



EIROPAS LAUKSAIMNIECĪBAS FONDS LAUKU ATTĪSTĪBAI:  
EIROPA INVESTĒ LAUKU APVIDOS



## PĀRSKATS

PAR ZINĀTNISKĀS IZPĒTES PROJEKTA IZPILDI

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: 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

LĪGUMA NR.: 10.9.1-11/17/875

IZPILDES LAIKS: 06.06.2017-05.12.2017 - 1. REDAKCIJA

IZPILDĪTĀJS: LATVIJAS VALSTS MEŽZINĀTNES INSTITŪTS "SILAVA"

PROJEKTA VADĪTĀJS: \_\_\_\_\_

**A. Lazdiņš**

**Salaspils 2017**

## Kopsavilkums

Pētījuma ietvaros risināti jautājumus, kas saistīti ar prognožu ziņojumu pilnveidošanu, izstrādājot un integrējot LVMI Silava sadarbībā ar Zemkopības ministriju, Latvijas Lauksaimniecības universitāti un citām institūcijām gatavojamajos ziņojumos augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņu prognozes un ar tām saistītās N<sub>2</sub>O emisijas no minerālaugsnēm lauksaimniecībā izmantojamās zemēs.

Pētījuma mērķis ir identificēt un raksturot oglekļa ienesi augsnē nozīmīgākajās laukkopības sistēmās, izstrādāt augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņu un N<sub>2</sub>O emisiju prognozi lauksaimniecībā izmantojamās minerālaugsnēs 2017.-2050. gadā atbilstoši pētījuma “Lauksaimniecības attīstības prognozēšana un politikas scenāriju izstrāde līdz 2050. gadam” lauksaimniecības zemes izmantošanas un ražošanas prognozēm un novērtēt lauksaimniecībā izmantojamās zemēs īstenojamo ietekmes uz klimata izmaiņām mazināšanas pasākumu saimniecisko efektu, pārrēķinot uz izmaksām, ko rada siltumnīcefekta gāzu emisiju samazinājums par 1 tonnu CO<sub>2</sub> ekv.

Pētījuma rezultātā iegūsim augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņu un N<sub>2</sub>O emisiju rādītāju prognozi lauksaimniecībā izmantojamai zemei atbilstoši pētījumā “Lauksaimniecības attīstības prognozēšana un politikas scenāriju izstrāde līdz 2050. gadam” izstrādātajai zemes izmantošanas lauksaimniecībā un lauksaimnieciskās produkcijas ražošanas prognozei. Pētījumā aprobētos modelēšanas risinājumus izmantosim nacionālās SEG inventarizācijas pilnveidošanai, novērtējot augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņas lauksaimniecībā izmantojamās zemēs.

Pētījuma rezultātus izmantosim šādu starptautisko ziņojumu pilnveidošanai:

- Divgadu ziņojums un valstu nacionālais ziņojums saskaņā ar EK Īstenošanas Regulas 749/2014 18.pantu, kā arī lēmumu COP 2/CP.17 un UNFCCC 12. pantu;
- Ziņošana par emisijām un piesaisti, ko rada aramzemes apsaimniekošana un ganību apsaimniekošana (Lēmuma Nr. 529/2013/ES izpildei) saskaņā ar EK Īstenošanas Regulas 749/2014 40.pantu; kā arī lēmumiem COP 6/CMP.9 un 2/CMP.8;
- Ziņojums par politiku un pasākumiem saskaņā ar Regulas 525/2013 13. pantu;
- Ziņojums par prognozēm saskaņā ar regulas 525/2013 13. pantu;
- Ziņojums, kurā aprakstīts zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības darbību īstenošanā panāktais progress saskaņā ar Regulas 529/2013 10. pantu;
- Ziņojums par ieviestajām ziņošanas prasībām attiecībā uz aramzemes un ganību apsaimniekošanas nacionālām sistēmām saskaņā ar EK Regulas 749/2014 39. pantu, kā arī lēmumiem COP 19/CMP.1 un 24/CP.19.

Pētījuma uzdevumi ir:

- Laukkopības scenāriju (dominējošo augu maiņu ar atšķirīgiem oglekļa ieneses parametriem) identificēšana un platību izmaiņu raksturošana atbilstoši lauksaimniecības attīstības prognozēm (2017.–2050. gads), tajā skaitā konvencionālās laukkopības sistēmas, ekstensīvās laukkopības sistēmas, sētie zālāji, dārzeņu audzēšana, ilggadīgie zālāji (savācot vai mulčējot nopļauto zāli) un ilggadīgie stādījumi (augļudārzi, īscirtmeta plantācijas).
- Oglekļa un slāpekļa ieneses prognožu laika rindu (2017.–2050. gads, ienese tonnas C ha<sup>-1</sup> gadā) izstrādāšana pirmajā darba uzdevumā identificētajiem laukkopības scenārijiem, tajā skaitā oglekļa ienese ar augu atliekām, kūstmēsliem un citiem organiskajiem mēslošanas līdzekļiem. Ieneses rādītāju novērtēšanai izmantojamas lauksaimniecības sektora prognozes un zinātniskajā literatūrā pieejamie biomasas pārrēķinu koeficienti.
- Aprēķinu parametru sagatavošana augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņu raksturošanai pirmajā darba uzdevumā identificētajās laukkopības sistēmās, izmantojot Yasso modeli, tajā skaitā sākotnējais (šibrīža) augsnes oglekļa uzkrājums aramzemēs un ilggadīgajos zālajos izplatītākajās augšņu granulometriskā sastāva grupās (granulometriskais sastāvs izmantojams, lai nodrošinātu sasaisti ar Starpvalstu Klimata izmaiņu padomes 2006. gada vadlīnijām), klimata izmaiņu prognozes un platības rādītāji.
- Aprēķinu parametru sagatavošana augsnes oglekļa uzkrājuma raksturošanai ar Yasso modeli laukkopības scenārijiem, kas ietver Lauku attīstības plāna agrovides pasākumus, salīdzinot ar konvencionālajām sistēmām, kurās nav prognozēta agrovides pasākumu īstenošana. Aprēķinos jāņem vērā agrovides pasākumu ietekme uz aramzemju platību, kas nepieciešama prognozētā lauksaimniecības produkcijas apjoma saražošanai.
- Augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņu aprēķini ar Yasso modeli pirmajā darba uzdevumā identificētajām laukkopības sistēmām un trešajā darba uzdevumā raksturotajām augšņu grupām, tajā skaitā platībās, kur prognozēta agrovides pasākumu īstenošana. Slāpekļa oksīda (N<sub>2</sub>O) tiešo un netiešo emisiju aprēķini, izmantojot Starpvalstu Klimata izmaiņu padomes 2006. gada vadlīnijas, kā arī pētījumā iegūtos oglekļa uzkrājuma izmaiņu un slāpekļa ieneses rādītājus.
- Aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO<sub>2</sub>) piesaistes prognožu pārrēķins 2017.–2050. gadam atbilstoši pētījuma rezultātiem. Augsnes N<sub>2</sub>O emisiju prognožu sagatavošana ziņošanai lauksaimniecības sektorā.
- Aramzemēs un ilggadīgajos zālajos īstenojamo ietekmes uz klimata izmaiņām mazināšanas pasākumu ekonomiskā analīze, nosakot katra pasākuma prognozējamā SEG emisiju samazinājuma izmaksas (€ par tonnu CO<sub>2</sub>).

Projekta izpildes laiks: 06.06.2017-05.12.2017. Darba izpildītāji: Andis Lazdiņš, Arta Bārdule, Aldis Butlers, Ainārs Lupiķis, Edgars Muižnieks, Jeļena Stola, Santa Kalēja, Jurgis Plankājs, Uvis Skola, Anna Skudra, Andis Zvirgzdiņš, Guntis Saule.

---

# Satura

<b>Kopsavilkums.....</b>	<b>2</b>
<b>Satura.....</b>	<b>4</b>
<b>Ievads.....</b>	<b>7</b>
<b>Laukkopības scenāriju analīze.....</b>	<b>15</b>
<b>Oglekļa ieneses prognožu laika rinda.....</b>	<b>27</b>
<b>Aprēķinu parametri konvencionālajām laukkopības sistēmām.....</b>	<b>33</b>
<b>Aprēķinu parametri ietekmes uz klimata mazināšanas pasākumiem aramzemju un zālāju apsaimniekošanā.....</b>	<b>38</b>
<b>Augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņu aprēķins konvencionālajām laukkopības sistēmām.....</b>	<b>40</b>
<b>SEG emisiju pārrēķins nacionālajā inventarizācijas sistēmā un prognozēs.....</b>	<b>43</b>
<b>Klimata izmaiņu mazināšanas pasākumu ekonomiskā analīze.....</b>	<b>45</b>
<b>Secinājumi.....</b>	<b>49</b>
<b>Izmantotā literatūra.....</b>	<b>50</b>

## Tabulas

Tab. 1: Bruto segumu aprēķinu kopsavilkums.....	22
Tab. 2: Lauksaimniecības kultūru vidējā ražība.....	27
Tab. 3: Parametru vērtības, kas izmantotas, lai pārietu no ražas vienībām un oglekļa ienesi caur biomasu tonnās C ha <sup>-1</sup> gadā (Palosuo, Heikkinen, & Regina, 2015).....	28
Tab. 4: Kultūraugi, kuru radītā oglekļa ienese rada vismaz 95% no kopējās oglekļa ieneses ar augu atliekām LIZ.....	31
Tab. 5: Organisko savienojumu ķīmiskais sastāvs pēc to šķīdības dažādos šķīdumos (Poeplau, Bolinder, Eriksson, Lundblad, & Kätterer, 2015).....	36

## Attēli un grafiki

Att. 1: Organisko vielu transformācijas principiālā shēma Yasso modelī.....	10
Att. 2: Neto CO <sub>2</sub> piesaiste aramzemēs klimata pārmaiņu un nemainīga klimata scenārijos (Lazdiņš u.c., 2016).....	11
Att. 3: Neto CO <sub>2</sub> piesaiste ilggadīgajos zālajos klimata pārmaiņu un nemainīga klimata scenārijos (Lazdiņš u.c., 2016).....	12
Att. 4: Modelētā un faktiskā augsnes oglekļa uzkrājuma salīdzinājums 0-40 cm dziļumā(Lazdiņš u.c., 2016).....	13
Att. 5: Platību, kurās 2014. gadā sēti ziemas kvieši, izmantošana 2015. gadā.....	16
Att. 6: Platību, kurās 2014. gadā sēti ziemas kvieši, izmantošana 2016. gadā (uz horizontālās ass ir 2015. gadā audzētās kultūraugu sugas, uz vertikālās ass ir kultūraugu platības sadalījums %)......	16
Att. 7: Augu maiņas veidošanas piemērs ziemas kviešiem.....	17
Att. 8: Laukkopības sistēmu stratu platības sadalījums 2016. gadā.....	18
Att. 9: Prognozētā kultūraugu platība (Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 2016).....	18
Att. 10: MRM parauglaukumi LAD 2016. gadā maksājumiem pieteiktajos laukos.....	19
Att. 11: Atsevišķi MRM parauglaukumi ar atzīmēm par 2013.-2016. gadā audzētajiem kultūraugiem (sarkanā krāsā) un īstenotajiem atbalsta pasākumiem (uz fona kartes dažādi pasākumi iezīmēti atšķirīgās krāsās).....	20
Att. 12: Bioloģiski un ar konvencionālām metodēm audzējamo kultūraugu platības sadalījums 2016. gadā.....	21
Att. 13: Prognožu un faktiskā kultūraugu platības sadalījuma salīdzinājums 2016. gadā.....	22
Att. 14: Oglekļa ieneses un ražas sakarības Somijā izmantotajos datos (Palosuo u.c., 2015).....	29
Att. 15: Oglekļa ieneses un ražas sakarības Somijā izmantotajos.....	30
Att. 16: Oglekļa ieneses salīdzinājums pupām atbilstoši AREI pētījuma rezultātiem, Somijā izmantotajiem rādītājiem, bruto segumu aprēķinam un statistikas rādītājiem.....	30
Att. 17: Oglekļa krājumu izmaiņas dažādi modelējot augsnes sākotnējo stāvokli. Pieņemot, ka sākotnējais stāvoklis 2016. gadā ir vienāds ar lauka mērījumos konstatēto, vai veicot kalibrāciju 100 gadu periodā, pieņemot, ka 100 gadu laikā ienese nemainās.....	34
Att. 18: Oglekļa uzkrājuma izmaiņas aramzemēs atbilstoši dažādiem aprēķinu scenārijiem.....	34
Att. 19: Gada vidējās gaisa temperatūras laika rinda no 1890. līdz 2050. gadam, kas izmantota oglekļa aprites modeļēšanā.....	35
Att. 20: Gada vidējās gaisa temperatūra un nokrišņu daudzums Latvijā. Avots: Latvijas valsts ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs.....	36
Att. 21: Organisko augšņu izplatība aramzemēs un zālajos no 1990. līdz 2050. gadam.....	37
Att. 22: Oglekļa ieneses laika rinda nozīmīgākajām kultūraugu sugām scenārijā ar klimata izmaiņu mazināšanas pasākumiem atbilstoši LLU pētījumā (Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 2016) iestrādātajām kultūraugu ražības prognozēm.....	39
Att. 23: CO <sub>2</sub> emisiju prognoze aramzemēm minerālaugsnēs.....	40
Att. 24: CO <sub>2</sub> emisiju prognoze ilggadīgajiem zālājiem minerālaugsnēs.....	41
Att. 25: Oglekļa uzkrājumu izmaiņu prognoze aramzemēm un ilggadīgajiem zālājiem.....	42
Att. 26: SEG emisiju pārrēķins aramzemēs un ilggadīgo zālāju zemes izmantošanas kategorijās.....	43
Att. 27: Tiešo un netiešo N <sub>2</sub> O emisiju pārrēķins un prognoze.....	44
Att. 28: Oglekļa uzkrājuma izmaiņas pie dažādām augu maiņām.....	45
Att. 29: Bioloģiskās un konvencionālās graudaugu saimniecības salīdzinājums – CO <sub>2</sub> emisiju prognoze.....	46
Att. 30: Bioloģiskās un konvencionālās graudaugu saimniecības salīdzinājums – augsnes oglekļa uzkrājuma prognoze.....	47
Att. 31: CO <sub>2</sub> emisiju prognoze, ja a) ņem vērā prognozēto ražas paaugstināšanos b) pieņem, ka ražas paaugstināšanās nenotiek.....	48



## Ievads

Saskaņā ar Kioto protokolu un Līgumslēdzēju pušu konferences lēmumu Nr. 2/CMP.6 otrajā saistību izpildes periodā (2013.-2020. gads) aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO<sub>2</sub> piesaistes ziņošana ir brīvprātīga. Latvija nav izvēlējusies gatavot ziņojumus par SEG emisijām un CO<sub>2</sub> piesaisti šajās Kioto protokola 3. panta 4. punktā uzskaitītajās aktivitātēs. Ziņošanas procedūra un iespēja izvēlēties ziņojamās aktivitātes brīvprātīgi noteikta Līgumslēdzēju pušu konferences lēmumā Nr. 2/CMP.7. Pēc 2020. gada ilggadīgo zālāju un aramzemju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO<sub>2</sub> piesaistes ziņošana kļūs obligāta Kioto protokola 1. pielikumā uzskaitītajām valstīm, tajā skaitā Latvijai.

Eiropas Savienības iekšējo kārtību ziņojumu sagatavošanai par aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas kārtību nosaka 2013. gada 21. maija Eiropas Parlamenta un Padomes lēmums Nr. 529/2013 (turpmāk – EP un EK regula 529/2013). Šajā lēmumā noteikta ziņojumos iesniedzamās informācijas struktūra, formāts, iesniegšanas un izskatīšanas procedūras. Ziņojumus par aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radītajām SEG emisijām un CO<sub>2</sub> piesaisti dalībvalstīm jāsagatavo saskaņā ar 2013. gada 21. maija Eiropas Parlamenta un Padomes regulas Nr. 525/2013 7.pantu un 2014. gada 30. jūnija Komisijas Īstenošanas regulas 749/2014 4. nodaļu, kas nosaka ziņošanu lēmuma Nr. 529/2013/ES izpildei, tajā skaitā 38. pants reglamentē izvairīšanos no dubultas ziņošanas, 39. pants nosaka ziņošanas prasības attiecībā uz aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas sistēmām, 40. pants nosaka ziņošanas prasības attiecībā uz ikgadējiem aprēķiniem par emisijām un piesaisti, ko rada aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošana, bet 41. pants nosaka īpašās ziņošanas prasības.

Saskaņā ar līgumslēdzēju pušu lēmumu Nr. 2/CMP.7 un Lēmumu Nr. 529/2013/ES ikgadējie ziņojumi jāsagatavo atbilstoši 2006. gada Labas prakses vadlīnijām Nacionālajai siltumnīcefekta gāzu inventarizācijai (Eggleston, Buendia, Miwa, Ngara, & Kiyoto, 2006) un 2013. gada pārstrādātajiem papildus metodiskajiem norādījumiem un labas prakses vadlīnijām, kas izriet no Kioto protokola prasībām (Hiraishi u.c., 2013).

Par uzskaites periodu, kas sāksies 2021. gada 1. janvārī, Latvijai būs jāsagatavo un jāuztur ikgadēja uzskaitē, kurā pareizi jāatspoguļo visas emisijas un piesaiste, kas to teritorijā rodas darbībās, kuras ietilpst šādās kategorijās: aramzemes apsaimniekošana; ganību apsaimniekošana.

SEG emisiju prognožu dati zemes izmantošanas, zemes izmantošanas un mežsaimniecības sektorā iekļaujami “Divgadu ziņojumā un nacionālajā ziņojumā”, kas sagatavojams atbilstoši EK Regulas 749/2014 18. pantu; Līgumslēdzēju pušu konferences lēmumu COP 2/CP.17 un UNFCCC 12. pantu; “Ziņojumā par politiku un pasākumiem”, kas sagatavojams saskaņā ar Eiropas Komisijas un Parlamenta Regulas 525/2013 13. pantu; “Ziņojums, kurā aprakstīts zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības darbību īstenošanā panāktais progress” saskaņā ar regulas 529/2013 10. pantu un citos ziņojumos, kas izriet no prasībām nacionālā SEG inventarizācijas ziņojuma sagatavošanai un dažādos ziņojumos iesniedzamo datu integritātes nodrošināšanai.

Līdzšinējos pētījumos konstatēta nepieciešamība adaptēt kādu no esošajiem modeļiem SEG emisiju rēķināšanai no lauksaimniecības augsnēm, lai novērtētu CO<sub>2</sub> un N<sub>2</sub>O emisijas no aramzemēm un ilggadīgiem zālājiem, atkarībā no to kultivēšanas intensitātes (Lazdiņš &

Čugunovs, 2013). Izvērtējot Eiropā SEG inventarizācijā pielietotos augšņu emisiju aprēķinu modeļus, padziļināti izvērtētas Somijā izstrādātā Yasso modeļa ieviešanas iespējas. Šī modeļa lielākā priekšrocība ir tajā apstākļi, ka modelis pilnībā balstās uz saimnieciskās darbības datiem un tam nav nepieciešami augšņu kartēšanas dati (Lazdiņš, Čugunovs, Lazdiņa, & Butlers, 2014; Lupiķis & Lazdiņš, 2017). Latvijas apstākļos būtisks apstāklis, kas var ietekmēt aprēķinu rezultātus, ir hidroloģiskais režīms un augsnes aerācija.

Projekta uzsākšanas brīdī pastāvēja divas Yasso modeļa versijas: Yasso un Yasso07<sup>1</sup>. Yasso ir pirmatnējā versija, uz kuras bāzes vēlāk tika izveidots papildinātais modelis Yasso07. Projekta īstenošanas laikā publicēta jauna modeļa versija Yasso15, taču, ņemot vērā, ka tā pagaidām nav plaši aprobēta, nolemts pagaidām to neizmantot Latvijas apstākļos. Yasso un Yasso07 abi ir augsnes oglekļa un nobiru noārdīšanās dinamiskie modeļi, kas apraksta nobiru sadalīšanos un augsnes oglekļa ciklu, balstoties uz organisko vielu ķīmisko kvalitāti un klimatiskajiem apstākļiem.

Yasso modelis balstās uz 5 pieņēmumiem:

1. augu atliekas un augsnes organiskā viela sastāv no dažādām savienojumu grupām, kas sadalās tām raksturīgajos tempos, kas ir neatkarīgi no savienojumu grupu izcelsmes. Šo grupu sadalīšanās tempi samazinās, pieaugot savienojumu sarežģītībai;
2. koksnes nobiru, atšķirībā no nekoksnes nobiru, sadalīšanās ir atkarīga ne tikai no to ķīmiskā sastāva (bet arī no izmēriem). Lauksaimniecības augu atlieku izmēri būtiski neietekmē aprēķinu rezultātus, tāpēc lauksaimniecībā izmantojamās zemēs (LIZ) šo parametru neņem vērā;
3. sadalošies savienojumi zaudē noteiktu daļu savas masas laika vienībā;
4. daļa sadalījušās masas tiek izvadīta no augsnes heterotrofās elpošanas vai izskalošanās rezultātā, kamēr atlikušā daļa veido noturīgākus savienojumus;
5. mikrobioloģiskā aktivitāte un, tādējādi, sadalīšanās ātrums, kā arī ātrums, ar kuru koksnes nobiras tiek pakļautas mikrobioloģiskās sadalīšanās procesam, ir atkarīgi no labvēlīgiem temperatūras un mitruma apstākļiem. Papildus tiek pieņemts, ka humusvielu sadalīšanās ir mazāk jutīga pret temperatūru nekā mazāk noturīgu vielu sadalīšanās (Liski, Palosuo, Peltoniemi, & Sievänen, 2005).

Yasso modelis sastāv no 5 sadalīšanās nodaļumiem. Sadalīšanās nodaļumi paredzēti savienojumu grupām, balstoties uz to ķīmisko noturīgumu:

1. viegli ekstrahējamie savienojumi;
2. celulozes;
3. lignīnveidīgie savienojumi;
4. mazāk noturīgās humusvielas;
5. vairāk noturīgās humusvielas.

Modelī kā parametri iekļauti savienojumu grupu sadalīšanās ātrumi, oglekļa izneses no augsnes ātrums un sarežģītāko savienojumu veidošanās ātrums. Parametru vērtības noskaidrotas empīriski pie klimatiskajiem apstākļiem, kas raksturīgi Somijas dienviddaļai un Zviedrijas centrālajai daļai, t.i., gada vidējā temperatūra 3,3 °C, efektīvā temperatūru summa (virs 0 °C

<sup>1</sup> <http://code.google.com/p/yasso07ui/>



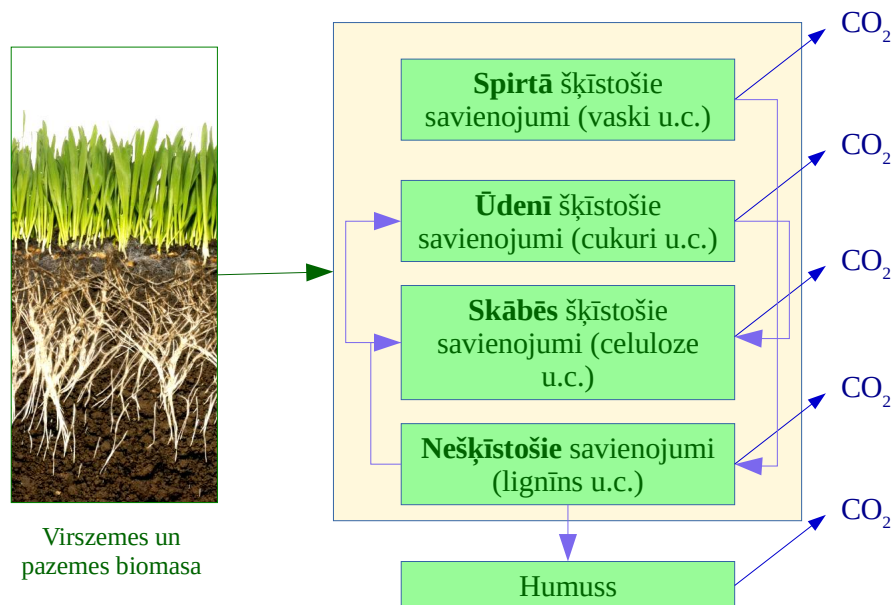
sliekšņa) 1903 grāddienu un starpība starp nokrišņu daudzumu un potenciālo iztvaikošanu periodā starp maiju un septembri – 32 mm. Lai iegūtu parametru vērtības citiem meteoroloģiskajiem reģioniem, noskaidrota nobiru sadalīšanās ātruma atkarība no temperatūras un mitruma. Modeļa pielietojamību citos apstākļos nosaka ievades parametru atbilstība reālajiem apstākļiem. To apstiprina arī līdzšinējie pētījumi no tropu lietus mežiem līdz arktiskai tundrai (Liski, Nissinen, Erhard, & Taskinen, 2003), Kanādā (Liski u.c., 2005), Somijā, Vācijā un Šveicē (Kaipainen, Liski, Pussinen, & Karjalainen, 2004; Peltoniemi, Mäkipää, Liski, & Tamminen, 2004; Thurig, 2005).

Ievades dati, kas nepieciešami Yasso modeļa pielietošanai, ir augu atlieku daudzums un ķīmiskais sastāvs (sadalījums pa savienojumu grupām), un klimatiskie dati (temperatūra un vasaras sausums). Temperatūrai Yasso modelī jānosaka gada vidējo skaitli, un vasaras sausums tiek aprēķināts kā starpība starp vidējo nokrišņu daudzumu un potenciālo iztvaikošanu no maija līdz septembrim. Iespējams noteikt sākumstāvokli organiskā oglekļa daudzumam augsnē pa savienojumu grupām.

Dinamiskie augsnes oglekļa modeļi pamatojas uz pieņēmumu, ka līdz simulācijas sākuma brīdim augsne jau sasniegusi līdzsvaru attiecībā uz oglekļa uzkrājumu, t.i., ienese ir vienāda ar iznesi. Kaut gan šis pieņēmums ne vienmēr var īstenoties dabā, tas ir nepieciešams, lai praktiski varētu izmantot attiecīgos modeļus. Tādējādi, pirms modeļa pielietošanas to vajag kalibrēt („spin-up”), simulējot situāciju vairāku gadu desmitu vai gadsimtu ilgumā, balstoties uz zināšanām par ekosistēmu attīstību šajā laika posmā.

Yasso modeļa aprēķinu rezultāti ir kopējais oglekļa uzkrājums augsnē un oglekļa uzkrājums augsnē pa savienojumu grupām, kā arī oglekļa uzkrājuma augsnē izmaiņas ar gada izšķirtspēju piecu savienojumu klašu griezumā un oglekļa iznese no augsnes.

Yasso07 jeb jaunākajā modeļa versijā ir iekļauti līdzīgi ķīmisko savienojumu nodalījumi kā Yasso modelī. Tie nosaukti par ūdenī šķīstošajiem, etanolā šķīstošajiem, skābē hidrolizējamajiem, nešķīstošajiem ūdenī un nehidrolizējamajiem skābē, un stabilo humusu (Att. 1). Jauni dati, kas izmantoti Yasso07 modeļa izveidē, ir par lapu, sīksakņu un koksnes nobiru masas zudumu vairākos dažādos klimatiskajos apstākļos, kas raksturīgi līdz pat 90 % no zemeslodes teritorijas (Tuomi u.c., 2009; Tuomi, Laiho, Repo, & Liski, 2011). Attiecībā uz lakstaugu biomasu modelī nav ieviesti nekādi uzlabojumi. Yasso07 modelim ir izveidots grafiskais lietotāja interfeiss un ir iespēja iestrādāt aprēķinos zemes izmantošanas veida izmaiņas. Temperatūras datus Yasso07 modelī var ievadīt kā gada, tā arī atsevišķu mēnešu griezumā. Atšķirībā no iepriekšējās versijas, Yasso07 modelis kā ievades datus prasa gada vidējo nokrišņu daudzumu, nevis vasaras sausuma novērtējumu (Lazdiņš & Čugunovs, 2013).

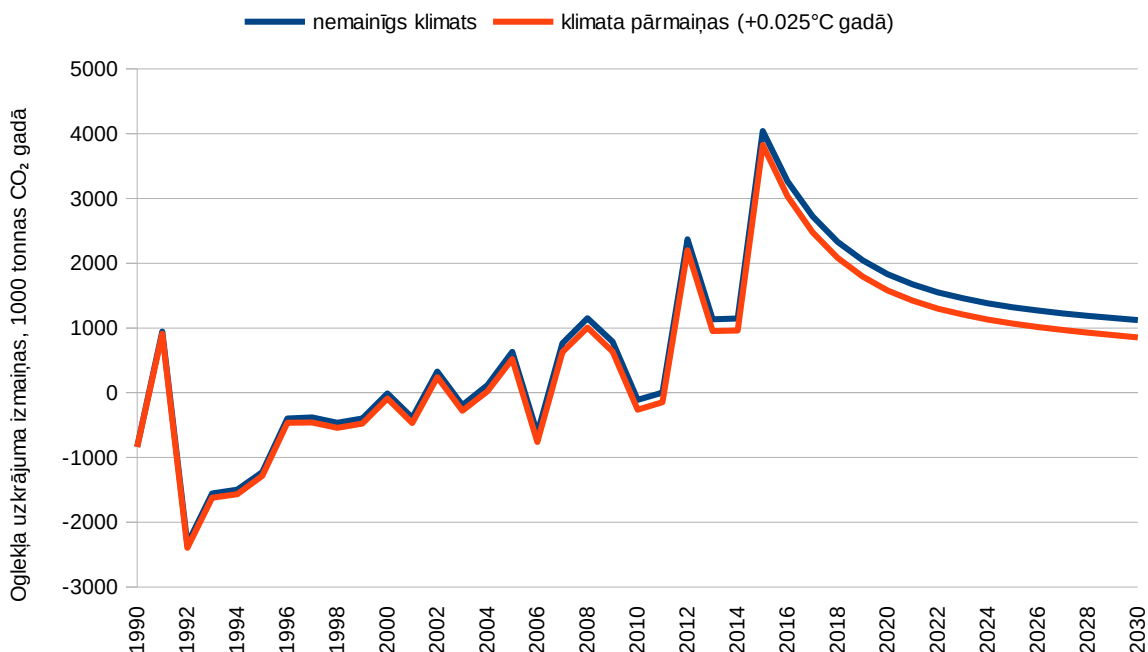


**Att. 1: Organisko vielu transformācijas principiālā shēma Yasso modeli<sup>2</sup>.**

Pirmais mēģinājums izmantot Yasso modeli augsnes oglekļa izmaiņu raksturošanai LIZ Latvijā īstenots 2016. gadā. Šajā pētījumā konstatēts, ka modelētie rezultāti uzrāda oglekļa piesaisti minerālaugsnes aramzemēs. Lielākā piesaiste ir 2015. gadā - 4000 kt CO<sub>2</sub> gadā. No 1992. līdz 1996. gadam modelis uzrāda CO<sub>2</sub> emisijas aramzemēs – no 1000 līdz 2500 kt CO<sub>2</sub> gadā. No 1996. līdz 2010. gadam CO<sub>2</sub> piesaistes un emisiju bilance ir svārstījusies ap nulli, tomēr tendence uzrāda, ka pieaug neto piesaiste, kas saistīts ar dažādu kultūru ražības pieaugumu (Att. 2). Emisiju pieaugums 90. gadu sākumā saistīts ar strauju lopkopības apjomu kritumu, kam sekojis lopbarības kultūru audzēšanas samazinājums (Lazdiņš u.c., 2016).

Saskaņā ar 2016. gadā izstrādātajām prognozēm aramzemju augsnes saglabājas CO<sub>2</sub> piesaiste. Klimata pārmaiņu iespējamā ietekme ir salīdzinoši neliela un nerada riskus tam, ka lauksaimniecības zemes varētu kļūt par emisiju avotu. Rezultātu vairāk ietekmē prognozētās kultūraugu ražības, nevis klimatiskie faktori. Attiecīgi, ražības samazināšanās var izraisīt CO<sub>2</sub> piesaistes samazinājumu vai pat emisijas no augsnes. Meteoroloģisko faktoru ietekme izpaužas netieši, caur ražības rādītājiem (Lazdiņš & Čugunovs, 2013).

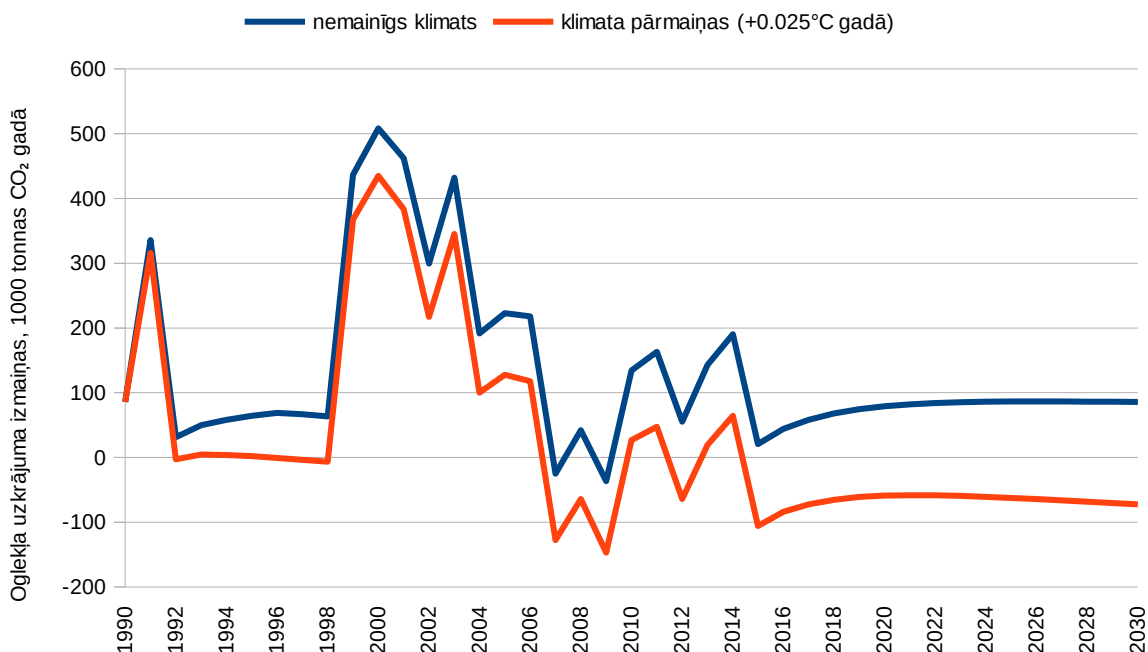
<sup>2</sup> Ar zilām bultiņām iezīmēti nozīmīgākie transformācijas ceļi, bet aprēķinos ietverti visi iespējamie transformācijas varianti.



**Att. 2: Neto CO<sub>2</sub> piesaiste aramzemēs klimata pārmaiņu un nemainīga klimata scenārijos (Lazdiņš u.c., 2016).**

Saskaņā ar 2016. gada pētījuma rezultātiem zālāji uz minerālaugsnēm nemainīga klimata scenārijā ir neliels neto piesaistes avots. Klimata pārmaiņu scenārijā novērojams CO<sub>2</sub> piesaistes samazinājums un atsevišķos periodos augsnes ilggadīgajos zālajos augsnes kļūst par neto CO<sub>2</sub> emisiju avotu (Att. 3). Ņemot vērā aprēķinu nenoteiktību, pieņemts, ka abos scenārijos minerālaugsne zālajos nākotnē neradīs būtisku ietekmi uz kopējām SEG emisijām ZIZIMM sektorā un CO<sub>2</sub> emisiju un piesaistes bilance būs tuvu nullei (Lazdiņš u.c., 2016).

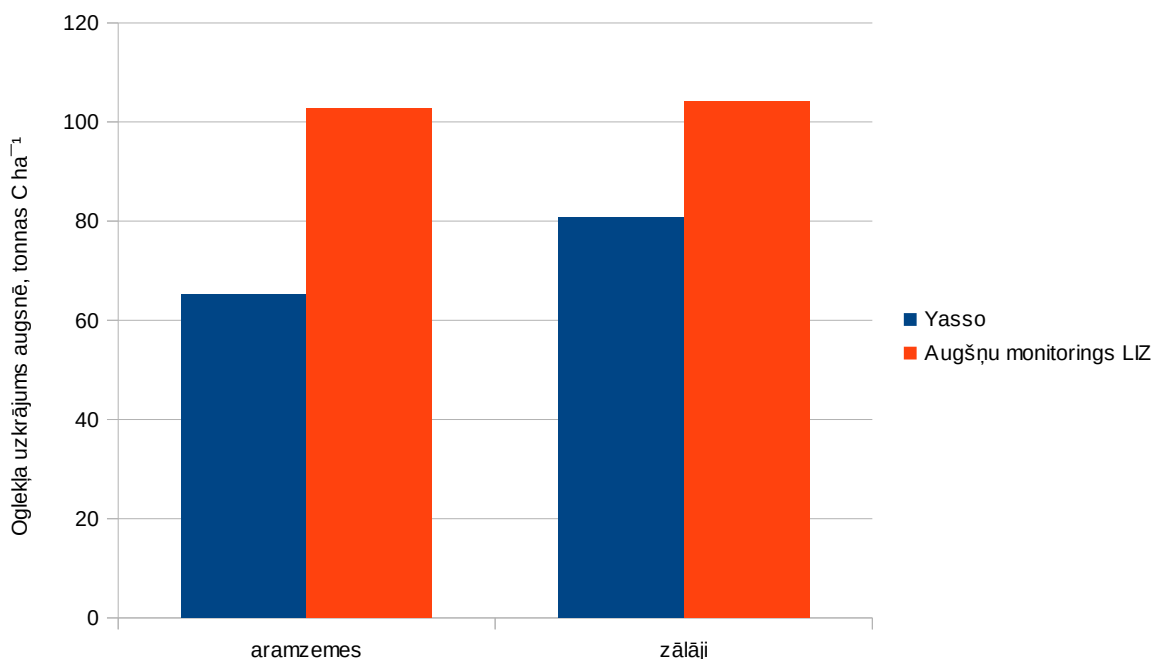
Oglekļa piesaistes samazināšanos var izraisīt ilggadīgo zālāju noplicināšanās, tajā skaitā nopļautās zāles aizvākšana, nekompensējot iznestās barības vielas ar minerālmēsliem vai kūtsmēsliem (Lazdiņš u.c., 2016). Saskaņā ar Yasso un Yasso07 izmantotajiem pieņēmumiem zāles virszemes biomasa ilggadīgajos zālajos ir vidēji 3 tonnas sausnas, kas atbilst aptuveni 30 kg kālija (K). Tas ir salīdzinoši neliels daudzums no augsnes virskārtā esošā K daudzuma (3,4 tonnas ha<sup>-1</sup> saskaņā ar BioSoil rezultātiem auglīgās minerālaugsnēs), tāpēc šī zālāju apsaimniekošanas veida ietekmes uz augsnes oglekļa uzkrājumu ilgtermiņa ietekmes raksturošanai nepieciešami empīriski iegūti pētījumu dati no augšņu grupām ar atšķirīgu nodrošinājumu ar organiskajām vielām.



**Att. 3: Neto CO<sub>2</sub> piesaiste ilggadīgajos zālajos klimata pārmaiņu un nemainīga klimata scenārijos** (Lazdiņš u.c., 2016).

Saskaņā ar 2016. gada pētījuma rezultātiem secināts, ka Yasso modelētie rezultāti aramzemēs un zālajos nepietiekami novērtē oglekļa akumulēšanās spēju minerālaugsnēs, jo, salīdzinot ar augšņu monitoringa datiem lauksaimniecībā izmantojamās zemēs, kopējie oglekļa uzkrājumi pēc Yasso modeļa ir par 40 % aramzemēs un par 20 % zālajos mazāki (Att. 4), nekā oglekļa krājumi, kas konstatēti lauksaimniecībā izmantojamo zemju augšņu apsekojumos (Lazdiņš u.c., 2015).

Iespējams, ka šāds rezultāts izskaidrojams ar faktu, ka lielākā daļa LIZ ir relatīvi nesen transformētas un meliorētas meža zemes un tajās vēl turpinās oglekļa satura samazināšanās, kas saistīta ar zemes izmantošanas veida maiņas un meliorācijas ietekmi. Šāds skaidrojums sniegts, raksturojot augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņas aramzemēs Somijā (Heikkinen, Ketoja, Nuutinen, & Regina, 2013).



**Att. 4: Modelētā un faktiskā augsnes oglekļa uzkrājuma salīdzinājums 0-40 cm dziļumā (Lazdiņš u.c., 2016).**

Pētījumā secināts, ka atšķirības starp Yasso modelēto un faktisko augsnes oglekļa uzkrājumu (Lazdiņš, 2015) ir pietiekami lielas, lai turpinātu darbu pie ievades datu sistematizēšanas un iedalīšanas apsaimniekošanas sistēmās, kā arī ir jāvērtē meliorācijas sistēmu ilgtermiņa ietekme uz augsnes oglekļa uzkrājumu minerālaugsnēs. Modelēšanas rezultāti norāda uz nepieciešamību veikt praktiskus CO<sub>2</sub> emisiju un organisko vielu aprites pētījumus lauksaimniecībā izmantojamās zemēs, lai koriģētu Yasso modeļa parametrus un salīdzinātu modeļa rezultātus ar reālo situāciju. Kā viena no problēmām minama arī ievades datu par oglekļa ienesi augsnē ticamība.

Saskaņā ar pētījuma rezultātiem izvirzīti uzdevumi Yasso modeļa darbības uzlabošanai Latvijas apstākļos, tajā skaitā definēti nosacījumi pilotizmēģinājumu veikšanai, lai salīdzinātu Yasso modelētos datus ar uzmērītos rezultātus.

Yasso modeļa darbības uzlabošanai nepieciešamie pasākumi:

1. Yasso modeļa parametru kalibrēšana atbilstoši Latvijas apstākļiem – augu atlieku un augsnes organisko vielu šķīdības raksturošana;
2. laukkopības sistēmu izstrādāšana, raksturojot oglekļa ienesi augsnē, atkarībā no augu maiņas un saimniekošanas intensitātes;
3. darbības dati organisko vielu ieneses raksturošanai meža un nemeža ekosistēmās, tajā skaitā oglekļa ienese ar pazemes biomasu;
4. modeļa parametru kalibrēšana, nosakot dažādu kultūraugu biomasas sadalīšanās ātrumu augsnē.

Šajā pētījumā galvenā uzmanība pievērsta modelī izmantojamo darbības datu pilnveidošanai un laukkopības sistēmu izstrādāšanai, lai raksturotu tipiskas augu maiņas katrai laukaugu kultūrai. Aprēķinu vienkāršošanai augu maiņas veidotas, kā 5-30 gadi garš atkārtojošs kultūraugu audzēšanas secības cikls, kurā definēts attiecīgā auga audzēšanas ilgums nepārtraukti vienā

---

vietā un intervāls gados, kura laikā audzē citas kultūras. Kultūraugu izdalīšanai izmantots Lauku atbalsta dienesta (LAD) klasifikators, manuāli veidojot augu maiņas katrai kultūraugu grupai.

Iegūtie dati izmantoti grupu ar līdzīgu kultūraugu secību veidošanai un augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņu modelēšanai ar Yasso modeli, izmantojot atsevišķas grupas kā ievades datus.

## Laukkopības scenāriju analīze

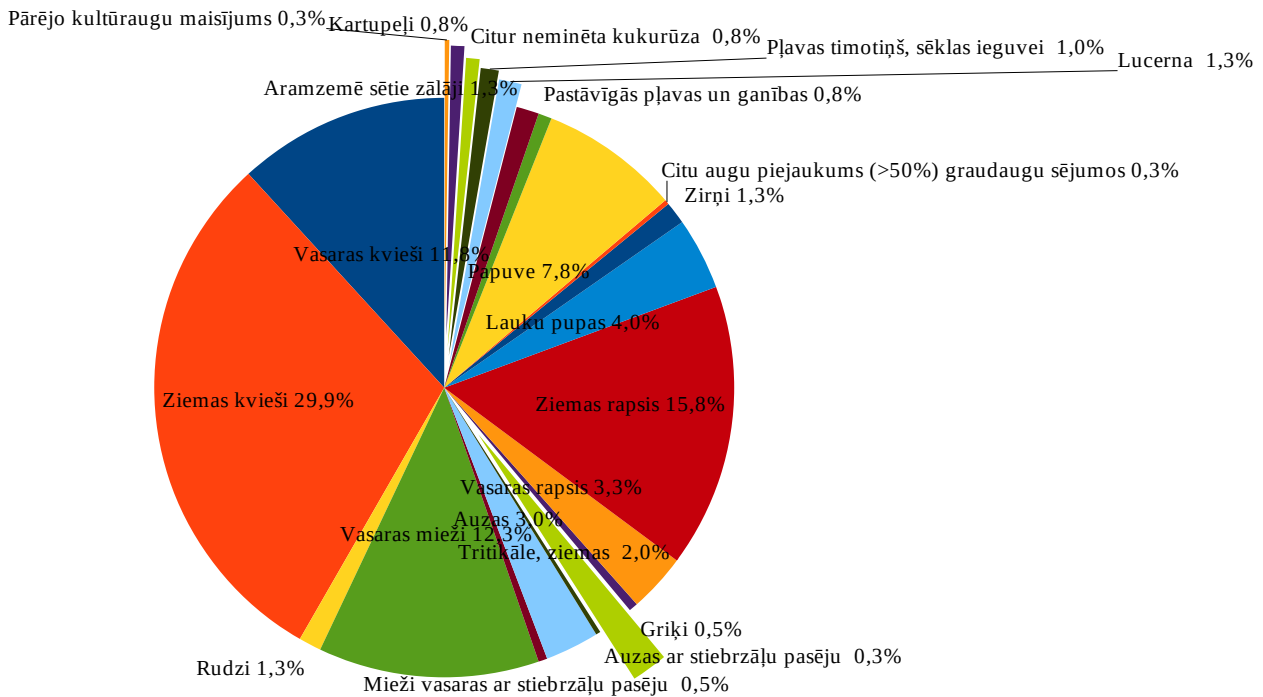
Pētījuma ietvaros identificēti laukkopības scenāriji (dominējošo augu maiņas ar atšķirīgiem oglekļa ieneses parametriem) un raksturota to platība atbilstoši lauksaimniecības attīstības prognozēm (Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 2016), tajā skaitā konvencionālās laukkopības sistēmas, ekstenīvās laukkopības sistēmas un ilggadīgie zālāji. Aprēķinos izdalīti tikai tie scenāriji, kam sagaidām būtiska ietekme uz oglekļa uzkrājuma izmaiņām.

Augu maiņu izdalīšanā izmantotas vairākas pieejas:

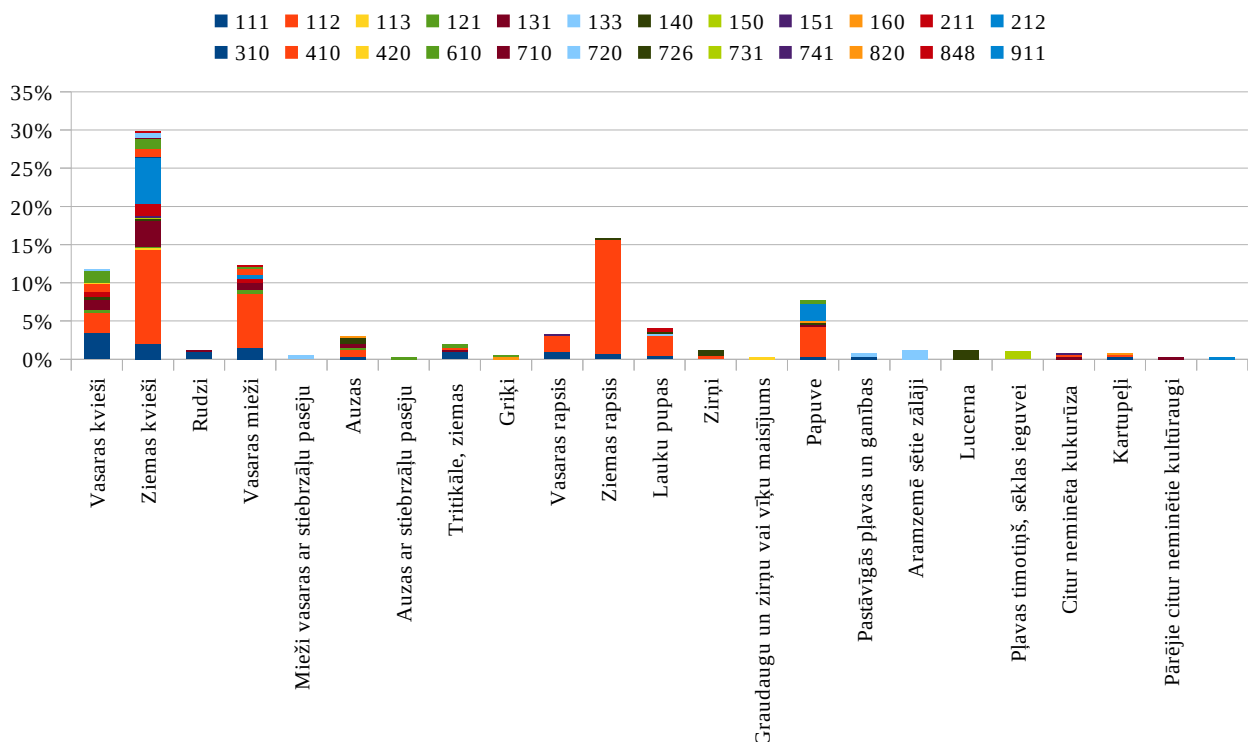
- atbilstoši LAD lauku dati par izplatītākajām kultūraugu nomaiņas secībām 2013.-2016. gados, nosakot cik bieži viens un tā pats kultūraugs audzēts tajā pašā platībā un nosakot izplatītāko maiņas kultūraugu;
- agronomu aptaujas<sup>3</sup>, izdalot pamata kultūraugus un maiņas kultūraugus, kā arī to audzēšanas ilgumus un pārtraukumus vienā un tajā pašā platībā;
- platību līdzsvarošanas mehānisms (pēc zemes novērtējuma ballēs un bruto seguma aprēķiniem) manuālai zemes izmantošanas pielīdzināšanai ar lauksaimniecības attīstības prognozēm;
- augu maiņas no 1990. līdz 2050. gadam izveidotas katram Meža resursu monitoringa (MRM) parauglaukumam (kopā 3936 parauglaukumi), kas atbilst 2013.-2016. gados LAD pieteiktajiem laukiem.

Piemērs LAD telpisko datu izmantošanai parādīts Att. 5 un Att. 6. Salīdzinot ziemas kviešu platības sadalījumu nākošajā gadā (Att. 5), konstatēts, ka visbiežāk ziemas kvieši nomainās ar rapsi, vasaras kviešiem, vasaras miežiem un papuvi, taču ziemas kvieši var parādīties vēl vismaz 18 kultūraugu augu maiņās. Izsekojot ziemas kviešu sējumiem 2 gadu laikā (Att. 6) papildināts kultūraugu saraksts, kuru augu maiņā var parādīties ziemas kvieši. Tāpat šī analīze izmantota, lai novērtētu, cik regulāri vienā un tajā pašā platībā sēj to pašu kultūraugu sugu, attiecīgi, tā ir pamatkultūra, ko periodiski aizstāj ar citiem kultūraugiem, vai arī to audzē dažādos laukos un regularitāte nav izsekojama. Piemēram ziemas kviešus 2. un 3. gadā kopuma vienās un tajās pašās platībās audzē 30% gadījumu.

<sup>3</sup> Aptaujāti 3 aronomi no uzņēmumiem, kas apsaimnieko vismaz 1000 ha sējumu platību.



Att. 5: Platību, kurās 2014. gadā sēti ziemas kvieši, izmantošana 2015. gadā.

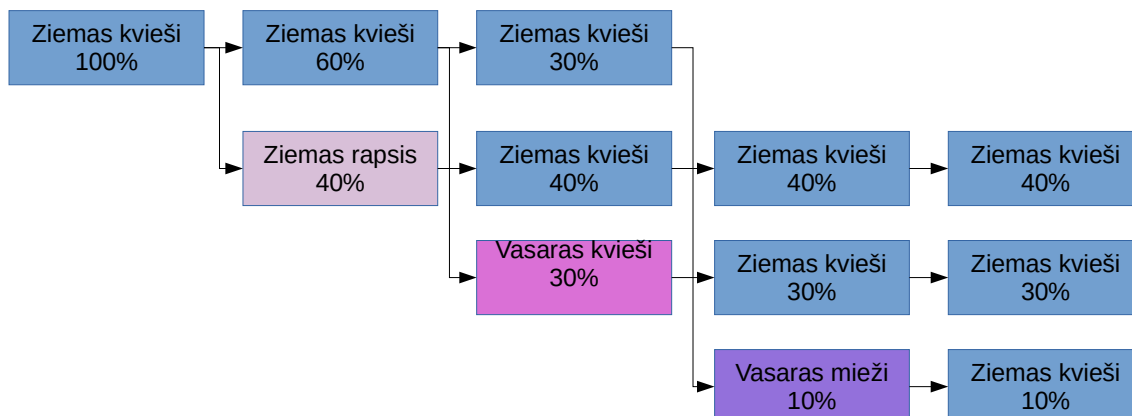


Att. 6: Platību, kurās 2014. gadā sēti ziemas kvieši, izmantošana 2016. gadā (uz horizontālās ass ir 2015. gadā audzētās kultūraugu sugas, uz vertikālās ass ir kultūraugu platības sadalījums %).

Balstoties uz LAD datu analīzes rezultātiem, katram kultūraugam, tajā skaitā papuvēm, izraudzīti 3 izplatītākie maiņas augi, no kuriem veidota augu maiņa, paredzot, ka kultūraugu nomaiņa katra MRM parauglaukuma pārstāvētajā platībā notiks 1-3 gadu laikā, atkarībā no tā,



cik ilgi attiecīgo augu audzē vienā platībā bez nomaiņas. Augu maiņas veidošanas piemērs ziemas kviešiem dots Att. 7.



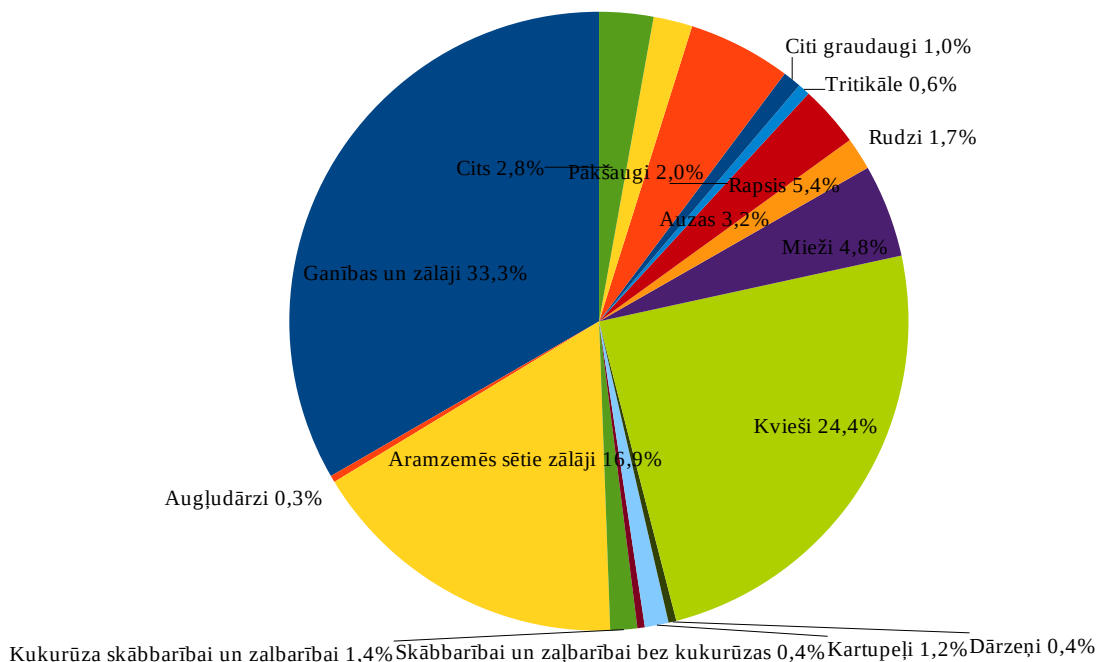
**Att. 7: Augu maiņas veidošanas piemērs ziemas kviešiem.**

Bioloģiskās laukkopības teritorijas noteiktas atbilstoši LAD atzīmēm par katrā laukā īstenojamiem atbalsta pasākumiem; attiecīgi, ja teritorija 2016. gadā pieteikta atbalsta par bioloģiskās lauksaimniecības darbību īstenošanu, šajā teritorijā prognozēta bioloģiskajai lauksaimniecībai raksturīga oglekļa ienese, kā arī plānota būtiska kūtsmēsļu ienese barības vielu zudumu kompensēšanai (40 tonnas ha<sup>-1</sup> gadā).

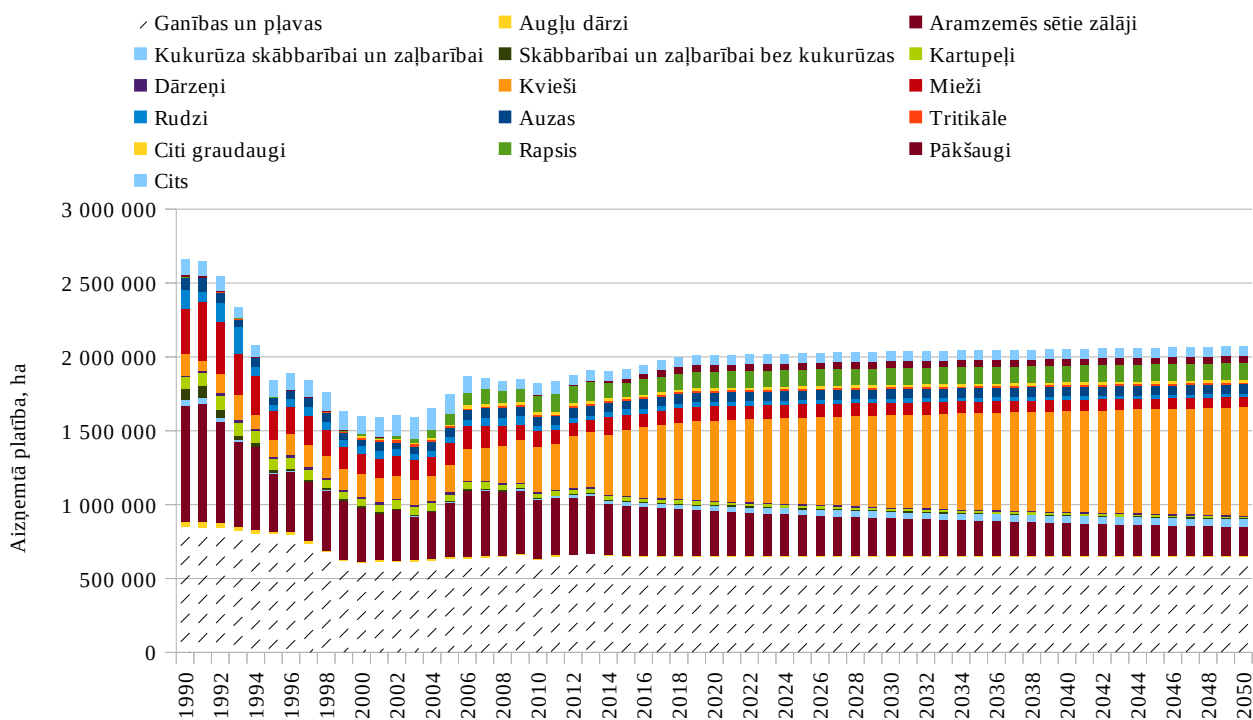
Laukkopības scenāriju grupas jeb scenāriji atbilstoši 2016. gadā audzētajiem kultūraugiem, kas izdalīti modelēšanā:

1. ganības un ilggadīgie zālāji (paredzot, ka organisko vielu ienese atbilst visai augu biomasai vai tai ekvivalentam kūtsmēsļu daudzumam);
2. daudzgadīgie augi (aprēķins veikts, izmantojot mežam raksturīgās organisko vielu ieneses attiecības pret prognozēto virszemes biomasu);
3. aramzemēs sētie zālāji (zāli iznes, bet to kompensē ar minerālmēsļu ienesi);
4. kukurūza skābbarībai un zaļbarībai;
5. skābbarība un zaļbarība bez kukurūzas;
6. kartupeļi;
7. dārzeņi;
8. kvieši;
9. mieži;
10. rudzi;
11. auzas;
12. tritikāle;
13. citi graudaugi;
14. rapsis;
15. pākšaugi;
16. citi kultūraugi.

Dažādu kultūraugu jeb izdalīto laukkopības sistēmu stratu platības sadalījums 2016. gadā parādīts Att. 8. Katram stratam izrēķināta vidējā ikgadējā oglekļa ienese konvencionālajās un bioloģiskās lauksaimniecības sistēmās (tonnas C ha<sup>-1</sup> gadā no 1990. līdz 2050. gadam), bet iegūtie rezultāti pēc oglekļa uzkrājuma izmaiņu noteikšanas (nodaļa - Augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņu aprēķins konvencionālajām laukkopības sistēmām) ekstrapolēti uz prognozēto kultūraugu platību (Att. 9).

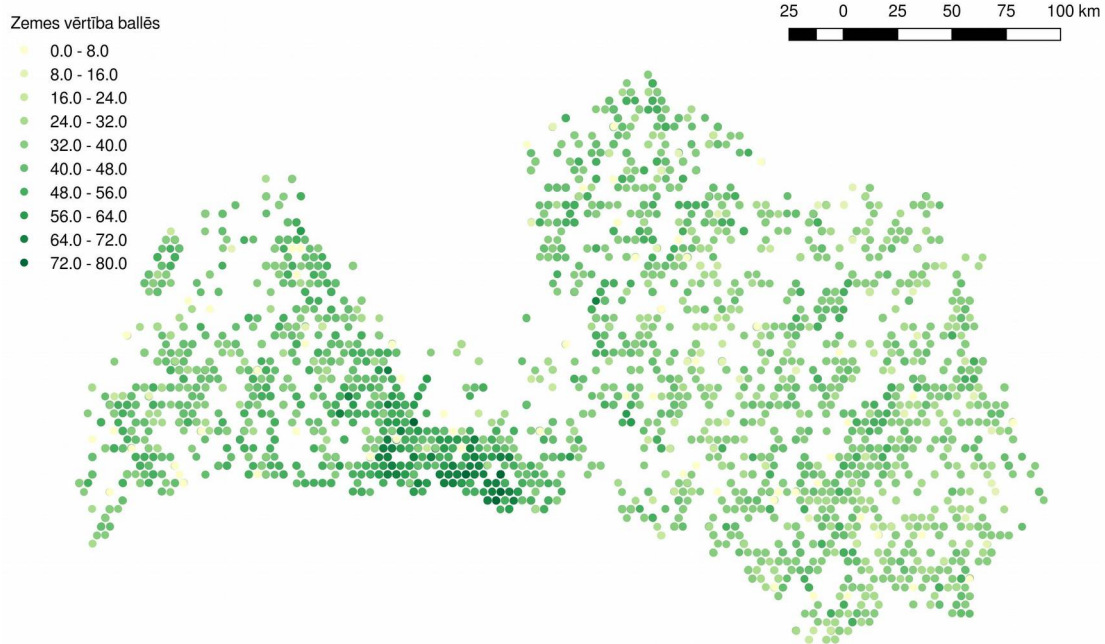


Att. 8: Laukkopības sistēmu stratu platības sadalījums 2016. gadā.



Att. 9: Prognozētā kultūraugu platība (Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 2016).

Telpiski atspoguļojamu datu iegūšanai augu maiņas veidotas katram MRM parauglaukumam, kas atrodas 2016. gadā maksājumiem pieteikto lauku platībā (Att. 10).

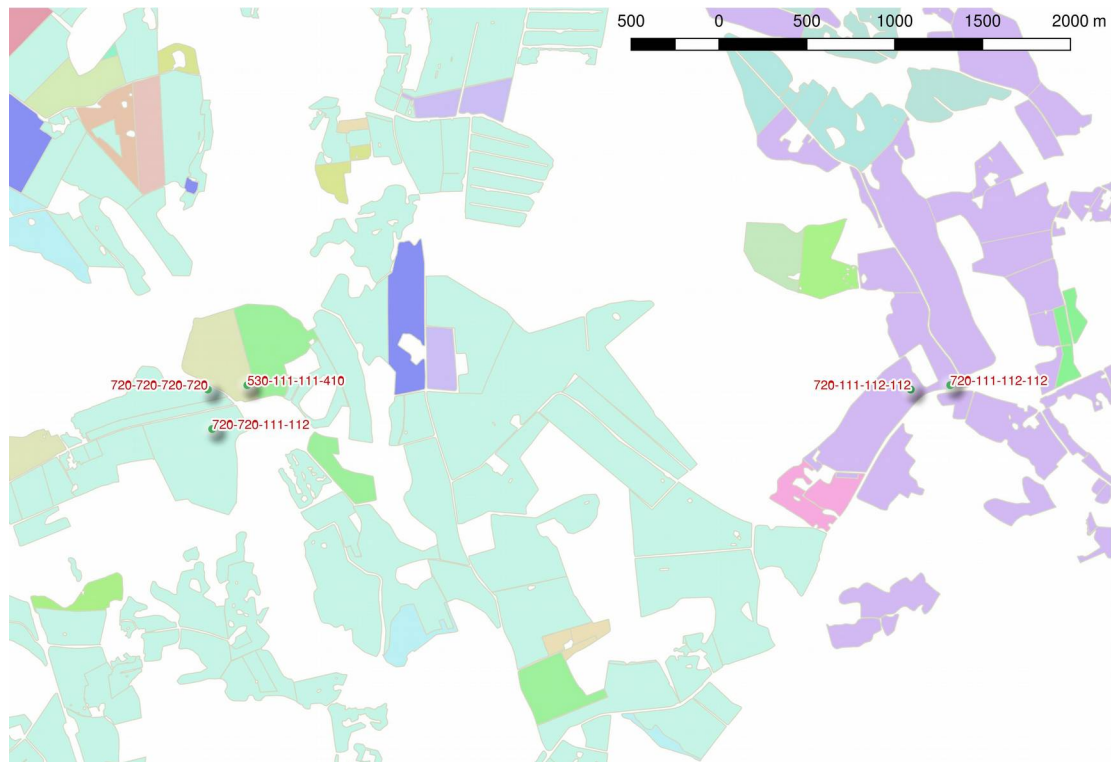


**Att. 10: MRM parauglaukumi LAD 2016. gadā maksājumiem pieteiktajos laukos<sup>4</sup>.**

Augu maiņu kalibrēšanai kartogrāfiskā informācija papildināta ar augsnes tipa un zemes vērtības ballēs raksturošanai, atbilstoši digitalizētajās augšņu kartēs pieejamajai informācijai. No LAD kartogrāfiskā materiāla pievienota informācija par attiecīgajā platībā īstenotajiem atbalsta pasākumiem un 2013.-2016. gadā audzētajiem kultūraugiem. Kartogrāfiskā materiāla paraugs dots Att. 11.

LAD dati izmantoti, lai nodalītu MRM parauglaukumus, kuros īsteno bioloģiskajai lauksaimniecībai raksturīgās augu maiņas un parauglaukumus, kuros īsteno konvencionālajai saimniekošanai raksturīgās augu maiņas, kā arī lai iniciētu augu maiņas atbilstoši 2016. gadā audzējamai kultūraugu sugai.

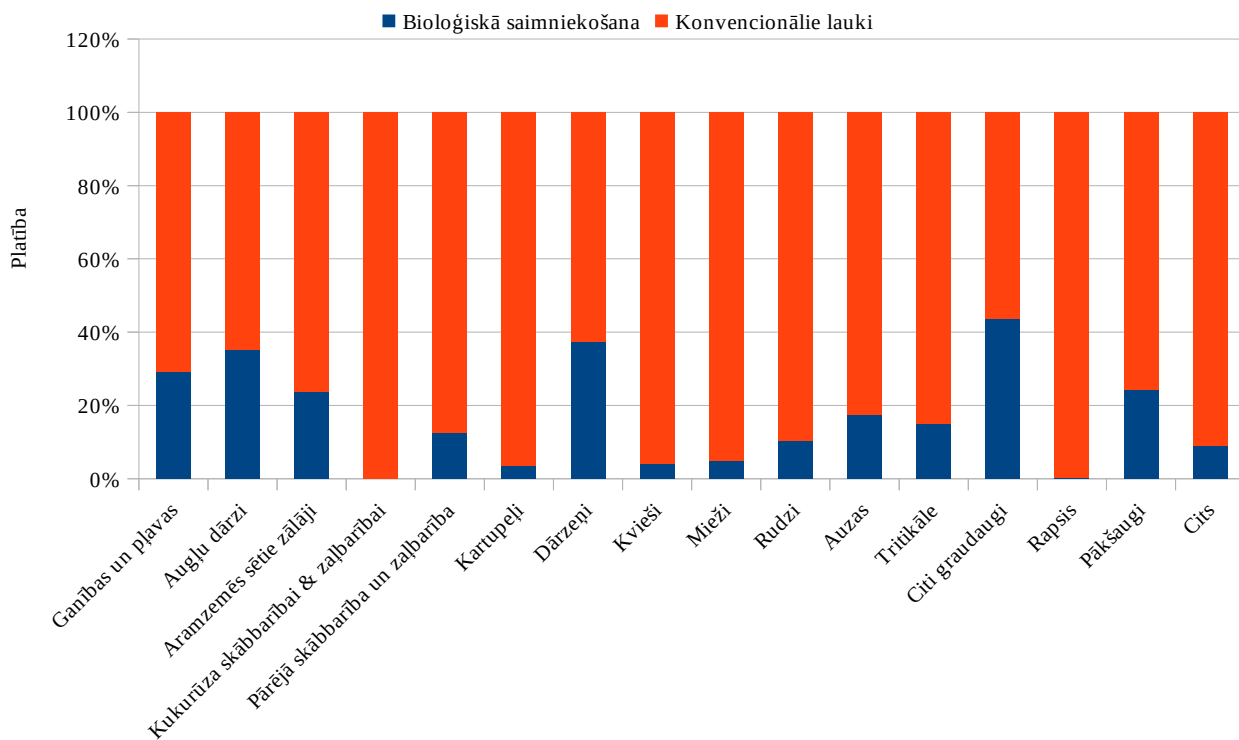
<sup>4</sup> Kartogrāfiskais materiāls sagatavots ar programmu QGIS.



**Att. 11: Atsevišķi MRM parauglaukumi ar atzīmēm par 2013.-2016. gadā audzētajiem kultūraugiem (sarkanā krāsā) un īstenotajiem atbalsta pasākumiem (uz fona kartes dažādi pasākumi iezīmēti atšķirīgās krāsās)<sup>5</sup>.**

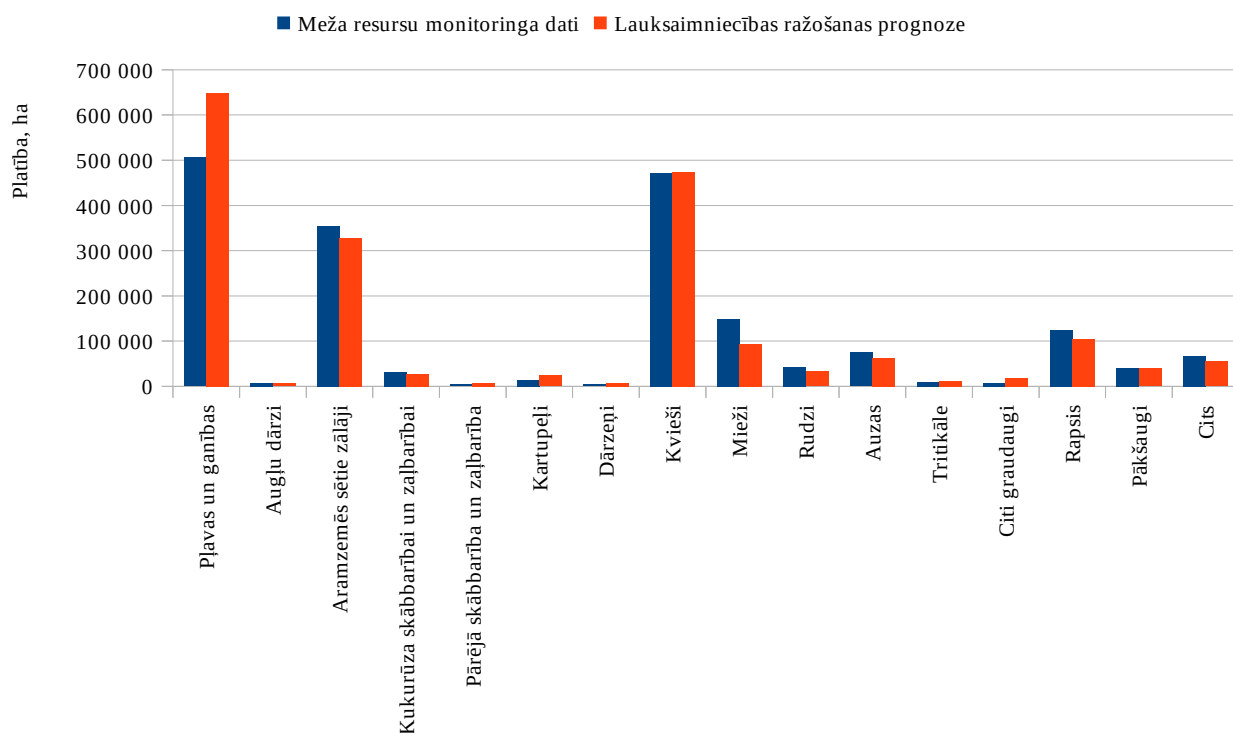
Bioloģisko un konvencionāli audzējamo kultūraugu platība katram stratam noteikta atsevišķi, atbilstoši sadalījumam 2016. gadā, un laika gaitā nav mainīta (Att. 12).

<sup>5</sup> Kartogrāfiskais materiāls sagatavots ar programmu QGIS.



**Att. 12: Bioloģiski un ar konvencionālām metodēm audzējamo kultūraugu platības sadalījums 2016. gadā.**

Ievades datu kvalitātes kontrolei salīdzināts prognozēs (Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 2016) un MRM parauglaukumos integrēto LAD datu ekstrapolācijas rezultāts 2016. gadā. Saskaņā ar iegūto rezultātu LAD datos ir lielāka pieteiktā sējumu platība un mazāka ilggadīgo zālāju platība (Att. 13), tomēr, salīdzinot visus kultūraugu stratus, korelācijas koeficients R<sup>2</sup> starp abām datu kopām ir 0,98, tāpēc papildus pārreķini vai pieņēmumi par zemes izmantošanu nav veikti.



Att. 13: Prognožu un faktiskā kultūraugu platības sadalījuma salīdzinājums 2016. gadā.

Augu maiņu sadalījums neatspoguļo prognozēto dažādu kultūraugu platību, tāpēc veikta manuāla platību izlīdzināšana stratu griezumā, nepieciešamības gadījumā aizstājot matemātiski aprēķinātās kultūraugu sugas ar iztrūkstošajām un otrādi. Piemēram, šādā veidā izlīdzinātas papuves un ilggadīgo zālāju platības no 1990.gada, piešķirot šo pazīmi MRM parauglaukumiem ar zemāko vērtējumu ballēs. Tajos gadījumos, kad vajadzēja palielināt kultūraugu platības, kultūraugiem ar lielāko bruto seguma vērtību (Tab. 1) atlasīti parauglaukumi ar lielāko zemes vērtību ballēs, bet kultūrām ar mazāku bruto segumu vai papuvēm izraudzīti MRM parauglaukumi ar mazāko zemes vērtību ballēs. Nākotnē, attīstot modelēšanas kapacitāti, jāveido risinājums, kas ļautu atbrīvoties no manuālā darba, automātiski izlīdzinot prognožu kopsummā un telpiski interpretējamās zemes izmantošanas datus.

Tab. 1: Bruto segumu aprēķinu kopsavilkums<sup>6</sup>

Kultūra	Kultivēšanas paņēmiens	Raža, tonnas / gab.	N ienese, kg ha <sup>-1</sup>	Kūtsmēslu ienese, tonnas ha <sup>-1</sup>	Mainīgās izmaksas, € ha <sup>-1</sup>	Ieņēmumi, € ha <sup>-1</sup>	Atbalsta maksājumi, € ha <sup>-1</sup>	Bruto segums, € ha <sup>-1</sup>
Ziemas mieži	Intensīvi	4,8	101,0		603,0	571,2	146,3	114,6
Ziemas mieži	Bioloģiski	2,9	52,0	40,0	704,0	464,0	263,3	23,3
Auzas	Intensīvi	3,5	64		445,7	549,5	109,99	213,78
Auzas	Bioloģiski	2,8	52	40	627,22	616	226,99	215,77
Griķi	Pārtikai	1,2	16		322,7	274,8	109,99	62,09
Griķi	Bioloģiski	0,8	39	30	486,5	440	226,99	180,45
Kaņepes	Šķiedrai	5	84		564,3	750	182,38	368,05
Lauka pupas	Intensīvi	4,5	38		626,6	900	182,38	455,83
Lauka pupas	Bioloģiski	2,8	46	35	634,9	840	279,38	484,49
Lini	Eļļai	2	72		628,6	630	109,99	111,4

<sup>6</sup> Sagatavots atbilstoši <http://new.lkic.lv/lv/nozares/ekonomika/bruto-segumi>

Kultūra	Kultivēšanas paņēmiens	Raža, tonnas / gab.	N ienese, kg ha <sup>-1</sup>	Kūtsmēslu ienese, tonnas ha <sup>-1</sup>	Mainīgās izmaksas, € ha <sup>-1</sup>	Ieņēmumi, € ha <sup>-1</sup>	Atbalsta maksājumi, € ha <sup>-1</sup>	Bruto segums, € ha <sup>-1</sup>
Papuve	Intensīvi				81,1	0	99,02	17,88
Papuve	Bioloģiski				111,5	0	196,02	84,53
Vasaras rapši	Intensīvi	2,2	137		628,1	774,4	190,53	336,86
Ziemas rapši	Intensīvi	3,5	168		852,0	1232	109,99	489,97
Rudzi	Intensīvi	5,2	101		615,9	603,2	109,99	97,26
Rudzi	Bioloģiski	3	52	40	632,1	348	226,99	-57,15
Tritikāle	Intensīvi	5,3	118		636,6	567,1	109,99	40,51
Tritikāle	Bioloģiski	3	52	40	702,2	480	226,99	4,77
Vasaras kvieši	Intensīvi	4,7	149		658,0	690,9	109,99	142,88
Vasaras kvieši	Bioloģiski	2,3	52	40	636,4	460	226,99	50,6
Vasaras mieži	Intensīvi	4,2	81		562,9	499,8	146,32	83,18
Vasaras mieži	Bioloģiski	2,5	52	40	656,5	387,5	263,32	-5,7
Ziemas kvieši	Intensīvi	6,3	165		832,5	926,1	109,99	203,63
Ziemas kvieši	Intensīvi lopbarībai	5,6	139		710,2	705,6	109,99	105,4
Ziemas kvieši	Bioloģiski	2,6	52	40	673,2	442	226,99	-4,23
Zirņi	Intensīvi	3,4	30		688,6	884	182,38	377,75
Zirņi	Bioloģiski	3	26	20	583,3	930	279,38	626,1
Burkāni	Intensīvi	40	177		5514,1	12800	634,82	7920,77
Burkāni	Bioloģiski	30	52	40	5929,3	13500	1033,82	8604,55
Dilles	Pārstrādei	5	112		2363,7	4250	99,02	1985,35
Dilles	Svaigam patēriņam	40000	87		4876,9	12000	99,02	7222,15
Gurķi	Ar stādu	25	112		9588,9	17200	634,82	8245,91
Gurķi	Ar sēklu	15	124		5886,2	10320	634,82	5068,67
Gurķi	Bioloģiski ar stādu	15	65	50	7734,7	10800	1033,82	4099,12
Kartupeļi, pamatprodukcija + lopbarībai	Sēklai	20	32		2742,2	6890	604,02	4751,83
Kartupeļi, pamatprodukcija + lopbarībai	Pārtikai	30	80		2840,3	4720	99,02	1978,76
Kartupeļi, pamatprodukcija + lopbarībai	Bioloģiski	20	52	40	2843,0	3500	496,02	1153,06
Ķimenes	1. gads		72		609,9		99,02	-510,9
Ķimenes	2. gads	1,2	42		286,8	1800	99,02	1612,23
Baltie galviņkāposti	Agrie	30	82		7307,7	5400	634,82	-1272,85
Baltie galviņkāposti	Velie	40	136		5590,6	6800	634,82	1844,19
Baltie galviņkāposti	Bioloģiski	30	65	50	5784,4	6900	1033,82	2149,43
Ziemas ķiploki	Intensīvi	7	197		10558,8	23450	634,82	13526,04
Ziemas ķiploki	Bioloģiski	5	52	40	9591,8	25000	634,82	16043,07
Salāti (siltumnīcā 1000m <sup>2</sup> )	Intensīvi	1,5	6		2771,5	3225		453,51

## Laukkopības scenāriju analīze

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

Kultūra	Kultivēšanas paņēmieni	Raža, tonnas / gab.	N ienese, kg ha <sup>-1</sup>	Kūtsmēsļu ienese, tonnas ha <sup>-1</sup>	Mainīgās izmaksas, € ha <sup>-1</sup>	Ieņēmumi, € ha <sup>-1</sup>	Atbalsta maksājumi, € ha <sup>-1</sup>	Bruto segums, € ha <sup>-1</sup>
Sīpoli	No sēklām	35	90		6349,6	9450	634,82	3735,19
Sīpoli	No sīksīpoliem	30	95		5667,3	8100	634,82	3067,49
Sīpoli	Bioloģiski	20	52	40	4115,2	8800	1033,82	5718,6
Tomāti (siltumnīcā 1000m <sup>2</sup> )	Instensīvi	12	38		6855,8	10200		3344,18
Galda bietes	Intensīvi	40	116		5050,7	6400	634,82	1984,13
Galda bietes	Bioloģiski	25	52	40	4673,9	5500	1033,82	1859,88
Ganību zāle, ierīkošana, virsuags	1.gads	30	103	40	632,4		99,02	0,018
Ganību zāle, zaļmasa	2.-5. gads	30	48		218,0		99,02	0,004
Kukurūza, zaļmasa		40	147		671,8		99,02	0,0143
Siens, ierīkošana, virsuags + siens	1. gads	4,5	76	40	668,3		99,02	0,127
Siens	2.-5. gads	4,2	48		325,7		99,02	0,054
Skābbarība, ierīkošana, virsuags	1. gads	30	76	40	1183,9		99,02	0,036
Skābbarība, rituļi	2.-5. gads	30	48		1346,9		99,02	0,042
Skābbarība, stirpas	2.-5. gads	30	48		396,1		99,02	0,01
Facēlija, sēklas		0,23	27		413,6	713	99,02	398,44
Āboliņš, sējot zem virsauga, graudi	1. gads (mieži+ābolīņš)	2,8	20		542,0	333,2	135,35	-73,46
Āboliņš, sējot zem virsauga, āboliņa sēklas	2. gads	0,25	20		228,9	675	215,02	661,11
Timotiņš, sējot zem virsauga, graudi	1.gads (mieži+timotiņš)	2,8	71		614,3	333,2	135,35	-145,7
Timotiņš, sējot zem virsauga, timotiņa sēklas	2.-4. gads	0,35	75		336,5	945	215,02	823,55
Ābeles	Augsnes sagatavošanas gads				265,2		250,81	-14,4
Ābeles, ierīkošana	1. gads		3		20592,1		250,81	-20341,29
Ābeles, ierīkošana	2.-3. gads		10		1153,9		250,81	-903,06
Ābeles, svaigam patēriņam un sulai	4-20. gads	20	25		4672,1	5480	250,81	1058,67
Avenes	1. gads (ierīkošana)		125		8441,3		250,81	-8190,45
Avenes	2. gads		126		2415,1		250,81	-2164,31
Avenes, svaigam patēriņam un pārstrādei	3.-10. gads	3	126		4737,7	5670	250,81	1183,1
Dzērvenes (lielogu)	4. gads	1	17		3560,2	2750	250,81	-559,38
Dzērvenes (lielogu), ogas un stīgas	5-9. gads	10,5	17		6543,4	30000	250,81	23707,42
Dzērvenes (lielogu),	10. - ...	12,5	17		8001,4	35500	250,81	27749,42



**Laukkopības scenāriju analīze**

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

Kultūra	Kultivēšanas paņēmiens	Raža, tonnas / gab.	N ienese, kg ha <sup>-1</sup>	Kūtsmēslu ienese, tonnas ha <sup>-1</sup>	Mainīgās izmaksas, € ha <sup>-1</sup>	Ieņēmumi, € ha <sup>-1</sup>	Atbalsta maksājumi, € ha <sup>-1</sup>	Bruto segums, € ha <sup>-1</sup>
ogas un sēgas	gads							
Dzērvenes (lielogu)	Augsnes sagatavošan as gads				13270,0		250,81	-13019,19
Dzērvenes (lielogu)	Stādīšanas gad - 1. gads		32		19907,5		250,81	-19656,73
Dzērvenes (lielogu)	2. gads		17		820,0		250,81	-569,23
Dzērvenes (lielogu)	3. gads		36		764,0		250,81	-513,23
Ķirši	4.-20. gads	4,5	53		3953,5	6750	250,81	3047,31
Ķirši (skābie), ierīkošana	Augsnes sagatavošan as gads				256,2		250,81	-5,4
Ķirši (skābie), ierīkošana	Stādīšanas gad - 1. gads		3		12045,3		250,81	-11794,51
Ķirši (skābie), ierīkošana	2.-3. gads		10		1016,8		250,81	-766,03
Krūmciidonijas (Henomeles)	1. gads (ierīkošana)		55		16418,6		250,81	-16167,82
Krūmciidonijas (Henomeles)	2.-3. gads		62		780,8		250,81	-529,94
Krūmciidonijas (Henomeles)	4. gads	0,6	62		926,4	600	250,81	-75,59
Krūmciidonijas (Henomeles)	5-12. gads	10	62		2141,7	10000	250,81	8109,17
Krūmmellenes	3. gads	0,7	38		8237,5	3500	250,81	-4486,67
Krūmmellenes	4. gads	2,1	38		9622,5	10500	250,81	1128,36
Krūmmellenes	5. gads	4,9	38		12293,4	24500	250,81	12457,38
Krūmmellenes	6. - ... gads	7	38		13209,0	35000	250,81	22041,79
Krūmmellenes, ierīkošana	Ierīkošanas, stādīšanas gads - 1. gads		38		41784,2		250,81	-41533,35
Krūmmellenes, ierīkošana	2. gads		38		6567,1		250,81	-6316,32
Smiltsērķšķi	5. gads	1	20		1072,4	1500	250,81	678,38
Smiltsērķšķi	6. gads	3	20		1310,2	4500	250,81	3440,63
Smiltsērķšķi	7., 8., 11., 12., 15., 16. .. gads		20		867,1		250,81	-616,32
Smiltsērķšķi	9., 10., 13., 14., 17., 18. .. Gads	4	20		1688,3	6000	250,81	4562,48
Smiltsērķšķi, ierīkošana	Augsnes sagatavošan as gads				276,3		250,81	-25,47
Smiltsērķšķi, ierīkošana	1. gads		8		4112,5		250,81	-3861,68
Smiltsērķšķi, ierīkošana	2. gads		15		841,1		250,81	-590,33

Kultūra	Kultivēšanas paņēmiens	Raža, tonnas / gab.	N ienese, kg ha <sup>-1</sup>	Kūstmēslu ienese, tonnas ha <sup>-1</sup>	Mainīgās izmaksas, € ha <sup>-1</sup>	Ieņēmumi, € ha <sup>-1</sup>	Atbalsta maksājumi, € ha <sup>-1</sup>	Bruto segums, € ha <sup>-1</sup>
Smiltsērķšķi, ierīkošana	3.-4. gads		15		887,1		250,81	-636,33
Upenes, ierīkošana	1. gads		55		3978,7		250,81	-3727,86
Upenes, ierīkošana	2. gads		59		977,6		250,81	-726,74
Upenes, svaigam patēriņam	3. gads	0,3	59		1313,7	450	250,81	-612,85
Upenes, pārstrādei	4. gads	3	82		1825,1	1500	250,81	-74,26
Upenes, pārstrādei	5. -12. gads	5	82		1890,5	2500	250,81	860,34
Zemeses (ekstensīvi)	Ierīkošana		78		11593,3		250,81	-11342,53
Zemeses (ekstensīvi), svaigam patēriņam un pārstrādei	1. gads	3	72		3087,4	5200	250,81	2363,44
Zemeses (ekstensīvi), svaigam patēriņam un pārstrādei	2. gads	6	72		4287,0	10400	250,81	6363,77
Zemeses (intensīvi), svaigam patēriņam un pārstrādei	3. gads	4 + 2	25		3675,7	6960	250,81	3535,07
Zemeses (intensīvi), svaigam patēriņam un pārstrādei	Ierīkošana		78		18409,8		250,81	-18158,99
Zemeses (intensīvi), svaigam patēriņam un pārstrādei	1. gads	5 + 2	92		3070,4	12400	250,81	9580,37
Zemeses (intensīvi), svaigam patēriņam un pārstrādei	2. gads	7 + 3	92		3964,0	17600	250,81	13886,77
Zemeses (intensīvi), svaigam patēriņam un pārstrādei	3. gads	4 + 2	73		3156,3	10400	250,81	7494,51

## Oglekļa ieneses prognožu laika rinda

Oglekļa ieneses aprēķināšanai ir nepieciešama informācija par ikgadējo biomasas veidošanos apskatāmajās lauksaimniecības kultūru platībās. Meža zemēs šādu informāciju sniedz mērījumi mežu statistiskās inventarizācijas ietvaros, bet lauksaimniecības zemēs šāda veida mērījumi netiek veikti. Vienīgais pieejamais rādītājs, kas varētu raksturot ikgadējās biomasas veidošanās izmaiņas gan augu virszemes daļās, gan pazemes daļās, ir statistika par lauksaimniecības kultūru ikgadējo ražu.

Starp lauksaimniecības kultūru ražām un biomasas kopējās biomasas apjomiem gan virszemes, gan pazemes daļām pastāv proporcionāla sakarība, kas ļauj aprēķināt virszemes un pazemes biomasu. Tomēr, šādi dati ir jāvērtē piesardzīgi, jo ne visa informācija par lauksaimniecības kultūru ražām ir pietiekoši korekta un ne vienmēr tā atspoguļo reālo situāciju. Par piemēru var minēt 2017. neierasti lielo nokrišņu daudzumu, kā rezultātā daļa lauksaimniecības kultūru ražas Latvijā palika nenovākta un netiks iekļauta statistikas rādītājos par ikgadēji novākto ražu.

Aprēķinos vēsturisko datu (1990.-2016. gads) raksturošanai izmantoti Centrālā statistikas biroja (CSB) dati par kultūraugu ražību. CSB apkopo datus par ikgadējām ražām no dažādām lauksaimniecības kultūrām (Tab. 2). Tomēr, CSB apkopo tikai konstatēto situāciju, bet nesniedz informāciju par ražas prognozēm un pagaidām tas sniedz ieskatu par laika posmu no 2000. līdz 2016. gadam. Lai iegūtu datus par laika posmu no 2017. līdz 2050. gadam, izmantoti

**Tab. 2: Lauksaimniecības kultūru vidējā ražība<sup>7</sup>**

Sējumu kopplatība	2013. gads	2014. gads	2015. gads	2016. gads	Vidēji
Graudaugi	3,34	3,4	4,49	3,78	3,8
..ziemāji	3,96	3,21	5,35	4,68	4,3
...ziemas kvieši	4,2	3,2	5,53	4,8	4,4
...rudzi	2,59	3,54	4,27	3,88	3,6
...ziemas mieži	3,35	2,64	5,18	4,85	4,0
...ziemas tritikāle	2,57	2,52	4,14	3,42	3,2
..vasarāji	2,68	3,49	4,14	2,77	3,3
...vasaras kvieši	3,13	3,95	4,09	3,13	3,6
...vasaras mieži	2,7	3,52	3,82	2,91	3,2
...vasaras tritikāle			3,54	3,27	3,4
...auzas	2,15	2,32	2,66	2,26	2,3
...griķi	1,03	0,83	0,94	1,07	1,0
...vārpaugu mists	2,23	2,73	2,74	2,89	2,6
...vārpaugu un pākšaugu mists	2,31	2,87	2,5	1,9	2,4
Pākšaugi	2,4	2,8	3,29	3	2,9
..zirņi	2,22	2,96	2,98	2,6	2,7
..pupiņas	2,95	2,8	3,36	1,03	2,5
..lauka pupas	2,48	2,81	3,35	3,2	3,0
..vīķi	1,34	1	2,16	1,5	1,5
..lupīna	1,97	0,74	1,13	1,4	1,3
Tehniskās kultūras (bez cukurbietēm)					

<sup>7</sup> Atbilstoši CSB datiem – tabula LAG0020.

Sējumu kopplatība	2013. gads	2014. gads	2015. gads	2016. gads	Vidēji
..eļļas lini/ linsēklas	1,23	1,41	1,29	1,26	1,3
..garšķiedras lini/ linu stiebriņi	2,68	4	2,9	4,38	3,5
..rapsis	2,31	1,85	3,29	2,78	2,6
...ziemas rapsis	2,68	1,9	3,65	3,16	2,8
...vasaras rapsis	1,75	1,8	2,09	1,68	1,8
..ripsis	2,31	1,87	1,61	1,77	1,9
Lopbarības saknes	27,6	19,3	34	15,9	24,2
Kartupeļi	18,2	18,9	20,1	21,1	19,6
Dārzeņi					
..atklātā lauka dārzeņi	14,8	21,7	22,5	22,5	20,4
...kāposti	25,2	29,9	29,3	36	30,1
...ziedkāposti	8,77	3,95	8,24	6,93	7,0
...puravi	9,04	6,94	9	11,9	9,2
...salāti	2,68	2,66	3,18	4,6	3,3
...sīpoli lociņiem	3,46	3,12	4,63	3,26	3,6
...gurķi	8,77	6,87	8,06	9,87	8,4
...tomāti	5,37	1,67	7,25	2,8	4,3
...bietes	16,6	23,8	37,9	28	26,6
...burkāni	20,8	32,1	27	29,6	27,4
...sīpoli	11,3	15	18,1	18,3	15,7
...ķiploki	2,96	0,93	4,5	3,41	3,0
...zaļie zirnīši	1,6	2	2,6	2,75	2,2
...mārrutki	1,94	1,79	4,37	2,94	2,8
...kabači un ķirbji	13,9	12,4	10	8,59	11,2
...pārējie dārzeņi	2,22	5,66	6,68	4	4,6
Lopbarības-zaļbarības kultūras					
..ilggadīgo zālāju siens	3,32	3,6	3,73	3,82	3,6
..pļavu un ganību siens	2,49	2,53	2,66	2,57	2,6
..zaļbarības un skābbarības kultūras (bez kukurūzas)	12,7	13,9	14,8	12,9	13,6
..kukurūza skābbarībai un zaļbarībai	30	30	28,6	31,4	30,0

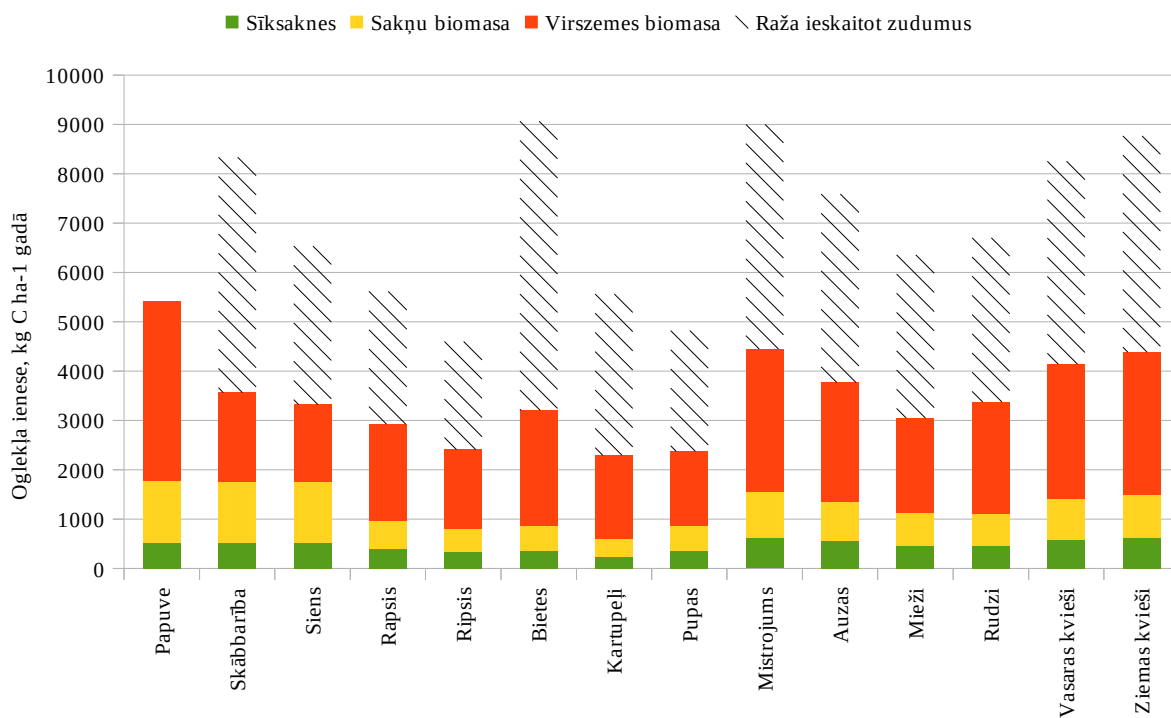
Tā kā Latvijā nav veikti pētījumi, kas atspoguļo sakarības starp ražu un kopējo augu biomasu, tad jāizmanto ārpus Latvijas izstrādāti pārejas koeficienti. Visi koeficienti, kas izmantoti pārejai no ražas vienībām uz oglekļa ienesi tonnās C ha<sup>-1</sup> gadā apkopoti Tab. 3.

**Tab. 3: Parametru vērtības, kas izmantotas, lai pārietu no ražas vienībām un oglekļa ienesi caur biomasu tonnās C ha<sup>-1</sup> gadā (Palosuo, Heikkinen, & Regina, 2015).**

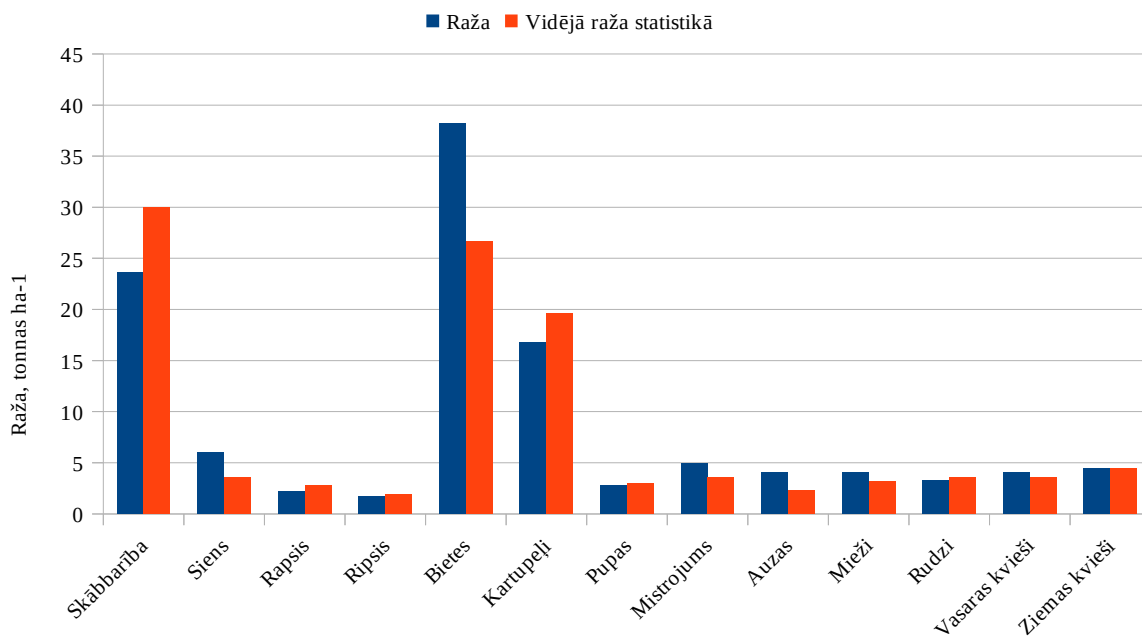
Kultūraugi	Sausnas īpatsvars (DM)	Novāktās ražas indekss (NDI)	Virszemes / pazemes biomasas attiecība (SR)	Atmirušo sīksakņu īpatsvars (FR)	Ražošanas zudumi (RZ)
Kvieši	0,86	0,42	5,60	0,41	0,02
Mieži	0,86	0,53	5,60	0,41	0,02
Rudzi	0,86	0,40	5,60	0,41	0,02
Auzas	0,86	0,46	5,60	0,41	0,02
Rapsis	0,92	0,35	5,10	0,41	0,02

Pupas	0,87	0,50	5,00	0,41	0,02
Kartupeļi	0,22	0,55	5,00	0,41	0,02
Cukurbietes	0,21	0,66	5,00	0,41	0,02
Siens	0,86	0,84	2,05	0,41	0,02
Zaļbarība	0,34	0,84	2,05	0,41	0,02

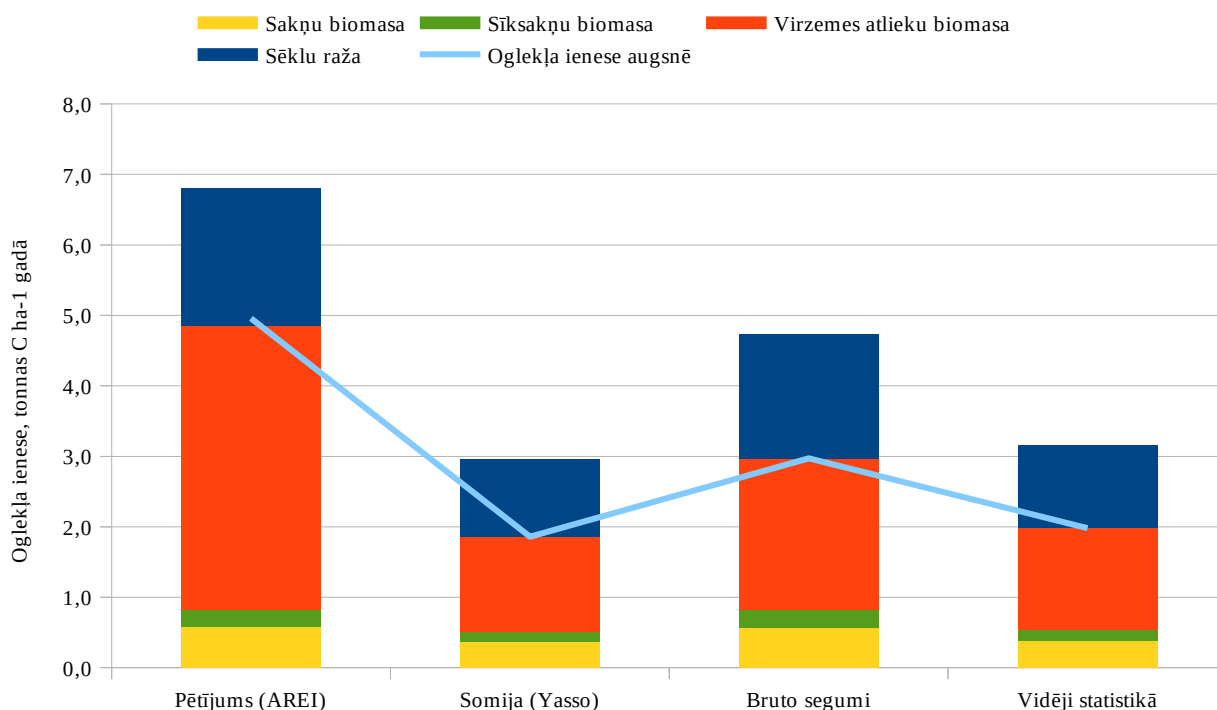
Ražas un oglekļa ieneses sakarības izmantotajos datos grafiski parādītas Att. 14. Savukārt, iegūtās ražas salīdzinājums Somijā izmantotajos datos un CSB vidējos rādītājos par 2013.-2016. gadu – Att. 15. Grafikā redzams, ka lielākajai daļai kultūraugu ražas būtiski neatšķiras, tomēr Agroresursu un ekonomikas institūta 2017. gadā veiktā pētījuma rezultāti apstiprina, ka statistikas pārskatos noziņotā raža pākšaugiem būtiski atšķiras no reālajiem rādītājiem izmēģinājumu platībās (Att. 16). Izmēģinājumos iegūtie ieneses dati ir vismaz 2 reizes lielāki, nekā atbilstošie Somijā izmantotie parametri. Šie rezultāti norāda uz nepieciešamību izstrādāt nacionāla vai reģionāla mēroga darbības datu kopu oglekļa ieneses raksturošanai. Kultūraugu, kas nodrošina aptuveni 95% oglekļa ieneses konvencionālajās un bioloģiskajās lauksaimniecības sistēmās, sarakst dots Tab. 4.



Att. 14: Oglekļa ieneses un ražas sakarības Somijā izmantotajos datos (Palosuo u.c., 2015).



Att. 15: Oglekļa ieneses un ražas sakarības Somijā izmantotajos



Att. 16: Oglekļa ieneses salīdzinājums pupām atbilstoši AREI pētījuma rezultātiem, Somijā izmantotajiem rādītājiem, bruto segumu aprēķinam un statistikas rādītājiem.

Aprēķinos nav izmantota slāpekļa mēslojuma ieneses prognožu rinda, jo tā nerada tiešu ietekmi uz SEG emisijām ZIZIMM sektorā, savukārt, N<sub>2</sub>O emisijas no augsnes apsaimniekošanas rezultātā nav atkarīgas no slāpekļa ieneses.

**Tab. 4: Kultūraugi, kuru radītā oglekļa ienese rada vismaz 95% no kopējās oglekļa ieneses ar augu atliekām LIZ**

Konvencionālā lauksaimniecība		Bioloģiskā lauksaimniecība	
Nr. prioritārā secībā	Kultūra	Nr. prioritārā secībā	Kultūra
1.	Ilggadīgie zālāji	1.	Auzas
2.	Kvieši, ziemas	2.	Kvieši, vasaras
3.	Aramzemē sēts stiebrzāļu un/vai lopbarības zālaugu maisījums	3.	Griķi
4.	Kvieši, vasaras	4.	Kvieši, ziemas
5.	Mieži, vasaras	5.	Mieži, vasaras
6.	Rapsis, ziemas	6.	Rudzi
7.	Papuve	7.	Sarkanais āboliņš
8.	Auzas	8.	Auzas ar stiebrzāļu pasēju
9.	Rudzi	9.	Zirņi
10.	Rapsis, vasaras	10.	Facēlija
11.	Kukurūza	11.	Tritikāle, ziemas
12.	Griķi	12.	Amoliņš
13.	Tritikāle, ziemas	13.	Lucerna
14.	Lucerna		
15.	Kartupeļi		

Statistikas datus ir apkopota informācija par kopējo un vidējo ražību pa kultūrām un kultūru grupām, tomēr šie dati ir nevis oglekļa vienībās, bet tonnās dabiski mitras biomasas. Pirmais solis, lai pārietu uz oglekļa vienībām, ir aprēķināt ražas sausnas masu.

Lai pārietu no ražas vienībām, kas ir atspoguļotas tonnās uz vienu hektāru, uz tonnām C uz hektāru, ražas rādītāji ir reizināti ar sausnas saturu biomasā un oglekļa saturu biomasā 1:

$$C_{rvid}^i = R_{vid}^i \times 0,5 \times DM$$

$$C_{rvid}^i - \text{vidējā C raža i kultūrai, tonnas C ha}^{-1};$$

$$R_{vid}^i - \text{vidējā raža i kultūrai, tonnas ha}^{-1};$$

$$DM^i - \text{sausnas saturs novāktajai ražai i kultūrai,}$$
(1)

Iegūtais rezultāts atspoguļo C apjomu, kāds tiek novākts katru gadu no viena hektāra caur ražu, taču šis apjoms neatspoguļo oglekļa daudzumu, kas uzkrāts pārējā auga biomasā, kas tiek atstāta uz lauka un veido oglekļa ieneses rādītājus. Pastāv sakarība starp ražu un uz lauka atstāto auga virszemes biomasas daļu. Šo sakarību raksturo novāktās ražas indekss (NRI). NRI raksturo, cik lielu īpatsvaru no kopējās virszemes biomasas, sastāda lietderīgā biomasa jeb raža, kas tiek novākta. No ražas vienībām tonnās C ha<sup>-1</sup> uz virszemes biomasu, kas tiek atstāta uz lauka pāriets rēķinot pēc vienādojuma 2.

$$C_{BV}^i = C_{rvid}^i \frac{1 - NRI^i}{NRI^i}$$

$$C_{BV}^i - \text{vidējais oglekļa daudzums i kultūrai virszemes biomasā, kas tiek atstāta uz lauka, t}$$

$$NRI^i - \text{Novāktās ražas indekss i kultūrai.}$$
(2)

Bez virszemes biomasas, papildus oglekļa ienese augsnē notiek caur augu saknēm. Saknes ir izdalāmas divās kategorijās – rupjās saknes (> 0,2 cm) un sīksaknes (< 0,2 cm), kur katrai no

kategorijām ir atšķirīga ieneses aprēķināšanas metodika. Papildus tam, oglekļa ienese no rupjajām saknēm atšķiras viengadīgajām un daudzgadīgajām kultūrām. Viengadīgajām kultūrām, raža tiek novākta katru gadu un saknes paliek augsnē un sadalās, un katru gadu veidojas jauna sakņu biomasa. C ienese no viengadīgajām kultūrām tiek aprēķināta pēc vienādojuma 3:

$$C_{BP,viengadīgie}^i = \frac{C_{rvid}^i}{NRI^i \times SR^i} \quad (3)$$

$C_{BP,viengadīgie}^i$  – C pazemes biomasā viengadīgajām kultūrām, tonnas C ha<sup>-1</sup>;  
 $SR^i$  – virszemes un pazemes biomasas attiecība i kultūrai.

Daudzgadīgajām kultūrām, piemēram, zālājiem, kurus kultivē vismaz 2 gadus, šādi rēķināt sakņu biomasu nevar. Jo pirmajā gadā izveidojusies sakņu biomasa saglabājas arī uz nākamo augšanas sezonu. Šādā gadījumā, zinot laika posmu, cik ilgi attiecīgā kultūra tiek kultivēta, kopējā sakņu biomasa, kas izaug pirmajā gadā tiek vienādi sadalīta uz katru gadu pēc vienādojuma 4:

$$C_{BP,daudzgadīgie}^i = 0,5 \frac{B_{virszemes}^i}{SR^i \times A^i}$$

$C_{BP,daudzgadīgie}^i$  – C pazemes biomasā daudzgadīgajām kultūrām, tonnas C ha<sup>-1</sup> gadā;  
 $B_{virszemes}^i$  – virszemes biomasa i kultūrai (zālāji);  
 $A^i$  – gadu skaits cik ilgi i kultūra tiek kultivēta.

Papildus tam C, kas tiek ienests augsnē pēc ražas novākšanas, visa gada garumā veidojas C ienese augot un atmirstot sīksaknēm. Sīksakņu augšanas un atmirstšanas procesi ir dinamiski un neskatoties uz sīksakņu mazajiem izmēriem, gada laikā tās sastāda gandrīz pusi no tā daudzuma oglekļa, kas uzkrāts rupjajās saknēs. Sīksakņu C ienese augsnē aprēķināta pēc vienādojuma 5:

$$C_{BP,daudzgadīgie}^i = 0,5 \frac{B_{virszemes}^i}{SR^i \times A^i}$$

$C_{BP,daudzgadīgie}^i$  – C pazemes biomasā daudzgadīgajām kultūrām, tonnas C ha<sup>-1</sup> gadā;  
 $B_{virszemes}^i$  – virszemes biomasa i kultūrai (zālāji);  
 $A^i$  – gadu skaits cik ilgi i kultūra tiek kultivēta.

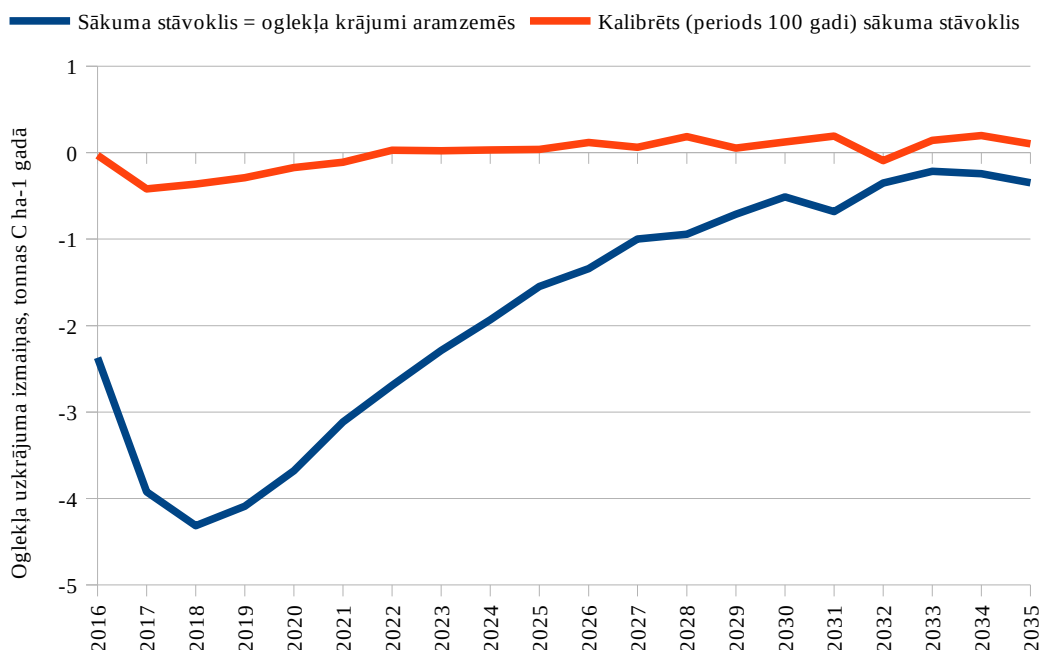


## Aprēķinu parametri konvencionālajām laukkopības sistēmām

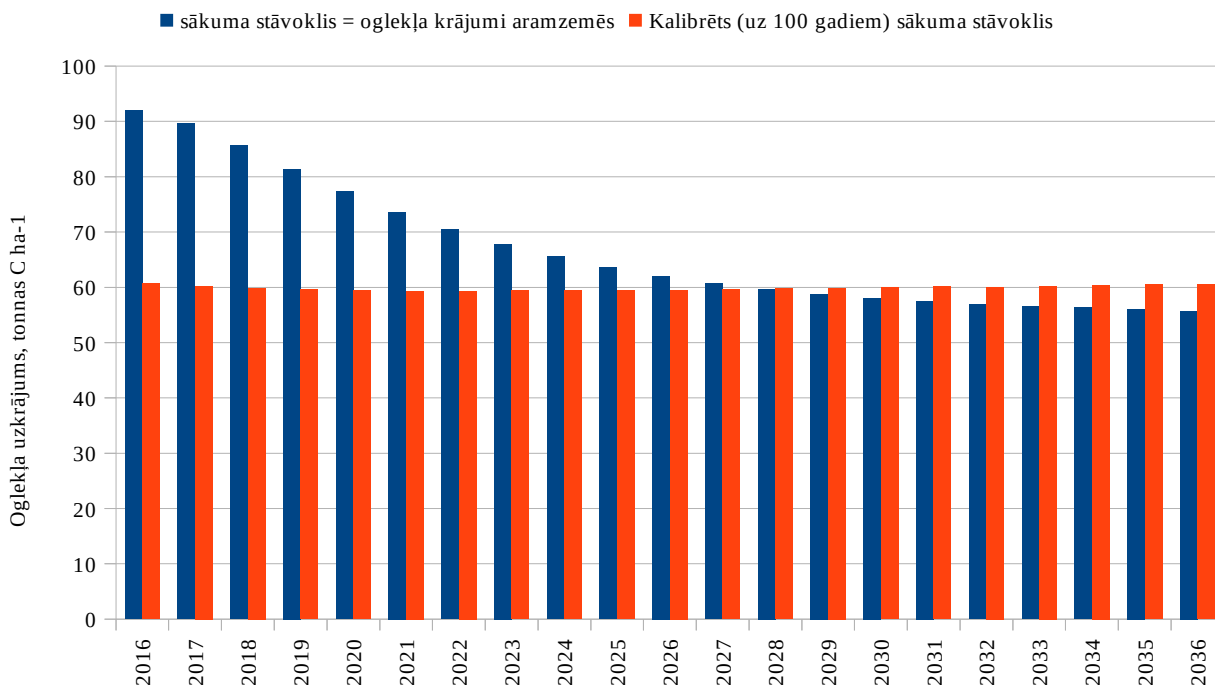
Yasso augsnes oglekļa aprites modeļa darbībai, papildus informācijai par oglekļa ienesi, ir nepieciešams norādīt arī tādus rādītājus, kā sākotnējais stāvoklis augsnē, klimatiskā informācija un augsnē ienesto augu virszemes un pazemes daļu ķīmisko sastāvu pēc to šķīdības 4 šķīdumos – ūdenī šķīstošie, spirtā šķīstošie, skābēs šķīstošie un nešķīstošie savienojumi, kas nosaka sadalīšanās ātrumu.

Sākotnējais stāvoklis raksturo stāvokli augsnē, uzsākot modelēšanas procesu. Pastāv 3 iespējas, kā var izvēlēties sākuma stāvokli. Viens no tiem ir, ka ir zināms sākuma stāvoklis. Šajā gadījumā būtiski ir divi rādītāji. Pirmais ir oglekļa krājumi augsnē, un otrais ir augsnē esošā organiskā oglekļa savienojumu šķīdība jau iepriekš pieminētajos šķīdumos. Papildus tam, augsnē veidos arī humusvielas, kas sadalās sevišķi lēni. Norādot sākotnējo stāvokli, jānorāda arī humusvielu daudzums augsnē. Otra iespēja ir norādīt, ka oglekļa uzkrāšanās augsnē sākas no nulles jeb augsnē nav oglekļa. Trešā iespēja ir norādīt, ka augsnē ogleklis atrodas līdzsvara stāvoklī. Tas nozīmē, ka modelis aprēķina pēc pirmā ievades gada datiem, kādam ir jābūt sākuma stāvoklim ja pieņem, ka ienese un klimatiskie dati ir atbilstoši pirmā gada datiem.

Projekta uzdevumā sākotnējo stāvokli bija iecerēts noteikt dažādām augsnes sastāva granulometriskajām grupām. Tomēr no šīs ieceres nācās atteikties, jo šāda pieeja nespēj dot korektu rezultātu, pamatojoties uz to, ka ar šo modeli nav iespējams modelēt kopējos oglekļa uzkrājumus lauksaimniecības zemēs, kas būtu atbilstoša reāli esošajai situācijai. Modeļa darbības rezultātā iegūtie oglekļa krājumu rādītāji lauksaimniecības zemēs parasti ir būtiski zemāki nekā reālie oglekļa krājumi šajās augsnēs. Tā rezultātā, pieņemot, ka sākotnējais stāvoklis ir vienāds ar reāli izmērīto 2016. gadā un modelēšanu veicot no 2016. gada uz priekšu, pirmajos 15 – 20 gados oglekļa krājumi samazinās ļoti strauji (Att. 17), kas nozīmē milzīgas emisijas. Šādu situāciju nav iespējams loģiski pamatot, jo praksē būtiskas pārmaiņas apsaimniekošanā nenotiek. Tas skaidrojams ar to, ka sākotnēji norādītie oglekļa krājumi ir ievērojami mazāki nekā iespējams iegūt ar Yasso modeli, tādēļ modelis tiecās uz līdzsvara stāvokli atbilstoši ieneses datiem, kas nav pietiekami augsti, lai saglabātu sākotnēji norādītos oglekļa krājumus augsnē. Att. 18 parādīts, kā Att. 17 dotais piemērs tiecas uz līdzsvara stāvokli oglekļa uzkrājuma izteiksmē scenārijā ar un bez kalibrācijas perioda.



Att. 17: Oglekļa krājumu izmaiņas dažādi modelējot augsnes sākotnējo stāvokli. Pieņemot, ka sākotnējais stāvoklis 2016. gadā ir vienāds ar lauka mērījumos konstatēto, vai veicot kalibrāciju 100 gadu periodā, pieņemot, ka 100 gadu laikā ienese nemainās.

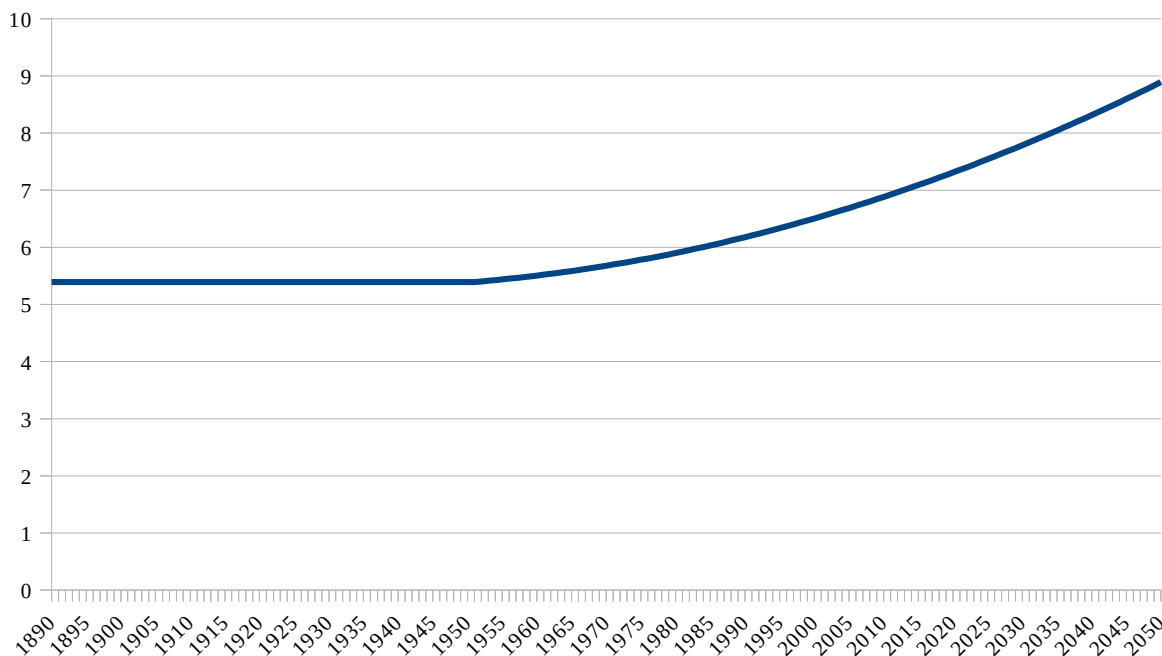


Att. 18: Oglekļa uzkrājuma izmaiņas aramzemēs atbilstoši dažādiem aprēķinu scenārijiem.

Iepriekšminēto iemeslu dēļ šī projekta ietvaros izmantots pieņēmums, ka sākuma stāvoklis un oglekļa krājumu daudzums augsnē ir zināms, bet pirms tam ir veicama kalibrācija. Par sākotnējo stāvokli nolemts izmantot oglekļa krājumus, kas atbilst mežam ar tam atbilstošu sastāvu atkarībā pēc organisko vielu šķīdības. Sākotnējā stāvokļa raksturošanai izmantoti rādītāji, kas iegūti no Yasso modeļa par augsnes oglekļa apriti mežā. Šāda izvēla pamatojama ar

to, ka vairākums lauksaimniecības zemju dažu pēdējo gadsimtu laikā ir transformētas no meža par lauksaimniecības zemēm. Sākotnējais stāvoklis ir pieņemts uz 1890. gadu, pēc tam veikta kalibrācija uz 100 gadiem, kuru laikā ienese ir pieņemta kā nemainīga un vienāda ar 1990. gada datiem.

Būtiska modeļa komponente ir klimatiskie dati, jo modeļa algoritmos ir iestrādāts, ka gaisa temperatūra un nokrišņu daudzums ietekmē organisko vielu sadalīšanās ātrumu. Droši var apgalvot, ka klimats nav nemainīgs lielums. Tāpēc nebūtu korekti pieņemt, ka visa modelēšanas cikla laikā klimatiskie dati ir nemainīgi. Aprēķinos pieņemtie vidējās diennakts temperatūras rādītāji doti Att. 19. Pieņemts, ka uz 2017. gadu gaisa vidējā gaisa temperatūra ir 7,2°C, bet līdz 2050. gadam tā paaugstināsies vēl par 1,5°C līdz 8,9°C. Par gada vidējo nokrišņu daudzumu ir pieņemta ilggadīgai gada vidējais nokrišņu daudzums, kas pēc LVĢMC publiski pieejamās informācijas ir 667 mm. Šāds nokrišņu daudzums ir attiecināms uz visu periodu, sākot no 1890. gada līdz 2050. gadam. Turklāt, pašreizējie klimatiskie modeļi viennozīmīgi prognozē gada vidējās gaisa temperatūras paaugstināšanos. Īpaši spēcīga temperatūras paaugstināšanās prognozēta lielajos platuma grādos, vietās, kur vidējā gaisa temperatūra ir bijusi samērā zema, tas ir mērenajā un boreālajā veģetācijas zonā. Vidējās gada gaisa temperatūras rādītāji ir aprēķināti balstoties uz pieņēmumu, ka vidējā ilggadējā gaisa temperatūra Latvijā ir 5,9°C, šāda temperatūra ir attiecināta uz 1980. gadu, kas atbilst LVĢMC mājaslapā publiski pieejamajiem datiem par gaisa temperatūras izmaiņām Latvijā (Att. 20).



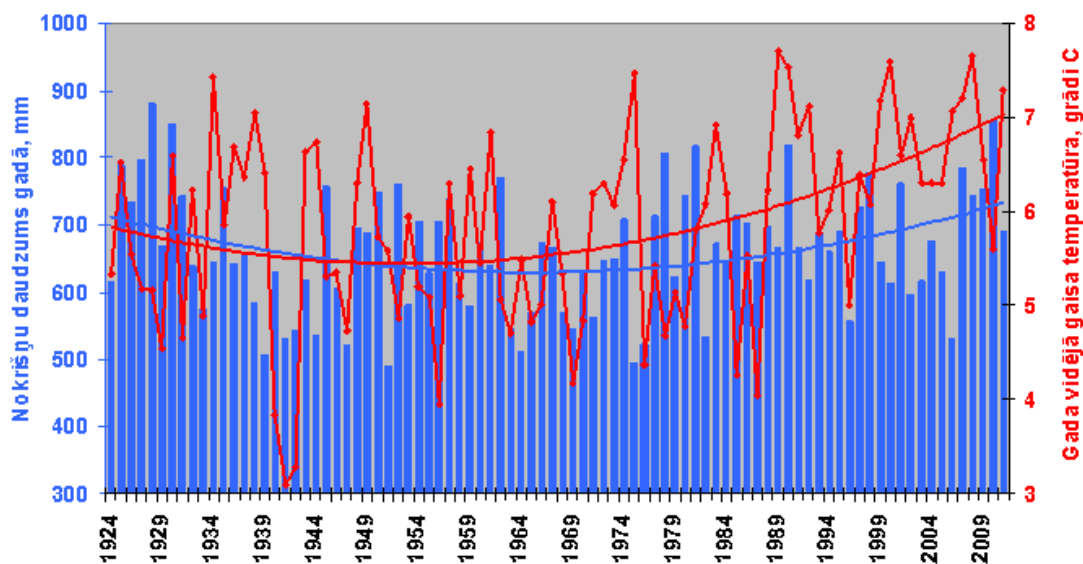
**Att. 19: Gada vidējās gaisa temperatūras laika rinda no 1890. līdz 2050. gadam, kas izmantota oglekļa aprites modelēšanā.**

Vēl viena būtiska komponente Yasso modeļa darbības nodrošināšanai ir ienestā oglekļa ķīmiskais sastāvs pēc organiskajā materiālā esošo savienojumu šķīdības dažādos šķīdumos. Kopā ir četri šķīdumi – skābēs šķīstošie, ūdenī šķīstošie, spirtos šķīstošie un nešķīstošie. Modelī tiek pieņemts, ka ikviens organiskais materiāls satur noteiktas proporcijas šo savienojumu. Visu 4 proporciju summa veido vienu vienību. Tātad šīs proporcijas ir pielīdzināmas procentuālajam organisko savienojumu īpatsvaram augu materiālā. Organisko

vielu šķīdības tabula, kas izmantota aprēķinos, dota Tab. 5. Nepieciešamības gadījumā dati ekstrapolēti uz radniecīgām kultūrām.

**Tab. 5: Organisko savienojumu ķīmiskais sastāvs pēc to šķīdības dažādos šķīdumos (Poeplau, Bolinder, Eriksson, Lundblad, & Kätterer, 2015)**

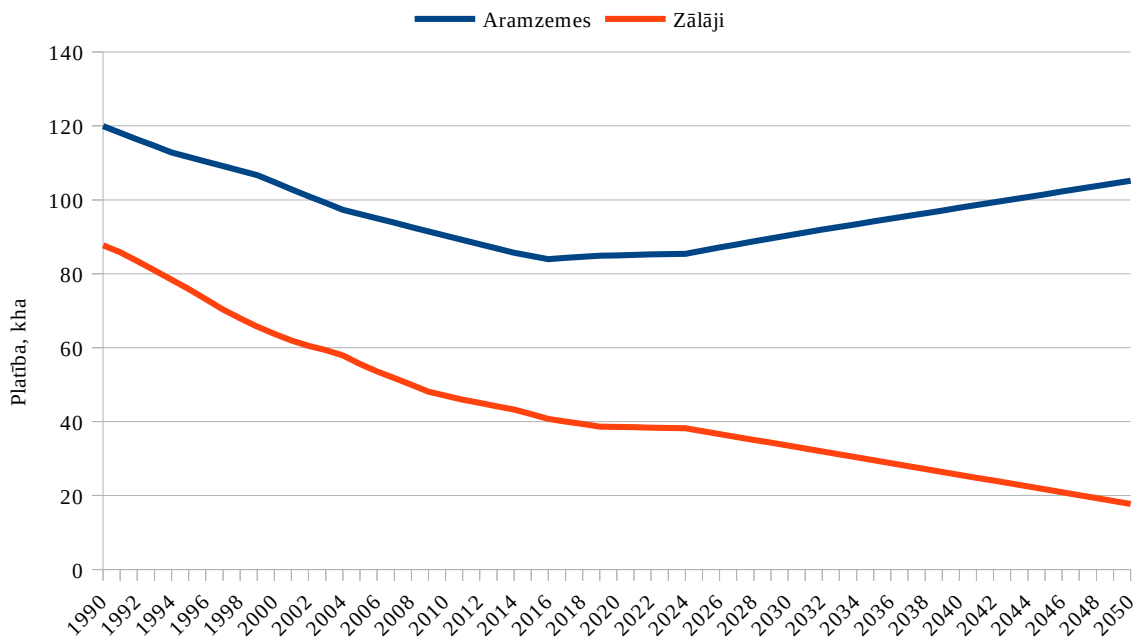
Kultūraugu grupa	Spiritā šķīstošie savienojumi	Ūdenī šķīstošie savienojumi	Spiritā šķīstošie savienojumi	Nešķīstošie savienojumi
Graudaugi	0,71	0,08	0,03	0,18
Pākšaugi	0,63	0,14	0,02	0,21
Kartupeļi un dārzeņi	0,23	0,48	0,05	0,24
Cukurbietes	0,26	0,54	0,04	0,16
Rapsis	0,41	0,31	0,04	0,25
Zālaugi	0,46	0,32	0,04	0,18
Organiskais mēslojums	0,65	0,12	0,07	0,16



**Att. 20: Gada vidējās gaisa temperatūra un nokrišņu daudzums Latvijā. Avots: Latvijas valsts ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs<sup>8</sup>.**

Yasso augsnes oglekļa aprites modelis paredzēts lietošanai tikai minerālaugsnes, tādēļ no aprēķiniem nepieciešams izslēgt tās platības, kur augsne raksturojama kā organiskā augsne. Lai to paveiktu, no kopējās aramzemju un zālāju platības atņemtas organisko augšņu platības, iegūstot kopējās minerālaugšņu platības (Att. 21).

<sup>8</sup> <https://www.meteo.lv/lapas/laika-apstakli/klimatiska-informacija/latvijas-klimats/latvijas-klimats?id=1199&nid=562>



Att. 21: Organisko augšņu izplatība aramzemēs un zālājos no 1990. līdz 2050. gadam.

# Aprēķinu parametri ietekmes uz klimata mazināšanas pasākumiem aramzemju un zālāju apsaimniekošanā

Pētījumā identificētie pasākumi ietekmes uz klimata izmaiņām mazināšanai LIZ ir:

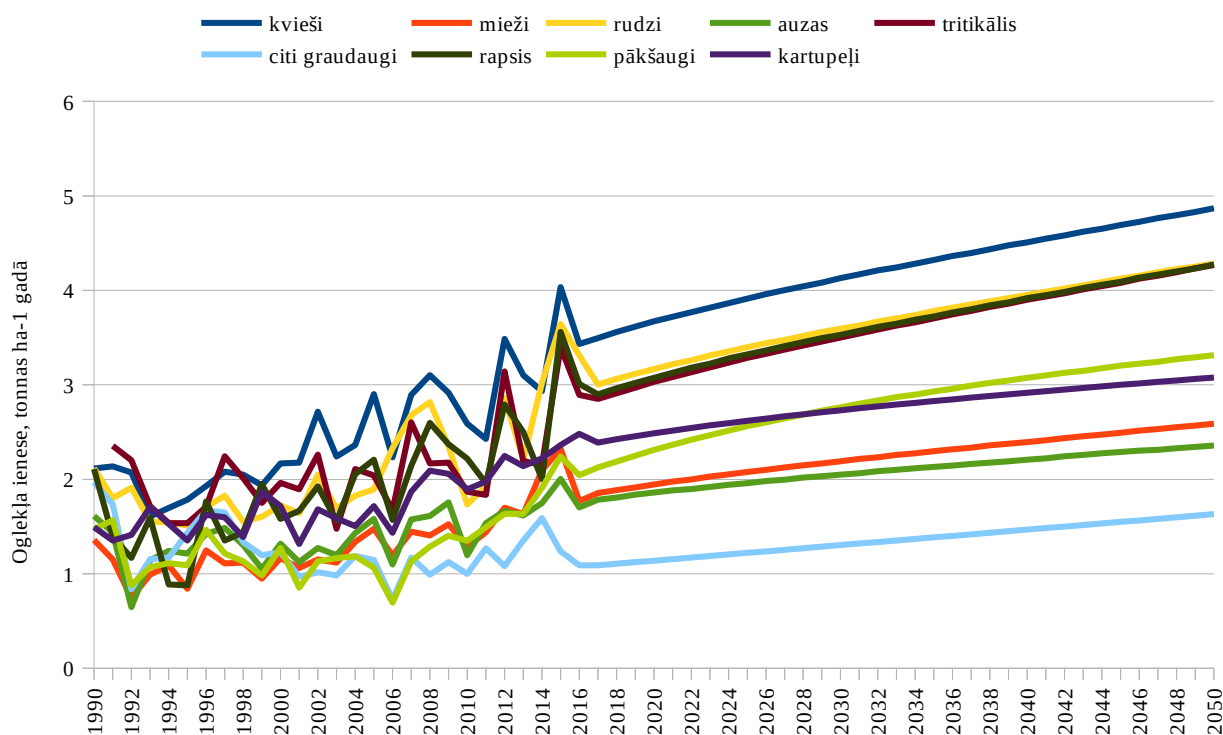
1. meliorācijas sistēmu rekonstrukcija ar sekojošu ražošanas intensifikāciju;
2. zaļināšanas pasākumi, transformējot aramzemes par ilggadīgajiem zālājiem;
3. pākšaugu audzēšana pamīšus ar graudaugiem, aizstājot rapsi un citus kultūraugus kviešu sējumos;
4. bioloģiskās saimniekošanas metodes, intensīvi izmantojot kūtsmēslus.

Sākotnējā pieejamo darbības datu analīze parādīja, ka lielākajai daļai no šiem pasākumiem nav pieejami korekti darbības dati (zālājiem ir tikai noklusētie biomasas ieneses rādītāji) vai arī sagaidāmais efekts saistīts ar organisko augšņu apsaimniekošanu, ko nevar raksturot ar Yasso modeli. Tāpēc oglekļa ieneses parametru tabulas sagatavotas 2 pasākumiem – bioloģiskās saimniekošanas metodēm un pākšaugu izmantošanai.

Bioloģiskās lauksaimniecības scenārijā izmantoti bruto segumu aprēķinos dotie produktivitātes rādītāji (Tab. 1), kā arī somu pētījumos izmantoto attiecību starp ražu, virszemes un pazemes biomasu (Tab. 3) un organisko vielu šķīdības parametrus (Tab. 5). Bioloģiskās saimniekošanas metodes salīdzinātas ar konvencionālās saimniekošanas metodēm, kas ietver tās pašas kultūraugu sugas, taču paredz minerālmēsli izmantošanu un neietver sēto zālāju posmu augu maiņu. Konvencionālo metožu oglekļa ieneses raksturošanai izmantoti vidējie kultūraugu ražības rādītāji (Tab. 2).

Pākšaugu audzēšanas scenārijā izmantotas prognozētās kultūraugu ražas (Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 2016) un somu pētījumos izmantotā attiecību starp ražu, virszemes un pazemes biomasu (Tab. 3), kā arī organisko vielu šķīdības parametri (Tab. 5).

Veicot sākotnējos aprēķinus ar Yasso modeli, konstatēts, ka lielāko ietekmi uz CO<sub>2</sub> piesaisti augsnē valsts mērogā rada produktivitātes palielināšanās, tāpēc šis rādītājs izdalīts kā atsevišķs ietekmes uz klimata izmaiņām mazināšanas pasākums, kas integrē dažādas darbības, kas vērstas uz kultūraugu produktivitātes palielināšanu, tajā skaitā selekcija, efektīvāka mēslojuma un zemes resursu izmantošana, organisko vielu ienese augsnē u.c. Oglekļa ieneses prognoze un vēsturiskie dati (atbilstoši CSB pieejamajiem statistikas datiem par vidējām kultūraugu ražām) izplatītākajiem kultūraugiem apkopoti Att. 22.

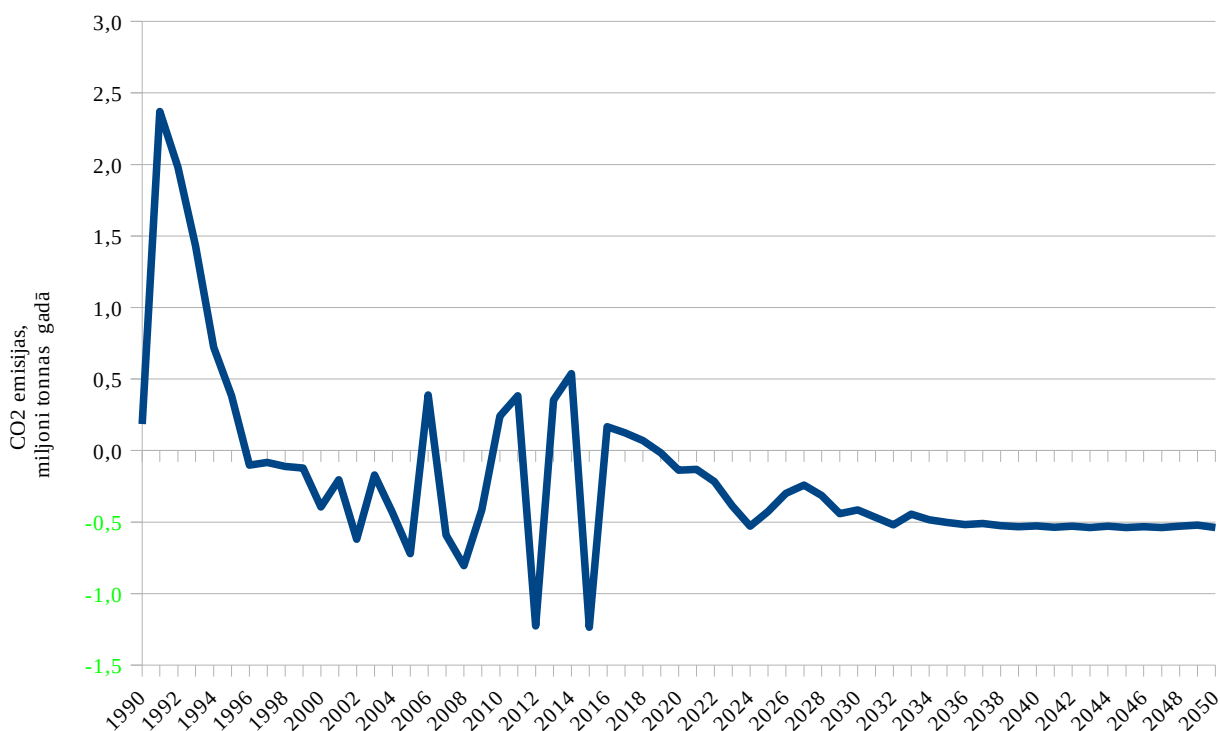


Att. 22: Oglekļa ieneses laika rinda nozīmīgākajām kultūraugu sugām scenārijā ar klimata izmaiņu mazināšanas pasākumiem atbilstoši LLU pētījumā (Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 2016) iestrādātajām kultūraugu ražības prognozēm.

## Augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņu aprēķins konvencionālajām laukkopības sistēmām

Augsnes oglekļa uzkrājuma aprēķins konvencionālajām laukkopības sistēmām veikts, izmantojot CSB datus par vidējām kultūraugu ražām. Prognožu aprēķinā izmantotas LLU pētījumā (Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 2016) dotās kultūraugu ražības prognozes.

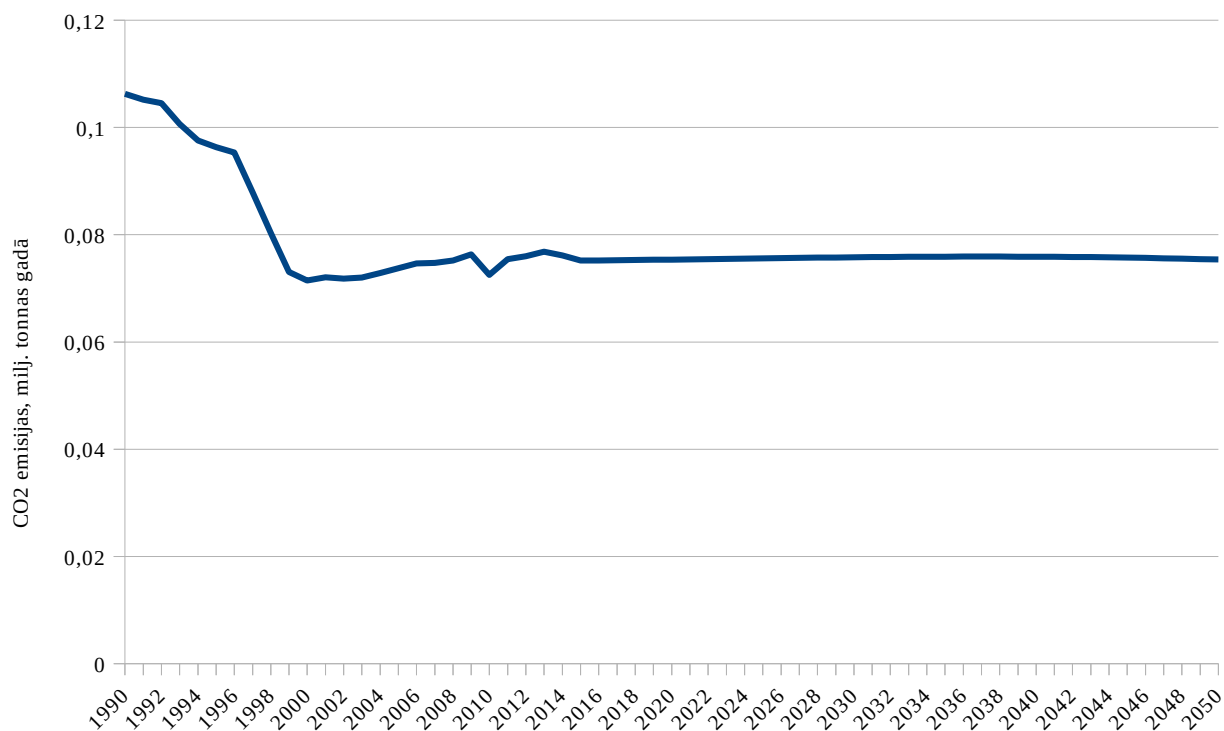
Saskaņā ar aprēķinu rezultātiem aramzemes ir būtisks CO<sub>2</sub> emisiju avots 90to gadu sākumā, bet pēdējos gados, pieaugot ražošanas apjomam un lopu skaitam, CO<sub>2</sub> piesaiste aramzēmēs pakāpeniski pieaug un augsne kļūst par CO<sub>2</sub> piesaistes avotu. Saglabājoties esošajai ražības pieauguma prognozei, paredzams, ka arī CO<sub>2</sub> piesaiste minerālaugsnēs turpināsies, sasniedzot 0,13 milj. tonnas CO<sub>2</sub> gadā 2021.-2030. gados un 0,5 milj. tonnas CO<sub>2</sub> gadā 2031.-2050. gados. Prognozētie piesaistes rādītāji atkarīgi no kultūraugu ražības pieauguma – ja tas praksē ir mazāks par prognozēto, CO<sub>2</sub> piesaiste augsnē var samazināties vai pat transformēties par emisijām, bet, ražībai palielinoties virs prognozētās, sagaidāms CO<sub>2</sub> piesaistes palielinājums, taču šo rādītāju sakarība nav lineāra.



Att. 23: CO<sub>2</sub> emisiju prognoze aramzemēm minerālaugsnēs.

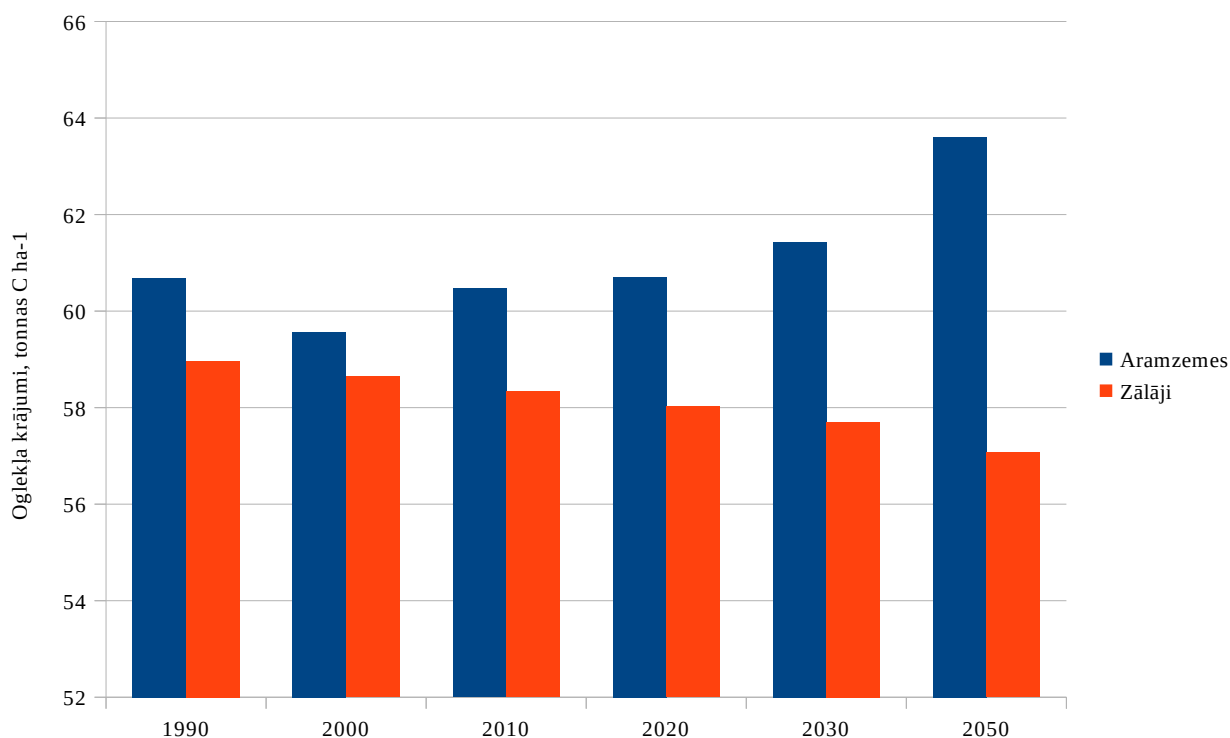
Ilggadīgajos zālajos oglekļa uzkrājuma izmaiņu raksturošanai minerālaugsnēs izmantoti Somijā izstrādātie biomasas ieneses rādītāji, neņemot vērā iespējamo produktivitātes palielināšanos vai samazināšanos augsnes noplicināšanās rezultātā, tāpēc arī iegūtajai CO<sub>2</sub> emisiju līknei nav raksturīga tāda dinamika, kāda iegūta aramzēmēs, pateicoties kultūraugu produktivitātes izmaiņām. Saskaņā ar aprēķinu rezultātiem minerālaugsnes ilggadīgajos zālajos ir nebūtisks SEG emisiju avots (Att. 24). Aprēķinu nenoteiktība pārsniedz iegūtos SEG emisiju rādītājus. Precīzāku rezultātu iegūšanai nepieciešamas korektas biomasas ieneses prognozes platībām, ko ilgstoši apsaimnieko kā bioloģiski vērtīgus zālājus vai ganības.





**Att. 24: CO<sub>2</sub> emisiju prognoze ilggadīgajiem zālājiem minerālaugsnēs.**

Pētījumā atkārtots 2016. gadā veiktais oglekļa uzkrājuma izmaiņu aprēķins, lai noskaidrotu, vai Yasso modelis sagatavo korektu oglekļa uzkrājuma izmaiņu aprēķinu aramzemēm un ilggadīgajiem zālājiem, palielinot augkopības sistēmu detalizācijas pakāpi, taču arī šajā pētījumā konstatēts, ka modeļa aprēķinātais oglekļa uzkrājums ir mazāks (Att. 25), nekā MRM parauglaukumu apsekošanā iegūtie dati – vidēji 84 tonnas C ha<sup>-1</sup> (Bardule, Lupikis, Butlers, & Lazdins, 2017). Līdzīgu rezultātu ieguvuši arī somu pētnieki (Palosuo u.c., 2015). Ir jāveic pārrēķini ar Yasso15 modeli, lai noskaidrotu, vai jaunākajā versijā nav ieviesti uzlabojumi, lai nodrošinātu tādu pašu aprēķinu precizitāti, kāda ir meža zemēs. Ir jāpārbauda arī izmantoto aprēķinu parametru precizitāte. Ņemot vērā AREI veiktā lauku pupu biomasas novērtējuma rezultātus, reālie biomasas ieneses rādītāji var būtiski pārsniegt aprēķinos izmantotos datus.



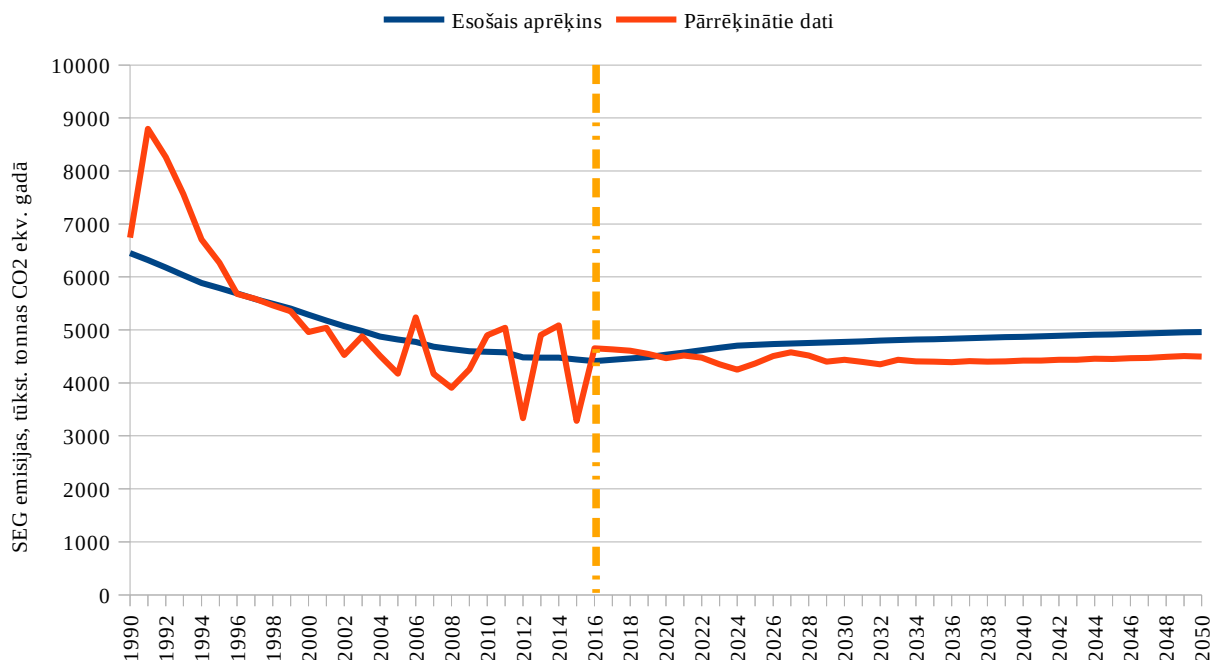
**Att. 25: Oglekļa uzkrājumu izmaiņu prognoze aramzemēm un ilggadīgajiem zālājiem.**

Pētījuma rezultāti apstiprina, ka Yasso modelis pagaidām nav pielietojams oglekļa uzkrājuma absolūto vērtību raksturošanai aramzemēs un ilggadīgajos zālajos, attiecīgi, ar to nevar noteikt oglekļa uzkrājuma pieaugumu vai samazinājumu pret sākotnējo oglekļa uzkrājuma vērtību, piemēram, vai plānotie pasākumi var nodrošināt augsnes oglekļa uzkrājuma palielināšanos par 5%. Tomēr sasaistē ar empīriskiem, periodiski iegūstamiem datiem par oglekļa uzkrājumu augsnē, šāds aprēķins ir iespējams.

Oglekļa uzkrājuma absolūto vērtību raksturošanai lietderīgi izmēģināt arī citus aprēķinu modeļus, piemēram, TransparC, kas atbilstoši sākotnējiem izpētes rezultātiem, darbojas arī augsnēs ar lielu sākotnējo oglekļa saturu (100-200 tonnas ha<sup>-1</sup>).

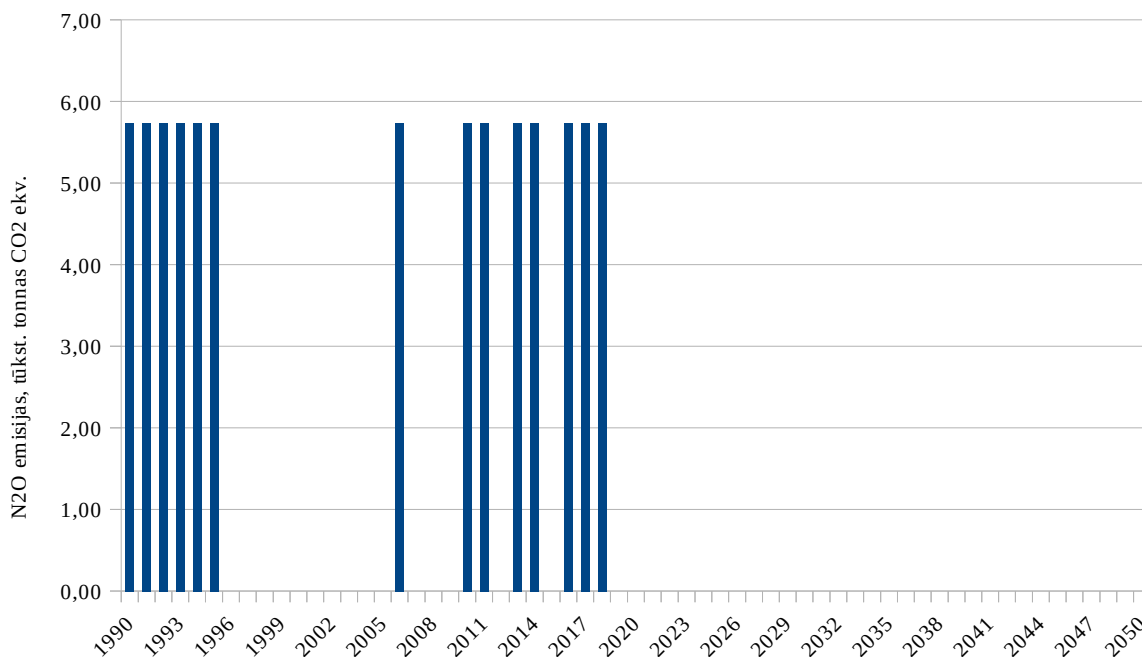
## SEG emisiju pārrēķins nacionālajā inventarizācijas sistēmā un prognozēs

SEG emisiju pārrēķinam izmantoti jaunākie inventarizācijas dati, ko plānots iekļaut 1990.-2016. gada inventarizācijā (iesniegšanas termiņš 15. decembris). Pārrēķinu rezultāts zālājiem un aramzemēm dots Att. 26. Saskaņā ar aprēķinu rezultātiem 1990.-2015. gadā SEG emisijas no aramzemēm un zālājiem pēc pārrēķiniem samazinās vidēji par 15 tūkst. tonnām CO<sub>2</sub> ekv. gadā, bet 2016. gadā SEG emisijas no aramzemēm un ilggadīgajiem zālājiem pieaug par 90 tūkst. tonnām CO<sub>2</sub> ekv. 2005.-2009. gadā SEG emisijas pēc pārrēķiniem samazinās vidēji par 503 tūkst. tonnām CO<sub>2</sub> ekv. gadā, bet saistību periodā 2021.-2030. gadā – par vidēji par 416 tūkst. tonnām CO<sub>2</sub> ekv. gadā. Vidējais ikgadējais CO<sub>2</sub> emisiju vienību pārpalikums, salīdzinot references periodu (2005.-2009. gads) un saistību periodu (2021.-2030. gads), pirms pārrēķiniem ir 769 tūkst. tonnas CO<sub>2</sub> ekv., bet pēc pārrēķiniem – 682 tūkst. tonnas CO<sub>2</sub> ekv. Jāņem vērā, ka aprēķinu rezultātu vēl var būtiski ietekmēt lauksaimniecības un ZIZIMM prognozēs iekļautās zemes izmantošanas prognozes harmonizēšana, pārskaitot būtisku daļu aramzemju ilggadīgo zālāju kategorijā, kā arī organisko augšņu platības precizēšana aramzemēs un ilggadīgajos zālajos.



Att. 26: SEG emisiju pārrēķins aramzemēs un ilggadīgo zālāju zemes izmantošanas kategorijās.

N<sub>2</sub>O emisijas sakarā ar aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanu 1990.-2016. gados pieaug par 80 tūkst. tonnām visā aprēķinu periodā. Emisijas rēķinātas tikai tajos gados, kad augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņām augsnē ir negatīva vērtība (Att. 27). Grafikā redzams, ka pēc 2020. gada aramzemju un ilggadīgo zālāju apsaimniekošana neradīs N<sub>2</sub>O emisijas, izņemot organisko augšņu apsaimniekošanas radītās emisijas, kas aprēķinā nav ietvertas.



**Att. 27: Tiešo un netiešo N<sub>2</sub>O emisiju pārrēķins un prognoze.**

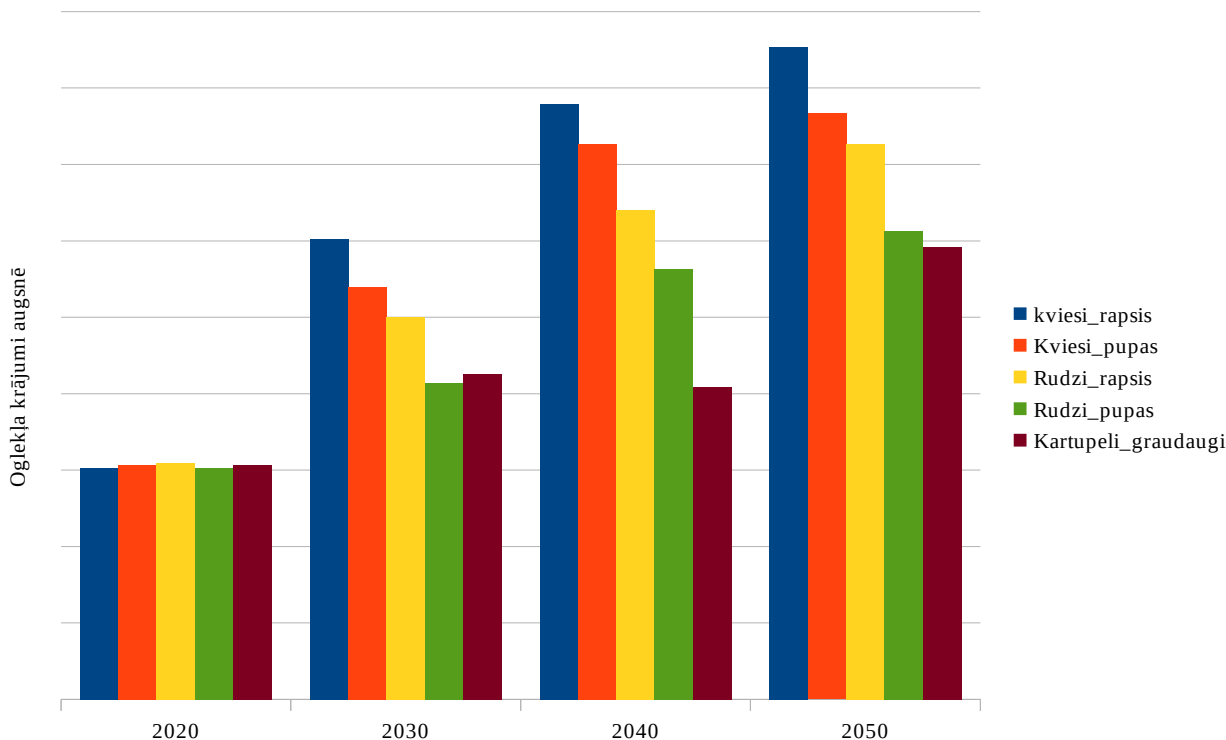
Ņemot vērā iespējamo nenoteiktību, ko rada atšķirības starp reālajiem un pieņemtajiem oglekļa ieneses rādītājiem, šobrīd ir pārāgri izmantot iegūtos aprēķinu rezultātus SEG inventarizācijas ziņojumā, taču iegūtie rezultāti ir pietiekoši, lai pierādītu, ka minerālaugsnes aramzēmēs un ilggadīgajos zālajos nav emisiju avots, attiecīgi, šo kategoriju var neuzrādīt inventarizācijas ziņojumā.

## Klimata izmaiņu mazināšanas pasākumu ekonomiskā analīze

Pētījumā secināts, ka pieejamo darbības datu (biomasas ienese ar dažādu sugu kultūraugiem) kvalitāte var būt nepietiekoša vai pat var radīt pretēju iespaidu par atsevišķu pasākumu efektivitāti, piemēram, lauku pupu audzēšana pamīšus ar graudaugiem, tāpēc SEG emisiju mazināšanas pasākumu ietekmes ekonomiskā analīze būtu pāragra.

Pētījumā salīdzinātas vairākas augu maiņas, kurās 3 gadus audzē graudaugus un tad 1 gadu rapsi vai lauku pupas, kā arī augu maiņu, kurā 3 gadus audzē kartupeļus, 1 gadu kviešus, 1 gadu rapsi, 1 gadu kviešus un tad atkal 3 gadus audzē kartupeļus. Aprēķinu rezultātu kopsavilkums dots Att. 28. Grafīkā nav norādītas mērvienības, ņemot vērā iepriekšējās nodaļās raksturotās Yasso modeļa īpatnības attiecībā uz kopējā oglekļa satura noteikšanu. Relatīvās atšķirības oglekļa uzkrājumā raksturo augu maiņa ietekmi uz oglekļa saturu augsnē. Visos augu maiņas variantos pieņemtas kultūraugu produktivitātes vērtības no lauksaimniecības prognozēm. Modeļa inicializācijai veikta kalibrācija ar vienādu augu maiņas scenāriju.

Saskaņā ar aprēķinu rezultātiem lielāko oglekļa piesaisti augsnē rada augu maiņas variants, ko veido kvieši un rapsis, bet salīdzinoši mazāko piesaisti rada kartupeļu, graudaugu un rapša augu maiņas variants, tomēr visos gadījumos, pateicoties produktivitātes pieauguma prognozei, līdz 2050. gadam prognozēts augsnes oglekļa krājumu pieaugums.



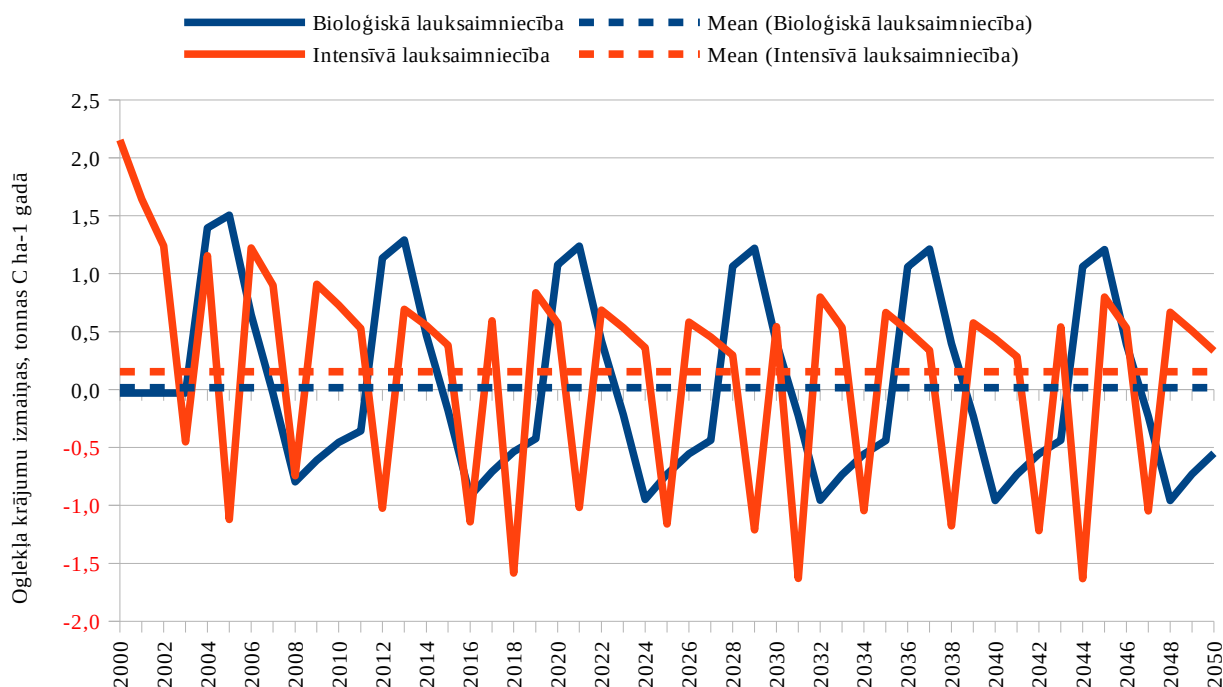
**Att. 28: Oglekļa uzkrājuma izmaiņas pie dažādām augu maiņām.**

Att. 28 redzams, ka rapša aizstāšana ar lauku pupām nerada papildus CO<sub>2</sub> piesaisti augsnē, taču, vērtējot iegūto rezultātu, jāņem vērā, ka AREI veiktais pētījums uzrāda būtiski lielāku oglekļa ienese ar augu atliekām, audzējot lauku pupas (Att. 16). Tāpēc, pirms spriedumu izdarīšanas par

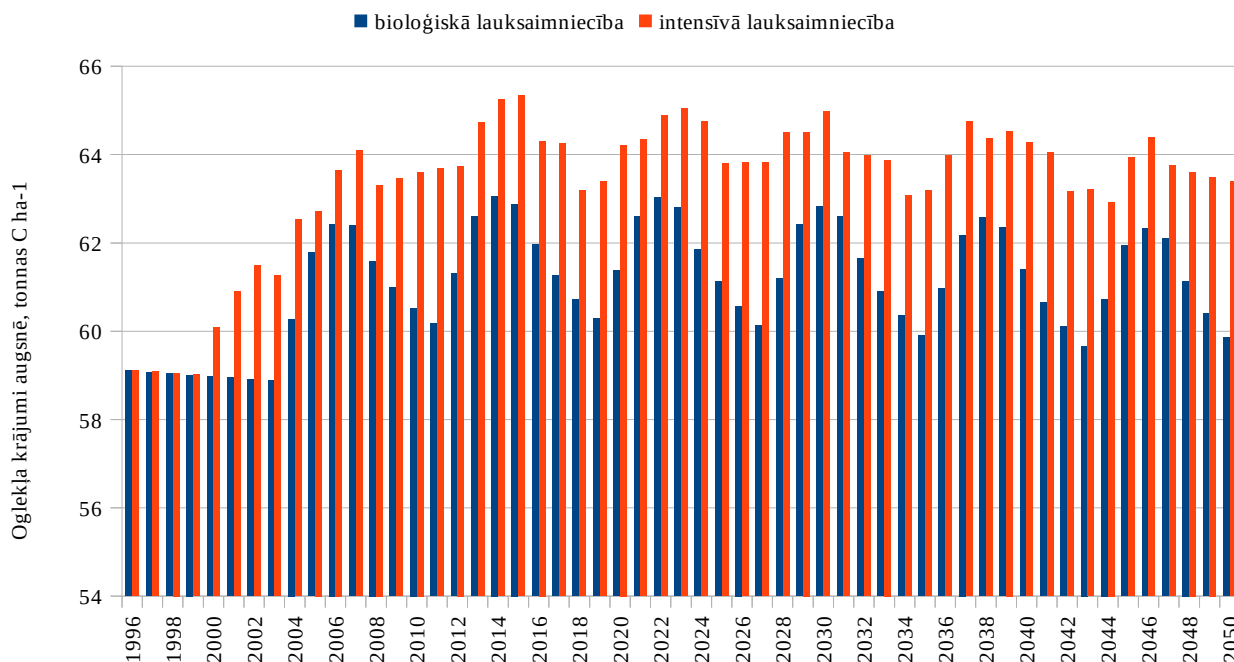
dažādu kultūraugu audzēšanas ietekmi uz klimata izmaiņām, ir jāiegūst objektīvi dati par oglekļa ienesi ar augu atliekām, kā arī ražas un pārējo augu biomasas daļu attiecību.

Līdzīgs secinājums izdarīts, salīdzinot augu maiņas, ko izmanto bioloģiskās saimniecības (3 gadi zālājs lopbarībai, 1 gads mieži, 1 gads auzas, 1 gads kartupeļi, 1 gads mieži ar zālāja pasēju un atkal 3 gadi zālājs) ar saimniecībām, kas audzē graudaugus un kartupeļus ar konvencionālām metodēm (3 gadus audzē kartupeļus, 1 gadu kviešus, 1 gadu rapsi, 1 gadu kviešus un tad atkal 3 gadus audzē kartupeļus). Bioloģiskajās saimniecībās paredzēta 40 tonnas kūtsmēslu ienese katru gadu, kad veic augsnes apstrādi. Būtiski lielāku CO<sub>2</sub> piesaisti un lielāku oglekļa uzkrājumu augsnē nodrošina konvencionālās augu maiņas (attiecīgi, Att. 29 un Att. 30). Ražības aprēķinos bioloģiskajās saimniecībās izmantoti bruto segumu kopsavilkumu dati (Tab. 1) un konstanti noklusētie pieņēmumi par oglekļa ienesi ar zālaugiem (Poeplau u.c., 2015). Konvencionālo saimniekošanas metožu oglekļa ieneses raksturošanai izmantoti statistikas kopsavilkumu dati (Tab. 2).

Vērtējot iegūto rezultātu, jāņem vērā, ka bioloģiskajās saimniecībās neņem vērā nezāļu biomasu un pieņem, ka attiecība starp ražu, virszemes un pazemes biomasu bioloģiskajās un konvencionālajās saimniecībās ir vienāda, lai gan, samazinoties produktivitātei, arī šī attiecība, visticamāk izmainās.



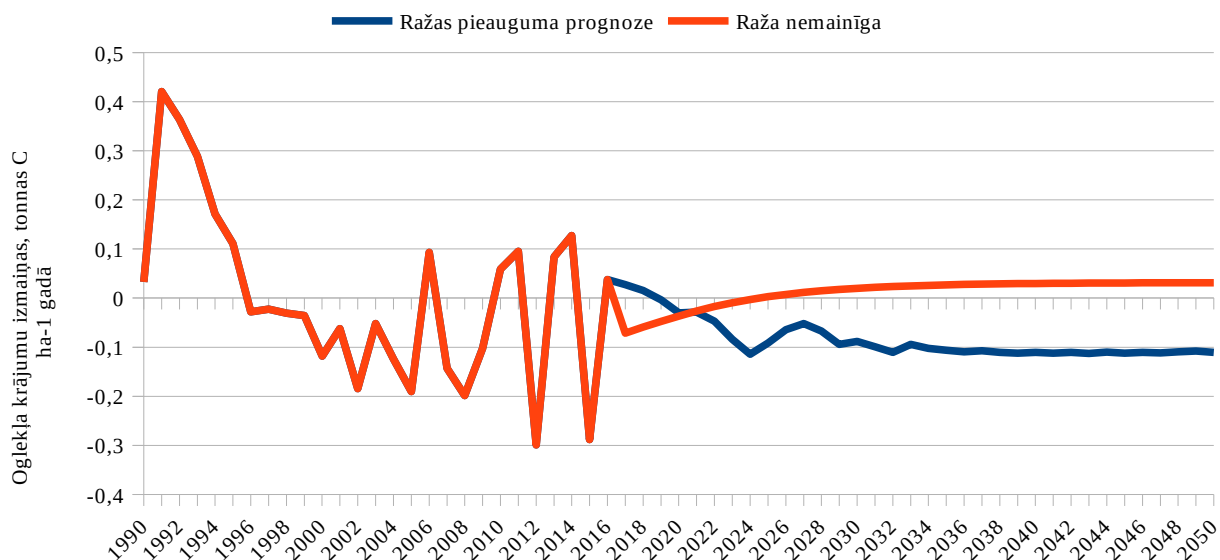
Att. 29: Bioloģiskās un konvencionālās graudaugu saimniecības salīdzinājums – CO<sub>2</sub> emisiju prognoze.



**Att. 30: Bioloģiskās un konvencionālās graudaugu saimniecības salīdzinājums – augsnes oglekļa uzkrājuma prognoze.**

Klimata izmaiņu mazināšanas pasākumiem pieskaitīti arī selekciju un citi agrotehniskie pasākumi, kas veicina vidējās ražas paaugstināšanos. Ražas prognoze, kur ir paredzama vidējās ražas paaugstināšanās, veicina pastiprinātu oglekļa uzkrāšanos augsnē. Salīdzinot prognozēto ražas pieauguma scenāriju ar scenāriju, kurā raža saglabājas līdzšinējā līmenī, konstatēts, ka pēc 2025. gada, palielinoties vidējām kultūraugu ražām, vidējās C piesaistes pieaugums uz vienu hektāru pārsniegtu 0,6 tonnas C ha<sup>-1</sup>. No 2017. gada līdz 2025. gadam atšķirības starp šiem scenārijiem nav tik lielas. Taču tas skaidrojams ar 2013. un 2015. gada lielajām ražām, kas būtiski paaugstina pašreizējo vidējo ražu, bet nemainīgas ražas scenārijā ikgadējā vidējā raža ir aprēķināta tieši no 2012. līdz 2016. gada datiem.

Kultūraugu ražai saglabājoties nemainīgai, minerālaugšnes aramzemēs un ilggadīgajos zālajos nākotnē kļūtu par nelielu SEG emisiju avotu (Att. 31).



**Att. 31: CO2 emisiju prognoze, ja a) ņem vērā prognozēto ražas paaugstināšanos b) pieņem, ka ražas paaugstināšanās nenotiek.**

Ietekmes uz klimata izmaiņām mazināšanas pasākumu efekta novērtēšanai ir jānodrošina saražotās produkcijas uzskaitē platībās, kur īstenoti šie pasākumi, piemēram, meliorētajās platībās, laukos, kur izmantota precīzā minerālmēslu izsējas tehnoloģija, kā arī dažādos augu maiņas variantos, nepieciešamības gadījumā izmantojot zinātniski pamatotus pieņēmumus, piemēram, par biomasas ienesi augsnē papuvēs, sētajos zālajos, ganībās un bioloģiski vērtīgajos zālajos. Ir jāpapildina arī zināšanas arī par oglekļa apriti augsnēs ar palielinātu oglekļa saturu, kas neatbilst organisko augšņu kritērijiem.



---

## Secinājumi

1. Aramzemes ir CO<sub>2</sub> piesaistes avots, un saimnieciskās darbības intensifikācija, kas nodrošina kultūraugu produktivitātes pieaugumu, sekmē arī oglekļa akumulāciju augsnē. Kultūraugu produktivitātes pieaugums vērtējams kā nozīmīgākais pasākums ietekmes uz klimata izmaiņām mazināšanai nacionālā mērogā.
2. Saglabājoties esošajam kultūraugu produktivitātes līmenim, aramzemes nākotnē kļūs par nelielu CO<sub>2</sub> un N<sub>2</sub>O emisiju avotu, tāpēc produktivitātes paaugstināšana ir virzāma kā nozīmīgākā prioritāte lauksaimniecības attīstībā saistībā ar ietekmes uz klimata izmaiņām mazināšanas mērķiem.
3. Yasso modelis nerada priekšstatu par absolūtajām oglekļa uzkrājuma vērtībām minerālaugsnēs, ka arī nav izmantojams bez t.s. “kalibrēšanas” perioda. Pētījuma turpmākajos etapos ir jānovērtē Yasso15 versijas pielietošanas iespējas, raksturojot oglekļa uzkrājuma absolūtās vērtības, kā arī sākotnējā organisko vielu sadalījuma šķīdības pakāpēs ietekme uz aprēķiniem, aizstājot Somijā iegūtos datus ar Latvijas apstākļos pārbaudītiem rādītājiem.
4. Oglekļa uzkrājuma minerālaugsnēs izmaiņu vērtējums laukkopības sistēmās, kas ietver ilggadīgo zālāju, ganību un sēto zālāju apsaimniekošanu, tajā skaitā bioloģiskā lauksaimniecība, balstās uz oglekļa ieneses rādītājiem, kas ne Latvijā, ne arī Somijā, kur iegūti aprēķinos izmantotie dati, nav pārbaudīti, tāpēc šo sistēmu un ar tām saistīto pasākumu klimata izmaiņu mazināšanai ietekmi varēs objektīvi novērtēt tikai pēc ieneses rādītāju precizēšanas.
5. Sākotnējā datu analīze, salīdzinot lauku pupu faktisko un aprēķinos pieņemto ražību apstiprina nepieciešamību izstrādāt biomasas ieneses pārrēķinu koeficientus konvencionālajām un bioloģiskajām laukkopības sistēmām, kas raksturotu izplatītākās kultūraugu grupas un augu maiņas.

---

## Izmantotā literatūra

1. Bardule, A., Lupikis, A., Butlers, A., & Lazdins, A. (2017). Organic carbon stock in different types of mineral soils in cropland and grassland in Latvia. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(1), 3–8. <https://doi.org/10.13080/z-a.2017.104.001>
2. Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Kiyoto, T. (Red.). (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use. No 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Sēj. 4, lpp. 678). Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
3. Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V., & Regina, K. (2013). Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. *Global Change Biology*, 19(5), 1456–1469. <https://doi.org/10.1111/gcb.12137>
4. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. (Red.). (2013). Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol. IPCC, Switzerland. Iegūts no [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/pdf/KP\\_Supplement\\_Entire\\_Report.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/pdf/KP_Supplement_Entire_Report.pdf)
5. Kaipainen, T., Liski, J., Pussinen, A., & Karjalainen, T. (2004). Managing carbon sinks by changing rotation length in European forests. *Environmental Science & Policy*, 7(3), 205–219. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2004.03.001>
6. Latvijas Lauksaimniecības universitāte. (2016). *Lauksaimniecības attīstības prognozēšana un politikas scenāriju izstrāde līdz 2050. gadam* (lpp. 96).
7. Lazdiņš, A. (2015). *Augsnes oglekļa krājumu novērtēšana aramzemē un pļavās* (lpp. 63). Salaspils: LVMI Silava.
8. Lazdiņš, A., Bārdule, A., Butlers, A., Lupiķis, A., Okmanis, M., Bebre, I., ... Petaja, G. (2016). *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* (No. 101115/S109) (lpp. 123). Salaspils.
9. Lazdiņš, A., & Čugunovs, M. (2013). *Oglekļa dioksīda (CO<sub>2</sub>) piesaistes un siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un zemes lietojuma veida ietekmes novērtējums intensīvi un ekstensīvi kultivētās aramzemēs, daudzgadīgos zālājos un bioloģiski vērtīgos zālājos* (lpp. 113). Salaspils.
10. Lazdiņš, A., Čugunovs, M., Lazdiņa, D., & Butlers, A. (2014). Literature review on results of application of soil carbon model Yasso in forest, cropland and grassland. No *Forest ecosystems and its management: towards understanding the complexity*. Ilgas: Latvian State Forest Research Institute "Silava".
11. Lazdiņš, A., Polmanis, K., Spalva, G., Lupiķis, A., Bārdule, A., Butlers, A., ... Purviņa, D. (2015). *Augsnes oglekļa krājumu novērtēšana aramzemē un pļavās* (No. 10942) (lpp. 63). Salaspils.
12. Liski, J., Nissinen, A., Erhard, M., & Taskinen, O. (2003). Climatic effects on litter decomposition from arctic tundra to tropical rainforest. *Global Change Biology*, 9(4), 575–584. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00605.x>
13. Liski, J., Palosuo, T., Peltoniemi, M., & Sievänen, R. (2005). Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecological Modelling*, 189(1–2), 168–182. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.005>
14. Lupiķis, A., & Lazdiņš, A. (2017). Oglekļa aprite minerālaugsnēs Latvijas mežos: modelēts ar Yasso07 augsnes oglekļa modeli. No *Starptautiskā zinātniski praktiskā konference Zinātne un prakse nozares attīstībai Mežzinātnes un augstākās mežizglītības loma nozares konkurētspējas paaugstināšanā tēzes* (lpp. 17). Jelgava: LLU.
15. Palosuo, T., Heikkinen, J., & Regina, K. (2015). Method for estimating soil carbon stock changes in Finnish mineral cropland and grassland soils. *Carbon Management*, 6(5–6), 207–220. <https://doi.org/10.1080/17583004.2015.1131383>
16. Peltoniemi, M., Mäkipää, R., Liski, J., & Tamminen, P. (2004). Changes in soil carbon with stand age – an evaluation of a modelling method with empirical data. *Global Change Biology*, 10(12), 2078–2091. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00881.x>
17. Poeplau, C., Bolinder, M. A., Eriksson, J., Lundblad, M., & Kätterer, T. (2015). Positive trends in organic carbon storage in Swedish agricultural soils due to unexpected socio-economic drivers. *Biogeosciences*, 12(11), 3241–3251. <https://doi.org/10.5194/bg-12-3241-2015>
18. Thurig, E. (2005). *Carbon budget of Swiss forests: evaluation of empirical models for assessing future*

---

*management impacts*. SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH. Iegūts no <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:27729/eth-27729-02.pdf>

19. Tuomi, M., Laiho, R., Repo, A., & Liski, J. (2011). Wood decomposition model for boreal forests. *Ecological Modelling*, 222(3), 709–718. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.10.025>
20. Tuomi, M., Thum, T., Järvinen, H., Fronzek, S., Berg, B., Harmon, M., ... Liski, J. (2009). Leaf litter decomposition – Estimates of global variability based on Yasso07 model. *arXiv:0906.0886 [q-bio]*. Iegūts no <http://arxiv.org/abs/0906.0886>