scale. *Biogeochemistry*. <https://doi.org/10.1007/s10533-023-01084-1>
198. Minasny, B., Malone, B. P., McBratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z.-S., Cheng, K., Das, B. S., Field, D. J., Gimona, A., Hedley, C. B., Hong, S. Y., Mandal, B., Marchant, B. P., Martin, M., McConkey, B. G., Mulder, V. L., ... Winowiecki, L. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, *292*, 59–86. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>
199. Ministru kabineta. (2021). *Ministru kabineta kārtības rullis*. <https://likumi.lv/ta/id/325944-ministru-kabineta-kartibas-rullis>
200. Ministry of Agriculture of the Republic of Latvia. (2021). *Information on LULUCF Actions in Latvia. Report under LULUCF Decision 529/2013/EU Art 10*.
201. Ministry of Climate and Energy of Latvia. (2023). *Integrated Reporting on Policies and Measures and Projections under Article 18 of Regulation (EU) No. 2018/1999 of the European Parliament and of the Council and Articles 36, 37 and 38 of Commission Implementing Regulation (EU) 2020/1208* [Unpublished].
202. Montanarella, L., Jones, R. J. A., & Hiederer, R. (2006). The distribution of peatland in Europe. *Mires and Peat*, *1*. <http://www.mires-and-peatland.net/>
203. Mooi, E., Sarstedt, M., & Mooi-Reci, I. (2018). Principal Component and Factor Analysis. In E. Mooi, M. Sarstedt, & I. Mooi-Reci, *Market Research* (pp. 265–311). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5218-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5218-7_8)
204. Moore, T. R., & Knowles, R. (1989). THE INFLUENCE OF WATER TABLE LEVELS ON METHANE AND CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM PEATLAND SOILS. *Canadian Journal of Soil Science*, *69*(1), 33–38. <https://doi.org/10.4141/cjss89-004>
205. Moran, D., MacLeod, M. J., Wall, E., Eory, V., McVittie, A., Barnes, A. P., Rees, B., Smith, P., Moxey, A., Moran, D., MacLeod, M. J., Wall, E., Eory, V., McVittie, A., Barnes, A. P., Rees, B., Smith, P., & Moxey, A. (2009). *Marginal abatement cost curves for UK agriculture, forestry, land-use and land-use change sector out to 2022*. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.51065>
206. Moran, D., MacLeod, M., Wall, E., Eory, V., McVittie, A., Barnes, A., Rees, R. M., Topp, C. F. E., Pajot, G., Matthews, R., Smith, P., & Moxey, A. (2011). Developing carbon budgets for UK agriculture, land-use, land-use change and forestry out to 2022. *Climatic Change*, *105*(3–4), 529–553. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9898-2>
207. Moran, D., Macleod, M., Wall, E., Eory, V., McVittie, A., Barnes, A., Rees, R., Topp, C. F. E., & Moxey, A. (2011). Marginal Abatement Cost Curves for UK Agricultural Greenhouse

- Gas Emissions: UK Agricultural Greenhouse Gas Emissions. *Journal of Agricultural Economics*, 62(1), 93–118. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.2010.00268.x>
208. Morkunas, M., & Volkov, A. (2023). The Progress of the Development of a Climate-smart Agriculture in Europe: Is there Cohesion in the European Union? *Environmental Management*, 71(6), 1111–1127. <https://doi.org/10.1007/s00267-022-01782-w>
209. Mulholland, B., Abdel-Aziz, I., Lindsay, R., McNamara, N., Keith, Page, S., Clough, J., Freeman, B., & Evans, C. (2020). *An assessment of the potential for paludiculture in England and Wales* [Report to Defra for ProjectSP1218]. UK Centre for Ecology & Hydrology. <https://lowlandpeat.ceh.ac.uk/sites/default/files/Defra%20LP2%20paludiculture%20report%20-%20April%202020.pdf>
210. Musarika, S., Atherton, C. E., Gomersall, T., Wells, M. J., Kaduk, J., Cumming, A. M. J., Page, S. E., Oechel, W. C., & Zona, D. (2017). Effect of water table management and elevated CO<sub>2</sub> on radish productivity and on CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> fluxes from peatlands converted to agriculture. *Science of The Total Environment*, 584–585, 665–672. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.094>
211. Naglis-Liepa, K., Kreismane, D., Latvia University of Life Sciences and Technologies, Berzina, L., Latvia University of Life Sciences and Technologies, Frolova, O., Latvia University of Life Sciences and Technologies, Aplocina, E., & Latvia University of Life Sciences and Technologies. (2021). *Integrated farming: The way to sustainable agriculture in Latvia*. 35–41. <https://doi.org/10.22616/ESRD.2021.55.003>
212. Naglis-Liepa, K., Popluga, D., Lenerts, A., Rivza, P., & Kreismane, D. (2018). *Integrated impact assessment of agricultural GHG abatement measures*. 77–83. <https://doi.org/10.22616/ESRD.2018.121>
213. Nair, P. K. R. (1985). Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 3(2), 97–128. <https://doi.org/10.1007/BF00122638>
214. Namiotko, V., Galnaityte, A., Krisciukaitiene, I., & Balezentis, T. (2022). Assessment of agri-environmental situation in selected EU countries: A multi-criteria decision-making approach for sustainable agricultural development. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(17), 25556–25567. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17655-4>
215. Naudts, K., Chen, Y., McGrath, M. J., Ryder, J., Valade, A., Otto, J., & Luysaert, S. (2016). Europe’s forest management did not mitigate climate warming. *Science*, 351(6273), 597–600. <https://doi.org/10.1126/science.aad7270>
216. Nightingale, A. J., Eriksen, S., Taylor, M., Forsyth, T., Pelling, M., Newsham, A., Boyd, E., Brown, K., Harvey, B., Jones, L., Bezner Kerr, R., Mehta, L., Naess, L. O., Ockwell, D., Scoones, I., Tanner, T., & Whitfield, S. (2020). Beyond Technical Fixes: Climate solutions and the great derangement. *Climate and Development*, 12(4), 343–352. <https://doi.org/10.1080/17565529.2019.1624495>
217. Nordic Council of Ministers. (2015). Peatlands and Climate in a Ramsar context: A Nordic-Baltic Perspective. In *Relation to other international conventions and policies*.
218. Nowak, A., & Kaminska, A. (2016). Agricultural competitiveness: The case of the European Union countries. *Agricultural Economics (Zemědělská Ekonomika)*, 62(11), 507–516. <https://doi.org/10.17221/133/2015-AGRICECON>
219. O’Brien, D., Shalloo, L., Crosson, P., Donnellan, T., Farrelly, N., Finnan, J., Hanrahan, K., Lalor, S., Lanigan, G., Thorne, F., & Schulte, R. (2014). An evaluation of the effect of greenhouse gas accounting methods on a marginal abatement cost curve for Irish agricultural greenhouse gas emissions. *Environmental Science & Policy*, 39, 107–118. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.09.001>
220. O’Connor, R. A., Nel, J. L., Roux, D. J., Lim-Camacho, L., Van Kerkhoff, L., & Leach, J. (2019). Principles for evaluating knowledge co-production in natural resource management: Incorporating decision-maker values. *Journal of Environmental Management*, 249, 109392. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109392>

221. OECD. (1999). *Environmental Indicators for Agriculture: Concepts and Frameworks*. Organisation for Economic Cooperation and Development.
222. OECD. (2019). *Inovācijas, lauksaimniecības produktivitāte un ilgtspējība Latvijā*. OECD. <https://doi.org/10.1787/279bde8c-lv>
223. Oo, H. T., Zin, W. W., & Thin Kyi, C. C. (2019). Assessment of Future Climate Change Projections Using Multiple Global Climate Models. *Civil Engineering Journal*, 5(10), 2152–2166. <https://doi.org/10.28991/cej-2019-03091401>
224. Papathanasiou, J., & Ploskas, N. (2018). TOPSIS. In J. Papathanasiou & N. Ploskas, *Multiple Criteria Decision Aid* (Vol. 136, pp. 1–30). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91648-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91648-4_1)
225. Paquel, K., Bowyer, C., Allen, B., Nesbit, M., Martineau, H., Lesschen, J., & Arets, E. (2017). *Analysis of LULUCF actions in EU Member States as reported under Art. 10 of the LULUCF Decision, a report for DG CLIMA of the European Commission*. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ea59a223-1782-11e8-9253-01aa75ed71a1>
226. Pardon, P., Reubens, B., Reheul, D., Mertens, J., De Frenne, P., Coussement, T., Janssens, P., & Verheyen, K. (2017). Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247, 98–111. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.018>
227. Parish, F., Sirin, A., Charman, D., Joosten, H., Minaeva, T., & Silvius, M. (2008). *Assessment on peatlands, biodiversity and climate change*.
228. Pascual, U., Balvanera, P., Anderson, C. B., Chaplin-Kramer, R., Christie, M., González-Jiménez, D., Martin, A., Raymond, C. M., Termansen, M., Vatn, A., Athayde, S., Baptiste, B., Barton, D. N., Jacobs, S., Kelemen, E., Kumar, R., Lazos, E., Mwampamba, T. H., Nakangu, B., ... Zent, E. (2023). Diverse values of nature for sustainability. *Nature*, 620(7975), 813–823. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06406-9>
229. Paul, C., Fealy, R., Fenton, O., Lanigan, G., O’Sullivan, L., & Schulte, R. P. O. (2018). Assessing the role of artificially drained agricultural land for climate change mitigation in Ireland. *Environmental Science & Policy*, 80, 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.004>
230. Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G. P., & Smith, P. (2016). Climate-smart soils. *Nature*, 532(7597), 49–57. <https://doi.org/10.1038/nature17174>
231. Pellerin, S., Bamière, L., Angers, D., Béline, F., Benoit, M., Butault, J.-P., Chenu, C., Colnenne-David, C., De Cara, S., Delame, N., Doreau, M., Dupraz, P., Faverdin, P., Garcia-Launay, F., Hassouna, M., Hénault, C., Jeuffroy, M.-H., Klumpp, K., Metay, A., ... Chemineau, P. (2017). Identifying cost-competitive greenhouse gas mitigation potential of French agriculture. *Environmental Science & Policy*, 77, 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.08.003>
232. Peng, L., Searchinger, T. D., Zions, J., & Waite, R. (2023). The carbon costs of global wood harvests. *Nature*, 620(7972), 110–115. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06187-1>
233. Pérez Dominguez, I., Britz, W., & Holm-Müller, K. (2009). Trading schemes for greenhouse gas emissions from European agriculture: A comparative analysis based on different implementation options. *Revue d'études en Agriculture et Environnement*, 90(3), 287–308. <https://doi.org/10.3406/reae.2009.1973>
234. Petaja, G., Okmanis, M., Polmanis, K., Stola, J., Spalva, G., & Jansons, J. (2018). *Evaluation of greenhouse gas emissions and area of organic soils in cropland and grassland in Latvia – integrated National forest inventory data and soil maps approach* [PDF]. 610.8Kb. <https://doi.org/10.15159/AR.18.183>
235. Petrescu, A. M. R., Peters, G. P., Janssens-Maenhout, G., Ciais, P., Tubiello, F. N., Grassi, G., Nabuurs, G.-J., Leip, A., Carmona-Garcia, G., Winiwarter, W., Höglund-Isaksson, L., Günther, D., Solazzo, E., Kiesow, A., Bastos, A., Pongratz, J., Nabel, J. E. M. S., Conchedda, G., Pilli, R., ... Dolman, A. J. (2020). European anthropogenic AFOLU greenhouse gas

- emissions: A review and benchmark data. *Earth System Science Data*, 12(2), 961–1001. <https://doi.org/10.5194/essd-12-961-2020>
236. Pilvere, I. (2017). Projekta “Organisko augšņu devuma novērtējums Latvijas lauksaimniecībā – daudzfaktoru ietekmes izvērtējums efektīvas zemes” gala ziņojums (Gala Ziņojums 3.2.-8/40; p. 32). LLU. <https://www.llu.lv/lv/projekti/apstiprinatie-projekti/2017/organisko-augsnu-devuma-novertejums-latvijas-lauksaimnieciba>
237. Pilvere, I. (2018, June 20). *ORGANIC SOIL AREA AND THE GEOGRAPHIC LOCATION AND QUALITY THEREOF IN LATVIA*. 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2018. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/5.3/S28.078>
238. Pilvere, I., Nipers, A., Krievina, A., & Upite, I. (2020, May 20). *Development prospects of milk production in various size farm groups in Latvia*. 19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF172>
239. Polasky, S., Kling, C. L., Levin, S. A., Carpenter, S. R., Daily, G. C., Ehrlich, P. R., Heal, G. M., & Lubchenco, J. (2019). Role of economics in analyzing the environment and sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(12), 5233–5238. <https://doi.org/10.1073/pnas.1901616116>
240. Ponz-Tienda, J. L., Prada-Hernández, A. V., Salcedo-Bernal, A., & Balsalobre-Lorente, D. (2017). Marginal Abatement Cost Curves (MACC): Unsolved Issues, Anomalies, and Alternative Proposals. In R. Álvarez Fernández, S. Zubezu, & R. Martínez (Eds.), *Carbon Footprint and the Industrial Life Cycle* (pp. 269–288). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-54984-2\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54984-2_12)
241. Popluga, D., & Naglis-Liepa, K. (2015). *EVALUATION OF MEASURES FOR MITIGATION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS SUITABLE FOR LATVIAN AGRICULTURE*. ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT.
242. Popluga, D., Naglis-Liepa, K., Lenerts, A., & Rivza, P. (2017). *MARGINAL ABATEMENT COST CURVE FOR ASSESSING MITIGATION POTENTIAL OF LATVIAN AGRICULTURAL GREENHOUSE GAS EMISSIONS: CASE STUDY OF CROP SECTOR*. 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2017.
243. Priede, A., & Gancone, A. (2019). *Sustainable and responsible after-use of peat extraction areas*.
244. Randall, D. A., Wood, R. A., Bony, S., Colman, R., Fichet, T., Fyfe, J., Kattsov, V., Pitman, A., Shukla, J., Srinivasan, J., Stouffer, R. J., Sumi, A., & Taylor, K. E. (2007). Climate Models and Their Evaluation. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
245. Rawlins, A., & Morris, J. (2010). Social and economic aspects of peatland management in Northern Europe, with particular reference to the English case. *Geoderma*, 154(3–4), 242–251. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.02.022>
246. Rees, R. M., Baddeley, J. A., Bhogal, A., Ball, B. C., Chadwick, D. R., Macleod, M., Lilly, A., Pappa, V. A., Thorman, R. E., Watson, C. A., & Williams, J. R. (2013). Nitrous oxide mitigation in UK agriculture. *Soil Science and Plant Nutrition*, 59(1), 3–15. <https://doi.org/10.1080/00380768.2012.733869>
247. Regina, K., Budiman, A., Greve, M. H., Grönlund, A., Kasimir, Å., Lehtonen, H., Petersen, S. O., Smith, P., & Wösten, H. (2016). GHG mitigation of agricultural peatlands requires coherent policies. *Climate Policy*, 16(4), 522–541. <https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1022854>
248. Regina, K., Sheehy, J., & Myllys, M. (2015). Mitigating greenhouse gas fluxes from cultivated organic soils with raised water table. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(8), 1529–1544. <https://doi.org/10.1007/s11027-014-9559-2>
249. Rennert, K., Errickson, F., Prest, B. C., Rennels, L., Newell, R. G., Pizer, W., Kingdon, C., Wingenroth, J., Cooke, R., Parthum, B., Smith, D., Cromar, K., Diaz, D., Moore, F. C.,

- Müller, U. K., Plevin, R. J., Raftery, A. E., Ševčíková, H., Sheets, H., ... Anthoff, D. (2022). Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO<sub>2</sub>. *Nature*, *610*(7933), 687–692. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05224-9>
250. Reynolds, B. (2007). Implications of changing from grazed or semi-natural vegetation to forestry for carbon stores and fluxes in upland organo-mineral soils in the UK. *Hydrology and Earth System Sciences*, *11*(1), 61–76. <https://doi.org/10.5194/hess-11-61-2007>
251. Rhymes, J. M., Arnott, D., Chadwick, D. R., Evans, C. D., & Jones, D. L. (2023). Assessing the effectiveness, practicality and cost effectiveness of mitigation measures to reduce greenhouse gas emissions from intensively cultivated peatlands. *Land Use Policy*, *134*, 106886. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106886>
252. Roe, S., Streck, C., Obersteiner, M., Frank, S., Griscom, B., Drouet, L., Fricko, O., Gusti, M., Harris, N., Hasegawa, T., Hausfather, Z., Havlík, P., House, J., Nabuurs, G.-J., Popp, A., Sánchez, M. J. S., Sanderman, J., Smith, P., Stehfest, E., & Lawrence, D. (2019). Contribution of the land sector to a 1.5 °C world. *Nature Climate Change*, *9*(11), 817–828. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0591-9>
253. Roßkopf, N., Fell, H., & Zeitz, J. (2015). Organic soils in Germany, their distribution and carbon stocks. *CATENA*, *133*, 157–170. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.05.004>
254. Roszkowska, E. (2011). Multi-criteria decision making models by applying the TOPSIS method to crisp and interval data. *Multiple Criteria Decision Making*, *6*(1), 200–230.
255. Rumpel, C. (2023). *Understanding and fostering soil carbon sequestration*. Burleigh Dodds Science Publishing.
256. Rytter, L. (1995). The potential of grey alder plantation forestry. *Joint Swedish - Estonian Seminar on Energy Forestry and Vegetation Filters*. [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/29/045/29045794.pdf#page=82](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/29/045/29045794.pdf#page=82)
257. Sauka, O., Bušmanis, P., Labrencis, V., Kļaviņš, U., & Barbars, J. (1987). *Lauksaimniecības hidrotehniskā meliorācija*. Zvaigzne.
258. Säurich, A., Tiemeyer, B., Dettmann, U., Fiedler, S., & Don, A. (2021). Substrate quality of drained organic soils—Implications for carbon dioxide fluxes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *184*(5), 543–555. <https://doi.org/10.1002/jpln.202000475>
259. Schäfer, A., & Joosten, H. (2005). *Erlenaufforstung auf wiedervernässten Niedermooren*. <https://docplayer.org/214201533-Erlenaufforstung-auf-wiedervernaessten-niedermooren-alnus-leitfaden.html>
260. Schaller, L., Kantelhardt, J., & Drösler, M. (2011). Cultivating the climate: Socio-economic prospects and consequences of climate-friendly peat land management in Germany. *Hydrobiologia*, *674*(1), 91–104. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0736-y>
261. Scharlemann, J. P., Tanner, E. V., Hiederer, R., & Kapos, V. (2014). Global soil carbon: Understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management*, *5*(1), 81–91. <https://doi.org/10.4155/cmt.13.77>
262. Schoeneberger, M., Bentrup, G., De Gooijer, H., Soolanayakanahally, R., Sauer, T., Brandle, J., Zhou, X., & Current, D. (2012). Branching out: Agroforestry as a climate change mitigation and adaptation tool for agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, *67*(5), 128A-136A. <https://doi.org/10.2489/jswc.67.5.128A>
263. Schulte, R., Crosson, P., Donnellan, T., Farrelly, N., Finnan, J., Lalor, S., Lanigan, G., O'Brien, D., Shalloo, L., & Thorne, F. (2012a). *A Marginal Abatement Cost Curve for Irish Agriculture*. Teagasc.
264. Schulte, R., Crosson, P., Donnellan, T., Farrelly, N., Finnan, J., Lalor, S., Lanigan, G., O'Brien, D., Shalloo, L., & Thorne, F. (2012b). *A Marginal Abatement Cost Curve for Irish Agriculture* [Teagasc submission to the National Climate Policy Development Consultation]. Teagasc.



265. Senhofa, S., Lazdina, D., & Jansons, A. (2019). *Papeļu (Populus spp.) Stādījumu Ierīkošana un Apsaimniekošana [Establishment and Management of Poplar (Populus spp.) Plantations]* (p. 82). LSFRI “Silava”.
266. Shukla, P. R., Skea, J., Calvo Buendia, E., Masson-Delmotte, V., Portner, H. O., Roberts, D. C., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., van Diemen, R., Ferrat, M., Haughey, E., Luz, S., Neogi, S., Pathak, M., Petzold, J., Portugal Pereira, J., Vyas, P., Huntley, E., ... Malley, J. (2019). *IPCC, 2019: Climate Change and Land: An IPCC special report on climate change, desertification, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. <https://www.ipcc.ch/srccl/>
267. Škapars, R. (2008). *Mikroekonomika. Loģiskās shēmas*. Ekonomikas pētījumu un biznesa izglītības institūts.
268. Sloan, T. J., Payne, R. J., Anderson, A. R., Bain, C., Chapman, S., Cowie, N., Gilbert, P., Lindsay, R., Mauquoy, D., Newton, A. J., & Andersen, R. (2018). Peatland afforestation in the UK and consequences for carbon storage. *Mires and Peat*, 23, 1–17. <https://doi.org/10.19189/MaP.2017.OMB.315>
269. Smith, P., Bhogal, A., Edgington, P., Black, H., Lilly, A., Barraclough, D., Worrall, F., Hillier, J., & Merrington, G. (2010). Consequences of feasible future agricultural land-use change on soil organic carbon stocks and greenhouse gas emissions in Great Britain: Land-use change and GB soil carbon stocks. *Soil Use and Management*, 26(4), 381–398. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00283.x>
270. Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E. A., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., Maser, O., Mbow, C., Ravindranath, N. H., Rice, C. W., Robledo Abad, C., Romanovskaya, A., Sperling, F., & Tubiello, F. (2014). 2014: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
271. Smith, P., & Olesen, J. E. (2010). Synergies between the mitigation of, and adaptation to, climate change in agriculture. *The Journal of Agricultural Science*, 148(5), 543–552. <https://doi.org/10.1017/S0021859610000341>
272. Söderqvist, T. (2011). *Bringing ecologists and economists together*. Springer.
273. Taft, H. E. (2014). *Quantifying and mitigating greenhouse gas emissions from horticultural peat soils*. School of Environment, Natural Resources and Geography, Bangor University. <https://research.bangor.ac.uk/portal/files/20569472/null>
274. Taft, H. E., Cross, P. A., & Jones, D. L. (2018). Efficacy of mitigation measures for reducing greenhouse gas emissions from intensively cultivated peatlands. *Soil Biology and Biochemistry*, 127, 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.08.020>
275. Tallis, H. M., Hawthorne, P. L., Polasky, S., Reid, J., Beck, M. W., Brauman, K., Bielicki, J. M., Binder, S., Burgess, M. G., Cassidy, E., Clark, A., Fargione, J., Game, E. T., Gerber, J., Isbell, F., Kiesecker, J., McDonald, R., Metian, M., Molnar, J. L., ... McPeck, B. (2018). An attainable global vision for conservation and human well-being. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(10), 563–570. <https://doi.org/10.1002/fee.1965>
276. Tanneberger, F., Appulo, L., Ewert, S., Lakner, S., Ó Brolcháin, N., Peters, J., & Wichtmann, W. (2021). The Power of Nature-Based Solutions: How Peatlands Can Help Us to Achieve Key EU Sustainability Objectives. *Advanced Sustainable Systems*, 5(1), 2000146. <https://doi.org/10.1002/adsu.202000146>
277. Tanneberger, F., Birr, F., Couwenberg, J., Kaiser, M., Luthardt, V., Nerger, M., Pfister, S., Oppermann, R., Zeitz, J., Beyer, C., Van Der Linden, S., Wichtmann, W., & Närmann, F. (2022). Saving soil carbon, greenhouse gas emissions, biodiversity and the economy: Paludiculture as sustainable land use option in German fen peatlands. *Regional Environmental Change*, 22(2), 69. <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01900-8>

278. Tanneberger, F., Moen, A., Barthelmes, A., Lewis, E., Miles, L., Sirin, A., Tegetmeyer, C., & Joosten, H. (2021). Mires in Europe—Regional Diversity, Condition and Protection. *Diversity*, *13*(8), 381. <https://doi.org/10.3390/d13080381>
279. Tanneberger, F., Tegetmeyer, C., Busse, S., Barthelmes, A., & 55 others. (2017). The peatland map of Europe. *Mires and Peat*, *19*, 1–17. <https://doi.org/10.19189/MaP.2016.OMB.264>
280. Taylor, S. (2012). The ranking of negative-cost emissions reduction measures. *Energy Policy*, *48*, 430–438. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2012.05.071>
281. Thamo, T., & Pannell, D. J. (2016). Challenges in developing effective policy for soil carbon sequestration: Perspectives on additionality, leakage, and permanence. *Climate Policy*, *16*(8), 973–992. <https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1075372>
282. *The Ecosystem Services Valuation Database*. (2020). [dataset]. [www.esvd.net](http://www.esvd.net)
283. Tiemeyer, B., Freibauer, A., Borraz, E. A., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Gensior, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Laggner, A., ... Drösler, M. (2020). A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators*, *109*, 105838. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838>
284. Tubiello, F., Biancalani, R., Salvatore, M., Rossi, S., & Conchedda, G. (2016). A Worldwide Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Drained Organic Soils. *Sustainability*, *8*(4), 371. <https://doi.org/10.3390/su8040371>
285. Tubiello, F. N., Salvatore, M., Ferrara, A. F., House, J., Federici, S., Rossi, S., Biancalani, R., Condor Golec, R. D., Jacobs, H., Flammini, A., Prosperi, P., Cardenas-Galindo, P., Schmidhuber, J., Sanz Sanchez, M. J., Srivastava, N., & Smith, P. (2015). The Contribution of Agriculture, Forestry and other Land Use activities to Global Warming, 1990–2012. *Global Change Biology*, *21*(7), 2655–2660. <https://doi.org/10.1111/gcb.12865>
286. Tumelienė, E., Sužiedelytė Visockienė, J., & Maliene, V. (2022). Evaluating the Eligibility of Abandoned Agricultural Land for the Development of Wind Energy in Lithuania. *Sustainability*, *14*(21), 14569. <https://doi.org/10.3390/su142114569>
287. Tzeng, G., & Huang, J.-J. (2011). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Chapman & Hall/CRC.
288. UNFCCC. (1997). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. <https://unfccc.int/documents/2409>
289. UNFCCC. (2015). *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf)
290. United Nations. (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. <https://unfccc.int/sites/default/files/conveng.pdf>
291. United Nations General Assembly. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/89/PDF/N1529189.pdf?OpenElement>
292. Uri, V., & Vares, A. (2005). The above-ground biomass and production of alders (*Alnus incana* (L.) Moench., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Alnus hybrida* A.Br.) on abandoned agricultural lands in Estonia. In *Proceedings of the Workshop “Management and Utilization of Broadleaved Tree Species in Nordic and Baltic Countries—Birch, Aspen And Alder”*. Workshop “Management and Utilization of Broadleaved Tree species in Nordic and Baltic countries—Birch, Aspen And Alder”, Vantaa.
293. Van Den Berg, L. M., Dingkuhn, E. L., Meehan, N., & O’Sullivan, L. (2023). Investigating bottlenecks hampering the adoption of water quality-enhancing practices for sustainable land management in Ireland. *Journal of Environmental Management*, *345*, 118741. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118741>
294. Van Diggelen, R. (2018). Mires and Peatlands of Europe: Status, Distribution and Conservation. *Restoration Ecology*, *26*(5), 1005–1006. <https://doi.org/10.1111/rec.12865>

295. Vanguelova, E., Chapman, S., Perks, M., Yamulki, S., Randle, T., Ashwood, F., & Morison, J. (2018). *Afforestation and restocking on peaty soils – new evidence assessment*. <https://www.climateexchange.org.uk/media/3137/afforestation-and-restocking-on-peaty-soils.pdf>
296. Vanguelova, E. I., Crow, P., Benham, S., Pitman, R., Forster, J., Eaton, E. L., & Morison, J. I. L. (2019). Impact of Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) afforestation on the carbon stocks of peaty gley soils – a chronosequence study in the north of England. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 92(3), 242–252. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz013>
297. Veldman, J. W., Aleman, J. C., Alvarado, S. T., Anderson, T. M., Archibald, S., Bond, W. J., Boutton, T. W., Buchmann, N., Buisson, E., Canadell, J. G., Dechoum, M. D. S., Diaz-Toribio, M. H., Durigan, G., Ewel, J. J., Fernandes, G. W., Fidelis, A., Fleischman, F., Good, S. P., Griffith, D. M., ... Zaloumis, N. P. (2019). Comment on “The global tree restoration potential”. *Science*, 366(6463), eaay7976. <https://doi.org/10.1126/science.aay7976>
298. Verhoeven, J. T. A., & Setter, T. L. (2010). Agricultural use of wetlands: Opportunities and limitations. *Annals of Botany*, 105(1), 155–163. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp172>
299. Vermont, B., & De Cara, S. (2010a). How costly is mitigation of non-CO<sub>2</sub> greenhouse gas emissions from agriculture? *Ecological Economics*, 69(7), 1373–1386. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.02.020>
300. Vermont, B., & De Cara, S. (2010b). How costly is mitigation of non-CO<sub>2</sub> greenhouse gas emissions from agriculture? *Ecological Economics*, 69(7), 1373–1386. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.02.020>
301. Vleeshouwers, L. M., & Verhagen, A. (2002). Carbon emission and sequestration by agricultural land use: A model study for Europe: CARBON SEQUESTRATION BY EUROPEAN AGRICULTURE. *Global Change Biology*, 8(6), 519–530. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00485.x>
302. Vogt-Schilb, A., & Hallegatte, S. (2014). Marginal abatement cost curves and the optimal timing of mitigation measures. *Energy Policy*, 66, 645–653. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.045>
303. Wächter, P. (2013). The usefulness of marginal CO<sub>2</sub>-e abatement cost curves in Austria. *Energy Policy*, 61, 1116–1126. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2013.06.125>
304. Wang, T.-C., & Lee, H.-D. (2009). Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 8980–8985. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.11.035>
305. Ward, D. J. (2014). The failure of marginal abatement cost curves in optimising a transition to a low carbon energy supply. *Energy Policy*, 73, 820–822. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.03.008>
306. Watson, C. A., Reckling, M., Preissel, S., Bachinger, J., Bergkvist, G., Kuhlman, T., Lindström, K., Nemecek, T., Topp, C. F. E., Vanhatalo, A., Zander, P., Murphy-Bokern, D., & Stoddard, F. L. (2017). Grain Legume Production and Use in European Agricultural Systems. In *Advances in Agronomy* (Vol. 144, pp. 235–303). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.003>
307. Watson, R. T., Noble, I. R., Bolin, B., Ravindranath, N. H., Verardo, D. J., & Dokken, D. J. (2000). *Land Use, Land-Use Change and Forestry* (p. 375). Cambridge University Press.
308. Wen, Y., Freeman, B., Hunt, D., Musarika, S., Zang, H., Marsden, K. A., Evans, C. D., Chadwick, D. R., & Jones, D. L. (2021). Livestock-induced N<sub>2</sub>O emissions may limit the benefits of converting cropland to grazed grassland as a greenhouse gas mitigation strategy for agricultural peatlands. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105764. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105764>
309. Wichtmann, W., Joosten, H., & Schröder, C. (Eds.). (2016). *Paludiculture, productive use of wet peatlands: Climate protection, biodiversity, regional economic benefits*. Schweizerbart Science Publishers.

310. Wieder, R. K., Vitt, D. H., & Benscoter, B. W. (2006). Peatlands and the Boreal Forest. In R. K. Wieder & D. H. Vitt (Eds.), *Boreal Peatland Ecosystems* (Vol. 188, pp. 1–8). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-31913-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-540-31913-9_1)
311. Will, M., Groeneveld, J., Frank, K., & Müller, B. (2020). Combining social network analysis and agent-based modelling to explore dynamics of human interaction: A review. *Socio-Environmental Systems Modelling*, 2, 16325. <https://doi.org/10.18174/sesmo.2020a16325>
312. Wilson, L., Wilson, J., Holden, J., Johnstone, I., Armstrong, A., & Morris, M. (2011). Ditch blocking, water chemistry and organic carbon flux: Evidence that blanket bog restoration reduces erosion and fluvial carbon loss. *Science of The Total Environment*, 409(11), 2010–2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.02.036>
313. Wittnebel, M., Tiemeyer, B., & Dettmann, U. (2021). Peat and other organic soils under agricultural use in Germany: Properties and challenges for classification. *Mires and Peat*, 27(19), 1–24. <https://doi.org/10.19189/MaP.2020.SJ.StA.2093>
314. Wójcik-Leń, J., Leń, P., Mika, M., Kryszk, H., & Kotlarz, P. (2019). Studies regarding correct selection of statistical methods for the needs of increasing the efficiency of identification of land for consolidation—A case study in Poland. *Land Use Policy*, 87, 104064. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104064>
315. Wreford, A., Moran, D., Adger, W. N., & Moran, D. C. (2010). *Climate change and agriculture: Impacts, adaptation and mitigation*. OECD.
316. Yang, Q., Gao, Y., Cao, X., & Yang, J. (2023). Contributions and Resistances to Vulnerability of Rural Human Settlements System in Agricultural Areas of Chinese Loess Plateau since 1980. *Sustainability*, 15(14), 10948. <https://doi.org/10.3390/su151410948>
317. Yoon, K., & Hwang, C. L. (1995). *Multiple attribute decision making: An introduction*. SAGE Publications, Inc.
318. Yu, Z., Beilman, D. W., Froking, S., MacDonald, G. M., Roulet, N. T., Camill, P., & Charman, D. J. (2011). Peatlands and their role in the global carbon cycle. *Eos*, 92(12), 97–98. <https://doi.org/10.1029/2011EO120001>
319. Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Turskis, Z., & Adeli, H. (2016). Hybrid multiple-criteria decision-making methods: A review of applications in engineering. In *Scientia Iranica A* (Vol. 23, Issue 1, pp. 1–20). [www.scientiairanica.com](http://www.scientiairanica.com)
320. Zavadskas, E. K., Govindan, K., Antucheviciene, J., Turskis, Z., & Kazimieras Zavadskas, E. (2016). Economic Research-Ekonomska Istraživanja Hybrid multiple criteria decision-making methods: A review of applications for sustainability issues Hybrid multiple criteria decision-making methods: A review of applications for sustainability issues. *Economic REsEaRch-Ekonomska istRaživanja*, 29(1), 857–887. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2016.1237302>
321. Ziegler, R., Wichtmann, W., Abel, S., Kemp, R., Simard, M., & Joosten, H. (2021). Wet peatland utilisation for climate protection – An international survey of paludiculture innovation. *Cleaner Engineering and Technology*, 5, 100305. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100305>
322. Zvirbule, A., & Andersons, R. (2018, February 15). FACTORS INFLUENCING CHANGES OF BEEF CATTLE HERD QUANTITY AND SIZE: CASE OF LATVIA. *Proceedings of International Scientific Conference 'RURAL DEVELOPMENT 2017'*. RURAL DEVELOPMENT, Aleksandras Stulginskis University, Lithuania. <https://doi.org/10.15544/RD.2017.147>