

LAUKSAIMNIECĪBAS

CRAFT
LIFE



Latvijas
Dabas fonds

PRAKSES KLIMATA PĀRMAINU MAZINĀŠANAI

ROKASGRĀMATA LAUKSAIMNIEKIEM

Saturs

PRIEKŠVārds
ANDREJS BRIEDIS

4

**LAUZĒJVELTŅA IZMANTOŠANA KLIMATA
IZMAIŅAS MAZINOŠU TEHNOLOĢIJU
DAUDZVEIDOŠANAI LATVIJĀ**
LĪGA LEPSE

6

84

**UZTVĒRĒJAUGU IZMANTOŠANA
OGLEKĻA UN SLĀPEKĻA SAVIENOJUMU
PIESAISTEI AUGSNĒ**
LĪGA LEPSE UN SANDRA DANE

22

94

**JAUKTO STĀDĪJUMU UN SĒJUMU PIELIETOJUMA
IESPĒJAS DĀRZKOPĪBĀ ATBILSTOŠI KLIMATU
SAUDZĒJOŠIEM JEB ILGTSPĒJĪGAS
SAIMNIEKOŠANAS PRINCIPIEM**
SANDRA DANE

38

106

**KLIMATAM DRAUDZĪGĀ KOMPOSTA
GATAVOŠANA UN IZMANTOŠANA AUGSNES
BAGĀTINĀŠANĀ UN AUGU NODROŠINĀŠANĀ
AR BARĪBAS VIELĀM**
SANDRA DANE

50

134

**KONTROLĒTĀS DRENĀŽAS PIELIETOJUMS
KLIMATA PĀRMAIŅU UN TO IETEKMES
MAZINĀŠANAI LAUKSAIMNIECĪBĀ LATVIJĀ**
RŪTA ABAJA, IEVA MEŽAKA

62

158

**ATZIŅAS NO KLASISKA ILGTERMIŅA
EKSPERIMENTA DĀNIJĀ: OGLEKĻA UZKRĀŠANA
UN KLIMATA PĀRMAIŅU APKAROŠANA,
PĀRVEIDOJOT NABADZĪGAS ARAMZEMES
PAR DAĻĒJI DABISKĀM PLĀVĀM**
AREZOO TAGHIZADEH-TOOSI

**TIEŠĀ SĒJA KĀ IESPĒJA
SAMAZINĀT CO₂ EMISIJAS**
JĀNIS KAŽOTNIEKS

**AGROMEŽSAIMNIECĪBAS RISINĀJUMI
NOTURĪBAS PALIELINĀŠANAI PRET
KLIMATA PĀRMAIŅĀM ZIEMEĻEIROPĀ**
DŽO SMITH (JO SMITH)
SALLIJA VESTVEJA (SALLY WESTAWAY)

**BIOOGLES - KLIMATAM LABVĒLĪGS
RISINĀJUMS LAUKSAIMNIECĪBĀ?**
KARI TĪLIKALA (KARI TIILIKKALA)
PRĪTS TAMEORGS (PRIIT TAMMEORG)

**BIOOGLES IZMANTOŠANA KLIMATAM
DRAUDZĪGĀ LAUKSAIMNIECĪBĀ -
PIEREDZE UN IZAICINĀJUMI**
JĀNIS REIHMANIS



Valsts reģionālās
attīstības aģentūra

IZDEVUMS IR SAGATAVOTS AR EIROPAS KOMISIJAS
LIFE PROGRAMMAS UN VALSTS REĢIONĀLĀS ATTĪSTĪBAS AĢENTŪRAS
FINANSIĀLU ATBALSTU PROJEKTA "LIFE CRAFT: KLIMATA ATBILDĪGA
LAUKSAIMNIECĪBA LATVIJĀ" LIFE16 CCM/LV/000083 IETVAROS.

PAR IZDEVUMĀ IEKĻAUTO INFORMĀCIJU IR ATBILDĪGI PROJEKTA
ĪSTENOTĀJI UN TĀ NEATSPOGUĻO NE EIROPAS KOMISIJAS, NE EIROPAS
KOMISIJAS MAZO UN VIDĒJO UZŅĒMUMU IZPILDAĢENTŪRAS VIEDOKLI.

Mijiedarbība starp lauksaimniecību un klimata pārmaiņām ne vienmēr vērtējama viennozīmīgi. Lai arī lauksaimniecība kopumā ir viens no siltumnīcefekta gāzu emisiju avotiem, tomēr visā pasaulē var atrast zemniekus, kuri ir spējuši mainīt savu saimniekošanu tā, ka saimniecības nevis emitē siltumnīcefektu gāzes, bet gan tās piesaista. Un būtiska ir arī lauksaimnieku spēja pielāgoties klimata pārmaiņām. Gudri un radoši zemnieki iespēju robežās cenšas izmantot dažādus dabas procesus savā labā, šādi iegūstot gan saimnieciskā ziņā, gan arī dodot savu artavu klimata pārmaiņu mazināšanā.

Lai arī pastāv zināmi likumos un noteikumos rakstīti nosacījumi, tomēr kopumā Latvijas lauksaimniekiem ir zināma brīvība izlemt, ko un kā ražot un kā mainīt savu saimniekošanu, lai tā kļūtu klimatam draudzīgāka un spētu pielāgoties klimata pārmaiņām. Brīvība nozīmē arī to, ka mēs apzināmies, kādas var būt mūsu darbības vai bezdarbības sekas.

Ceru, ka šī grāmata iedvesmos un palīdzēs tiem Latvijas zemniekiem, kuri apzinās klimata pārmaiņu sekas un šo pārmaiņu iespējamo ietekmi uz to, kādos apstākļos saimniekos viņu bērni un mazbērni. Lai arī grāmata galvenokārt pievēršas siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanai un uzkrāšanai augsne un iepazīstina ar metodēm, kuras palīdz pielāgoties klimata

pārmaiņām, tomēr aprakstītās metodes var palielināt saimniekošanas ienesīgumu, sniegt būtisku ieguldījumu lauksaimnieku atkarības mazināšanai no iepirktajiem resursiem (piemēram, minerālmēsliem, augu aizsardzības līdzekļiem, degvielas, iepirktais lopbarības, substrāta dēstu audzēšanai), palielināt augsnes auglību, mitruma un barības vielu aizturi augsne.

Protams, visas metodes nav piemērotas visām saimniecībām un ir rūpīgi jāvērtē grāmatā aprakstīto metožu piemērotība katras saimniecības apstākļiem un iespējām. Taču ir skaidrs, ka, neko nemainot, mēs nevaram cerēt, ka mazināsies lauksaimniecības ietekme uz klimatu. Tāpēc ir jāpiecējas par katru lauksaimnieku, kurš ir gatavs rīkoties un jau kaut ko dara, lai mazinātu siltumnīcefekta gāzu emisijas un pielāgotos mainīgajam klimatam. Tomēr būtu jāizvairās no pamācīšanas un pārmetumiem, ka kāds kaut ko dara nepareizi vai pārāk maz, jo to mēs vienkārši nevaram atļauties – nozīmīgs ir ikviens zemnieks, kurš dod savu artavu cīņā ar klimata pārmaiņām. Skaidrs, ka pārmaiņas lauksaimniecībā ir neizbēgamas, taču svarīgi ir arī apzināties, ka lauksaimniecības pārveide klimatam un dabas daudzveidībai draudzīgākā veidā prasa laiku un ka katra diena un gads, kad saimniekojam “pa vecam”, tikai padziļina klimata krīzi.

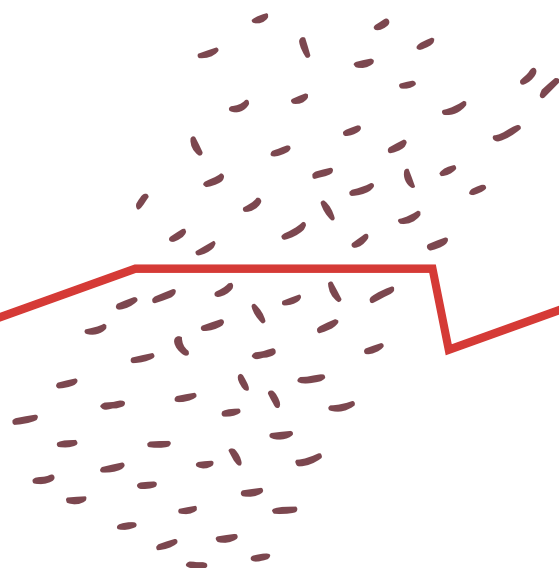
LAI MUMS IZDODAS!

Andrejs Briedis
Latvijas Dabas fonda padomes priekšsēdētājs

LAUZĒJVELTŅA IZMANTOŠANA KLIMATA IZMAIŅAS MAZINOŠU TEHNOLOĢIJU DAUDZVEIDOŠANAI LATVIJĀ

LĪGA LEPSE

APP Dārzkopības institūts,
Graudu iela 1, Ceriņi,
Krimūnu pag., Dobeles nov.,
LV-3701, Latvija
e-pasts: liga.lepse@llu.lv



Ievads

Klimata izmaiņas ir kļuvušas aktuālas sabiedrībā un politikā pēdējās desmitgadēs, bet īpaši pēdējo pāris gadu laikā, kad ir parakstīti vairāki nozīmīgi starptautiskie nolīgumi klimata izmaiņu mazināšanai – Parīzes nolīgums, Kioto protokols, 2019. gada ANO Klimata samits Ņujorkā. Visi šie starptautiskie dokumenti un sanāksmes ir vērsti galvenokārt uz siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju mazināšanu.

Tā kā tiek lēsts, ka ZIZIMM sektors (zemes izmantošana, zemes izmantošanas maiņa un mežsaimniecība) pasaulē rada 24 % no tiešajām SEG emisijām, tad šajā sektorā veiktās SEG mazināšanas darbības varētu atstāt būtisku ietekmi uz klimata izmaiņu procesu. Latvijā ir aprēķināts, ka ZIZIMM sektors rada 22,3 % no SEG emisijām, kas arī ir būtisks īpatsvars kopīgā SEG emisiju apjomā.¹ Mainot lauksaimniecībā izmantotās augsnes apstrādes un kultūraugu audzēšanas tehnoloģijas, pastāv iespēja mazināt šo gāzu emisijas un piesaistīt atmosfērā esošās SEG.

Lauksaimniecības pienesums SEG gāzu emisijās rodas, arī izmantojot fosilo degvielu lauksaimniecības mehānismu darbināšanā. Paaugstinoties lauksaimnieciskās ražošanas intensitātei, palielinās arī fosilās enerģijas patēriņš produkcijas ražošanā – gan kā degvielas, gan kā enerģijas ietilpīgu produktu lietošana (pesticīdi un minerālmēsli). Aprēķini liecina, ka fosilās enerģijas apjoms, kas ekvivalents aptuveni 20–30 % no graudaugu akumulētās solārās enerģijas, tiek izmantots šo kultūraugu saražošanai [1]. Pēc Eurostat datiem un piedāvātajiem risinājumiem lauksaimniecības tehnoloģiju maiņa un slāpekļa minerālmēsli lietojuma samazinājums ļauj lauksaimniecībai dot savu artavu SEG emisiju mazināšanā, tieši mazinot nitrifikācijas un denitrifikācijas procesā radušās NO₂ gāzes emisijas [2].

Viena no iespējamajām lauksaimnieciskās ražošanas metodēm SEG mazināšanai ir uztvērējaugu audzēšana un mulčas izveidošana no tiem. Kā efektīvu tehnoloģisko risinājumu mulčas izveidei iesaka izmantot lauzējveltni (*roller crimper* – angļu val.). Šajā kontekstā lauzējveltna (LzV) tehnoloģija sekmē CO₂ piesaisti augsnē, mazina slāpekļa (N) mēslojuma lietojumu un dīzeļdegvielas patēriņu augsnes apstrādes procesiem.

1 2020. gadā iesniegtās siltumnīcefekta gāzu inventarizācijas kopsavilkums, Rīga, 2020: https://www.meteo.lv/fs/CKFinderJava/userfiles/files/Vide/Klimats/Majas_lapai_LVGMC_2020_seginvkopsavilkums.pdf

Lauzējveltņa tehnoloģijas ietekme uz klimatu

Zinātniskajā literatūrā ir atrodamī diezgan pretrunīgi citu valstu pētījumu dati par lauzējveltņa (LzV) tehnoloģijas ekonomisko izdevīgumu. Neapšaubāmi šo tehnoloģiju uzskata par nozīmīgu ieguldījumu C piesaistē augsnē, turklāt, no agronomiskā viedokļa, tā ir izdevīga, jo tiek ierobežota nezāļu, kaitēkļu un slimību izplatība laukā, sekmēta labvēlīgo mikroorganismu daudzveidība un izplatība augsnē un līdz ar to uzlabota augsnes auglība un tās bufer spēja, tiek nodrošināta barības vielu saglabāšana sakņu zonā, aizkavējot kustīgo barības elementu izskalošanos (piemēram, augsnē nitrifikācijas procesā izveidojušos nitrātu izskalošanās samazinās pat par 70 %), kā arī mazinās fosilās enerģijas patēriņš [3]. **Barības elementu noturēšana augsnē aramkārtas dziļumā** īpaši aktuāla ir Latvijā, kur ziemas mēnešos notiek intensīva kustīgo savienojumu izskalošanās no augsnes aramkārtas un to aizplūšana uz jūru ar virszemes noteces ūdeņiem. No

klimata izmaiņu mazināšanas viedokļa LzV metode ir nozīmīgs **oglekļa piesaistes** rīks – to akumulējot mulčas augu biomasā, kas pakāpeniski sadalās un nonāk augsnē oglekļa savienojumu formā. Pēdējie divi aspekti rakstā analizēti sīkāk, koncentrējoties uz kustīgo slāpekļa savienojumu un oglekļa piesaisti augsnē. Tomēr vispirms par pašu lauzējveltņa tehnoloģijas principu.

Lauzējveltņa tehnoloģijā tiek izmantoti lauksaimniecības pakalpojumaugi (LPA), ko audzē laukā pirms ražas ieguves augiem (angļu val. *cash crop*) un noteiktā augu attīstības etapā tos norullē, aizlaužot ar speciālu veltni mulčas slāņa izveidošanai (1. attēls). Pēc LPA aizlaušanas tie lēni izžūst un izveido mulčas slāni. Aptuveni divu nedēļu laikā pēc aizlaušanas šajā laukā stāda vai sēj kultūraugus ražas ieguvei (dārzeni, pākšaugi, kukurūza, u. c. augi, kam ir lielas sēklas vai kas ir stādāmi ar dēstu).



1. attēls. Lauzējveltnis darbībā; tikko aizlauzts rudzu un ziemas vīķu mists; mulčā augošs ķirbis

TEHNOLOĢIJAS TEORĒTISKĀ IETEKME UZ KLIMATA IZMAIŅU MAZINĀŠANU UN AGRONOMISKAJIEM IZAICINĀJUMIEM.

Lauksaimniecības pakalpojumaugi (LPA) ir augi, kuri funkcionāli kalpo agro-vides uzlabošanai. No šiem augiem ražu neiegūst, bet tie uzlabo augsnes īpašības, nodrošinot ilgtspējīgu lauksaimnieciskās ražošanas vides saglabāšanu un sekojoši arī kultūraugu ražību [4]. Planētas mērenā klimata zonā lauzējveltņa tehnoloģijā kā LPA var izmantot galvenokārt ziemojošus augus (biežāk graudaugus), kas ziemas periodā uztur augsnes aramkārtā kustīgos augu barības elementus un piesaista atmosfēras brīvo slāpekli (ja audzē tauriņziežus) [5, 6, 7, 8]. Pēc Rodales institūta (ASV) pētījumiem kā piemērotākie viengadīgie augi LzV tehnoloģijai tiek ieteikti inkarnāta (viengadīgais) āboliņš, ziemas rudzi, ziemas kvieši, ziemas un vasaras mieži, auzas, griķi, lauka pupas, vīķi un zirņi. LzV tehnoloģijai nederēs sarkanā āboliņa, lucernas, u. c. daudzgadīgo tauriņziežu zelmeņi aizlaušanai to stumbra uzbūves dēļ [9]. Tātad SEG mazināšanas kontekstā LzV tehnoloģija izmantojama C piesaistei augsnē ar augu biomasu un tauriņziežu gadījumā vēl papildus atmosfēras N bioloģiskā saistīšana simbiozē ar augsnē mītošajām gumiņbaktērijām (*Rhizobia* spp.). Netieši SEG emisiju samazinājumu var panākt, samazinot kopējo N minerālmēsli lietojumu ražošanas procesā [10].

Tieši pietiekoša biomasas saražošana ir viens no nosacījumiem kvalitatīvas mulčas izveidei – ieteicams iegūt vismaz 7 t ha⁻¹ (optimāli 8–10 t ha⁻¹) [11, 12] biomasas sausnas, lai izveidotos kvalitatīva LPA mulča [13]. Pieņemot, ka 50 % no LPA auga veido C savienojumi, ar šādu biomasu vienā ziemaspavasara sezonā var piesaistīt ap 3,5 t ha⁻¹ C.

Biomasai kā tādai nav tiešas agronomiskas vērtības – tās vērtība rodas augu atlieku mineralizācijas procesa rezultātā, kad atbrīvojas piesaistītie elementi, un augsnes organiskās vielas īpatsvara palielināšanās, kas dod nozīmīgu ieguldījumu augsnes mikroorganismu attīstībā un to daudzveidības nodrošināšanā. Tātad biomasas sastāvs, tās producētās bioloģiski aktīvās vielas, sadalīšanās temps un kvalitāte ir tie parametri, kas rada agronomisko interesi. Divi nozīmīgi ārējās vides faktori tieši ietekmē aizlauzto augu atlieku sadalīšanos – mitrums un temperatūra [14], tomēr šie faktori mainīga klimata apstākļos arvien biežāk limitē kvalitatīvu ražu ieguvi augkopībā.

Pēdējos gados arvien aktuālāks kļūst Mitruma trūkums veģetācijas perioda sākumā un arī kopumā veģetācijas periodā. Mulčas izmantošana dārzkopībā ir viens no risinājumiem mitrums resursu saglabāšanai augsnē. Tā kā LzV tehnoloģijā ir iespējams vienlaikus uzlabot augsnes īpašības un izveidot mulčas slāni, to var uzskatīt par perspektīvu tehnoloģiju ilgtspējīgā dārzkopībā. Tomēr šī tehnoloģija rada arī vairākus izaicinājumus.

Pēc LPA aizlaušanas šī augu masa veido mulču. Viena no mulčas funkcijām ir aizkavēt ūdens iztvaikošanu no augsnes, nodrošinot labvēlīgāku mitruma režīmu tur augošajiem augiem. Tomēr šeit ir jāņem vērā kāds nozīmīgs faktors – ja pavasara periodā pirms LPA aizlaušanas ilgstoši ir bijis sauss, kā tas pēdējos gados arvien biežāk notiek, tad šis ūdens resurss augsnē jau ir nepietiekošs aizlaušanas brīdī, turklāt augsnes mitrumu ir izmantojuši tur augošie LPA un tas ir arī iztvaikojis no augsnes. Šādos apstākļos aizlauzto augu masa (mulča) nespēs labvēlīgi ietekmēt mitruma režīmu augsnē, jo nav mitruma, kura iztvaikošanu mazināt, līdz ar to iesētie vai iestādītie kultūraugi var ciest no mitruma trūkuma. Ja pavasarī pirms augu aizlaušanas nokrišņu ir bijis pietiekoši, tad aizlauzto augu masa veido labu mulču, kas aizkavē mitruma iztvaikošanu, mazina nezāļu dīgšanu un rada labvēlīgu vidi dažādu bezmugurkaulnieku dzīvei, tādējādi vairojot to bioloģisko daudzveidību agrobiocenozē. Pie labvēlīgiem mitruma apstākļiem aizlauztā mulča sniedz vairākus ieguvumus: nokrišņu gadījumā palīdz vienmērīgāk sadalīt nokrišņu apjomu un pie spēcīga lietus neveidojas augsnes garoza; augu atliekas, kas jau nonākušas augsnē, mazina augsnes sablīvējumu, kas savukārt sekmē ūdens iesūkšanos augsnē pat par 50–800 % [15]; mulča aiztur vēju, kas nozīmīgi samazina ūdens iztvaikošanu no augsnes virsējiem slāņiem vējinās dienās. Šādā optimālā mitruma nodrošinājumā arī augsnes mikroorganismi strādā intensīvi un augu atliekas tiek iesaistītas mineralizācijas procesos. Tā kā no aizlauztās augu masas ar augsni saskaras tikai tās apakšējā daļa, tad šo augu atlieku mineralizācija notiek salīdzinoši lēni. Straujāk sadalās tie augi, kam ir mazāka C:N attiecība (piem., tauriņzieži), bet lēnāk – ar lielāku C:N attiecību (piem., graudaugi) [14, 16]. Ļoti nozīmīgs aspekts, kas jāņem vērā – mikroorganismu konkurence uz N savienojumiem biomasas sadalīšanās laikā. Ja augsnē ir nepietiekoši N resursi, LPA biomasas sadalīšanās nodrošināšanai mikroorganismi patērēs augsnes N resursus (jo LPA biomasa vairāk nobriedusi, ar augstāku C īpatsvaru, jo vairāk N tiks patērēts), radot to trūkumu kultūraugiem [16]. Teorētiski tiek uzskatīts, ka ar LzV izveidotās mulčas kārtā sadalās lēni, līdz ar to arī lēnāk un pakāpeniskāk augsnē nonāk tās biomasa un arī tie savienojumi un vielas, kas ir aizlauztajos augos. Tomēr noteikti ir jāņem vērā augsnes vispārējais auglības stāvoklis – auglīgā augsnē ar augstu organiskās vielas īpatsvaru un bagātīgu N piesātinājumu LPA mulčas slāņa sadalīšanās atstās mazāku ietekmi uz N nodrošinājumu tajā augošajam kultūraugam nekā nabadzīgā augsnē.

Otrs nozīmīgs LzV tehnoloģijas efektivitāti ietekmējošais faktors ir temperatūra. Izveidotā mulčas kārtā pazemina augsnes temperatūru zem mulčas. Baltijas klimatiskajos apstākļos reizēm tas nav vēlams, īpaši veģetācijas perioda sākumā. Tomēr tas ir atkarīgs no kultūrauga, ko paredzēts sēt izveidotajā mulčā, tā siltumprasības un optimālā sējas laika. Turpretim saulainā laikā mulčas radītais noēnojums ir labs, tas nodrošina norullētajā

mulčā augošo kultūraugu sakņu funkcionēšanai labvēlīgus apstākļus un izlīdzina temperatūras svārstības.

Aplūkojot izaicinājumu klāstu pie šīs tehnoloģijas, ir jāmin arī alelopātija. Tas ir augu savstarpējās mijiedarbības veids, kad kādas konkrēta sugas izdalītās vielas (alelopātiskie savienojumi) iedarbojas uz blakus augošiem vai sekojošiem augiem stimulējoši (nelielā koncentrācijā) vai inhibējoši (nezāļu, kaitēkļu ierobežošana) [17]. Šī parādība tiek minēta kā pozitīva LPA kontekstā nezāļainības samazināšanas nolūkā, tomēr var kaitēt sekojošo augu augšanai un attīstībai. No Latvijā ieteicamo LPA klāsta rudzi, krustzieži un dzeltenais amoliņš [18] ir augi ar salīdzinoši spēcīgu inhibējošu alelopātisko iedarbību [8, 19].

Iepriekš minētais liecina, ka LzV tehnoloģija nav viennozīmīga un vienmēr negarantē tūlītēju efektu. Tālāk aplūkot metodes praktiskās ieviešanas aspekti, lai maksimāli mazinātu tās trūkumus un veicinātu pienesumu SEG emisiju mazināšanai, videi un konkrētas saimniecības augsnei.

Lauzējveltņa tehnoloģijas praktiskās ieviešanas aspekti

Šīs tehnoloģijas veiksmīgai īstenošanai ir nozīmīgi vairāki faktori:

- ❖ atbilstošs LPA attīstības etaps, kad augu viskvalitatīvāk var aizlauzt – parasti pumpurošanās – pats ziedēšanas sākums [8];
- ❖ kvalitatīvas mulčas izveidei ir svarīgi augus tieši aizlauzt, nevis noguldīt. Augus noguldot, tie ceļas atpakaļ un turpina augt, bet aizlaužot – lēni beidz veģetāciju un sažūst (2. attēls);



2. attēls. Pareizi aizlauzts rudzu stiebrs

- pareiza lauzējveltņa konstrukcija un smagums, kas nodrošina kvalitatīvu aizlaušanu [20];
- optimāla augu biomasa, kas nodrošina kvalitatīvu mulčas slāņa izveidošanos [12].

Mērenā klimata zonā LzV tehnoloģijās visbiežāk izmantots daudzfunkcionālais rudzu–ziemas vīķu mistrs [8, 15, 3, 14]. Tā kā katrs no šiem augiem pilda savu funkciju, tiem abiem ir jānodrošina adekvāta proporcija sēklu maisījumā, vienlaikus nodrošinot pietiekamu biomasu, lai izveidotu funkcionējošu mulčas slāni. Ziemeļaustrumu Kanādā ir veikti vairāki pētījumi LzV tehnoloģiju adaptācijai [8]. Pēc tur apkopotiem datiem tīrsējā rudzi šai tehnoloģijai ir sējami no 110 līdz 300 kg ha⁻¹, ziemas vīķi tīrsējā – 30 kg ha⁻¹, bet ziemas rudzu/ziemas vīķu mistrā 110 + 20 kg ha⁻¹ vai 90 + 30 kg ha⁻¹. Savukārt Minesotā (ASV) ir izmantotas ļoti mazas ziemas rudzu un ziemas vīķu izsējas normas – attiecīgi 51+11 kg ha⁻¹ [3]. Latvijā veiktos pētījumos ir noskaidrots, ka optimāla izsējas norma ziemas rudzu/ziemas vīķu mistram ir attiecīgi 250+50 kg ha⁻¹, pie kā labvēlīgas ziemošanas un augsnes apstākļos var iegūt līdz pat 10 t ha⁻¹ biomasas. Rudzu/vīķu optimālais sējas laiks ir septembra vidus. Aizlaušana pavasarī veicama atbilstoši rudzu atbilstībai – atkarībā no tā, kad tie ir sasnieguši ziedēšanas fāzes sākumu, kad vismaz 50 % augu ir redzami ziedputekšņi (3. attēls). Parasti vīķi sāk ziedēt nedaudz agrāk.



3. attēls. Rudzu/vīķu zelmeņa aizlaušanas brīdis – rudzi tikko sāk ziedēt, vīķiem atvērušies pirmie ziedi

Tomēr aizlaušanas laiks ir kritiski jāizvērtē mitruma nodrošinājuma kontekstā – ja ir prognozes par ilgstošu sausumu, tad ar LPA aizlaušanu nedrīkst vilcināties, tā ir jāveic, kamēr vēl augsnē mitrums ir pietiekamā daudzumā [15]. Ir jāpārliedzinās par stiebru nobriešanas pakāpi, un, ja tie labi lūst, tad

labāk ir laicīgi aizlauzt, nesagaidot 50 % augu ziedēšanas sākumu, lai zelmenis netērētu mitruma resursu augsnē, bet aizlauzts sāktu jau to taupīt. Savukārt pie palielināta mitruma ir vērts pagaidīt nedaudz ilgāk – lai zelmenis izmanto lieko mitrumu un tad nekavējoši to aizlauzt. Tomēr jebkurā gadījumā aizlaušanas laiks ir jāizvērtē pēc konkrētiem apstākļiem un prognozēm. Ir vairāki aizlaušanas laika izvēles aspekti (1. tabula):

1. tabula

LAUKSAIMNIECĪBAS PAKALPOJUMAUGU AIZLAUŠANAS LAIKA PRIEKŠROCĪBU SALĪDZINĀJUMS

AGRĀK	VĒLĀK
Būs laiks atjaunoties augsnes ūdens resursiem (ja gaidāmi nokrišņi)	Vairāk iesilst augsne
Samazinās fitotoksiskais efekts (alelopātija)	Izaug lielāka biomasa
Mazinās slimību infekciju iespējas	Labāk nomāc nezāles alelopātijas rezultātā
Mulčas slānis sāk iežūt, kas atvieglo sekojošā auga sējas/stādīšanas procesu	Tauriņzieži vairāk spēj piesaistīt atmosfēras N
Ir mazāka C:N attiecība LPA biomasā	

Noteikti ir jāievēro arī tas, ka LPA, jo īpaši graudaugi, ir jāaizlauž vismaz divas trīs nedēļas pirms nākamā auga sējas/stādīšanas, lai mulčas kārtā iežūtu, līdz ar to vieglāk tajā būtu veikt nākamās tehnoloģiskās darbības – sēju vai stādīšanu – un mazinātos alelopātiskais efekts. Iežuvusi mulčas kārtā vieglāk pakļaujas (lūst) nākamā kultūrauga sējmašīnu vai stādāmo mašīnu lemešu iedarbībai, kas atvieglo nākamā auga sēju/stādīšanu. Visbiežāk Latvijas apstākļos rudzu vai rudzu/ziemas vīķu mistru aizlaušana notiek maija beigās–jūnija sākumā.

Nozīmīgs aizlaušanas laika ietekmējošais faktors ir augsnes temperatūra – Latvijas apstākļos labāk ir ļaut augsnei iesilt, kamēr vēl LPA nav aizlauzti, jo pēc tam mulča noēnos augsni un tās iesilšana aizkavēsies. Augsnes iesilšanas veicināšanai laikus, kamēr vēl LPA aug, ir nenobrieduši un pakļāvīgi, var izveidot uzfrēzētas vai sadiskotas slejas kultūraugu stādīšanai, atstājot rindstarpās LPA līdz to aizlaušanas gatavībai un tad aizlauzt (4. attēls) [15]. Tas arī mazinās alelopātisko efektu dārzaugu sējas/stādīšanas slejās, jo alelopātiskās vielas jau būs izdalījušās un to koncentrācija augsnē nebūs fitotoksiska. Turklāt LPA sadalīšanai slejā tiks patērēts mazāk augsnes N resursu, jo šajā stadijā augiem ir mazāka C:N attiecība.



4. attēls. Safrēzētas slejas LPA sējumā sagatavotas ķirbju stādīšanai

Latvijas klimatiskajos apstākļos visbiežāk izveidotajā mulčā audzējamie kultūraugi ir ķirbjaugi, pākšaugi, kāpostaugi un kukurūza. To nosaka gan augu morfoloģiskās īpatnības – tie ir vai nu stādāmi ar dēstu, vai tiem ir lielas sēklas, ko ir viegli iesēt LPA mulčā, kā arī tie ir vai nu siltummīļi un ir vēlu stādāmi/sējami vai arī to veģetācijas periods ir piemērots vēlai stādīšanai jūnija sākumā (ko nosaka LPA aizlaušanas gatavība).

Tā kā dārzaugu augšanas sākumā mulčas slāņa apakšā LPA atlieku mineralizācija vēl nav notikusi tik strauji, lai piegādātu šiem augiem pietiekošus N resursus, ir ieteicams veikt lokālu mēslošanu rindās ar N saturošiem mēsliem (vēlams, organiskas izcelsmes, lai sekmētu augsnes mikroorganismu darbību). Papildu N mēslojums augšanas sākumā sekmēs mulčā augošu augu attīstību, līdz ar to arī lapojuma izveidošanos, kas ierobežos nezāļu izplatību.

Pietiekoši biezs mulčas slānis ierobežos nezāļu dīgšanu un attīstību un samazinās nepieciešamību pēc to ierobežošanas pasākumiem. Tomēr jāņem vērā lauka vispārējais stāvoklis – nezāļu daudzveidība un daudzums. Ja ir spēcīga daudzgadīgo nezāļu populācija, LzV tehnoloģija neattaisnossies. Veģetācijas periodā mulčas slānis mineralizējas un kļūst plānāks, kas dod iespēju izspraukties nezāļu asniem un dīgstiem un pārņemt sējumu/stādījumu. Lai pēc iespējas ilgāk saglabātu mulčas slāni un tas sadalītos pēc iespējas lēnāk, C:N attiecībai biomasā ir jābūt ap 20:1. Pie mazākas attiecības mulčas slānis ātri sadalīsies un vairs nepildīs mulčas funkciju.

Vairums praktiķu, kas lieto LzV tehnoloģiju, atzīst, ka šīs tehnoloģijas pozitīvais rezultāts nav redzams uzreiz – paiet aptuveni 10–15 gadi, kamēr augsne tiek ielabota un kļūst atsaucīga šādām tehnoloģijām. Līdz ar to LzV tehnoloģija ir efektīvāka konservējošās augsnes apstrādes sistēmās (minimālās apstrādes vai bezaršanas) [21] nekā konvencionālā, intensīvā augsnes apstrādes sistēmā. LzV tehnoloģijas ekonomiskais izdevīgums ir atkarīgs no vairākiem faktoriem: no konkrētiem LPA augiem un tam sekojošiem ražas ieguves augiem; no meteoroloģiskiem apstākļiem; no augu sējas un aizlaušanas laika un metodes; no ieguldījuma efektivitātes augsnes auglības uzlabošanai un līdz ar to vides pakalpojuma ilgtspējā; no N mēslojuma un degvielas cenas; no LPA sēklu cenas (tauriņziežu sēklas parasti ir dārgākas nekā pārējo LPA sēklas); u. c. Tomēr augsto tauriņziežu cenu var atsvērt piesaistītā atmosfēras N apjoms, kas savukārt samazinās izdevumus par N mēslojumu. Rudzu tīrsējas LPA gadījumā ir nepieciešams papildus N mēslojums optimālas C:N attiecības iegūšanai, kas sekmētu rudzu sadalīšanos, neradot N deficītu pēcaugiem.

Latvijā veikto pētījumu apskats

Latvijā līdz šim īstenoti trīs projekti par lauzējveltna izmantošanu dārzkopībā. Pirmais nelielais izmēģinājums tika veikts Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centra lielāka projekta ietvaros, kur metodi pielietoja platības sagatavošanai pirms augļudārza stādīšanas. 2018. gadā uzsākts pētījums par LzV izmantošanu graudaugu audzēšanā.

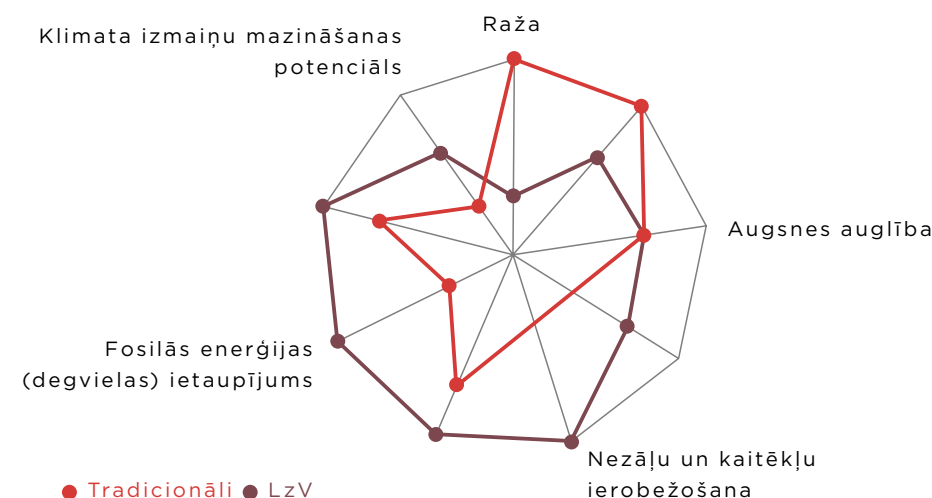
Plašāki pētījuma rezultāti tiks sniegti par diviem projektiem: “Augkopības sistēmas ieviešana dārzeņu audzēšanā, uzlabojot augsnes bioloģisko resursu izmantošanu un aizsardzību, izmantojot sedzējāugus (SoilVeg)”, kas tika īstenots Agroresursu ekonomikas institūta (AREI) Stendes pētījumu centrā *CORE Organic Plus* projektu ietvarā no 2015. līdz 2017. gadam un no 2018. līdz 2022. gadam realizējamu Zemkopības ministrijas finansētu demonstrējumu projektu “Ilgtspējīgu tehnoloģiju ieviešana dārzeņu audzēšanā augsnes auglības celšanai un efektīvai resursu izmantošanai”, kurā līdz šim iegūti četru veģetācijas sezonu rezultāti.

SoilVeg projekta ietvarā tika izgatavots pirmais lauzējveltnis Latvijā un tehnoloģija tika pirmo reizi pārbaudīta ne vien Latvijā, bet arī Igaunijā un Dānijā, kas klimata ziņā līdzīgas Latvijai. Projektā tika pārbaudīta hipotēze, ka, LPA augus neiestrādājot augsnē kā zaļmēslojumu, bet aizlaužot ar lauzējveltni un izveidojot mulčas slāni, tiek mazināti barības vielu zudumi un SEG emisijas. Šī hipotēze pierādījās, bet radās citi izaicinājumi. Analizējot iegūtos rezultātus, jāsecina, ka tie nebija iepriecinoši par labu LzV tehnoloģijai dārzeņu ražas kontekstā [16]. Dārzeņu augšana un attīstība bija tik vāja, ka raža LPA mulčas variantā Latvijā netika iegūta. Tomēr tika gūtas ļoti nozīmīgas atziņas, kas tiek izmantotas nākamajos projektos šīs tehnoloģijas adaptācijai Latvijas apstākļos: LzV tehnoloģija neder laukos, kas spēcīgi piesārņoti ar daudzgadīgajām nezālēm (piemēram, tīruma mīkstpiene (*Sonchus arvensis* L.), tīruma usne (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) un tīruma kosa (*Equisetum arvense*)); LPA biomasai ir jābūt virs 7 t ha⁻¹, lai nomāktu viengadīgo nezāļu augšanu; dārzeņiem LzV izveidotā mulčas variantā ir nepieciešams dot papildus N mēslojumu veģetācijas sākumā.

Dati, kas iegūti projekta ietvarā veidojot sistēmas provizoriskās ietekmes aprēķinus 30 gadu periodam, balstoties uz projektā iegūtajiem rezultātiem, paredz CO₂ emisiju mazinājumu par 0,7 t ha⁻¹ gadā pie esošajiem klimatiskajiem apstākļiem un par 0,86 t ha⁻¹ gadā CO₂ emisiju mazinājumu, un par 10 % augsnes N₂O emisiju samazinājumu pie nelabvēlīgiem klimata izmaiņu scenārijiem, salīdzinot zaļmēslojuma un lauzējveltna tehnoloģijas.

Arī, veicot fosilās enerģijas (degvielas) patēriņa analīzi, tika atrasti daži nozīmīgi aspekti: lauzējveltna tehnoloģija prasa mazāku degvielas patēriņu, salīdzinot ar tradicionālo zaļmēslojuma iestrādes tehnoloģiju, kur nepieciešama papildu zaļmasas sasmalcināšana un iestrāde. Pareizi ierīkota LzV mulčas tehnoloģija mazina arī enerģijas patēriņu nezāļu ierobežošanai un apūdeņošanai.

SoilVeg projekta ietvaros tika veikts komplekss visu dalībvalstu rezultātu izvērtējums, izveidojot tehnoloģiju salīdzinājuma diagrammu (5. attēls). Tā uzskatāmi parāda atšķirības starp abām pārbaudītajām sistēmām – tradicionālā tehnoloģija (oranžs) un LzV tehnoloģija (zaļš).



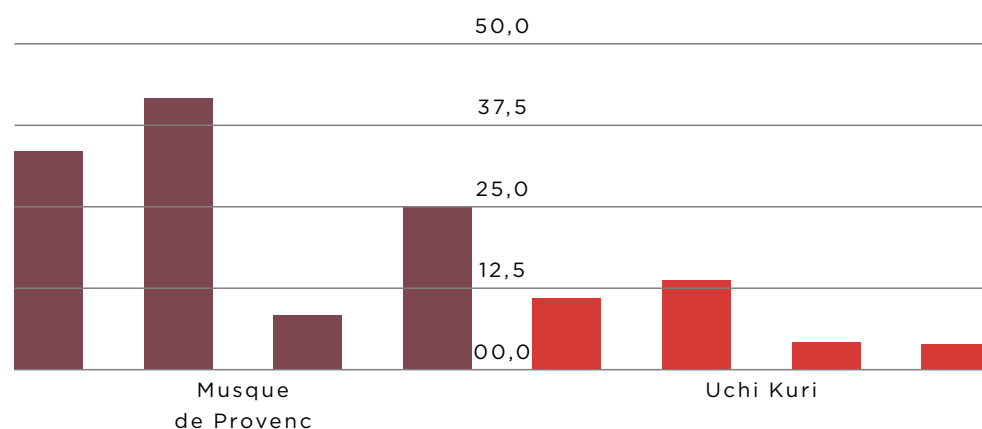
5. attēls. Lauzējveltna tehnoloģijas (LzV) un tradicionālās zaļmēslojuma iestrādes tehnoloģijas salīdzinājums, izvērtējot ietekmi uz lauksaimniecības sistēmas parametriem

Aplūkojot diagrammu, redzams, ka lauzējveltna izmantošana dod lielāku pozitīvo ietekmi uz vides elementiem, tādiem kā klimata izmaiņu mazināšana, neatjaunojamo resursu (degviela) izmantošanas mazinājums, barības vielu izskalošanās mazināšanās un bioloģiskā daudzveidības palielināšanās. Tomēr šī tehnoloģija mazina dārzeņu ražas iznākumu un tās kvalitāti.

Pie šī izaicinājuma pētījumi turpinās projektā "Ilgtspējīgu tehnoloģiju ieviešana dārzeņu audzēšanā augsnes auglības celšanai un efektīvai resursu izmantošanai" pēc četrus gadus rezultātiem arī gūti vairāki vērtīgi secinājumi un novērojumi. Galvenais izaicinājums – iegūt apmierinošas dārzeņu ražas joprojām pastāv. Pirmajā gadā ziemas rudzu/ziemas vīķu aizlauztā mistra mulčā tika audzēti ķirbji. Tā bija 2018. gada sausā vasara, kad arī mulča nepalīdzēja mitruma uzturēšanā sakņu zonā, jo nokrišņu vienkārši nebija – nebija ko uzturēt. Turklāt LPA bija patērējuši mitruma resursus augsnē biomasas veidošanai, augsne bija sablīvējusies, ķirbji praktiski neauga. Lai arī tika dots papildu N mēslojums un augi tika laistīti, ražas nebija. Kontroles variantā, kur augsne bija sastrādāta ar diskiem pavasarī pirms ķirbju stādīšanas, ķirbji auga labāk, tomēr raža arī tur bija ļoti zema. Papildus vājajai augu attīstībai bija novērojama ļoti spēcīga vīķu ataugšana. Tas, ka vīķi kvalitatīvi neaizlūza, bet atauga, nelabvēlīgi ietekmēja C:N attiecību mulčas biomasā, kur trūka N mikroorganismu darbībai un tas tika

ņemts no augsnes resursiem. Ķirbjiem nepietika augsnē esošā N kvalitativas augu masas izveidošanai, un sausuma apstākļos tie nespēja uzņemt arī to N mēslojumu, kas tika dots kā papildmēslojums. Laistīšanas iespējas bija ierobežotas, tas tika darīts, bet tik liela mitruma deficītu nebija iespējams kompensēt. Veicot augsnes C analīzes abos variantos 2018. gada rudenī redzams, ka LzV variantā C augsnē bija divas reizes vairāk nekā kontroles variantā bez LPA, attiecīgi 2,01 un 1,13 %. Tātad, neskatoties uz citiem trūkumiem, C piesaiste augsnē bija notikusi.

Labāka gan meteoroloģisko apstākļu, gan audzēšanas tehnoloģisko risinājumu ziņā bija 2019. gada sezona. Tika salīdzināts tradicionālais augsnes apstrādes veids (kontrolē) – bez LPA audzēšanas ar diviem LPA variantiem: audzējot rudzus tīrsējā un rudzu/vīķu mistru. LPA varianti vēl tika sadalīti divos apakšvariantos – 1) pavasarī rudzu/vīķu mistrs iestrādāts kā zaļmēslojums un 2) LPA aizlauzti ar LzV un izveidota mulča. Aizlaušana tika veikta 3. jūnijā, bet zaļmēslojuma variantā LPA iestrādāti ar disku kultivatoru maija beigās. Nedēļu pēc aizlaušanas tika iestādīti divu šķirņu ķirbji (*“Musque de Provenc”* un *“Uchi Kuri”*). Ķirbju raža 2019. gadā iegūta visos variantos, lai gan mulčas variantā tā joprojām atpaliek no nemulčētā varianta (6. attēls).



6. attēls. Divu ķirbju šķirņu raža pie tradicionālās augsnes apstrādes bez zaļmēslojuma (kontrolē), ar iestrādātu rudzu/zīmas vīķu zaļmēslojumu (ZM iestrādāts), LzV rudzu un LzV rudzu/vīķu mulčā, t ha⁻¹

Nedaudz augstāka raža nekā kontroles variantā abām ķirbju šķirnēm bija pēc iestrādāta rudzu/zīmas vīķu zaļmēslojuma, palielinājums gan nebija būtisks. Tātad zaļmēslojuma augi ir devuši pienesumu augsnes auglībai, kas atspoguļojās ražā. Lai gan daudzi integrētās vai minimālās augsnes apstrādes piekritēji, kas ilgstoši strādā šajā sistēmā, ir norādījuši, ka LPA efekts nav tūlītējs – tas parādās pēc vairāk nekā desmit gadiem (Genys V. pers. kom. un [15]) –, tomēr darbaspēka un enerģijas ietaupījums LzV

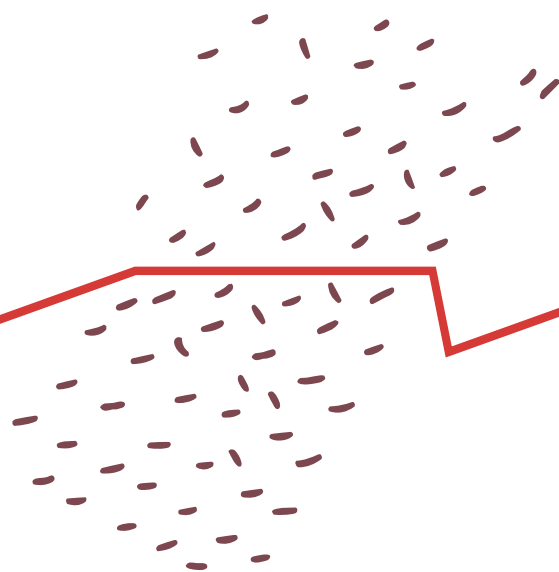
tehnoloģijā ir tūlītējs, jo, lietojot mulču, augi nav jāravē un nav jāapstrādā rindstarpas nezāļu ierobežošanai. Te gan jāpiebilst, ka laukam ir jābūt iepriekš attīrītam no daudzgadīgajām nezālēm.

LzV tehnoloģiju pētījumu rezultāti arī citur pasaulē liecina, ka Latvijas klimatiskajiem apstākļiem līdzīgos (Kanāda un ASV ziemeļu daļa) LzV tehnoloģijā arī ir vērojama samazināta raža salīdzinājumā ar bez mulčas tehnoloģiju. Vairāki autori norāda uz rudzu alelopātisko efektu, kas mazina pēcaugu ražas [22, 8, 3]. Pēc ASV pētnieku ieteikuma LPA laukā ir jāveido uzfrēzētas vai sadiskotas slejas kultūraugu stādīšanai, savukārt pārējā laukā LPA ļaut augt līdz to aizlaušanas gatavībai un tad aizlauzt [15]. Tomēr arī šādu tehnoloģiju pārbaudot iepriekšminētajā projektā “Ilgtspējīgu tehnoloģiju ieviešana dārzu audzēšanā augsnes auglības celšanai un efektīvai resursu izmantošanai” 2020. un 2021. gadu sezonās, joprojām netiek iegūta apmierinoša ķirbju raža.

Līdzšinējo pētījumu rezultāti ļauj secināt, ka LzV tehnoloģijas izmantošana dārzu audzēšanā vēl ir jāadaptē, bet daudzgadīgo augu stādījumos tā varētu būt perspektīva. Visefektīvāk LzV tehnoloģiju būtu izmantot daudzgadīgo stādījumu rindstarpu kopšanā. Itālijā nācies redzēt bioloģisko ķiršu stādījumu, kurā ilgstoši izmantota LzV tehnoloģija, rindstarpās audzējot LPA mistrus ar tauriņziežiem. Gan augi, gan augsne šajā dārzā bija veselīgi un auglīgi. Latvijā šādu tehnoloģiju jau vairākas sezonas sekmīgi pielieto Lielvārdes novadā jaunā ābeļu stādījumā, audzējot dažādus LPA maisījumus. Pagaidām augļukoki attīstās labi, tie ir veselīgi, ar labu pieaugumu.

Secinājumi

Lauzējveltņa tehnoloģija ir perspektīva klimata izmaiņu mazināšanas, augsnes auglības uzlabošanas, bioloģiskās daudzveidības palielināšanas un ilgtspējīgas saimniekošanas attīstības kontekstā. Tomēr tai ir savi izaicinājumi, kas Latvijas klimatiskajos apstākļos vēl ir jārisina – pietiekoši lielas biomasas ieguve, kas nodrošina efektīvu mulčas funkciju, mitruma resursa uzkrāšana augsnē pirms LPA aizlaušanas, ražojošo dārzaugu nodrošināšana ar barības elementiem veģetācijas sākumā, kamēr vēl nav mineralizējusies aizlauzto LPA atliekas.



Literatūra

1. Woods J., Williams A., Hughes J. K., Black M., Murphy R., 2010. Energy and the food system. Philosophical transactions of the Royal Society of London. *Series B, Biological sciences*, 365(1554), 2991-3006.
2. EUROSTAT, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Archive:Agriculture_-_greenhouse_gas_emission_statistics#Agriculture.27s_contribution (Skatīts 04.02.2020.)
3. Leavitt M. J., Sheaffer C. C., Wyse D. L., Allan D. L., 2011. Rolled winter rye and hairy vetch cover crops lower weed density but reduce vegetable yields in no-tillage organic production. *HortScience*, Vol 46 (3), 387-395.
4. Canali S., Coopman F., Mini-paper - Agro-ecological Service Crops to mitigate the risk of nitrate leaching from vegetable cropping systems: https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/3_mini-paper_asc.pdf (Skatīts 04.02.2020.)
5. Canali S., Campanelli G., Bavec F., Von Fragstein P., Leteo F., Jacop M., Kristensein H. L., 2014. Do living mulch based vegetable cropping systems yield similarly to the sole ones? *Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference 'Building Organic Bridges'*, at the Organic World Congress 2014, 13-15 Oct. Istanbul, Turkey (eprint ID 23521).
6. Canali S., Diacono M., Campanelli G., Montemurro F., 2015. Organic No-Till with Roller Crimpers: Agro-ecosystem Services and Applications in Organic Mediterranean Vegetable Productions. *Sustain Agric Res*, 4:70.
7. Aronsson H., 2000. Nitrogen Turnover and Leaching in Cropping Systems with Ryegrass, Catch Crops. Doctoral thesis. ISSN 1401-6249, ISBN 91-576-5739-4
8. Halde C., Gagné S., Charles A., Lawley Y., 2017. Organic No-Till Systems in Eastern Canada. A Review. *Agriculture*, 7, 36
9. Rodale Institute, Organic no-till: <https://rodaleinstitute.org/why-organic/organic-farming-practices/organic-no-till/> (Skatīts 04.02.2020.)
10. Cornell University, 2019. Fertilizer plants emit 100 times more methane than reported. *ScienceDaily*, Retrieved October 12, 2019: www.sciencedaily.com/releases/2019/06/190606183254.htm (Skatīts 04.02.2020.)

11. Vincent-Caboud L., Vereecke L., Silva E., Peigné J., 2019. Cover Crop Effectiveness Varies in Cover Crop-Based Rotational Tillage Organic Soybean Systems Depending on Species and Environment. *Agronomy*, 9, 319.
12. Zinati G., J. Moyer, R. Moore, 2016. Demonstrating the Use of Roller Crimper Technology and Starter Fertilizer in No-Till Organic Corn. Rodale institute.
13. Moyer J., An introduction to the organic no-till farming method: <https://www.ecofarming-daily.com/build-soil/tillage/book-week-organic-no-till-farming/> (Skatīts 04.02.2020.)
14. Sievers T., Cook R. L., 2018. Aboveground and Root Decomposition of Cereal Rye and Hairy Vetch Cover Crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 82: 147-155.
15. Balkcom K., Schomberg H., Reeves W., Clark A., 2007. Managing Cover Crops in Conservation Tillage Systems. In: Clark, A. (ed.), *Managing cover crops profitably*. 3rd ed. SARE Outreach Handbook Series Book 9. National Agricultural Laboratory, Beltsville, MD.
17. Ieviņš Ģ., 2016. Augu fizioloģija. Funkcijas un mijiedarbība ar vidi. Rīga: LU Akadēmiskais apgāds. 607 lpp.
18. OACC, Module 4: Green Manures and Weed Management: <https://www.pivotandgrow.com/resources/production/green-manures/module-4-green-manures-and-weed-management/> (Skatīts 04.02.2020.)
19. Björkman T., Lowry C., Shail J. W., Brainard D. C., Anderson D. S., Masiunas J. B., 2009. Mustard Cover Crops for Biomass Production and Weed Suppression in the Great Lakes Region. *Agronomy Journal*, 107, 4, 1235-1249.
20. Kornecki T. S., Price A. J., Raper R. L., Arriaga F. J., 2009. New roller crimper concepts for mechanical termination of cover crops in conservation agriculture. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 24, 3, 165-173.
21. Bruce R. R., Langdale G. W., Dillard A. L., 1990. Tillage and crop rotation effect on characteristics of a sandy surface soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53: 1744-1747.
22. Campanelli G., E. Testani, S. Canali, C. Ciaccia, F. Leteo & A. Trinchera, 2019. Effects of cereals as agro-ecological service crops and no-till on organic melon, weeds and N dynamics. *Biological Agriculture & Horticulture*, 35, 275-287.

UZTVĒRĒJAUGU IZMANTOŠANA OGLEKĻA UN SLĀPEKĻA SAVIENOJUMU PIESAISTEI AUGSNĒ

LĪGA LEPSE UN SANDRA DANE

APP Dārzkopības institūts,
Graudu iela 1, Ceriņi,
Krimūnu pag., Dobeles nov.,
LV-3701, Latvija
e-pasts: liga.lepse@llu.lv

levads

Klimata izmaiņas pasaulē uzskata par vienu no mūsdienu sabiedrības un cilvēces attīstības "sasniegumiem" ar nevēlamām blakusefektēm. Jūtamākais un saimnieciski nozīmīgākais ir siltumnīcas efekts, kas lielā mērā radies, palielinoties oglekļa dioksīda un citu gāzu koncentrācijai atmosfērā. Pastāv divi risinājumi siltumnīcefekta gāzu (SEG) koncentrācijas mazināšanai atmosfērā: viens no risinājumiem ir ierobežot to emisijas atmosfērā, otrs – piesaistīt atmosfērā esošās SEG. Otrā risinājuma gadījumā lauksaimniecībā un mežsaimniecībā SEG var piesaistīt augsnei vai ilggadīgos stādījumos (mežos, dārzos). Klimata pārmaiņu starpvaldību padomes (IPCC) vadlīnijās SEG ierobežošana un ekosistēmas un saimniekošanas mehānismu pielāgošana esošajām klimata pārmaiņām ir minētas kā vieni no turpmākās saimnieciskās darbības mērķiem [1]. Tā kā ZIZIMM sektors (zemes izmantošana, zemes izmantošanas maiņa un mežsaimniecība) pasaulē rada 24 % no tiešajām SEG emisijām [1], tad šajā sektorā veiktās SEG mazināšanas darbības varētu atstāt būtisku ietekmi uz klimata izmaiņu procesu. Latvijā ir aprēķināts, ka ZIZIMM sektors rada 22,3 % no SEG emisijām, kas arī ir būtisks īpatsvars kopīgā SEG emisiju apjomā. [1]

No 2014. līdz 2021. gadam Latvijā ir realizēti vairāki nozīmīgi projekti ZIZIMM sektorā par SEG emisijām un piesaisti sektorā. Kā piemērus var minēt *LIFE REstore*, [2] "Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto SEG emisiju un CO₂ piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana"² un LLI-49 projekts CATCH POLLUTION "Catch crops and their growing potentials". [3] Īsi raksturojot iegūtos rezultātus, redzams, ka nitrātu savienojumu un CO₂ piesaiste, kā arī emisijas, atšķiras starp kultūraugiem atkarībā no to veidotās biomasas (gan virszemes, gan pazemes), bioloģiskajām īpatnībām un augsnes apstrādes veida.

Arī ārpus Latvijas ir veikti pētījumi par SEG emisiju mazināšanu un CO₂ piesaisti ZIZIMM sektorā, un tieši lauksaimniecībā. Salīdzinoši daudz pēdējās desmitgadēs tiek pētīta zaļmēslojuma vai uztvērējaugu ietekme ne vien uz augsnes īpašībām, bet arī to pielietošanas lietderība klimata izmaiņu kontekstā. Zaļmēslojuma pielietojums lauksaimniecībā nav nekas jauns, tā ir jau gadsimtiem lietota tehnoloģija augsnes auglības palielināšanai.

- 1 2020. gadā iesniegtās siltumnīcefekta gāzu inventarizācijas kopsavilkums, Rīga, 2020: https://www.meteo.lv/fs/CKFinderJava/userfiles/files/Vide/Klimats/Majas_lapai_LVGMC_2020_seginvkopsavilkums.pdf
- 2 <https://www.llu.lv/lv/projekti/apstiprinatie-projekti/2020/aramzemes-un-ilggadigo-zalaju-apsaimniekosanas-radito>
- 3 <https://www.arei.lv/sites/arei/files/2019-09/Catch%20crops%20and%20their%20growing%20potentials.pdf>

Tomēr pēdējā laikā šim tehnoloģiskajam risinājumam ir piešķirta papildu nozīme tieši klimata izmaiņu mazināšanā. Šajā rakstā lielāka vērība tiks veltīta uztvērējaugu, kā viena no zaļmēslojumu augu funkcionālajām grupām, izmantošanas iespējai agroekoloģisko pakalpojumu nodrošināšanā. Tiks apskatīta arī šo augu efektivitāte oglekļa (C) un slāpekļa (N) savienojumu piesaistē augsnē, pamatojot to ar pētījumu rezultātiem un pieredzi Latvijā un citviet pasaulē.

Uztvērējaugu ietekme uz klimatu

Lauksaimniecībā izmantojamās zemes vēsturiski veidotas, atmežojot aizaugušās teritorijas. Patlaban tās tiek uzskatītas par vienu no lielākajiem CO₂ emitētājiem. Īpaši 20. gadsimta laikā izmantotās intensīvās augsnes apstrādes tehnoloģijas – augsnes apvēršana, melnās papuves un intensīva augsnes apstrāde/audzēšana – noved pie augsnes oglekļa savienojumu straujas mineralizācijas un CO₂ un N₂O izdalīšanās atmosfērā, vienlaikus arī mazinot augsnes auglību. Literatūrā ir minēti aprēķini, kas liecina, ka, nepievēršot uzmanību augsnes izmantošanas veidam un mineralizācijas procesiem augsnē turpinoties kaut vai tikai 10 % apjomā no līdzšinējiem, no augsnes tiks emitēts tāds CO₂ apjoms, kas būs ekvivalents 30 gados emitētām antropogēnajām oglekļa emisijām [2]. Kopš intensīvās lauksaimniecības tehnoloģiju ieviešanas no augsnes ir emitēti jau 78 miljoni tonnu C [3]. Tomēr zinātniski ir pierādīts, ka, uzlabojot un pilnveidojot augsnes apstrādes un izmantošanas tehnoloģijas, ir iespējams samazināt šīs emisijas un piesaistīt CO₂ augsnē. Ideju par mērķtiecīgu CO₂ piesaisti augsnē viens no pirmajiem publicēja F. J. Dīsons (*Dyson*) 1977. gadā [2]. Pašlaik pēc FAO datiem tiek lēsts, ka, uzlabojot un pilnveidojot augsnes izmantošanas tehnoloģijas, 25 gados ir iespējams augsnē piesaistīt 20 miljonus tonnu C, kas veidotu aptuveni 10 % no antropogēnajām (cilvēces radītajām) emisijām. Pēc IPCC aplēsēm visas planētas augšņu C piesaistes potenciāls ir 1,2 miljardi tonnu gadā [1].

Bioloģiskās C piesaistes augsnē ideja balstīta uz to, ka fotosintēzes procesā ar zaļajiem augiem uz planētas CO₂ tiek piesaistīts 20 reizes lielākā apjomā, nekā ik gadus tiek emitēts atmosfērā. Fotosintēzes procesā radītie ogļhidrāti (C savienojumi) veido augu biomasu (gan virszemes, gan pazemes). Tiek uzskatīts, ka atkarībā no sugas augu biomasu aptuveni 40–50 % apmērā veido C savienojumi [4, 5]. Šo biomasu iestrādājot augsnē, ogleklis tiek iesaistīts augsnes bioloģiskajos procesos, pārvēršoties augsnes organiskajā masā [6]. Tā tiek uzskatīta par netiešo CO₂ piesaisti augsnē. Tiešā CO₂ piesaiste augsnē notiek reakcijās ar kalciju (Ca) un magniju (Mg), veidojot karbonātus. Arī Kioto protokolā C piesaiste augsnē ir minēta kā viena no nozīmīgākajām aktivitātēm, kas veicama klimata izmaiņu mazināšanai [7].

Aplūkojot konkrētus agrotehnoloģiskos risinājumus un mehānismus C piesaistei augsnē, viens no nozīmīgākajiem ir stabilu un grūti mineralizējamu augsnes organiskā oglekļa (AOO) savienojumu veidošanās sekmēšana. Kā to paveikt? Pastāv vairāki agrotehnoloģiskie risinājumi, kas to nodrošina: bezaršanas tehnoloģijas; kvalitatīvs augu barības elementu nodrošinājuma menedžments (īpaši uzmanību veltot slāpekļa (N) nodrošinājumam, kas sekmē stabilu AOO savienojumu veidošanos); augu atlieku iestrāde augsnē; augsnes mikroorganismu daudzveidības uzturēšana, īpaši palielinot mikroskopisko augsnes sēņu īpatsvaru; kā arī dažādu veida zaļmēslojumu intensīva izmantošana, kas dod ieguldījumu teju visos iepriekš minētajos risinājumos.

Kāpēc stabilā C piesaistē augsnē ir nozīmīga augsnes mikrobioloģiskā daudzveidība, īpaši sēņu/baktēriju attiecība? A. A. Maliks ar līdzautoriem, savā pētījumā izmantojot modernas biotehnoloģiskas metodes, ir noskaidrojuši, ka lielākā sēņu/baktēriju attiecībā (virs 4) augsne ir mikrobioloģiski stabilāka un līdz ar to piesaista vairāk C [8]. Arī D. Džonsons no Ņūmeksikas Valsts Universitātes ilgstošu pētījumu rezultātā secinājis, ka, palielinot šo attiecību par labu mikroskopiskajām augsnes sēnēm, CO₂ piesaiste ir stabilāka un ilgtspējīgāka, jo baktērijās C ir iesaistīts vienkāršos savienojumos, bet sēnēs – saliktos kompleksos savienojumos. Turklāt mikroskopiskās sēnes, tajā skaitā arī arbuskulārās mikorizas sēnes, izdala daudzveidīgus eksudātus – tajā skaitā dažādus ogļhidrātus, kuri augsnē veido savienojumus pat ar 40 gadu noturību [9]. Līdz ar to mineralizācijas procesā mazāk CO₂ tiek emitēts atpakaļ atmosfērā. Autori īpaši uzver *Aspergillus sp.* sēņu lomu augsnes C piesaistē. Šīs ģints sēnes autori uzskata par indikatoru, kas liecina par augsnes sēņu klātbūtni konkrētā augsnē un līdz ar to par pareizu C un N apriti konkrētajā ekosistēmā [10].

Mikroskopisko sēņu lielākais potenciāls C piesaistē salīdzinājumā ar baktērijām ir secināms arī no to atšķirīgas C un N attiecības – baktērijām tas ir 3–6:1, bet sēnēm 5–15:1. Tas norāda uz to, ka sēnēm ir nepieciešams mazāk N saturošu barības vielu salīdzinājumā ar baktērijām. Tas savukārt nozīmē, ka pie vienāda C nodrošinājuma, bet ierobežota N, tiks sekmēta sēņu attīstība, bet pie palielināta N – baktēriju [11]. Tātad, lai sekmētu ilgstošu un stabilu C piesaisti, ir jāveicina sēņu attīstība augsnē. Savukārt pārlietu lielas N devas (vienalga – organiskas vai minerālas izcelsmes) sekmēs baktēriju attīstību. Līdz ar to ir nozīmīgi saglabāt N nodrošinājumu augsnē līdzsvarā – lai tā pietiktu augu biomasas izveidei, bet nepaliktu pāri pastiprinātai baktēriju attīstībai augsnē. Šo līdzsvaru var panākt, ieviešot atbilstošu augseku, kurā iekļauti daudzveidīgi zaļmēslojuma augi mēslojumam un uztvērējauga funkcijām. Ideālā zaļmēslojuma augu C/N attiecība ir 24:1 (1. tabula). Šāda sastāva zaļmēslojums nodrošina sabalansētu substrātu baktēriju un sēņu darbībai un optimālu barības elementu apriti [12].

Zinātniskajā literatūrā ir atrodams salīdzinoši ierobežots materiālu klāsts par pētījumiem zaļmēslojuma augu izmantošanā, īpaši mūsu – mitrā kontinentālā klimata zonā un tieši uztvērējauga funkcijas kontekstā. Tomēr tas ir pietiekams priekšstats gūšanai un tehnoloģijas lietderības izvērtējumam. Zaļmēslojuma definīcija: zaļmēslojums ir mērķtiecīgi audzētu augu masa, ko iestrādā augsnē tās auglības uzlabošanai. Visi zaļmēslojuma augi ir uzskatāmi par C uztvērējaugiem. No zaļmēslojuma augiem tiešu peļņu negūst. Zaļmēslojuma augi var tikt iekļauti augsekas shēmā vai iestarpināti kā starpkultūra [13, 14]. Agrāk zaļmēslojumu uztvēra galvenokārt kā atmosfēras slāpekļa piesaistītāju un organiskās vielas paaugstināšanas avotu augsnes auglības nodrošināšanai, tādēļ to sauca par zaļmēslojumu. Mūsdienās zaļmēslojums ieguvis daudz plašāku nozīmi. Tā kā augiem, ko izvēlas zaļmēslojumam vai kā uztvērējaugu, ir noteikta loma un agrotehnisks audzēšanas mērķis un uzdevums, tad var tos saukt arī par agroekoloģiskiem (vai lauksaimniecības) pakalpojumaugiem (*agroecological service crop*) [15, 16]. Lai arī katrai augu sugai ir kāda vairāk izteikta īpašība, kādēļ tieši šo augu audzē, nevienam no tiem neizmanto tikai kā lauksaimniecības pakalpojumaugu [17]. Rakstā turpmāk vairāk analizēti zaļmēslojuma augi kā uztvērējaugi.

Uztvērējaugus audzē galveno kultūraugu starplaikā, un tie savas biomasas veidošanai izmanto barības elementus, kas citādi izskalotos, tādējādi noturot tos laukā, saistītus organiskajā masā. Visbiežāk uztvērējaugus iesaka audzēt tūlīt pēc tauriņziežiem, kas augsnē ir piesaistījuši nozīmīgu daudzumu slāpekļa simbiozē ar gumiņbaktērijām. Biomasas veidošanai uztvērējaugi N uzņem gan no augsnes, gan no atmosfēras. Bieži šie augi arī šķīdina augsnē grūti šķīstošos savienojumos esošos, sugai specifiski nepieciešamos barības elementus. Līdz ar to šie elementi tiek saturēti aramkārtā augu sakņu sistēmā un virszemes daļas biomasā. To iestrādājot augsnē, sugai specifisks barības elementu spektrs nonāk augsnē un biomasas mineralizācijas procesa rezultātā kļūst pieejams pēcaugiem un augsnes mikroorganismiem. Piemēram, krustzieži (rutki, sinepes, rapši, ripši u. c.) ir lielisks sēra (S) avots, tie veicina augiem izmantojamu sēra savienojumu izveidi augsnē (līdz pat 12 kg S ha⁻¹) [18]. Tauriņzieži piesaista atmosfēras slāpekli simbiozē ar gumiņbaktērijām, kas veidojas uz saknēm, tā piesaistot līdz pat 150 kg N ha⁻¹ [19].

Vienlaikus ar sugai specifiskiem agroekoloģiskajiem pakalpojumiem visi uztvērējaugi veic nozīmīgo vides pakalpojumu klimata izmaiņu mazināšanai – veido biomasu, fotosintēzē piesaistot atmosfēras CO₂. Iestrādājot šo biomasu, augsnē veidojas oglekļa depozīts. Pēc citās valstīs veiktiem pētījumiem uztvērējaugi augi spēj piesaistīt augsnē no 0,3 līdz 1 t ha⁻¹ C gadā [20, 21]. Augsnē bioloģiski saistītais ogleklis (BSO) šo augu audzēšanas gadījumā palielinājās par 0,2–0,4 t ha⁻¹ C gadā [21, 22]. Ieviešot

kompleksu augsnes apstrādes un menedžmenta sistēmu mērķtiecīgai BSO krājuma palielināšanai, augsnē var piesaistīt 5–10 t C ha⁻¹ gadā [3]. BSO ir nozīmīgs tādēļ, ka pie pareizas augsnes apstrādes sistēmas tas ir ilgstošs C depozīts augsnē, vienlaikus palielinot augsnes bioloģisko aktivitāti un arī auglību [9].

Iepriekš vairāk runāts par C piesaisti, tomēr pie SEG emisijām klimata izmaiņu mazināšanas kontekstā noteikti ir pieminams arī slāpeklis (N) kā ekoloģiski jutīgākais elements augsnē gan no vides piesārņojuma viedokļa, gan, no pareiza un efektīva C piesaistes viedokļa, kā jau iepriekš minēts. Tā piesaistei no atmosfēras parasti izmanto tauriņziežus. Tomēr ir jāņem vērā, ka agroekosistēmā ir arī citi N avoti (augu atliekas, organiskas izcelsmes mēsli, minerālmēsli). Slāpeklis tiek izmantots augsnes mikrobioloģiskajos procesos, bet bieži vien tas paliek pāri un tiek izdalīts apkārtējā vidē. Šis N emisijas rodas, augu atliekām sadaloties, ja tās netiek iesaistītas stabilos augsnes organisko vielu kompleksos [23]. Līdz ar to, augsne ir arī nozīmīgs N₂O emitētājs, turklāt augos nesaistītie slāpekļa savienojumi kā ļoti kustīgs elements ātri vien izskalojas un nokļūst virszemes notekūdeņos. Izteikti šis process notiek rudens–ziemas periodā, kad ir intensīvi nokrišņi un augsne ir bez veģetācijas. Tā kā pēdējos gados ziemā augsne reti kad ir sasalusi, šis process notiek salīdzinoši intensīvi, radot nopietnus barības elementu zudumus lauksaimniecības zemēs. Lai novērstu N savienojumu izskalošanos šai periodā un veicinātu tā piesaisti augsnē organiskos savienojumos (jo īpaši pēc tauriņziežu audzēšanas), ir ieteikts audzēt ziemājus kā uztvērējaugus, kas piesaista N savienojumus un notur tos aramkārtas līmenī līdz pavasarim, kad šos augus iestrādā augsnē vai izmanto mulčas slāņa veidošanai. Tālāk to atliekas sāk sadalīties un pakāpeniski izdala N augsnē, ļaujot to uzņemt sekojošajiem augiem. Šim nolūkam vislabāk der ziemāji (rudzi, rapsis, ziemas vīķi, ziemas ripsis) [24], bet der arī augi, kas izveido zaļo masu vasaras otrajā pusē–rudens periodā (mieži, auzas, redīsi, sinepes) un ziemas periodā atstāti uz lauka sāk sadalīties, līdz pavasarim jau sadaloties pilnībā, tā agri nodrošinot sekojošajiem augiem viegli pieejamus barības elementus, bet augsnes mikroorganismiem – viegli pieejamu C, ko iesaistīt stabilos organiskajos savienojumos. Lietojot tauriņziežus kā uztvērējaugu papildu barības elementu piesaistei no augsnes un atmosfēras, nozīmīgi tiks samazinātas arī N₂O emisijas [25].



Uztvērējaugu praktiskās ieviešanas aspekti

Turpmāk rakstā apkopota informācija par Latvijas apstākļiem piemērotākajiem uztvērējaugiem un to audzēšanas īpatnībām.

Rudzi (*Secale cereale*) veido biomasu aptuveni 7–9 t ha⁻¹ apjomā atkarībā no augšanas apstākļiem un izsējas normas, piesaistot pat līdz 100 kg ha⁻¹ N, bet biežāk līdz 50 kg ha⁻¹. Pie vidējas biomasas tie augsnē ienes līdz pat 3,5 t ha⁻¹ oglekļa gadā. Rudzu C:N attiecība variē no 40:1 līdz 80:1 atkarībā no nobriešanas pakāpes – ziedēšanas sākumā ap 40:1, salmiem ap 80:1, kas ir salīdzinoši liels C īpatsvars [24]. Turklāt rudzu sakņu sistēma uznes augsnes virskārtā arī augiem izmantojamo kāliju (K) un uzlabo augsnes drenāžu, nodrošinot augsnes dziļākos slāņus ar ūdens resursu. Rudzus var sēt arī slejās, veidojot kulišu stādījumus dārzkopības saimniecībās. Kulišu stādījumi ir dažāda auguma augu jaukti sējumi/stādījumi, kur augstāka auguma augi zemāk augošos augus pasargā no vēja, tādējādi radot maigāku mikroklimatu un mazinot ūdens iztvaikošanu. Šāda pieredze ir gūta L. Mucenieces saimniecībā, kur rudzu slejas mijās ar ķirbju un kabaču stādījumiem (1. attēls).



1. attēls. Rudzu slejas atstātas kā kulišu stādījums ķirbjaugu laukā. *Autores foto*

Rudzi ļoti labi nomāc nezāles to izteiktās alelopātijas (citu augu augšanu ierobežojošu vielu izdalīšanās) rezultātā. Alelopātijas dēļ iesaka pēc rudzu iestrādes augsnē nogaidīt līdz divām nedēļām, pirms sēt nākamo kultūraugu. Rudzus var sēt septembrī, siltā rudenī pat vēl oktobrī, jo tie dīgst pat pie +4 °C temperatūras un augšanu turpina 1–2 °C temperatūrā. Rudzu iestrādi augsnē pavasarī ieteicams veikt līdz ziedēšanai vai ziedēšanas fāzes sākumā. Tomēr agrotehnoloģisku vajadzību gadījumā to var veikt arī ātrāk.

Tā kā rudziem ir salīdzinoši liela C:N attiecība, tad mikroorganismu darbības efektivitātes palielināšanai un stabili BSO savienojumu izveidei ir vēlams palielināt N ienesi augsnē. Lai to nodrošinātu, ieteicams veidot zie-mojošu uztvērējaugu mistrus (jauktos stādījumus/sējumus). Laba kombinācija ir ziemas rudzi/ziemas vīķi (2. attēls), jo vīķu C:N attiecība ir 8:1 līdz 15:1 [24].

Ziemas vīķu (*Vicia villosa*) veģetācijas atjaunošanās pavasarī ir diezgan strauja, jo gumiņi jau ir izveidoti un darbojas (1. attēls), piesaistot līdz 123 kg ha⁻¹ N [25]. Vīķu C:N attiecība ir zema. Turklāt vīķi strauji veido zaļo masu, tādējādi nomācot nezāles. Šis apstāklis kopā ar rudzu alelopātiskajām īpašībām nodrošina šī mistra augsto pavasarī dīgstošo nezāļu nomākšanas potenciālu. Literatūrā ir minēti dažādas izsējas normas ziemas rudzu/vīķu mistram: sākot no minimālām normām – 40–70 kg ha⁻¹ rudzi + 15–25 kg ha⁻¹ ziemas vīķi [24] līdz pat 150–160 kg ha⁻¹ rudzi + 50–60 kg ha⁻¹ ziemas vīķi [26].

Viengadīgais (inkarnāta) āboliņš (*Trifolium incarnatum*) ir viengadīgs augs, nav ziemcietīgs, stublājs stāvs un var sasniegt 20–50 cm augumu.



2. attēls. Ziemas rudzu/vīķu mistrs pavasarī, atsākoties veģetācijai; Ziemas vīķi ar labi attīstītiem gumiņiem uz saknēm pavasarī, tikko atsākoties veģetācijai. *Autores foto*

Labvēlīgos apstākļos spēj piesaistīt slāpekli augsnē 80–160 kg ha⁻¹. Vislabāk aug saulainās vietās, ļoti labs nektāraugs. Regulārs mitruma nodrošinājums veicina augšanu, optimālais augsnes pH 6,6–7,5. Sēj pēc iespējas agrāk pavasarī, veicot seklu augsnes aramkārtas apstrādi. Tīrsējā izsēj 20–22 kg/ha.

Sarkanais āboliņš (*Trifolium pratense*) labi padodas iekultivētās, nosusinātās augsnēs ar pietiekamu Ca saturu. Nepiemērotas ir vieglas smilts un skābas augsnes. Kūdras augsnēs āboliņam ir vājāka ziemcietība. Salīdzinoši

labi pacieš sausumu. Āboliņš piesaista atmosfēras slāpekli līdz 370 kg ha^{-1} , palīdz arī uzlabot augsnes struktūru un attīrīt to no nezālēm. Kā daudziem tauriņziežu dzimtas augiem, arī āboliņam ir spēcīga, dziļi ejoša mietsakne, kas labi irdina un aerē augsni. Izsējas norma sēklu laukos 8 kg/ha , sējas dziļums $0,5\text{--}1 \text{ cm}$. Sēklas sēt labi iestrādātā, irdenā augsnē. Pēc sējas sējumu ieteicams pievelt.

Cigoriņi (*Cichorium intybus*) ir daudzgadīgi augi, kas vienlaikus ar N uztvērējauga funkciju ir ļoti labi augsnes struktūras veidotāji, tiem ir gara mietsakne, kas zarojas un veido resnu sakņu zarojumu. Izsējas norma 15 kg ha^{-1} . Cigoriņu sēkla ir sīka un jāsēj salīdzinoši sekli – ap 1 cm . Tādēļ augsnei jābūt mitrai un pēc sējas sējums jāpievel, lai nodrošinātu labāku mitruma piekļuvi sēklai. Augs ir salīdzinoši siltumprasīgs, tādēļ jāsēj maijā, kad augsne iesilusi, bet ne vēlāk kā augustā, lai augs paspēj izdīgt līdz salam. Cigoriņus labi var izmantot jauktajos stādījumos ar dārzeniņiem (jo īpaši tādiem, kam ir sekla un kompakta sakņu sistēma). Iesēti rindstarpās tie piesaista tur esošo N un savu sakņu sistēmu izvieto dziļi, netraucējot dārzeņu augšanu un attīstību. Lielāks cigoriņu efekts parādīsies, ja tos audzēs vismaz divus gadus (tas gan vairāk attiecināms uz vienlaidu sējumiem).

Lai nodrošinātu pēc iespējas ilgtspējīgāku augsnes apstrādes un izmantošanas sistēmu, bieži vien rodas nepieciešamība pēc īslaicīga uztvērējaugu sējuma arī veģetācijas periodā, īslaicīgai augsnes noseģšanai un barības elementu saturēšanai augsnē. Piemēram, pēc agro dārzeņu ražas novākšanas vasaras otrajā pusē vēl atliek $2\text{--}2,5$ mēneši laika līdz ziemāju sējai, vai ziemas ķiploku stādīšanai. Lai arī šajā periodā augsnē saglabātu barības vielas un ienestu organisko masu, tā piesaistot C, ir iespējams audzēt uztvērējaugus – vai nu vienu sugu, vai mistrus. Pēdējā laikā ir kļuvis populāri uztvērējaugu sējumu veidot kā vairāku sugu jaukumu (mistru), iekļaut tajā plašu augu klāstu, kas kopumā katrā konkrētā gadījumā nodrošina nepieciešamo pakalpojumu kompleksu. Biežāk šādiem sējumiem izmanto griķus, viengadīgo airenī, auzas, sinepes, rutkus, facēliju, viengadīgo (inkarnāta) āboliņu, zirņus, saulespuķes.

Viengadīgā airene (*Lolium multiflorum*), raksturīga liela ātraudzība un bagātīgi attīstīta sakņu sistēma – tā saražo salīdzinoši lielu biomasu (līdz 15 t ha^{-1}), akumulējot aptuveni $60\text{--}150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ [27]. Izsējas norma tīrsējā $25\text{--}30 \text{ kg ha}^{-1}$, bet mistros to samazina atkarībā no auga īpatsvara mistrā. Mistros biežāk sēj kopā ar sarkano āboliņu un vīķiem. Labvēlīgos apstākļos sadīgst $5\text{--}7$ dienās, strauji aug [28].

Baltās sinepes (*Sinapsis alba*) ir viens no straujāk augošajiem uztvērējaugiem – sāk ziedēt pēc $4\text{--}6$ nedēļām, sasniedzot $15\text{--}25 \text{ t ha}^{-1}$ zaļmasas. Sinepes veic vairākus pakalpojumus – piesaista barības vielas,

īpaši S savienojumus, izmantojamas biofumigācijai, labi nomāc nezāles. Pēc ASV veiktiem pētījumiem sinepes nozīmīgi samazināja nezāļu īpatsvaru, jo īpaši galinsogas (*Galinsoga ciliata*) izplatību laukā [29]. Sinepes sēj no agra pavasara līdz septembra sākumam, var izmantot īslaicīga uztvērējauga nepieciešamības gadījumā. Izsējas norma – $20\text{--}25 \text{ kg ha}^{-1}$. Tā kā sēklas ir smalkas, tad sinepes ir sējamas sekli – $1\text{--}2 \text{ cm}$ – vai vispār nav iestrādājamās, ja ir mitra augsne un pietiekoši nokrišņi. Tā kā sinepes ir krustziedis, tad, to iekļaujot augsekā, ir jāņem vērā krustziežu audzēšanas periodi, jo šiem augiem ir kopīgas slimības, īpaši postīgi var būt sakņu augoņi (ieros. *Plasmodiophora brassicae*).

Sakņu redīsi (*Raphanus sativus* var. *longipinnatus*), angļiski saukti *til-lage radish*, ļoti labi irdina augsni (pat smagās, sablīvētās augsnēs), jo mietsakne stiepjas līdz pat $0,7 \text{ m}$ dziļumam. Ieteicams sēt agri pavasarī vai augustā, jo labāk dīgst vēsā augsnē, nekā sausā un karstā. Arī īsās dienas apstākļos (pavasarī un rudenī) ilgāku laiku aug veģetatīvi, neizziedot. Iesēts garās dienas apstākļos, augs ātri izzied un neveido lielu sakni (3. attēls). Veģetācijas periods līdz tehniskai nobriešanai ilgst $40\text{--}50$ dienu. Augs saista daudz N, jo veido lielu biomasu, kas arī labi nomāc nezāles. Dziļā sakne, ziemas laikā atmirstot un sadaloties, izveido augsnē caurumus, kas sekmē mitruma iesūkšanos, augsnes iesilšanu pavasarī un struktūras veidošanos. Izsējas norma $6\text{--}8 \text{ kg ha}^{-1}$, sējas dziļums $1\text{--}2 \text{ cm}$.



3. attēls. Jūnijā iesēts sakņu redīss – augustā sakne ir izveidojusies, bet neliela. *Autores foto*

Griķi (*Fagopyrum esculentum*) arī ir samērā ātraudzīgs augs, labi pacieš nabadzīgas augsnes, sasniedz ziedēšanu līdz 60 dienu periodā, kad arī ir gatavs iestrādei augsnē. Griķi piesaista fosforu, veido zaļo masu, ar platajām lapām labi nomāc nezāles, ir labs nektāraugs, ja tiem ļauj ziedēt, ātri sadalās un ir viegli iestrādājami augsnē. Izsējas norma 70 kg ha⁻¹. Sēju var sākt pēc pavasara salnām un turpināt visu veģetācijas periodu. Var sēt arī daudzgadīgo stādījumu rindstarpās.

Facēlija (*Phacelia tanacetifolia*) ir viengadīgs nektāraugs, kas strauji veido biomasu, piesaistot barības elementus, īpaši N no augsnē esošajiem savienojumiem, labi ierobežo nezāles. Izsējas norma 10 kg ha⁻¹. Sēklas ir sīkas, līdz ar to facēlija ir sējama ne dziļāk par 1-1,5 cm. Sēju var veikt pēc salnu perioda beigām pavasarī un turpināt visu vasaru, bet, sākoties rudens salnām, facēlija ies bojā.

1. tabulā sniegta informācija par biežāk izmantojamo un ieteicamo uztvērējaugu biomasu, ieteicamo audzēšanas ilgumu, N piesaistes īpatnībām un C:N attiecību biomasā.

1. tabula

Uztvērējaugu un zaļmēslojuma augu raksturojums (AVOTI: 9;30;35)

Augs	Dzimta	Auga biomasa	Augšanas ilgums	N atbrīvošana	N piesaista vai uztur	C:N
Sarkanais āboliņš (<i>Trifolium pratense</i>)	Tauriņ-zieži	liela	1-4 g	ātri	piesaista	17-20:1
Inkarnāta āboliņš (<i>Trifolium incarnatum</i>)	Tauriņ-zieži	vidēja	6-9 mēn	ātri	piesaista	15-20:1
Vīķi (<i>Vicia villosa</i>)	Tauriņ-zieži	liela	6-10 mēn	ātri	piesaista	11:1
Lucerna (<i>Medicago sativa</i>)	Tauriņ-zieži	liela	2-4 g	ātri	piesaista	25:1 (nobriedusi); 13:1 nenobriedusi
Esparsete (<i>Onobrychis vicifolia</i>)	Tauriņ-zieži	liela	2-4 g	ātri	piesaista	15-20:1
Sinepes (<i>Sinapis alba</i>)	Krust-ziežu	liela	2-4 mēn	lēni	uztur	15-25:1

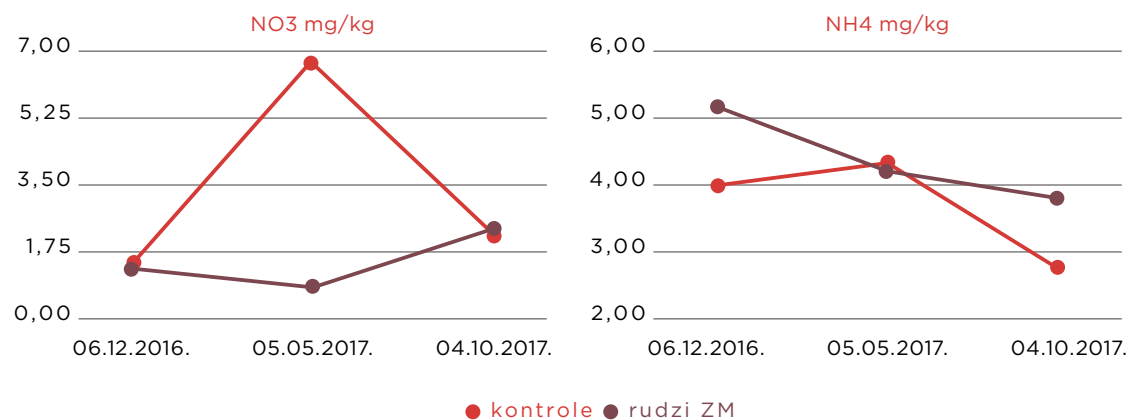
Augs	Dzimta	Auga biomasa	Augšanas ilgums	N atbrīvošana	N piesaista vai uztur	C:N
Sakņu redīsi (<i>Raphanus sativa</i>)	Krust-ziežu	liela	2-3 mēn	lēni	uztur	10-20:1
Griķi (<i>Fagopyrum esculentum</i>)	Sūreņu	vidēja	4-6 mēn	vidēji	uztur	30-45:1
Facēlija (<i>Phacelia tanacetifolia</i>)	Ūdens-lapju	vidēja	4-6 mēn	lēni	uztur	10-15:1
Ziemas rudzi (<i>Secale cereale</i>)	Graud-zāļu	liela	6 mēn	lēni	uztur	40:1 (ziedēšanas sākumā)
Viengadīgā airene (<i>Lolium multiflorum</i>)	Graud-zāļu	vidēja	1 g	lēni	uztur	20-25:1
Cigoriņi (<i>Cichorium intybus</i>)	Asteru	vidēja	1-5 g	vidēji	uztur	12-20:1
Rudzi (<i>S. cereale</i>)/vīķi (<i>V. villosa</i>)	Mistrs	liela	4-6 mēn	ātri	piesaista/uztur	14-18:1

Uztvērējaugu biomasu iestrādā augsnē ar disku kultivatoru vai iear, atkarībā no augsnes apstrādes stratēģijas saimniecībā. Lielas biomasas augiem pirms iestrādes ieteicams masu sasmalcināt, bet jāpatur prātā, ka augsnes mikroskopiskās sēnes labāk iedzīvojas lielāka izmēra augu atliekās. Lai novērstu N savienojumu izskalošanos pirms vasarāju sējas/stādīšanas, ir ieteicams neziemojošu augu atliekas iestrādāt augsnē pavasarī [31].

Konkrētā piemērā balstīta metodes pielietošanas analīze

Latvijā un Eiropas ziemeļu reģionā līdz šim par tauriņziežu spēju piesaistīt atmosfēras slāpekli ir salīdzinoši daudz pētījumu, taču salīdzinoši maz veikti pētījumi par citu dzimtu uztvērējaugu efektivitāti slāpekļa savienojumu pārvaldībā augsnē [32, 19]. Nesen ir uzsākti daži projekti, kuri vēl turpinās, un to rezultāti vēl nav pieejami. No 2015. līdz 2017. gadam Agroresursu un ekonomikas institūtā projekta “Augkopības sistēmas ieviešana dārzu audzēšanā, uzlabojot augsnes bioloģisko resursu izmantošanu un

aizsardzību ar sedzējaugu izmantošanu” (SoilVeg) ietvaros veikti augsnes analīžu pētījumi pirms un pēc rudzu kā uztvērējauga iestrādes [33]. No iegūtajiem rezultātiem redzams, ka pavasarī, iestrādājot augsni 7 t ha⁻¹ rudzu biomasas (sausnas), ir vērojama nozīmīga slāpekļa savienojumu dinamikas atšķirība no kontroles laukiem, kuros netika audzēts uztvērējaugs ziemas periodā (4. attēls).



4. attēls. Slāpekļa savienojumu dinamika sīpolu laukā ar rudziem kā uztvērējaugu iepriekšējā ziemā (attēlā apzīmēts kā “rudzi ZM”) un bez tā (attēlā apzīmēts kā “kontrolle”)

Nitrātu savienojumi (NO₃) (attēls pa kreisi) 2016. gada rudenī abos variantos bija līdzīgā daudzumā, bet 2017. gada pavasarī, visticamāk, ir bijuši akumulēti rudzu augu biomasā, un tādēļ augsnes analīzēs rudzu zaļmēslojuma laukā uzrādījās krietni mazāk nekā kontroles variantā, kur netika audzēti zaļmēslojuma augi. Veģetācijas periodā abos laukos tika audzēti sīpoli. Rudenī abos laukos nitrātu daudzums bija līdzīgs, bet kontroles variantā – mazāks nekā veģetācijas perioda sākumā, turpretim rudzu zaļmēslojuma variantā – augstāks nekā pavasarī. No tā var secināt, ka tie nitrātu savienojumi, kas nebija akumulēti rudzu biomasā kontroles variantā, tika izskaloti no augsnes vai emitēti atmosfērā. Arī amonija (NH₄) savienojumiem (attēls pa labi) vērojama līdzīga dinamika – kontroles variantā 2017. gada pavasarī to ir bijis vairāk nekā iepriekšējā gada decembrī, bet 2017. gada rudenī amonija saturs augsnē kontroles variantā strauji samazinājies. Uztvērējaugu variantā NH₄ samazinājuma līkne ir vienmērīgāka, ar nelielu NH₄ jonu samazinājumu pavasarī, kas vienmērīgi turpinājies līdz rudenim. Abi attēli apstiprina apgalvojumu, ka slāpekļa savienojumu dinamika ir lēnāka, ja laukā tiek audzēti uztvērējaugi. Svarīgi ir atzīmēt, ka abu šo slāpekļa jonu dinamika augsnē ir ļoti atkarīga no temperatūras un mitruma nodrošinājuma [34], līdz ar to šie dati uzskatāmi par indikatīviem. Tomēr šis ilustratīvais piemērs sakrīt arī ar citu pētnieku novērojumiem, kuros pierādīta uztvērējaugu un zaļmēslojuma augu pozitīvā ietekme uz barības elementu apriti augsnē [35, 36].

Secinājumi

Uztvērējaugu mērķtiecīga iekļaušana augsekā nodrošina ilgtspējīgu, klimata izmaiņas mazinošu tehnoloģiju izveidi. Plašais uztvērējaugu klāsts un to daudzveidīgā ietekme uz augsni dod iespēju izveidot konkrētai augsnei un saimniecības ražošanas specifikai atbilstošu uztvērējaugu lietojuma shēmu. Zaļmēslojuma augu audzēšana Latvijas klimatiskajos apstākļos sevi attaisno kā efektīvs augsnes auglības paaugstināšanas un SEG emisiju mazināšanas veids.

Literatūra

1. IPCC, 2014: Summary for Policymakers. 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* (Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J. C. Minx (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIIAR5_SPM_TS_Volume-3.pdf
2. Abdullahi A. C., Siwar C., Isma'il Shaharudin M. and Anizan I., 2018. Carbon Sequestration in Soils: The Opportunities and Challenges. In: *Carbon Capture, Utilization and Sequestration*. Edited by Agarwal R. K., Washington University in St. Louis.
3. Farooqi Z. R., Sabir M., Zeeshan N., Naveed K. and Hussain M. M., 2018. Enhancing Carbon Sequestration Using Organic Amendments and Agricultural Practices. In: *Carbon Capture, Utilization and Sequestration*, Edited by Ramesh K. Agarwal, Washington University in St. Louis.
4. Magnussen S., 2004. Modeling for Estimation and Monitoring: <http://www.fao.org/forestry/17111/en/> (Skatīts 04.02.2020.)
5. Tang Z., Xu W., Zhou G., Bai Y., Li J., Tang X., Chen D., Xie Z., 2018. Patterns of plant carbon, nitrogen, and phosphorus concentration in relation to productivity in China's terrestrial ecosystems. *PNAS*, 115 (16): 4033–4038.
6. Olson K. R., 2014. Soil organic carbon sequestration, storage, retention and loss in U.S. croplands: Issues paper for protocol development. *Geoderma*, 195–196: 201–206.
7. Anon., <https://likumi.lv/ta/lv/starptautiskie-ligumi/id/1422> (Skatīts 04.02.2020.)
8. Malik A. A., Chowdhury S., Schlager V., Oliver A., Puissant J., Vazquez P. G., ... Gleixner G., 2016. Soil Fungal:Bacterial Ratios Are Linked to Altered Carbon Cycling. *Frontiers in Microbiology*, 7: 1247.
9. Six J., Frey S. D., Thiet R., Batten K. M., 2006. Bacterial and Fungal Contributions to Carbon Sequestration in Agroecosystems. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 70: 555–569.
10. Berger J.J., 2019. Can Soil Microbes Slow Climate Change? <https://www.scientificamerican.com/article/can-soil-microbes-slow-climate-change/> (Skatīts 04.02.2020.)
11. Strickland M. S., and Rousk J., 2010. Considering fungal:bacterial dominance in soils – Methods, controls, and ecosystem implications. *Soil Biol. Biochem*, 42: 1385–1395.
12. USDA, 2011. Carbon to Nitrogen Ratios in Cropping Systems: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcseprd331820.pdf (Skatīts 04.02.2020.)
13. Valdmanis K., 1983. Agronomijas pamati. Rīga, Zvaigzne, 144 lpp.

14. Halde C., Gagné S., Charles A., Lawley Y., 2017. Organic no-till systems in eastern canada: A Review. *Agriculture* (Switzerland), 7 (4): Article number 36.
15. Ramírez-García J., Carrillo J. M., Ruiz M., Alonso-Ayuso M., Quemada M., 2015. Multicriteria decision analysis applied to cover crop species and cultivars selection. *Field Crops Research*, 175: 106–115.
16. Canali S., Coopman F. Agro-ecological service crops to mitigate the risk of nitrate leaching from vegetable cropping systems. *EIP-AGRI Focus Group Fertiliser Efficiency in Horticulture*, p. 1–7: https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/3_mini-paper_asc.pdf (Skatīts 04.02.2020.)
17. Abdalla *et al.*, 2019. A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. *Glob Change Biol.*; 25:2530–2543.
18. Couëdel A., Alletto L., Justes É., 2018. Crucifer-legume cover crop mixtures provide effective sulphate catch crop and sulphur green manure services. *Plant and Soil*, 426 (1–2): 61–76.
19. Jensen E., Peoples M. B., Hauggaard-Nielsen H., 2010. Faba bean in cropping systems. *Field Crops Res.* 115: 203–216.
20. Poeplau C., Don A., 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 200: 33–41.
21. Hu T., Sørensen P., Olesen J. E., 2018. Soil carbon varies between different organic and conventional management schemes in arable agriculture. *European Journal of Agronomy*, 94: 79–88.
22. Piotrowska-Długosz A., Wilczewski E., 2014. Soil phosphatase activity and phosphorus content as influenced by catch crops cultivated as green manure. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23 (1): 157–165.
23. Pugesgaard S., Petersen S. O., Chirinda N., Olesen J. E., 2017. Crop residues as driver for N₂O emissions from a sandy loam soil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 233: 45–54.
24. Clark A. (ed.), 2007. *Managing cover crops profitably*, 3rd ed. SARE Outreach Handbook Series Book 9. National Agricultural Laboratory, Beltsville, MD.
25. Leavitt M. J., Sheaffer C. C., Wyse D. L., Allan D. L., 2011. Rolled winter rye and hairy vetch cover crops lower weed density but reduce vegetable yields in no-tillage organic production. *HortScience*, 46 (3): 387–395.

26. Anon., 2015. Lauksaimnieku organizāciju jautājumi/atbildes, http://www.lad.gov.lv/files/lauks_jautajumi_14052015_zali_69a15.pdf (Skatīts 04.02.2020.)
27. De Neergaard A., Hauggaard-Nielsen H., Stoumann Jensen L., Magid J., 2002. Decomposition of white clover (*Trifolium repens*) and ryegrass (*Lolium perenne*) components: C and N dynamics simulated with the DAISY soil organic matter submodel. *European Journal of Agronomy*, 16: 43–55.
28. Jansone B., 2005. Viengadīgās aieres neizmantotās iespējas. *Agropols*, 5: 12–13.
29. Björkman T., Lowry C., Shail J. W., Brainard D. C., Anderson D. S., Masiunas J. B., 2009. Mustard Cover Crops for Biomass Production and Weed Suppression in the Great Lakes Region. *Agronomy Journal*, 107 (4): 1235–1249.
30. Rayns F. and Rosenfeld A. Sort out your soil. Cotswold seeds and Garden Organic: <http://orgprints.org/30588/1/Sort%20Out%20Your%20Soil.pdf> (Skatīts 04.02.2020.)
31. Piotrowska-Długosz A., Wilczewski E., 2015. Influences of Catch Crop and Its Incorporation Time on Soil Carbon and Carbon-Related Enzymes. *Pedosphere*, 25 (4): 569–579.
32. Talgre L., Lauringson E., Roostalu H., Astover A., Makke A., 2012. Green manure as a nutrient source for succeeding crops. *Plant Soil Environ*, 58 (6): 275–281.
33. Lepse L., Jansone I., 2017. Influence of Agricultural Service Crops on the fluctuations of the soil mineral composition. *NJF Report*, 13 (1): 67–69.
34. Kabala C., Karczewska A., Gałka B., Cuske M., & Sowiński J., 2017. Seasonal dynamics of nitrate and ammonium ion concentrations in soil solutions collected using MacroRhizon suction cups. *Environmental monitoring and assessment*, 189 (7): 304.
35. Lawson A., Fortuna A. M., Cogger C., Bary A. and Stubbs T., 2012. Nitrogen contribution of rye-hairy vetch cover crop mixtures to organically grown sweet corn. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 28 (1): 59–69.
36. Delgado J. A., Barrera Mosquera V. H., Alwang J. R., Villacis-Aveiga A., Cartagena Ayala Y. E., Neer D., ... Escudero López L. O., 2020. Potential use of cover crops for soil and water conservation, nutrient management, and climate change adaptation across the tropics. *Advances in Agronomy*. doi:10.1016/bs.agron.2020.09.003
36. Soudeh Farzadfar J. Diane Knight, and Kate A. Congreves, 2021. Rye cover crop improves vegetable crop nitrogen use efficiency and yield in a short season growing region. *Canadian Journal of Plant Science*, April, 2021: <https://doi.org/10.1139/cjps-2021-0032>

JAUKTO STĀDĪJUMU UN SĒJUMU PIELIETOJUMA IESPĒJAS DĀRZKOPĪBĀ ATBILSTOŠI KLIMATU SAUDZĒJOŠIEM JEB ILGTSPĒJĪGAS SAIMNIEKOŠANAS PRINCIPIEM

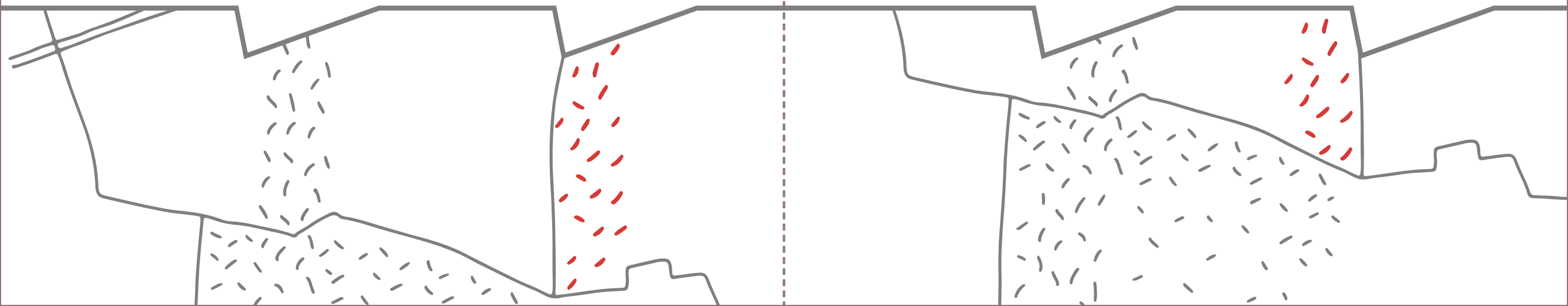
SANDRA DANE

AS Pūres dārzkopības izmēģinājumu stacija,
Abavas iela 2, Pūre, Pūres pag.,
Tukuma nov., LV-3124, Latvija
e-pasts: sandra.dane@inbox.lv

Ievads

Pirms 10-20 gadiem ziņas par klimata sasilšanu likās tādas uzspēlētās baumas, jo pēc sajūtām šķita, ka kļuvis aukstāks, nevis siltāks. Tagad situācija ir krietni mainījusies. Sasilšanai tiek pievērsta uzmanība ne tikai augstākā līmenī, bet par to interesējas arī plašāka sabiedrības daļa. Plašākas popularitātes iemesls ir gan starptautiskā un nacionālā līmenī pieņemtās regulas un citi normatīvie dokumenti, kas veicina domāt un darboties, izmantojot klimata draudzīgas tehnoloģijas, gan arī praktiskie skaidrojumi un ieteikumi klimata stratēģiju īstenošanā – kā mainīsies klimatiskie apstākļi, ko var sajūst jau tagad un kā būtu jāmaina saimniekošanas veidi. Lauksaimnieki tiek aicināti pēc iespējas īsāku laika posmu atstāt laukus bez augu segas – atstāt rugaines ziemas periodā, nevis arumus, tādējādi samazinot barības vielu izskalošanos [1], iespēju robežās pielietot tiešsēju, jo, apvēršot un intensīvi irdinot augsni, pastiprinās organisko vielu mineralizācija un vairāk no augsnes izdalās CO₂ [2], kā arī tiek traumēta augsnes mikro un makroflora [3]. Tiešo maksājumu piešķiršanas kārtība lauksaimniekiem nosaka kultūraugu dažādošanas

nepieciešamību, iekļaujot lielāku kultūraugu sugu dažādību augsekās, kas noteikta 2015. gada 10. marta MK noteikumos Nr. 126 “Tiešo maksājumu piešķiršanas kārtība lauksaimniekiem”. Jaukto stādījumu un sējumu (JSS) tehnoloģijas izmantošana atkarībā no izvēlētajiem augiem dod iespēju saimniecībā minimizēt augsnes apstrādi, lai palielinātu bioloģisko daudzveidību un samazinātu barības elementu izskalošanos. Pēc pētnieces Lindsejas [4] publicētajiem datiem no 1960. līdz 2023. gadam CO₂ saturs atmosfērā ir palielinājies no nepilniem 320 ppm līdz 424 ppm. Tas liecina, ka sabiedrības dzīvesveids, saimniekošana un attieksme pret apkārtni ir strauji jāmaina. Eiropā kopumā lauksaimniecībā izmantojamās aramzemes platības pēdējo 100 gadu laikā samazinājusies par 20 %, atsevišķās teritorijās līdz pat 70 % [5]. Tam iemesls ir ne tikai augsnes auglības, bet arī reģionos dzīvojošo cilvēku skaita samazināšanās, kā arī aramzemes transformācija uz meža teritorijām vai ganībām. Notiek pastiprināta augšņu sasāļošanās [6], samazinās saldūdens rezerves [7], līdz ar to pārtikas izejvielu ražotāji ir sarežģītā situācijā – pārstrādes



nozarei ir nepieciešama kvalitatīva izejviela pietiekami lielā apjomā, lauksaimniekam ir jāievēro vides prasības, kas nereti ietekmē ražas apjomu. Arī Latvijā iezīmējas minētās problēmas, tādēļ, lai nākotnē tās nopietni neietekmētu ražošanu, ir laicīgi jādomā par ilgtspējīgu saimniekošanu, kas saudzētu apkārtējo vidi un klimatu kopumā. Amazonas lietūs mežu izciršana, intensīvā rūpnieciskā ražošana industriālajās valstīs un milzīgais transporta apjoms salīdzinoši daudz būtiskāk ietekmē pasaules klimatu nekā Latvijas tautsaimniecība, tomēr tas neatbrīvo Latvijas sabiedrību no vides saudzēšanas un kopšanas, rādot

pareizas saimniekošanas piemēru, mēs varam sākt samazināt lauksaimniecības ietekmi uz klimata pārmaiņām, turklāt no tā gūstot sev arī ekonomisku labumu. Saudzējot vietējo ekosistēmu savā sētā, novadā un valstī, mēs varam radīt būtisku samazinājumu lauksaimniecības un ar to saistītā rūpnieciskā sektora ietekmi uz vidi un līdz ar to uz klimatu. Lai ieviestu klimatam un videi draudzīgu saimniekošanu, saglabājot un paaugstinot kultūraugu ražu un tās kvalitāti, ir jādomā par būtiskiem saimniekošanas uzlabojumiem, kur viens no variantiem ir jaukto stādījumu un sējumu tehnoloģiju pielietošana pārtikas izejvielu ražošanā.

Jaukto stādījumu un sējumu ietekme uz klimatu

Termins “jauktie stādījumi un sējumi” pirmajā mirklī var šķist ļoti sarežģīts un neredzēts ikdienas laukos, tomēr šāda tipa saimniekošana ir zināma jau no senās Romas laikiem, kad olīvkoku stādījumu rindstarpās tika sēti graudaugi. Pie mums jauktie stādījumi arī zināmi jau sen. Plaši pazīstams viens no tā veidiem – mistri. Latvijā šo tehnoloģiju plaši pielieto graudkopībā, sējot mistrus vai labības ar cita kultūrauga pasēju. JSS ir divu vai vairāku kultūraugu vienlaicīga audzēšana vienā laukā, turklāt to ražas vākšanas laiki var būt līdzīgi vai būtiski atšķirties [8]. Audzējot divus vai vairākus kultūraugus telpiski tuvu, tie savstarpēji mijiedarbojas, piemēram, kompānjonu izmantošana mistros, otrā auga stādīšana vai sēšana, kad pirmais augs jau kādu laiku ir audzis, dzīvā mulča, ko sēj rindstarpās un izmanto kā mulčēšanas materiālu, un daudzi citi varianti [9]. JSS ietver arī šo kultūraugu audzēšanu citu pēc cita viena veģetācijas perioda ietvaros, ja iepriekšējā auga atliekas atstāj uz lauka un neiestrādā augsnē. Spilgts piemērs tam ir dzīvā mulča [10], ko iegūst, audzējot speciāli izvēlētus priekšaugus, kurus ar lauzējveltni nolauž un atstāj uz lauka, tad nākamo kultūraugu stāda vai sēj izveidotajā dzīvajā mulčā. Jauktie stādījumi un sējumi, kur izvēlēta pareiza augu kombinācija un savstarpējā skaita attiecība, dod iespēju pilnīgāk izmantot Saules radiāciju, ūdens resursus un barības vielas, kā arī labāk nomāc nezāles, samazina kaitīgo kukaiņu izplatību un var ierobežot slimību izplatību [11, 12], kas savukārt samazina augu aizsardzības līdzekļu lietošanas nepieciešamību. Tas ir būtisks samazinājums lauksaimniecības

ietekmei uz vidi kopumā, jo mazāk būs rūpnieciski jāražo minerālmēsli un augu aizsardzības līdzekļi. JSS audzēšanas tehnoloģija dod iespēju optimāli nasegt augsnes virskārtu. Augsnes pilnīga noseģšana ar augu materiālu ir viena no pamatlīetām, kas jāievēro, lai samazinātu CO₂ un citu gāzu izdalīšanos atmosfērā kompostēšanās un mineralizācijas procesā [13], kā arī tas nodrošina lielāku oglekļa piesaisti organiskajai vielai, jo no vienas lauka vienības tiek iegūts maksimālais augu masas jeb ražas daudzums, paaugstinot augsnes izmantošanas koeficientu.

Lielāka augu daudzveidība nodrošina lielāku augsnes mikroorganismu daudzveidību. Ir zināms, ka viengadīgi augi 20–30 % no piesaistītā oglekļa izdala augsnē ar sakņu izdalījumiem, kas ir tiešais barības elementu avots augsnes mikroorganismiem. Sakņu augšanas un attīstības laikā 5–21 % no fotosintēzē saražotajām vielām tiek atbrīvotas augsnē ar sakņu izdalījumu palīdzību [14]. Lielākajai daļai kultūraugu ar dažādiem augsnes mikroorganismiem ir simbiotiskas attiecības, to saknes kolonizē mikroskopiskās sēnes un baktērijas. Daļa šo mikroorganismu ir pielāgojušās šķelt dažādus savienojumus, kā rezultātā cieši saistītais fosfors tiek atbrīvots un kļūst uzņemams augiem. Sevišķi būtiskas šajā sadarbībā ir augsnes mikroskopiskās sēnes, kas spēj vairākkārtīgi palielināt augu sakņu uzsūkšanas spēju, kā arī spēj šķīdināt dažādas vielas un iegūt barības vielas tur, kur augs ar savām saknēm un to izdalījumiem netiek klāt. Palielināta barības elementu uzsūkšanas spēja augiem samazina barības vielu izskalošanos, turklāt ar mikorizas sēņu palīdzību augi spēj pilnīgāk izmantot barības elementus, nodrošinot iespēju optimizēt mēslošanas normas, turklāt palielinās arī augu izturība pret dažādiem vides stresiem – ilgstošu sausumu, mitrumu un krasām temperatūras svārstībām [15, 16].

Viena no galvenajām baktēriju grupām, kam lauksaimniecībā tiek pievērsta liela uzmanība, ir slāpekli saistošās baktērijas. Ar šo baktēriju palīdzību var samazināt papildu nepieciešamo slāpekļa daudzumu, lai nodrošinātu augstas ražas. Ir atsevišķas šo baktēriju grupas, kas simbiozē ar augiem – pārsvarā tauriņziežiem – uz to saknēm izveido gumiņus, nodrošinot augu ar nepieciešamo slāpekļa daudzumu, turklāt, gumiņiem sadaloties, ar slāpekli tiek nodrošināti arī citi augi. Šī iemesla dēļ tauriņzieži un citi augi, kas spēj izveidot simbiotiskas attiecības ar slāpekli saistošām baktērijām, ir vieni no galvenajiem komponentiem jauktajos stādījumos un sējumos. Līdz 20. gadsimta 50. gadiem tauriņziežu iekļaušana augsekā ar mērķi nodrošināt nepieciešamo slāpekļa daudzumu ražas veidošanai bija plaši izplatīta. Attīstoties ķīmiski sintezētu minerālmēsli ražošanai, Rietumeiropā šī prakse praktiski vairs netika pielietota, lai gan mistru un pasējas izmantošana tika daļēji saglabāta Austrumeiropā. Šobrīd, domājot par siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanu, tauriņzieži atgriežas pārtikas un lopbarības ražošanas lauku augsekās.

Jaukto stādījumu un sējumu praktiskās ieviešanas aspekti

JSS Latvijas laukos visplašāk ir sastopami graudkopībā. Saskaņā ar Lauku atbalsta dienesta datiem pākšaugu mistru platības ir svārstījušās no 8100 ha 2001. gadā līdz 5079 ha 2015. gadā un nostabilizējušās ap 5400 ha 2017. un 2018. gadā [17]. Ievērojot zaļināšanas principus un nostabilizējošies atbilstoši augu sekai, graudaugu saimniecībās, kur graudaugu sējumu īpatsvars ir lielāks, pēc apkopotajiem datiem ikgadējās lauksaimniecības gada atskaitēs var redzēt, ka graudaugu mistri tiek audzēti arvien lielākās platībās. Līdz ar to jārēķina un jāplāno sējumi un stādījumi tā, lai tos būti izdevīgi audzēt arī no platību maksājumu viedokļa. Ieviešot jaunas, klimata labvēlīgas prakses, ir nepieciešams tam pielāgot arī nosacījumus atbalsta maksājumu saņemšanai. Normatīvo dokumentu precizēšana notiek, turklāt lauksaimniekiem ir iespēja sniegt priekšlikumus izmaiņām, lai būtu iespējams pieteikt atbalsta maksājumiem JSS pēc būtības nevis tikai pēc galvenā kultūrauga, pamatojot, ka JSS dod lielāku labumu videi un ir piemēroti ilgtspējīgas lauksaimniecības politikas īstenošanai. JSS dod iespēju samazināt arī augsnes apstrādes nepieciešamību. Latvijā nav daudz saimniecību, kur, pielietojot dažādu augu maisījumus un vairāku lauku augseku, iztiek bez augsnes aršanas, ik pa laikam izmantojot dziļirdinātāju. Šī prakse tiek salīdzinoši plaši pielietota Lietuvā, Polijā un citās Eiropas un pasaules valstīs. Šo tehnoloģiju ietvaros notiek virsējā augsnes apstrāde ar dažāda veida kultivatoriem līdz 8 cm dziļumam.

Tomēr jāņem vērā, ka JSS ir ne tikai daudz labumu, bet ir arī vairākas vājās puses. Galvenās no tām ir JSS ierīkošana, sarežģītāka kopšana un darbu organizēšana, pareizo augu kombināciju izvēle un sējas laika noteikšana, savstarpējā konkurence pēc barības vielām, ūdens un gaismas. Lielākas problēmas var sagādāt tie JSS, kur augus jāasēj atšķirīgos laikos un kopšana kombinētajiem augiem ir atšķirīga gan laikā, gan nepieciešamās tehnikas ziņā. Kultūraugi ir jāizvēlas pārdomāti, ņemot vērā ne tikai augu vajadzības, bet arī saimniecības iespējas sējumus/stādījumus apkopt. Jārēķinās ar to, ka būtiski var pieaugt roku darba vajadzība, jo gan augu sējas, stādīšanas laiki var atšķirties un saimniecības tehniskajā parkā var nebūt specifisku agregātu ar ko kopt šāda tipa laukus. Problēmas var sagādāt arī augseka, kur pamata būtība ir neaudzēt vienas sugas augu atkārtoti tajā pašā laukā vismaz trīs vai vairāk gadus. Ja JSS iekļauj vairākas augu sugas, tad ievērot šo principu kļūst sarežģīti, tomēr, pareizi kombinējot augus un veicot atbilstošu to kopšanu, var samazināt kaitīgo organismu izplatību [18], kas ilgtermiņā pieļautu atkāpes no līdzšinējiem augsekas ievērošanas pamatprincipiem, kas ļautu samazināt laiku starp atkārtotas kultūras audzēšanu konkrētajā laukā. Problēmas var sagādāt arī augu aizsardzības līdzekļu

lietošana, jo tie jālieto katra auga konkrētajā attīstības etapā vai pie noteikta kaitēkļu invāzijas apjoma, kas var nesakrist ar blakusaugam atļautajiem augu aizsardzības līdzekļiem, kā arī blakusaugs var būt jau ražošanas stadijā, kad augu aizsardzības līdzekļus nedrīkst lietot.

Tā kā JSS ir daudz dažādu izpildes variantu, to audzēto augu kombinācijas ir plašas, kā arī iegūtie rezultāti var atšķirties pa reģioniem, tos var ietekmēt augsnes rādītāji un citi vides apstākļi, lai rastu ieskatu daļā no kombinācijām, tika aptaujāti zemnieki un izvēlētas vairākas augu kombinācijas, kuru galvenais mērķis bija nodrošināt galveno kultūru ar tai nepieciešamo slāpekļa daudzumu, izmantojot JSS.

Projekta EUROLEGUME piemērā balstīta jaukto stādījumu un sējumu pielietošanas analīze

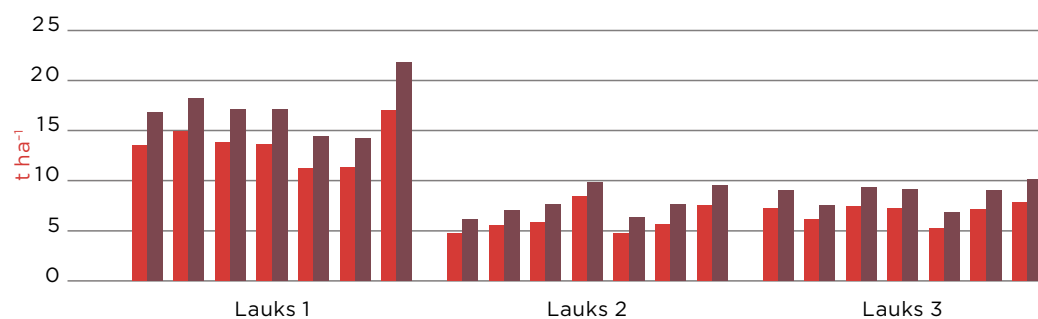
Viens no jaunākajiem pētījumiem Latvijā par JSS ir Eiropas Savienības Septītās pamatprogrammas "Apvārsnis" pētniecības un tehnoloģiju attīstības projekta EUROLEGUME¹ ietvaros veiktais JSS izvērtējums. Projekta ietvaros tika novērtēta tauriņziežu ietekme uz blakusaugiem, to spēja nodrošināt blakusaugus ar tiem nepieciešamo slāpekli, vērtētas augu savstarpējās attiecības, konkurence pēc barības vielām, ūdens un saules gaismas, ietekme uz ražu un tās kvalitāti. Pūres Dārzkopības pētījuma centra pētnieki bija projekta partneri, bet galvenie pētnieki kultūraugi bija zemenes (*Fragaria x ananassa*), galviņkāposti (*Brassica oleracea*), sīpoli (*Allium cepa*) un burkāni (*Dacus carota*). Visiem šiem augiem starprindās tika sētas cūku pupas (*Vicia faba* var. *major*), bet zemeņu stādījumā papildus tika iekļauti arī zirņi (*Pisum sativum*) un bastarda āboliņš (*Trifolium hybridum*). Tā kā zemenes ir daudzgadīgs kultūraugs un to raža būtiski atšķiras no stādījuma vecuma, tad tika nolemts ierīkot trīs laukus, ko stādīja secīgos gados no 2014. līdz 2016. gadam. Tas deva iespēju iegūt katram zemeņu veģetācijas gadam vēl divus atkārtojumus, kas savukārt nodrošināja lielāku datu kopu, no kā izdarīt secinājumus.

No pētījumā iegūtajiem datiem par dārzeņu JSS var secināt, ka sīpoli un pupas nav labi blakusaugi. Salīdzinājumā ar tradicionālo audzēšanas metodi tika iegūta būtiski mazāka sīpolu raža. Tas skaidrojams ar to, ka sīpoliem ir sekla sakņu sistēma, savukārt pupām tā ir dziļa un spēcīga un pupas intensīvi patērē ūdeni. Tādējādi sīpoliem bez papildu laistīšanas sistēmas ierīkošanas šādā stādījumā būtiski trūkst mitruma pilnvērtīgai attīstībai un

¹ ES 7IP projekts: Ilgtspējīgu tehnoloģiju izstrāde pākšaugu audzēšanai un to izmantošanas veicināšana proteīna nodrošināšanai Eiropā pārtikas un lopbarības ražošanai (2014-2017): <https://www.lbtu.lv/lv/projekti/apstiprinatie-projekti/2014/ilgtspējigu-tehnologiju-izstrade-pakshaugu-audzesanai-un-to>

optimālas ražas veidošanai. Cūku pupas ar savu garo stublāju noēno sīpolus, kas izraisa ātrāku loku nokrišanu, līdz ar to īsāku ražas veidošanās laiku, kas arī samazina sīpolu ražas iznākumu. Savukārt kāpostu un pupu kombinācijā tika iegūta līdzīga raža kontroles variantam. Burkānu un cūku pupu kombinācijā burkānu raža pārāk svārstījās visos variantos, lai izteiktu konkrētus secinājumus. Tomēr, ņemot vērā burkānu un pupu sakņu sistēmas īpatnības, kā arī mitruma nodrošinājuma būtisko ietekmi uz burkānu ražu, var secināt, ka, nodrošinot optimālus mitruma apstākļus, varētu iegūt līdzvērtīgu ražu tradicionāli audzētajai. Šie rezultāti nozīmē, ka pupas spēj nodrošināt blakus augus ar nepieciešamo slāpekli labas ražas veidošanai, ja kombinācijai tiek nodrošināti nepieciešamie augšanas apstākļi un kombinētajiem augiem ir pietiekoši spēcīga un konkurētspējīga sakņu sistēma.

Zemenēm tika izvērtēta kopražā (visu gatavo ogu masa) un bruto raža (Ekstra, I un II šķiras ogas, kas atbilst kvalitatīvai tirgus precei). Kombinācijā ar zirņiem ieguva līdzvērtīgas ražas tradicionāli audzēto zemeņu kopražāi (6–8 t ha⁻¹). Kombinācijā ar cūku pupām (vietējie kloni VF_01, VF_02) zemeņu raža ar katru gadu samazinājās attiecīgi mitruma nodrošinājumam augsnē (1. attēls).

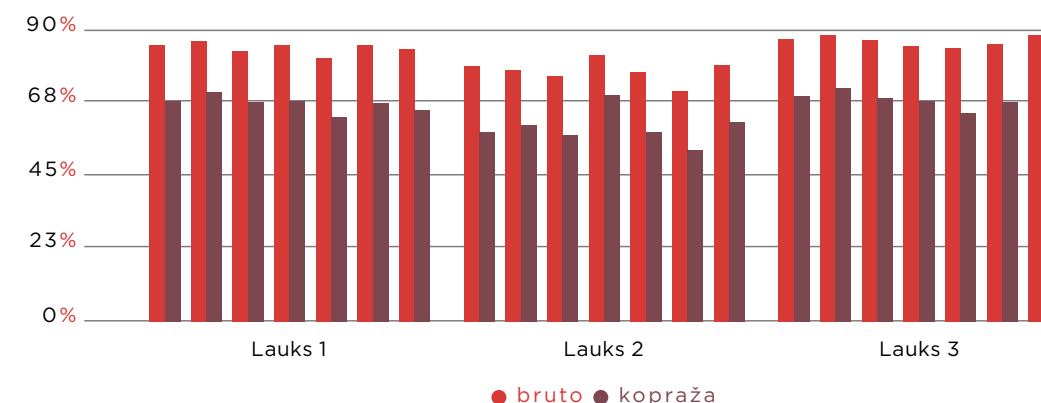


- A1 – cūku pupas VF-02
- A2 – cūku pupas VF-01
- A3 – zaļie zirņi 'Capella'
- A4 – cukurzirņi 'Ambrozia'
- A5 – bastardāboliņš 'Namejs'
- A6 – kontrole bez N mēsl.
- A7 – kontrole ar N mēsl.

1. attēls. Zemeņu raža pirmajā lauka ražošanas gadā trīs laukiem, kas stādīti secīgos gados no 2014. līdz 2016. gadam

Kaut gan mitruma trūkums nesamazināja ražas kvalitāti (2. attēls), tomēr tas ir viens no faktoriem, kas ietekmēja kopējo ražas samazinājumu zemenēm. Lauki tika papildus laistīti ar pilienvēda laistīšanas sistēmu, bet 2016., 2017., un 2018. gadā bija ilgstoši sausuma periodi, kad dabīgo ūdens rezervju vietās, no kurām tika ņemts laistīšanai nepieciešamais ūdens, ūdens līmenis sasniedza kritiski zemu līmeni, un tika nolemts laistīt tikai

krasas nepieciešamības gadījumā. Līdz ar to Lauks 1 uzrāda lielāku ražu tā otrajā attīstības gadā, kad tika ievākta pirmā raža, salīdzinot no Lauks 2 un Lauks 3, kas cieta no ilgstošiem sausuma periodiem, tika ievākta būtiski mazāka raža. Tas apstiprina, ka mitruma nodrošinājums ir viens no būtiskākajiem faktoriem ražas ieguvei un saimniecībām ir jāapsver laistīšanas sistēmu ierīkošana un stabila ūdens avota ierīkošana, lai samazinātu ražas lieluma atkarību no klimatiskajiem apstākļiem.



2. attēls. Ekstra un I šķiras ogu daudzums procentos no pirmā ražas gada trīs laukiem, kas stādīti secīgos gados no 2014. līdz 2016. gadam (A.1 – A.7 apzīmējumus sk. 1. attēlā)

Arī pēc dārzeņu izmēģinājumā iegūtajiem datiem var secināt, ka cūku pupas intensīvi izmanto ūdeni un to sakņu sistēma ir labāk pielāgota pilnīgākai ūdens uzsūkšanai nekā zemeņu (3. attēls) un sīpolu sakņu sistēma.

Zemeses nevajadzētu audzēt kopā ar cūku pupām, ja nav iespējas nodrošināt labvēlīgus mitruma apstākļus abu kultūraugu attīstībai. Pirmajā ražošanas gadā, kad dabīgie nokrišņi spēja stādījumu nodrošināt ar nepieciešamo mitruma daudzumu, zemeņu un pupu kombinācija uzrādīja līdzvērtīgu ražu tradicionāli iegūtajai zemeņu ražai. Tomēr nākošajos gados bija izteikti sausuma periodi, kuriem labāk piemērotas ir cūku pupas.



3. attēls. Zemeņu un cūku pupu sakņu sistēmu izvietojums

Lai noteiktu, vai tauriņziežu piesaistītais slāpekļis ir nokļuvis zemenēs, tika veiktas ļoti specifiskas analīzes ASV laboratorijā, kur apstiprināja, ka tauriņziežu piesaistītais slāpekļis ir atrasts zemeņu augos. Turklāt visvairāk zemenes bija uzņēmušas zirņu piesaistīto slāpekli, nedaudz mazāk bastardāboliņa un cūku pupu piesaistīto slāpekli. Tā kā variantos ar tauriņziežiem netika lietots papildu slāpekļa mēslojums, bet to ražas salīdzinoši ir vienā līmenī ar mēsloto kontroles variantu, tad var pieņemt, ka tauriņzieži spēj nodrošināt zemenes ar nepieciešamo slāpekli gan rudens periodā, kad ierīšanas nākošā gada raža, gan visā veģetācijas sezonā.

No izmēģinājumā iekļautajiem tauriņziežiem zemenes nav vēlams audzēt kopā ar bastardāboliņu (1. tabula ar sarkano toni atzīmēti zemākie rādītāji, ar brūno – augstākie).

1. tabula

FITOSANITĀRAIS STĀVOKLIS
ZEMEŅU UN TAURIŅZIEŽU JAUKTAJĀ STĀDĪJUMĀ

	Aveņu-zemeņu ziedu smecernieku bojāto ziedu skaits, gab. vidēji lauciņā		Pelēkās puves bojāto ogu skaits, gab. vidēji lauciņā	Baltplankumainības izplatības pakāpe, ballēs vidēji lauciņā (skala no 1 līdz 9)
	divgadīgs stādījums	trīsgadīgs stādījums		
Pupas_VF02	35	44	5,4	3,6
Pupas_VF01	31	42	5,2	3,8
Cukurzirņi	30	45	4,0	4,1
Zaļie zirņi	42	43	5,3	4,2
Bastardāboliņš	30	47	4,7	5,0
Kontrole bez N	33	38	3,5	3,7
Kontrole ar N	38	49	6,3	3,6

Izmēģinājumā tika pierādīts, ka šajā kombinācijā ar bastardāboliņu zemenēs pastiprināti izplatās baltplankumainība (5 balles), kā arī iegūtās ražas bija būtiski zemākas nekā tradicionāli audzētajā variantā, lai gan pārējos fitosanitārajos rādītājos variants ar bastardāboliņu būtiski neatšķīrās no citām tauriņziežu kombinācijām. Aveņu-zemeņu ziedu smecernieka bojāto ziedu skaits gan divgadīgajā, gan trīsgadīgajā stādījumā bija kontroles variantā ar slāpekli. Pelēkās puves bojāto ogu īpatsvars arī bija lielāks kontroles variantā ar slāpekli. Tam par iemeslu varētu būt sabiezinātais

lapojums, kas veidojies, pateicoties viegli uzņemamajam minerālajam slāpekļa mēslojumam.

Tauriņziežu atliekas tika iestrādātas zemeņu rindstarpās kā organiskais mēslojums un slāpekļa avots (4. attēls).



4. attēls. Tauriņziežu atliekas iestrādātas zemeņu rindstarpās pēc pākšu ražas novākšanas

Ziednešu ieriešanās galvenais limitējošais faktors zemenēm ir slāpekļa nodrošinājums rudens periodā, tā kā to daudzums un ziedu skaits būtiski neatšķīrās no tradicionālā audzēšanas variantā un, kombinējot zemenes kopā ar zirņiem vai cūku pupām, tad var secināt, ka limitējošais faktors šajā sistēmā ir ūdens nodrošinājums. Tas liecina arī par to, ka zirņi un cūku pupas spēj nodrošināt zemenes ar nepieciešamo slāpekļa daudzumu ziednešu ieriešanās periodā. To nodrošina gumiņu sadalīšanās vasaras otrajā pusē un septembra sākumā. Tā kā zemeņu un tauriņziežu sakņu sistēmu telpas pārklājas, tas nodrošina lielāku iespēju, ka gumiņos esošais slāpekļis tiks uzsūkts ar zemeņu sakņu sistēmu (5. attēls). Tas tika konstatēts un apstiprināts, veicot zemeņu augu analīzes ārvalstu laboratorijā (ASV), lai noteiktu nitrificētā slāpekļa esamību zemeņu auga audos.

Lai ieviestu jauktos stādījumus un sējumus savā saimniecībā, noteikti vajadzētu veikt sākotnējo augsnes agroķīmisko izpēti. Atbilstoši augsnes pH līmenim un augsnes īpašībām jāizvēlas piemēroti kultūraugi. Izvēloties augus JSS ir jādomā arī par to aizsardzību no kaitēkļiem. Ja tā ir integrētā saimniekošana, tad jāpārlicinās, vai ir iespējams nodrošināt nepieciešamos agrotehniskos pasākumus augu aizsardzībai. Būtiski JSS ieviešana jāizvērtē bioloģiskajā saimniekošanā. Tā kā bioloģisko augu aizsardzības līdzekļu klāsts nav plašs, jārēķinās, ka nepareizi kombinētu augu audzēšana var būtiski palielināt kopšanas izmaksas darbaspēka algošanai. Nākamais solis pēc augu izvēles ir plānošana, kurā laikā tie jāsēj vai jāstāda, lai pilnīgāk varētu izmantot audzēšanas sistēmas piedāvātās iespējas.

Sākumā, kad šāda saimniekošanas tehnoloģija saimniecībā ir jauna, vēlams vērot, kā augi jūtas, sevišķi būtiski ir nodrošināt nepieciešamo ūdens daudzumu, taču to nevajag arī dot par daudz. Svarīga ir arī augu biežība – par biezu var veicināt slimību izplatību, par retu – nezāļu augšanu. Tā kā augsne un meteoroloģiskie apstākļi var būt krasi atšķirīgi, gan saimniecības robežās, gan visā valsts teritorijā, tad, uzsākot pielietot šo saimniekošanas veidu, ir vēlams sākt ar salīdzinoši nelielām platībām, lai pārbaudītos, ka kombinācija, kas vienā vietā ir bijusi ļoti sekmīga, tāda ir arī citā vietā saimniecībā.



5. attēls. Zemeņu un cūku pupu sakņu sistēmu telpas pārklāšanās – ar apli apvilkti pupu sakņu gumiņi



Literatūra

- Francis G. S., Bartley K. M., Tabley F. J. (1998) The effect of winter cover crop management on nitrate leaching losses and crop growth. *The Journal of Agricultural Science*, 131 (3), p. 299–308.
- Bauer O. J., Frederick R., Novak J. M., Hunt P. G. (2005) Soil CO₂ flux from a norfolk loamy sand after 25 years of conventional and conservation tillage. *Soil and tillage research*, 90(1–2), p. 205–211.
- Janušauskaite D., Kadžiene G., Auškalniene O. (2013) The effect of tillage system on soil microbiota in relation to soil structure. *Pol. J. Environ. Stud.* 22 (5), p. 1387–1391.
- Lindsey R. (2020) Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide> (skatīts: 18.05.2020.)
- Foucher A., Evrard O., Chabert C., Cerdan O., Lefèvre I., Vandromme R., Salvador-Blanes S. (2019) Erosional responses to land abandonment in rural areas of Western Europe during the Anthropocene: A case study in the Massif- Central, France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 284.
- Shrivastava P., Kumar R. (2015) Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(2), p. 123–132.
- Wada Y., Van Beek L. P. H., Bierkens M. F. B. (2011) Modelling global water stress of the recent past: On the relative importance of trends in water demand and climate variability. *Hydrology and earth system science*, 15, p. 3785–3808.
- Fernandez-Aparicio M., Amri M., Kharrat M. and Rubiales D. (2010). Intercropping reduces *Mycosphaerella pinodes* severity and delays upwards progress on the pea plants. *Crop protection*, 29, p. 744–750.
- Mohler C. L., Stoner K. A. (2012) Guidelines for intercropping. <https://www.sare.org/Learning-Center/Books/Crop-Rotation-on-Organic-Farms/Text-Version/Guidelines-for-Intercropping> (skatīts: 18.05.2020.)
- Navarro-Miró D., Blanco-Moren, J. M., Ciaccia C. *et al.* (2019) Agroecological service crops managed with roller crimper reduce weed density and weed species richness in organic vegetable systems across Europe. *Agron. Sustain. Dev.* 39, p. 55.
- Tsubo M., Walker S. (2002) A model of radiation interception and use by a maize – bean intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 110(3), p. 203–215.
- Hooks C. R. R., Johnson M. W. (2003) Impact of agricultural diversification on the insect community of cruciferous crops. *Crop Protection*, 22, p. 223–238.
- Monteith, J., Szeicz, G., & Yabuki, K. (1964) Crop Photosynthesis and the Flux of Carbon Dioxide Below the Canopy. *Journal of Applied Ecology*, 1(2), p. 321–337.
- Wang N-Q, Kong C-H, Wang P, Meiners SJ. (2021) Root exudate signals in plant-plant interactions. *Plant Cell Environ.* 44, p. 1044–1058.
- Khalvati M. A., Hu Y., Mozafar A., Schmidhalter U. (2005) Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology*, 7(6), p. 706–712.
- Alori E. T., Glick B. R., Babalola O. O. (2017) Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in microbiology*, 8, p. 971.
- Zemkopības ministrija (2020) Lauksaimniecības gada ziņojumi. <https://www.zm.gov.lv/lauksaimnieciba/statiskas-lapas/lauksaimniecibas-gada-zinojumi?nid=531#jump> (skatīts: 18.05.2020.)

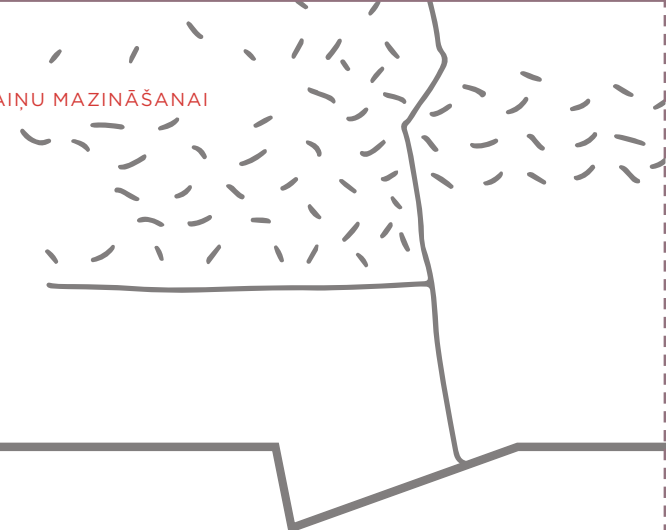
KLIMATAM DRAUDZĪGĀ KOMPOSTA GATAVOŠANA UN IZMANTOŠANA AUGSNES BAGĀTINĀŠANĀ UN AUGU NODROŠINĀŠANĀ AR BARĪBAS VIELĀM

SANDRA DANE

AS Pūres dārzkopības izmēģinājumu stacija,
Abavas iela 2, Pūre, Pūres pag.,
Tukuma nov., LV-3124, Latvija
e-pasts: sandra.dane@inbox.lv

Ievads

Būtiska loma videi draudzīgā saimniekošanā un siltumnīcefekta gāzu (SEG) samazināšanā ir oglekļa (C) piesaistei augsnē. Dabīgu procesu rezultātā C piesaista augi un noglabā savā biomasā, tādā veidā izņemot to no aprites. Zemkopju uzdevums ir sekmēt augu augšanu un mācēt šo piesaistīto C masu nepalaist atpakaļ atmosfērā. Daļēji to var risināt ar augu atlieku iestrādāšanu augsnē. Lai sekmīgāk norisinātos augu atlieku sadale augsnē, labi, ja iestrādājamajā materiālā ir gan sausā daļa (materiāls ar lielu sausnas saturu), gan zaļā daļa (sulīgās augu daļas). Viens no labākajiem variantiem, kā kvalitatīvi saistīt C, ir komposta veidošana. Komposts ir ne tikai labs augu barības vielu avots, bet arī uzlabo augsnes struktūru [1, 2], palielina tās spēju noturēt ūdeni un barības vielas [3]. Organiskā viela sastāv no oglekļa savienojumiem, līdz ar to, palielinot organiskās vielas saturu augsnē, palielinās arī saistītā C daudzums, kas nenonāk atmosfērā un nepalielina SEG daudzumu. Kompostēt var jebkuru augu izcelsmes organisko materiālu, ir tikai jāzina oglekļa un slāpekļa attiecība, lai nodrošinātu kvalitatīva komposta izveidi. Kvalitatīvs komposts ir labi sadalījies, tajā nav augu slimību ierosinātāju un nav sēklu, kas saglabājušas dīgtspēju; tajā nav arī kaitēkļu [4]. Ja komposts nav kvalitatīvs, tad pastāv risks palielināt nezāļu daudzumu laukā [5]. Līdz ar to vēlams kompostēt visu augu izcelsmes organisko materiālu, kas netiek realizēts, bet paliek atkritumos.



Kompostēšana ir bioloģisks process, kura rezultātā organiskās vielas, galvenokārt dažādi atkritumi, tiek pārvēsti humusam līdzīgā materiālā. Šos procesus nodrošina mikroorganismi (mikroskopiskās sēnes un baktērijas), makroorganismi (sliekas) un fizikāli ķīmiski procesi (piem., mineralizācija). Kompostēšanas laikā komposta masa tiek regulāri mitrināta, apmaisīta, ja nepieciešams, veikta kaļķošana, izveidojas humusam līdzīgs materiāls – komposts [6].

Komposts ir organisko atlieku vai augsnes un organisko atlieku maisījums, kas pakļauts aerobam kompostēšanas procesam, un to lieto augsnes ielabošanai vai kā mēslošanas līdzekli, arī kā substrātu dārzenkopībā. Tas ir veids, kā mēs augsnei varam atdot daļu no tā, ko ar ražu esam paņēmuši. Līdz ar to ir jāzina, kā pareizi sagatavot kvalitatīvu kompostu. Viedokļu un metožu ir daudz, tomēr ir galvenie pamatprincipi, kas jāievēro tā gatavošanā. Viens no potenciāli lielākajiem komposta plusiem ir arī tā potenciāls aizstāt gan kūdru kā substrātu, gan minerālmēslus kā augsnes bagātinātājus.

Tā kā kūdras izstrāde ir viens no lielākajiem agrārajiem sektoriem, kas veido būtisku daļu no kopējās SEG emisijas [7], arvien plašāk tiek pētīti varianti, kā kūdru – substrātu un augsnes bagātinātāju – aizstāt ar dažādiem kompostiem [8, 9].

Lai gan komposts kā tāds ir zināms jau sen, turklāt tas ir daudz pētīts, tomēr vēl ir daudz neskaidrību un nezināmu lietu, kas ietekmē komposta kvalitāti, piemēram, cik lielā apmērā, kā arī kāda ir dažādo kompostu un to izejmateriālu ietekme uz augu spēju uzņemt no tā barības vielas un veidot kvalitatīvu ražu, kā arī par tā sagatavošanas procesu ietekmi uz vidi, klimata kontekstā, ir salīdzinoši maz pētītā un ir daudz neskaidru jautājumu. Turklāt jautājums par kompostu kā substrāta aizstājēju ir aktualizējies tikai pēdējā desmitgadē. Tas ir būtiski arī Latvijā, jo purvu izstrāde no SEG emisijas viedokļa ir nevēlama, līdz ar to ir jārod jauni substrātu avoti. Izstrādājot dažādus kompostus, kas derētu gan kā kvalitatīvs mēslojums, gan kā vide, kur attīstīties augiem, būtiski palielinātu lauksaimniecības potenciālu oglekļa piesaistē, nevis tā pastiprinātā atbrīvošanā, kas aktīvi noris, izstrādājot purvus.

Komposts – videi un klimatam draudzīgs mēslošanas un augsnes bagātināšanas līdzeklis

Kompostēšanas procesa laikā no komposta masas izdalās dažādasgāzveida vielas, kā arī ar lieko mitrumu tiek izskaloši arī dažādi savienojumi [10]. Daļa no šīm gāzēm, piemēram, slāpekļa (I) oksīds (N_2O), metāns (CH_4) un oglekļa dioksīds (CO_2), galvenokārt veido SEG sastāvdaļas [11]. N_2O un CH_4 emisija no dažādiem kompostā izmantotajiem materiāliem un komposta apsaimniekošanas variantiem var sastādīt no 1–1464 mg N_2O m⁻² dienā un no 0–119000 mg CH_4 m⁻² dienā [12]. Metāna emisijas viens no galvenajiem veicinošajiem faktoriem ir zemas temperatūras, kad mikroorganismi, kas to varētu piesaistīt, vēl aktīvi nedarbojas, kā arī paaugstināts mitrums veicina metāna emisiju [13]. SEG pastiprināti izdalās arī kompostēšanas sākumā un beigās, jo sākotnējā materiālā vēl ir pietiekoši daudz viegli noārdāmo vielu, no kurām izdalās SEG, kā arī kompostēšanas beigās komposta temperatūra vairs nav tik augsta, lai nodrošinātu aktīvu mikroorganismu darbību, kas spētu piesaistīt SEG [14]. Ir pētījumi, kas liecina par pastiprinātu N_2O izdalīšanos no komposta materiāla, kas galvenokārt sastāv no fēcēm, pēc katras tā maisīšanas reizes [15], tomēr šādā komposta materiālā metāna izdalīšanās tika novērota tikai pašā izmēģinājuma sākumā. Kā norāda raksta autors, lielāko daļu no slāpekļa zuduma radīja amonjaka iztvaikošana visā kompostēšanas procesa laikā. Tas apstiprinājās arī citā pētījumā, kur tika pētīta dažāda veida fermu mēslu kompostēšana, proti, lielākās amonjaka noplūdes ir no materiāliem ar augstu slāpekļa saturu [16]. Tas liek domāt par nepieciešamību palielināt sausnas saturu šāda tipa kompostā, jo tad tas nebūtu jāmaisā tik bieži, lai nodrošinātu aerētus apstākļus, kā arī kompostēšanas procesi notiktu lēnāk un noārdītās viegli gaistošās vielas lielākā mērā varētu piesaistīt kompostētāji – mikroorganismi. Jo kompostējamā materiālā, kas galvenokārt sastāv no mēsliem, galvenokārt notiek denitrifikācijas process [17]. Lai mazinātu noplūdes no komposta masas kompostēšanas laikā, ir pētījumi [18], kas iesaka tajos uzturēt optimālu mitrumu un temperatūru, regulāri maisot un mitrinot kompostējamu masu. Kā arī, salīdzinot dažādu kompostu veidošanas metodes – stirpas, slāņveida komposta kaudzes un piespiedu aerētās stirpas –, tika konstatēts, ka stirpas ir labākais variants, kam ir vismazākā SEG noplūde, kā arī tām ir lielāka kvalitatīvā komposta iznākums [19, 20].

Komposta gatavošanas iespējas

Tā kā pāriet laiks, lai no kompostējamās masas izveidotu kvalitatīvu kompostu, tā veidošanai ir jāparedz vairākas vietas. Vienā vietā ir jaunās komposta masas krāšanas vieta, otrā – aktīvā kompostēšana, trešajā – gatavais komposts. Kompostu var veidot gan uz augsnes virsmas, gan uz betonētas

pamatnes. Var izvēlēties vietu, kur vēlāk vēlas veidot dobi, jo zem komposta kaudzes augsnes virskārta jau būs bagātināta ar organiskajām vielām, kas izskalosies no komposta un nezāles un to sēklas būs aizgājušas bojā. Tādā veidā jau laicīgi tiks iekopta un ielabota augsne. Šāds variants der pasīvajai komposta veidošanai. Ja kompostēšana notiek uz betona virsmas, var samazināt ūdens zudumu un augu barības vielu ieskalošanos augsnē, kur tas nav nepieciešams.

Kompostu pamatā veido augu atliekas, sākot no nopļautās zāles līdz koku zariem. Tikai jāpatur prātā, ka, jo lielāki zari, jo lēnāk tie sadalīsies. Komposts jau var būt gatavs, bet lielie zari līdz galam vēl nav sadalījušies. Šādā gadījumā kompostu būtu vēlams izšķīrot, izlasot lielos zarus, un tos ievietot jaunā komposta kaudzē. Pastāv dažādi uzskati par dzīvnieku izcelsmes produktu, kas nav mēsli, iekļaušanu komposta materiālā. Sākotnēji gaļas, kaulu un citu produktu pievienošana kompostam netika veicināta, jo šāda tipa komposti var izdalīt vairāk nepatīkamus aromātus, pievilināt grauzējus un kukaiņus. Tomēr jaunākie pētījumi pierāda, ka šāda veida materiāla pievienošana kompostējamai masai var uzlabot kompostēšanas procesu un gala rezultātu. Tas tiek lielākoties pētīts mājstaimniecību kompostēšanas praksē [21].

Veidojot kompostu, svarīgi tajā iekļaut gan zaļo materiālu (augu atliekas, nezāles, zāle, augļi, dārzeņi), gan brūno materiālu (salmi, koku lapas, kūtsmēsli). Tā kā kompostā liek daudz augu atlieku, kas satur daudz oglekļa, komposts jāpapildina ar slāpekļa avotu. Veidojot komposta kaudzi, jācenšas izveidot **oglekļa un slāpekļa attiecību 30:1** [22]. To var mēģināt precīzi aprēķināt, zinot C:N attiecības izejmateriālā (1. tabula), vai arī aptuveni palauties uz sajūtām. It sevišķi, ja komposta kaudzi veido pamazām – piemājas dārzā visas vasaras garumā ir ļoti grūti iegūt konkrētu attiecību. Šādam variantam sākotnēji labāk izvēlēties pasīvo variantu līdz sezonas beigām, kad tiek pievienotas sausās koku lapas, un tad nākošajā gadā veikt maisīšanu un laistīšanu, lai, vēlākais, rudenī komposts būtu gatavs.

Ja slāpeklis būs lielākā koncentrācijā, kompostēšanas process var norisināties ātrāk, kā arī palielinās iespēja, ka slāpekļa savienojumi pastiprināti nonāks atmosfērā un augsnē [23]. Ja ogleklis būs lielākā koncentrācijā, tad kompostēšanās process var ieilgt [24]. Intensīvā kompostēšanas gadījumā tas parasti prasa aptuveni sešus mēnešus. Lai normalizētu C:N attiecību, parasti lieto kūtsmēslus. Govju kūtsmēslus ir labāk sadalījušās nezāļu sēklas, bet zirga mēslus ir vairāk dzīvotspējīgo sēklu. Ja kompostēšanas procesā tiek uzturēta optimāla temperatūra katrai kompostēšanās stadijai un mitrums, tad nezāļu sēklas aiziet bojā [25]. Ja nav iespējas iegūt kūtsmēslus, tad var izmantot tauriņziežus vai kādas citas augu atliekas, kas satur vairāk slāpekļa (1. tabula). Ir jāpatur prātā arī tas, ka, ja komposts satur ļoti daudz oglekļa, tas pastiprināti jālaista, piemēram, ja komposts satur vairāk nekā 70 % šķeldas.

1. tabula

ZINĀMĀS AUGU C:N ATTIECĪBAS UZ VIENU MASAS VIENĪBU [22]

Materiāls	C : N
Ābolu spiedpaliekas	21:1
Airene ziedēšanas fāzē	37:1
Airene veģetatīvajā fāzē	26:1
Avīzes	800:1
Dārzeņu paliekas	12:1
Graudu pelavas	80:1
Kukurūzas stieбри	60:1
Sausas lapas	50:1
Svaigas lapas	30:1
Govju mēsli	18:1
Vistu mēsli	7:1
Zirgu mēsli	25:1
Auzu salmi	74:1
Kviešu salmi	80:1
Lapukoku skaidas	400:1
Skujkoku skaidas	600:1
Svaigi pļauta zāle	15:1
Sausa zāle	19:1
Zivju ķidas	4:1

Kompostu var veidot intensīvi un pasīvi. **Pasīvajā** variantā komposta materiālu nepieciešams izvietot kaudzēs, kuru platums un augstums ir viens metrs, garums ir neierobežots. Šādas kaudzes kompostējas aptuveni divus gadus. Tās netiek maisītas un papildus laistītas. Šādas komposta kaudzes parasti kārto pa slāņiem – zaļš (augsts organisko savienojumu saturs)

un brūns (augsts C saturs). Un tā vairākās kārtās. Zaļajā slānī ietilpst svai-
gaiss materiāls – zāle, nezāles, augu atkritumi no virtuves, augļi, dārzeņi,
kūstmēsli. Brūnajā slānī ietilpst salmi, koku lapas, papīrs, šķelda. Parasti šajā
slānī pievieno arī kaļķojamo materiālu, lai nodrošinātu tuvu neitrālu vides
reakciju mikroorganismu darbībai. Zarus šādās kaudzēs vēlams izvietot
visos slāņos. Tas nepieciešams, lai varētu nodrošināt gaisa apmaiņu, jo gar
zariem komposts pārlietu nesablīvējas. Šādas kaudzes vēlams nosegt ar
salmiem, lai samazinātu iztvaikošanas un izskalošanās risku. **Intensīvajam**
kompostam raksturīga aktīva maisīšana un mitrināšana, turklāt tā gatavo-
šanā lieto sasmalcinātas augu daļas (1. attēls).



1. attēls. Komposta masa intensīvajā sistēmā. Autores foto

Intensīvi veidotajā kompostā ir krietni vairāk kvalitatīvu organisko sa-
vienojumu, kas augšnes mikroorganismu darbības rezultātā tiek šķelti un
pārveidoti, tādējādi kļūstot uzņemami augiem. Piemājas dārziņa apstāk-
ļos to var viegli paveikt, ja komposta materiālu liek mucā ar caurumiem
sānos. Caurumi nepieciešami, lai liekais mitrums varētu iztecēt ārā – to
var izmatot augu laistīšanā. Sasmalcināto komposta materiālu ieliek mucā
un salaista, noliek guļus, ēnainā vietā. Pēc kādām četrām dienām mucas
saturs ir jāsamaisa un jāpārliedzinās, vai nav papildus jāsamitrina. Karstā
laikā to nepieciešams darīt biežāk, jo pārlietu lielā karstumā mikroorganis-
mi pārtrauc savu darbību [26], kas lielai daļai mikroorganismu notiek pie
60–65 °C [27]. Mitrumu var noteikt, paņemot kompostu rokās un saspiežot.

Ja kompostējamais materiāls pielīp pie rokas, tas ir nepieciešamajā mitru-
mā. Samaisīšanu mucā veic, mucu pāris reižu apveļot. Lielākiem apjomiem
vēlams kompostu veidot uz betonētas virsmas vai uz labi nolīdzinātas aug-
snes, kam pa virsu ir noklāts uzsūcošais slānis, ja šai vietā nav paredzēts
audzēt augus pēc komposta aizvākšanas. Ļoti ērti ir izmantot komposta
jaucējus, kā redzams attēlos (2., 3. attēli).

2. attēls. Komposta jaucējs un komposta
krāvums (stirpās) intensīvajā komposta
veidošanas sistēmā. Autores foto



3. attēls. Komposta jau-
cējs. Autores foto



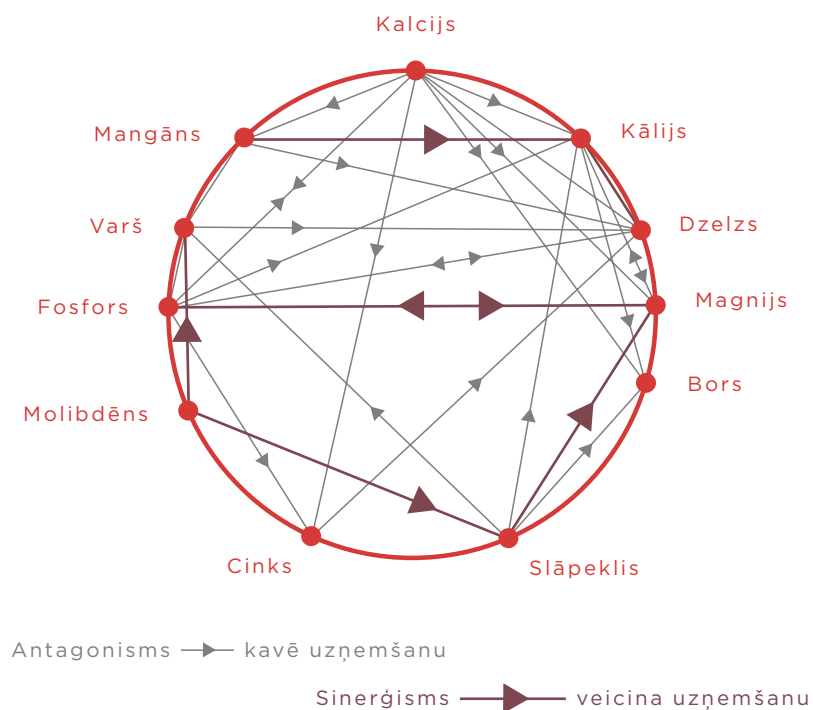
ūdens caurule

Šādi komposta jaucēji nodrošina kvalitatīvu stirpas sajaukšanu un, ja ne-
pieciešams, arī mitrināšanu. Izmantojot šāda tipa jaucējus, gatavu kompos-
tu ir iespējams iegūt jau četru mēnešu laikā (atkarīgs no izmantoto daļu
lieluma un ķīmiskā sastāva), jo nodrošina virskārtas, kas standartā sadalās
lēnāk, iemaisīšanu kopējā masā. Lai gan komposta masas maisīšana var
uz brīdi palielināt gāzu emisiju, tomēr tas ir salīdzinoši neliels apjoms pret
komposta nogatavošanās ātrumu, kā arī var izmantot dažāda tipa seg-
šanas materiālus, kas samazina gāzu emisiju un komposta pastiprinātu
žūšanu. Būtu labi izvairīties no pārlietu liela māla daļiņu piejaukuma, jo kā
Flandrijas lauksaimniecības, zivsaimniecības un pārtikas pētniecības insti-
tūtā (ILVO) atbildīgie par komposta pētījumiem ir secinājuši – māla daļiņas

izraisa pastiprinātu komposta sakaršanu (kā personīgā sarunā teica Koens Vilekensens). Tas liek biežāk maisīt kompostu, kas savukārt traucē mikroorganismu sēnēm attīstīties un aktīvi sadalīt sarežģītākās komposta materiāla daļiņas. Pētnieki no ILVO iesaka četras dienas kompostā uzturēt 60 °C temperatūru, tad trīs nedēļas – 48 °C, tas palīdz iznīcināt slimību ierosinātājus. Intensīvajā komposta veidošanā institūtā iesaka kaudzes pārklāt ar presētu, sintētisku, elpojošu materiālu. Tas uzlabo temperatūras režīmu, samazina ūdens iztvaikošanu ar dažādām citām vērtīgām gaistošajām vielām, ko vēlāk mikroorganismi piesaista pie komposta daļiņām. Sliēkas šādās komposta kaudzēs parasti nedzīvo, jo ir par karstu [28].

4. attēls.

SAVSTARPĒJĀ BARĪBAS ELEMENTU SADARBĪBA – MULDERA SHĒMA



Komposta praktiskais pielietojums

Komposts satur 15–20 % organisko vielu. Tas ir dažādu organisko savienojumu un barības elementu koncentrāts, tāpēc nav vēlams augus stādīt tīrā kompostā, ja tie ir jutīgi pret paaugstinātu barības vielu koncentrāciju. Organisko un barības vielu saturs atšķiras atbilstoši izmantotajam komposta izejmateriālam. Mēslojot ar kompostu, nedrīkst pārsniegt tā iestrādes normas, jo, pārmēslojot augsni ar kompostu, var tikt radīta barības vielu

pārbagātība, kas var kaitēt augu attīstībai. Lai tā nenotiktu, ir jābūt jāpējas, lai mikroorganismu aktivitāte būtu pietiekoši augsta. Mikroorganismi nodrošina barības vielu apriti augsnes [29]. Komposta iestrādi augsnes var veikt, tāpat kā iestrādājot kūtsmēslus, tos vispirms izkliedējot uz lauka un trīs dienu laikā iestrādājot augsni ar aršanu vai diskošanu. Kompostu var dot augiem arī lokāli, sevišķi jau iestādītam daudzgadīgam stādījumam; tad to var nobērt ap augu un iespēju robežās ierušināt augsni vai virsū uzliekot mulču, kas pasargās no slāpekļa izgarošanas, vienlaikus uzlabojot augsnes mitruma režīmu. Ja plānotais lauks ir nabadzīgs ar barības vielām, nevajadzētu pirmajā gadā dod pārbagātu komposta devu, lai tā it kā uzreiz iegūtu optimālo organiskās vielas saturu. Tas būs šoks augsni mītošajiem mikroorganismiem, un tie var aiziet bojā. Nabadzīgās augsnēs nav pietiekoši daudz aktīvo mikroorganismu, kas spēj piesaistīt lielas masas organisko mēslošanas līdzekļu un tos pārstrādāt augiem uzņemamā formā. **Mērenība ir visa pamatā.** Komposta deva ir atkarīga gan no augsnes analīzēm, gan no augam nepieciešamā barības vielu daudzuma, gan no barības vielu satura kompostā. Lai precīzi uzzinātu, cik lielas mēslojuma devas ir nepieciešamas, jāveic agroķīmiskās analīzes gan augsnei, gan kompostam. Katru gadu mēslojot laukus ar kompostu, pirms mēslošanas kompostam ir nepieciešams veikt analīzes. Ieteicams ik gadu veikt analīzes arī augsnei, lai varētu novērot, kā komposts ietekmē augsnes auglību. Analīzes arī ļaus novērot, vai kāds no elementiem nav toksiskā devā, kā arī, vai netiek traucēts barības elementu līdzsvars, kura principi ir attēloti D. Muldera shēmā (*Mulder's chart*) (4. attēls) [30].

Ar zaļo bultu apzīmēta elementa uzņemšanas veicināšana, ar zilo – kavēšana. Piemēram, mangāns veicina kālija uzņemšanu, bet tā paaugstināts saturs kavē dzelzs uzņemšanu.

Komposts paver plašas iespējas bagātināt mūsu augsni kvalitatīvas ražas ieguvei, tomēr jāpatur prātā, ka sākotnēji tā veidošana var būt ekonomiski neizdevīga. Tas saistīts ar to, ka jāierīko kompostēšanas vieta, jāmodificē saimniekošana, t. i., jāparedz augu atlieku izvešana no lauka uz kompostēšanas vietu, jācēja iegāde, papildu darbaspēks komposta veidošanai, procesu uzraudzībai. Jāatceras, ka komposts var nebūt tūlītējs brīnumlīdzeklis, ja augsne gadu gadiem nav mēslota ar organiskajiem mēslošanas līdzekļiem, tādā gadījumā augsni var nebūt attiecīgu mikroorganismu, kas palīdzētu pārstrādāt komposta barības vielas augiem vieglāk uzņemamā formā. Lai šādas mikroorganismu kopas izveidotos, var paiet līdz pat pieciem gadiem ilgs laiks.

Kompostēšanas veids ir atkarīgs gan no augu atlieku daudzuma, gan no iespējas to aktīvi veidot. Veidojot kompostu, galvenokārt jāievēro optimāls mitrums un temperatūra. Svarīgi arī kompostu neseģt, lai samazinātu gāzu emisiju un samazinātu SEG emisiju no komposta ražošanas. Zem komposta nepieciešams arī nodrošināt uzsūcošo slāni vai betonētu virsmu,

kas samazina vielu izskalošanos un ieskalošanos dziļākos augsnes slāņos. Jāievēro C:N attiecība 30:1.

Aktīvi veidojot kompostu no saimniecībā saražotās augu izcelsmes atkritumu masas, kā arī izmantojot citus augu izcelsmes materiālus, ir iespējams krietni samazināt C un N nonākšanu atmosfērā, vienlaikus iegūstot kvalitatīvu mēslošanas līdzekli, kas bagāts ar aktīvām organiskajām vielām un barības elementiem. Šīs vielas ir saistītas organiskajā masā, kas nodrošina to stabilitāti un samazina zudumus izskalošanās un iztvaikošanas procesu rezultātā.

Literatūra

1. Weber J., Karczewska A., Drozd J., Licznar M., Licznar S., Jamroz E., Kocowicz A. (2007) Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(6), p. 1294-1302.
2. Willekens K., Vandecasteele B., Buchan D., De Neve S. (2014) Soil quality is positively affected by reduced tillage and compost in an intensive vegetable cropping system. *Applied Soil Ecology*, 82, p. 61-71.
3. Grey M., Henry C. (1999) Nutrient retention and release characteristics from municipal solid waste compost. *Compost Sci. Util.*, 7 (1), p. 42-50.
4. Kebibeche h., Khelil O., Kacema M., Harche M. K. (2019) Addition of wood sawdust during the co-composting of sewage sludge and wheat straw influences seeds germination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 168, p. 423-430.
5. Menalled F. D., Kohler K. A., Buhler D. D., Liebman M. (2005) Effects of composted swine manure on weed seedbank. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 111(1-4), p. 63-69.
6. Kārkliņš A. (2012) Zeme, augsne, mēslojums: Terminu skaidrojošā vārdnīca. Jelgava, LLU, 477 lpp, 187.-188. lpp.
7. Veber G., Kull A., Villa J. A., Maddison M., Paal J., Oja T., Iturraspe R., Pärn J., Teemusk A., Mander A. Ü. (2018) Greenhouse gas emissions in natural and managed peatlands of America: Case studies along a latitudinal gradient. *Ecological Engineering*, 114, p. 34-45.
8. Massa D., Malorgio F., Lazzereschi S., Carmassi G., Prisa D., Burchi G. (2018) Evaluation of two green composts for peat substitution in geranium (*Pelargonium zonale* L.) cultivation: Effect on plant growth, quality, nutrition, and photosynthesis. *Scientia Horticulturae*, 228, p. 213-221.
9. Boldrin A., Hartling K. R., Laugen M., Christensen T. H. (2010) Environmental inventory modelling of the use of compost and peat in growth media preparation. *Resources, Conservation and Recycling*, 54 (12), p. 1250-1260.
10. Chen H., Awasthi S. K., Liu T., Duan Y., Ren X., Zhang Z., Pandey A., Awasthi M. K. (2020) Effects of microbial culture and chicken manure biochar on compost maturity and greenhouse gas emissions during chicken manure composting. *Journal of Hazardous Materials*, 389 (121908).
11. United State Environmental Protection Agency (2020) Overview of Greenhouse Gases. <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases> (skatīts: 18.05.2020).
12. Beck-Friis B., Pell M., Sonesson U., Jönsson H., Kirchmann H. *et al.* (2000) Formation and Emission of N₂O and CH₄ from Compost Heaps of Organic Household Waster. *Environmental Monitoring and Assessment*, 62, p. 317-331.
13. Börjesson G., & Svensson B. H. (1997). Seasonal and Diurnal Methane Emissions from a Landfill and Their Regulation By Methane Oxidation. *Waste Management & Research*, 15(1), p. 33-54.

14. Hellmann B., Zelles L., Palojarvi A., Bai Q. (1997) Emission of Climate-Relevant Trace Gases and Succession of Microbial Communities during Open-Windrow Composting. *Applied and Environmental Microbiology*, 63 (3), p. 1011-1018.
15. Kuroda K., Osada T., Yonaga M., Kanematu A., Nitta T., Mouri S., & Kojima T. (1996). Emissions of malodorous compounds and greenhouse gases from composting swine feces. *Bioresource technology*, 56(2-3), p. 265-271.
16. Martins O., Dewes T. (1992) Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes, *Bioresource Technology*, 42(2), p. 103-111.
17. Sibbesen E., Lind A. M. (1993) Loss of Nitrous Oxide from Animal Manure in Dungheaps, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 43(1), p. 16-20.
18. Han Z. D., Hui S., Ruoyu W., Zhiyuan L., Qi B. Q. (2018) Effects of ambient temperature and aeration frequency on emissions of ammonia and greenhouse gases from a sewage sludge aerobic composting plant. *Bioresource Technology*, 270, p. 457-466.
19. Lopez-Real J., Baptista M. (1996) A Preliminary Comparative Study of Three Manure Composting Systems and their Influence on Process Parameters and Methane Emissions, *Compost Science & Utilization*, 4(3), p. 71-82
20. Robertson K. (1994) Nitrous Oxide Emission in Relation to Soil Factors at Low to Intermediate Moisture Levels. *Journal of Environmental Quality*, 23, p. 805-809.
21. Storino F., Arizmendiarieta J. S., Irigoyen I., Muro J., Aparicio-Tejoa P. M. (2016) Meat waste as feedstock for home composting: Effects on the process and quality of compost. *Waste Management*, 56, p. 53-62.
22. Hemenvejs T. (2016) Gajas Dārzs: Piemājas permakultūras rokasgrāmata. Zvaigzne ABC, 92.-94. lpp.
23. Yang Y., Awasthi M. K., Du W., Ren X., Lei T., Lv Y. (2020) Compost supplementation with nitrogen loss and greenhouse gas emissions during pig manure composting. *Bioresource Technology*, 297.
24. Yu K., Li S., Sun X., Kang Y. (2020) Maintaining the ratio of hydrosoluble carbon and hydrosoluble nitrogen within the optimal range to accelerate green waste composting. *Waste Management*, 105, p. 405-413.
25. Grundy A. C., Green J. M., Lennartsson M. (1998) The Effect of Temperature on the Viability of Weed Seeds in Compost, *Compost Science & Utilization*, 6(3): 26-33.
26. Microbiology of solid waste. (1996) Edited by A. C. Palmisano, M. A. Barlaz CRC Press. p. 166.
27. Miller F. C. (1993), Composting as a process-based control on ecologically selective factors. In: *Soil Microbial Ecology*, ed. F. B. Metting. New York, p. 515-543.
28. Garg V. K., Renuka G. (2011) Effect of Temperature Variations on Vermicomposting of Household Solid Waste and Fecundity of *Eisenia fetida*. *Bioremediation Journal*, 15, p. 165-172.
29. Rashid M. I., Mujawar L. H., Shahzad T., Almeelbi T., Ismail I. M. I., Oves M. (2016) Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. *Microbiological Research*, 183, p. 26-41.
30. Mulder D. (1953) Les elements mineurs en culture fruitiere. *Convegno Nazionale Frutticoltura*, 118, p. 98. French: Montana de Saint Vincent.

KONTROLĒTĀS DRENĀŽAS PIELIETOJUMS KLIMATA PĀRMAIŅU UN TO IETEKMES MAZINĀŠANAI LAUKSAIMNIECĪBĀ LATVIJĀ

RŪTA ABAJA, IEVA MEŽAKA

Vides risinājumu institūts,
"Lidlauks", Priekuļu pag.,
Cēsu nov., LV-4126, Latvija
e-pasts: ruta.abaja@vri.lv

Kopsavilkums

Lauksaimniecības nozari nākotnē sagaida gana daudz izaicinājumu, kas saistāmi ar klimata pārmaiņu prognozētajām laikapstākļu, gaisa temperatūras un ar to saistīto ūdens aprites esošā līdzsvara maiņu. Vienlaikus pieprasījums pēc lauksaimniecības produkcijas pieaug līdz ar globāli pieaugošo iedzīvotāju skaitu pasaulē. Kontrolētā drenāža (KD) ir viena no metodēm, ko pasaulē rekomendē efektīvākai ūdens resursu un tajā izšķīdušo barības vielu izmantošanai lauksaimniecības zemēs. LIFE CRAFT (LIFE16 CCM/LV/000083) projekta ietvaros Latvijā, Smiltenes un Meņģeles pagastos, divās pilotteritorijās testēja KD piemērotību tīrums kā vienu no potenciālām klimata pārmaiņu un to ietekmes mazinošām praksēm lauksaimniecībā. Projektā gūtie rezultāti apliecina pasaulē atzīto KD lietderību sausuma risku un barības vielu (īpaši slāpekļa un fosfora savienojumu) izneses mazināšanā. Tomēr oglekļa dioksīda emisijas samazinoša un dislāpeļa oksīda un metāna piesaistes veicināšana tikai daļēji tika novērota ar KD ierīkotajās projekta minerālaugšnes platībās. Neviennozīmīgie siltumnīcefekta gāzu (SEG) monitoringa rezultāti skaidrojami ar neviendabīgiem augsnes un virsmas reljefa apstākļiem. Tādēļ dažādos poligonos pilotteritorijās atšķīrās līdzšinējās meliorācijas sistēmas darbība un tajos nebija iespējams precīzi pielāgot vienādu ūdens aiztures līmeni pēc KD izbūves. Šo apstākli traucēja nodalīt skaidras SEG izmaiņu atšķirības starp KD un tradicionālās meliorācijas platībām KD demonstrējumu pilotteritorijās.

Ievads

Latvijā, tāpat kā pārējā pasaulē, novēro klimata pārmaiņas līdz ar vidējās gaisa temperatūras pieaugumu. Tā globāli pieaugusi par 1.1°C pēdējā desmitgadē, salīdzinot ar pirmsindustriālo periodu. [1] Klimata pārmaiņu prognozes liecina, ka Latvijā turpmākajā simtgadē vidējā gaisa temperatūra pieaugs vēl par 3,5–5,5°C, kas rezultēsies ar aptuveni par mēnesi garāku veģetācijas periodu, ievērojami mazāk sala dienām, toties ar kopumā vairāk nokrišņiem, tai skaitā stipriem nokrišņiem. [2] Nokrišņu pieaugums visvairāk sagaidāms ziemās, mazāk pavasaros, turpretī vasarās pieaug iespēja piedzīvot biežākus un ilgstošākus sausuma periodus. [3] Līdzās minētajām pārmaiņu tendencēm pieaug biežāka iespējamība piedzīvot ekstremālu sausumu, karstumu vai nokrišņus. Šāda klimata pārmaiņu radīta neparedzamība un it sevišķi sausums gan Latvijā, gan citviet pasaulē tiek uzskatīts par vienu no visvairāk ekonomiskos zaudējumus nesošajām klimata pārmaiņu sekām lauksaimniecībā. [4] Tā, piemēram, visā novērojumu periodā līdz 2018. gadam, Latvijā 2018. gads bija vissausākais, radot lauksaimniekiem valstī kopumā 163 miljonus eiro zaudējumu. [5]

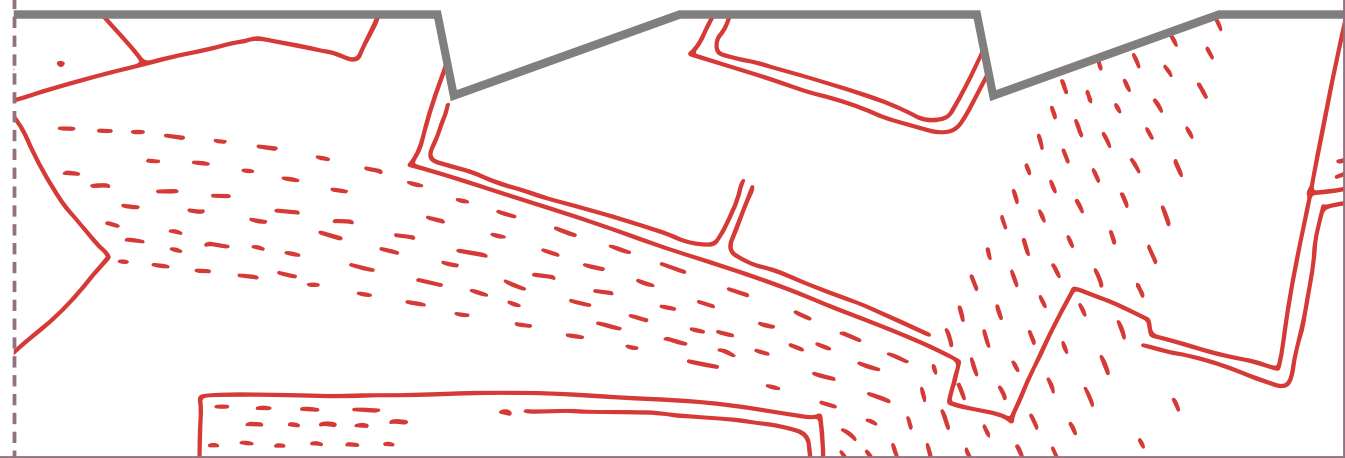
Kontrolētā drenāža (KD) ir viena no metodēm, kuru pasaulē pielieto gan cenšoties mazināt klimata pārmaiņu nesto nelabvēlīgo ietekmi uz lauksaimniecību, gan pētot tās efektivitāti siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju samazināšanā. Eiropas Savienībā lauksaimniecības nozare ir otrais lielākais SEG emitētājs pēc enerģētikas nozares, (10,55% no visām SEG) pēc 2019. gada datiem. [6] Arī Latvijā lauksaimniecība ir otrajā vietā aiz enerģētikas nozares, piemēram, 2020. gadā emisijas novērtētas 2250,88 kilotonnu CO₂ ekvivalentu apjomā. [7] Pētījumi liecina, ka atbilstoši izveidota un regulēta KD sistēma var mazināt SEG emisijas no lauksaimniecības zemēm. [8, 9] Tā samazina ūdens noplūdi un ar drenāžas ūdeni aizskaloto barības vielu iznesi no augsnes, tādējādi veicinot augstākas ražas ieguvu, [10, 11] sevišķi sausajos gados, un mazinot upju lejteces spēju lietusskāžu radītos plūdu apmērus. [12] Ne mazsvarīgi, ka vides aizsardzības kontekstā šī prakse ir sevišķi nozīmīga vispārējā ūdens piesārņojuma mazināšanā ar slāpekļa un fosfora savienojumiem, kuri vidē pārmērīgi nonāk no tradicionāli meliorētām lauksaimniecības zemēm. [8, 13] Sevišķi pēdējo divu minēto KD priekšrocību dēļ, šo meliorācijas veidu rekomendē Eiropas Savienības valstīs, lai mazinātu ūdens piesārņojumu, ko rada lauksaimnieciskās izcelsmes nitrāti, un sasniegtu labu upju, ezeru un gruntsūdeņu kvalitāti. Šo mērķu sasniegšanai ir pieņemtas tā sauktās Nitrātu (91/676/EEK) un Ūdens direktīvas (2000/60/EK).

KD no tradicionālās jeb konvencionālās drenāžas sistēmas atšķiras ar meliorācijas sistēmā izbūvētu konstrukciju, kas atrodas drenu kontrolakās vai uz drenu kolektoru iztekām. Šī konstrukcija ir regulējams aizsprosts, ar kura palīdzību iespējams kontrolēt gruntsūdens līmeni meliorētajās platībās. Latvijā pierastā tradicionāli nosusinošā meliorācijas sistēma gruntsūdens līmeņa regulēšanas iespēju neietver, tā pēc iespējas ātrāk ūdeņus novada pa izbūvēto

drenu un grāvju sistēmu no meliorētās platības. Latvijas normatīvos KD ir definēta kā divpusēja mitruma regulēšanas konstrukcija (MK noteikumi Nr. 128), taču šī raksta kontekstā līdzīgi kā daudzviet pasaules zinātniskajos rakstos termins “kontrolētā drenāža” attiecināts uz nosusināšanas funkciju, nošķirot to no apūdeņošanas jeb irigācijas sistēmās izbūvētiem ūdens pievades kontroles mehānismiem.

Meliorācijas vēsture pasaulē ir tikpat sena kā pati civilizācija, to pielietojušas teju visas pazīstamākās senās kultūras. [14] Tā ar mainīgiem uzplaukumiem dažādās pasaules malās attīstījusies līdz mūsdienām. Termins “kontrolētā drenāža” parādās zinātniskajā literatūrā, šķiet, divdesmitā gadsimta 70. gados, pētot KD susinošo un nereti arī kopā ar irigācijas sistēmām applūšanas regulējošo funkciju ražas palielināšanai zemēs, kur ilgstoši sausuma periodi raksturīgi veģetācijas sezonā, piemēram, ASV Dienvidkarolīnas štatā. [15] Kopš divdesmitā gadsimta 80. gadiem kontrolēto drenāžu sāk ieviest, galvenokārt, slāpekļa zudumu mazināšanai ASV Ziemeļkarolīnas štatā. [16] Spriežot pēc zinātnisko publikāciju daudzuma, KD visvairāk tiek pielietota Ziemeļamerikā kukurūzas un sojas laukos, Ķīnā rīsa laukos (kopā ar apūdeņošanu), bet Eiropā galvenokārt Zviedrijā, Nīderlandē un Itālijā dažādu kultūraugu laukos. [17] Latvijā KD ir jaunums, kurš tikai pēdējos gados testēts atsevišķos izpētes projektos – LIFE CRAFT, LIFE OrgBalt un SmartAgriHubs. Latvijā KD izveidei, kā vienam no sešiem videi draudzīgajiem meliorācijas sistēmas elementiem, konkursa kārtībā iespējams pretendēt uz valsts finansiālu atbalstu. [18]

Rakstā apkopota Eiropas Komisijas līdzfinansētajā LIFE programmas projektā “Klimata atbildīga lauksaimniecība Latvijā” (LIFE CRAFT NR. LIFE16 CCM/LV/000083) gūtā pieredze kontekstā ar citviet pasaulē veiktiem pētījumiem par KD ierīkošanu un tās sniegumu sausuma ietekmes mazināšanā, ražas produktivitātē, barības vielu izneses mazināšanā, kā arī SEG emisiju samazināšanā. Nodibinājums “Vides risinājumu institūts” projekta ietvaros 2020. gadā ierīkoja kontrolētās drenāžas demonstrējumu laukus 42,9 ha platībā Ogres novada, Meņģeles pagastā un 2022. gadā 37,7 ha platībā Smiltenes novada, Smiltenes pagastā. Abās pilotteritorijās projektā īstenota kompleksa monitoringa programma, kas dod iespēju veikt secinājumus un sniegt praktiskas rekomendācijas par KD ieviešanu citviet Latvijā.



Kontrolētās drenāžas ietekme uz klimatu

Pasaulē KD primāri pielieto īslaicīga sausuma ietekmes mazināšanai un barības vielu (galvenokārt slāpekļa un fosfora) izskalošanas samazināšanai lauksaimniecībā, [12, 19–21] kas rezultējas augstākā vai stabilākā ražas ieguvē. [10, 17] Taču arvien biežāk parādās pētījumi par KD iespējamu pielietojumu klimata pārmaiņu ietekmes mazināšanai un pielāgošanos klimata pārmaiņām.

Lielākajā daļā pētījumu KD pārliecinoši palīdz mazināt īslaicīga sausuma nelabvēlīgo ietekmi, ilgstošāk noturot augsnē kultūraugiem pieejamu gruntsūdens līmeni, kuru var regulēt pēc nepieciešamības. Dažādos avotos min, ka tā samazina no lauka novadītā ūdens daudzumu par 8–35 %. [12, 17, 22] Vienlaikus tā saglabā iespēju pārplūdes gadījumā strauji novadīt pārmērīgo ūdens daudzumu no lauka, tieši tāpat kā to veic tradicionālā drenāžas sistēma. Tādēļ, ievērojot raksta ievadā minētās klimata pārmaiņu prognozes Latvijā, kontrolētā drenāža uzskatāma par atbilstošu un rekomendējamu metodi, lai pielāgotos prognozētajām klimata pārmaiņām, mazinot to nelabvēlīgu ietekmi uz lauksaimniecību Latvijā. To apliecina arī kontrolētās drenāžas un tradicionālās drenāžas sistēmu atšķirību pētījums Polijā, kurā secināts, ka pieaugošo klimata pārmaiņu iespaidā KD efektivitāte samazināsies (īsāku laiku un mazāk spēs uzturēt augstāku gruntsūdens līmeni), bet joprojām tā būs augstāka nekā tradicionālai ūdens novadi neregulējošai meliorācijas sistēmai. [10, 13]

Savukārt pētījumu kopums par KD kā klimata pārmaiņas mazinošu metodi ir ievērojami mazāks un rezultātos pretrunīgāks. Pārliecinošāk KD kalpo par efektīvu SEG emisiju un globālās sasilšanas potenciāla (GSP) mazinātāju, ja to atbilstoši pielieto organiskajās jeb kūdras augsnēs, visbiežāk lauksaimniecībā apsaimniekotus kā zālājus. [23] Līdzšinējo pētījumu apjoms, kas aplūkotu lauksaimniecības zemēs KD efektivitāti SEG emisiju mazināšanai dažādās minerālaugsnēs, pie dažādiem apsaimniekošanas un vides apstākļiem ir nepietiekams, lai varētu izdarīt vispārīgus secinājumus.

KD efektivitāti būtiski ietekmē plašs faktoru kopums. Tādēļ pašreizējie klimata pārmaiņu mazināšanas pētījumi saistībā ar kontrolēto drenāžu ir neviennozīmīgi, jo visu tālāk minēto faktoru kopumu ir grūti un dārgi ietvert vienā pētījumā, turklāt vairums no tiem ir balstīti uz vienu līdz trīs gadu periodā veiktiem mērījumiem. [8, 24] Tie nav uzskatāmi par reāliem ilgtermiņa pētījumiem. Lai iegūtu priekšstatu par ilgtermiņa paredzamām sekmēm, šos mērījumus nereti iekļauj kompleksos vēsturiskos vai nākotnes prognožu modeļos. [25, 26] Zemāk dots faktoru uzskaitījums un to skaidrojums, ko nepieciešams ņemt vērā gan plānojot KD izbūvēšanu, gan vērtējot tās pielietojuma ietekmi uz SEG emisijām no lauksaimniecības zemēm.

VIRSMAS RELJEFS. Ekonomiski lielākais un efektīvākais ieguvums no KD ir laukos, kuriem reljefa kritums ir mazāks par 1 %, to var apsvērt arī laukos līdz 2 %, [27, 28] t.i. šī prakse vairāk noderēs lauksaimniecībām, kas saimnieko

līdzenumos. Laukos ar neviendabīgu reljefu un lielāku kritumu nepieciešams reljefam atbilstošs un blīvāks drenu tīklojums un kontrolaku izvietojums uz tā, lai panāktu viendabīgi un sekmīgi kontrolējamu gruntsūdens līmeni visā laukā. Tas attiecīgi nozīmē ievērojami augstākas izmaksas, jo efektīvai gruntsūdens līmeņa kontrolei ieteicams izbūvēt kontrolaku ik pēc katriem 30–45 cm reljefa krituma. [27]

GRUNTS DRENĀŽAS VEIDS. KD visbiežāk ierīko uz jau eksistējošas tradicionālās atvērtās (atklātu drenāžas grāvju sistēma) vai slēgtās (segtā drenāžas sistēma) meliorācijas sistēmas pamatnes, kuru pārvērš par kontrolēto drenāžu, izbūvējot kontrolakas segto drenāžas sistēmu gadījumā, vai regulējamus aizvarus atklātos grāvjos. KD veida izvēli nepieciešams izvērtēt kompleksi, jo tā var dot atšķirīgus rezultātus atkarībā no klimata zonas un ar to saistītajiem ūdens iztvaikošanas rādītājiem un nokrišņu režīmu, kā arī augsnes sasalšanu ziemās. [29] Tomēr pētījumi rāda, ka neatkarīgi no klimata KD, kas izbūvēta uz segtās drenāžu sistēmas stabili samazina no lauka novadītā ūdens apjomus. [17] Ūdens kontroles efektivitāti KD, kas izbūvēta uz slēgtās meliorācijas sistēmas pamatnes, ietekmē drenu tīkla blīvums un dziļums. Jo blīvāks drenu tīkls, jo ātrāk var noritēt ūdens novade. Tādēļ ātrāk pavasarī nepieciešams regulēt ūdens aizturi KD sistēmā, lai to ilgāk aizturētu laukā un mazinātu veģetācijas sezonā paredzamo sausuma ietekmi. [13] Tāpat atšķirīga var būt KD veida ietekme uz audzēšanai izvēlēto kultūru, tā piemēram, Itālijā veiktā ilgtermiņa pētījumā audzēšanai izvēlētajiem kultūraugiem konstatēja KD veida piemērotību atšķirīgi ziemājiem, vasarājiem un kultūraugiem ar seklām un dziļām sakņu sistēmām. [30] Latvijā pagaidām šādi līdzvērtīgi ilgtermiņa kompleksi pētījumi nav veikti, lai pateiktu, kuros gadījumos, kurš KD veids būs piemērotāks.

AUGSNE. Augsnes tips un tās tekstūra, horizontu sakārtojums ietekmē ūdens caurlaidību un tā aiztures iespējas ar KD. [16, 19] Ar šo drenāžas metodi var ilgāk aizturēt ūdeni gan smilšainā, [12] gan mālainā augsnē. [30, 31] Tomēr līdzšinējos pētījumos augsne nav salīdzināmi un pietiekami raksturota, lai varētu pateikt, kurās augsnēs KD pie citiem līdzīgiem apstākļiem strādā efektīvāk. [17]

KLIMATS. Pasaules mērogā KD rāda atšķirīgu sniegumu dažādās klimatiskajās zonās. Piemēram, līdzīgi kā Kanādā10 vai Zviedrijā, [29] Latvijā jāņem vērā augsnes sasalšanas ietekme ziemā. Šajās valstīs ziemas beigās kustot ar sniegu uzkrātajiem nokrišņiem, palielinās augsnes piesātinājums ar ūdeni. [17] Tādēļ KD darbības regulācija atšķirsies no valstīm, kurās ziemā neveidojas sasalsums un sniega sega. Turklāt jāņem vērā, ka klimata pārmaiņu rezultātā pieaugošās temperatūras būtiski samazina augsnes sasaluma periodu un mazāk akumulējas sniega daudzums ziemās, tādēļ KD regulēšanai jābūt sevišķi adaptīvai, jo šajās valstīs klimata pārmaiņas atstāj lielāku ietekmi uz līdz tam ierasto sezonālo ūdens režīmu drenāžas sistēmās. [32, 33] Tāpat gan globālā, gan lokālā mērogā būtiski atšķiras gaisa temperatūra un nokrišņu daudzums un to

nākotnes prognozes klimata pārmaiņu kontekstā. Gan laukaugi, gan gaisa temperatūra un citi vides apstākļi ietekmē ūdens iztvaikošanu no augsnes. Šie faktori mijiedarbībā ar nokrišņu daudzumu nosaka kopējo ūdens bilanci augsnē. KD regulāciju pakārto vietai raksturīgajam nokrišņu režīmam. Tās mērķis ir palīdzēt noturēt augsnē gruntsūdens līmeni nedaudz zem kultūraugu sakņu zonas augu augšanas periodā un pazemināt to līdz vēlamajam līmenim brīžos, kad sniega kušanas vai nokrišņu iespaidā augsne kļuvusi pārmitra un tāpēc nav apsaimniekojama ar lauksaimniecības tehniku, vai smacē augus, jo to sakņu zona ir pārsātināta ar ūdeni. [34]

Kā jau iepriekš minēts, attiecībā uz KD kā klimata pārmaiņu mazinošu metodi pētījumu ir maz, turklāt daļa no šiem SEG pētījumiem ir veikti KD apvienojot kopā ar apūdeņošanas sistēmu, kas nodrošina iespēju konstanti uzturēt laukā noteiktu gruntsūdens līmeni. [8, 9] KD sistēma bez apūdeņošanas nevar nodrošināt nemainīgu gruntsūdens līmeni, tā tikai uz laiku spēj noturēt nokrišņu radīto gruntsūdens līmeni vēlamajā augstumā. Tomēr zināmas sakarības par galveno trīs SEG (oglekļa dioksīda (CO_2), dislāpekļa oksīda (N_2O), metāna (CH_4)) veidošanās, akumulēšanas procesiem lauksaimniecībā izmantotās zemēs ar regulētu drenāžas sistēmu var attiecināt uz KD. Kopumā šobrīd pētījumi vairāk liecina, ka KD vai KD kopā ar apūdeņošanas sistēmu laukos ar smilšmāla vai mālsmilts augsnēm nerada vairāk SEG nekā tādos pat laukos ar tradicionālo meliorācijas sistēmu, vienlaikus saglabājot CH_4 akumulācijas spēju. [8, 26]

Tāpat kā ar KD efektivitāti attiecībā uz sausuma ietekmes mazināšanu, arī tās sekmes SEG emisiju mazināšanā ietekmē plašs faktoru kopums: augsnes īpašības, klimatiskie faktori, t.sk., temperatūras un nokrišņu režīms, KD regulēšanas laiks un augstums, aršanas, mēslošanas laiki un devas, izvēlētie kultūraugi. [35] Šis faktoru kopums kompleksi mijiedarbojas uz augsnes mikroorganismiem – anaerobajiem un aerobajiem, kuru aktivitāte augsnē regulē SEG emisiju rašanos vai to piesaisti. [9] Visu šo faktoru mijiedarbības kombinācijas ne tuvu nav izpētītas, tomēr atsevišķas tendences ir novērotas.

OGLEKĻA DIOKSĪDA EMISIJAS. CO_2 emisiju kontekstā liela nozīme ir augsnes sastāvā esošajam organisko vielu daudzumam. Jo augstāks organiskā oglekļa daudzums augsnes aerobajā daļā, jo lielāks CO_2 emisiju potenciāls. [9] Anaerobos augsnes apstākļos CO_2 neveidojas. Tas ir iemesls, kādēļ lauksaimniecības zemēs uz kūdras augsnēm, kas ir ar visaugstāko organiskā oglekļa (C) saturu, ir sevišķi nozīmīgi uzturēt maksimāli augstu gruntsūdens līmeni, uzturot augsnē anaerobu vidi un tādejādi ievērojami samazinot CO_2 emisijas. Tomēr arī kūdras augsnes ir dažādas un pētījumā, kurā skatīta KD regulēšana kontekstā ar kopējā C satura un augsnes tilpumbilvuma atšķirībām, abi šie pēdējie faktori neuzrādīja būtisku korelāciju ar CO_2 emisiju izmaiņām. [36] Pētījumos, kas veikti drenētās, ar KD apūdeņošanas sistēmu aprīkotās minerālaugsnēs, secināts, ka CO_2 emisiju rašanos limitē augsnes virsējā daļā pieejamais C daudzums, kas ir ievērojami mazāks nekā organiskajās augsnēs, taču

pēc spēcīgiem nokrišņiem, augsnei pārsātinoties ar ūdeni, var vairāk atbrīvoties saistītais C, palielinot CO_2 emisijas. [8] Tas ir jāņem vērā, analizējot CO_2 emisijas minerālaugsnēs apstākļos, kad mijas sausi un slapji periodiem. [37] Šādi apstākļi biežāk un izteiktāki var veidoties, pielietojot KD bez apūdeņošanas sistēmas. Ilgtermiņa nākotnes simulācijas pētījumos konstatēts, ka CO_2 emisijas ir par 6 % zemākas KD sistēmās ar lauku apūdeņošanu, salīdzinot ar tradicionāli drenētiem laukiem. [9] Turpretī šādu lauku īslaicīgos novērojumos var arī konstatēt pretējo – par 20 % lielākas CO_2 emisijas. [8] Tomēr kopumā secināts, ka CO_2 emisijas visvairāk ietekmē augsnes temperatūra, veicinot aerobo mikroorganismu aktivitāti, [8] ūdens līmeņa svārstības augsnē CO_2 emisijas ietekmē mazāk. [9,38] CO_2 emisijas var nedaudz samazināties pēc lauku mēslošanas ar slāpekli, kas skaidrojams ar nitrifikācijas ceļā pazeminātu augsnes pH un tādēļ zemāku mikroorganismu aktivitāti, [39] tomēr šīs CO_2 izmaiņas ir kopumā maznozīmīgas. [9]

DISLĀPEKĻA OKSĪDA EMISIJAS. N_2O emisijas augsnē veidojas divējādi. Aerobos apstākļos tās pieaug notiekot nitrifikācijai, bet anaerobos apstākļos denitrifikācijas ceļā. [9] Ja augsnē ilgāk tiek aizturēts augstāks ūdens līmenis, kā KD gadījumā, augsnē, tiek veicināti anaerobie apstākļi, kas būtiski atsaucas uz N_2O emisiju apmēriem. Kanādā, pētot kombinēti KD un apūdeņošanas sistēmas ietekmi uz N_2O emisijām, novēroja 2,3 reizes lielākas N_2O emisijas no šādiem KD laukiem nekā tradicionāli meliorētiem. Līdzīgi kā CO_2 gadījumā, N_2O emisijas vairāk pieaug un ir ciešāk saistītas līdz ar augsnes temperatūras pieaugumu un slāpekļa mēslošanu, nevis ar paaugstinātu gruntsūdens līmeni. [8] N_2O emisiju izdalīšanos mazākā apmērā ietekmē vēl daudz un dažādi vides apstākļi. N_2O emisiju rezultāti atšķiras laukos ar segto drenāžu sistēmu, ja tajos ir atšķirīgs augsnes granulometriskais sastāvs, augsnes pH un apmaiņas magnija saturs. No šiem trim faktoriem tiešu ietekmi atstāj augsnes granulometriskais sastāvs, bet netiešu – augsnes pH un magnija saturs, kas pastarpināti saistīts ar augsnes granulometriju. Tā piemēram, augsnēs ar augstāku māla saturu vērojamas zemākas N_2O emisijas, jo māls kavē gāzes izkliedi. [40] N_2O emisiju kontekstā būtiska nozīme ir arī lauku mēslošanai ar slāpekļa mēslojumu. [9] Ir novērota lineāri pieaugoša sakarība starp slāpekļa mēslojuma daudzumu un N_2O emisijām, proti, N_2O emisijas pieaug par 1%, ja slāpekļa mēslojuma daudzums tiek palielināts par 1,6 %. [41] Lai šo mēslojuma ietekmi mazinātu, iesaka izvēlēties vēlāku mēslošanas laiku, 8 vai sadalīt mēslošanu divās reizēs pa mazākām devām, [42] kā arī iekļaut kultūraugu rotācijā slāpekli piesaistošus kultūraugus (piemēram, soju, pupas, zirņus). [9, 43] Vērtējot KD ietekmi uz N_2O emisijām jāpievērš uzmanība spēcīgām lietavām, kas piesātina augsni ar ūdeni. Konstatēts, ka 1–4 dienas pēc šādām lietussgāzēm strauji pieaug N_2O izdalīto emisiju daudzums. [8] Ja šāds stāvoklis ieilgst, tas veido izteikti anaerobos apstākļus augsnē. To rezultātā nitrāti var pilnībā pakāpeniski reducēties nekaitīgā gāzē – slāpekļī, taču vienlaikus var ierosināt arī nevēlamu procesu – metāna veidošanos, [26] kas raksturīga apūdeņotiem rīsa laukiem. [44]

METĀNA EMISIJAS. Kopumā minerālaugsnes tīrumi kalpo par CH_4 piesaistītāju, tomēr līdzīgi kā ar CO_2 , jāņem vērā augsnes virskārtas C saturs. Augsnēs ar augstu C saturu, ceļot gruntsūdens līmeni, pieaug anaerobās vides telpa, kurā var veidoties CH_4 . Ja šādā augsnē ar augstu uzturētu gruntsūdens līmeni ir pārāk maz atlikusi aerobā augsnes daļa, kurā absorbēties potenciāli no zemāk esošajiem anaerobās augsnes slāņiem producētajam CH_4 , tad šādā laukā var samazināties CH_4 piesaistes kapacitāte. [8] Taču šis skaidrojums nav viennozīmīgs un ir pārbaudāms, jo citā pētījumā secināts, ka CH_4 vairāk veidojas augsnes virsējā horizontā. [45] Lauku mēslošanai nav būtiskas ietekmes uz metāna emisijām. [8] Līdzšinējie KD pētījumi maz pievēruši uzmanību CH_4 emisijām, to piesaistei minerālaugsnes lauksaimniecības zemēs. Šķiet, būtiskākais, kam pievērst uzmanību, ir CH_4 emisiju/piesaistes rādītājiem pēc lieliem nokrišņiem, kad minerālaugsne vairāk piesātināta ar ūdeni un gruntsūdens līmenis ir tuvāk tās virskārtai.

Kontrolētās drenāžas praktiskās ieviešanas aspekti

Apsverot KD izbūvi, pirmkārt, jānovērtē vai izvēlēta lauka reljefa slīpums nepārsniedz rekomendēto 0,5–1 % slīpumu. [27, 28] Tas nozīmē, ka laukam ir jābūt visai līdzenam. Otrkārt, tāderēs laukiem, kuros dabiski ir sezonāli augsts ūdens līmenis (ūdens piesātinājums 46 cm attālumā no augsnes virskārtas), vai šī iemesla dēļ tie iepriekš ir tikuši meliorēti. [46] Ja lauks atbilst šiem kritērijiem, tad nākošais solis ir zināt tā meliorācijas vēsturi. To, vai lauks ir meliorēts, var novērtēt apsekojot dabā un pārbaudot “Zemkopības ministrijas nekustamo īpašumu” uzturētajā Meliorācijas kadastra informācijas sistēmā www.melioracija.lv.

Ja laukam jau agrāk izveidota meliorācijas sistēma, tad nepieciešams novērtēt tās stāvokli un iegūt informāciju par grāvju dziļumiem, profiliem, segtā drenāžas tīkla drenu izvietojuma tīklu, drenu izvietojuma atstatumiem. Ja esošais meliorācijas sistēmas stāvoklis nav apmierinošs (piemēram, konstatēts drenu aizsērējums, grāvju pārmērīgs aizaugums ar kokiem, krūmiem, bebru aizsprosti, neefektīvs agrākais meliorācijas plānojums, u. c.), atkarībā no situācijas, nepieciešama iepriekšēja vai reizē ar KD būvniecības plānošanu paredzēta esošās meliorācijas sistēmas stāvokļa uzlabošana. Tā piemēram, LIFE CRAFT projektā abās pilotteritorijās tika veikta laukiem piegulošo savācējgrāvju pārtīrīšana un kokaugu apauguma novākšana.

Tāpat ieteicams pirms KD būvniecības plānošanas iegūt informāciju par lauka augsnes granulometrisku sastāvu, augsnes tipu un horizontiem. Latvijā augsne var ievērojami atšķirties pat viena lauka ietvaros, tāpēc ir vērts noskaidrot augsnes raksturojumu un tā viendabīgumu, kurā paredzēta KD

ierīkošana. Latvijai pretēji daudzām valstīm citviet pasaulē ir raksturīga izteikta augsnes dažādība mazā mērogā, kas veidojusies šai teritorijai piedzīvojot ledāja atkāpšanos pēc Ledus laikmeta beigām. [47] Laukos ar viendabīgu augsnes sastāvu, struktūru un sakārtu būs paredzamāks un vieglāk kontrolējams KD režīms. Laukos ar neviendabīgu

augsnē raksturojumu, vēlams ņemt vērā atšķirīgās ūdens filtrācijas īpašības atkarībā no augsnes mainības. Lai iegūtu izlīdzinātāku rezultātu, KD projektētājiem ieteicams izvērtēt drenu tīkla blīvumu laukos ar segtās drenāžas sistēmām, pielāgojot to konkrētās vietas augsnes ūdens filtrācijas rādītājiem.



3. attēls. Kontrolētās drenāžas izbūves piemēri grāvīm. [16]

Kā jau minēts, KD var izbūvēt gan uz grāvjiem (1. attēls), gan laukos ar segto drenāžas sistēmu, pēdējo sastop visbiežāk. To var speciāli projektēt izbūvējot KD sistēmu laukā, kuram nav bijusi iepriekšēja meliorācijas sistēma. Tāpat KD var projektēt un izbūvēt jau uz esošas tradicionālās meliorācijas sistēmas pamatnes. Projektējot KD, vadās pēc vietas apstākļiem un attiecīgi izvēlas, vai ūdens regulēšanas konstrukcija atradīsies vaļējā grāvī, vai drenu sistēmas vai to kolektora lejas daļā pirms ūdens novadīšanas atklātā gultnē. [48] LIFE

CRAFT projektā KD izbūvēja laukos ar jau iepriekš ierīkotu segtās drenāžas sistēmu, to pārveidoja par KD, izbūvējot uz drenu kolektoru iztekām kontrolakas ar ūdens regulācijas konstrukciju jeb aizvariem (2., 3. attēls). Būtiskākie parametri, kas jāievēro KD projektēšanai uz segtās drenāžas pamatnes: 1) uz katrām 30–60 cm augstuma izmaiņām laukā, nepieciešama viena ūdens līmeņa regulēšanas aka; 2) laukā uz katriem 4–8 ha nepieciešama viena ūdens līmeņa regulēšanas aka. [46, 48]



2. attēls. Dzelzsbetona grodu kontrolaka ar aizvaru konstrukciju ūdens noteces regulācijai no lauka ar segtās drenāžas sistēmu. LIFE CRAFT projektā izbūvētās kontrolakas piemērs no Meņģeles pilotteritorijas. Foto: R. Abaja

3. attēls. Polietilēna kontrolaka ar aizvaru konstrukciju ūdens noteces regulācijai no lauka ar segtās drenāžas sistēmu. LIFE CRAFT projektā izbūvētās kontrolakas piemērs no Smiltenes pilotteritorijas. Foto: R. Abaja

KD projektēšanai vēlams piesaistīt projektētāju, kas pārzina KD specifiku. Būvniecībā ir vērts pievērst uzmanību materiāliem. Ārvalstīs izmanto pamatā polimēru materiāla drenu caurules, Latvijā segtā drenāža pārsvarā sastāv no māla drenu caurulēm. [48] Pagaidām Latvijā ierīkotajās KD teritorijās novērojumu periods ir pārāk īss, lai novērtētu, māla drenu aizsērējumu, tādi nav konstatēti LIFE CRAFT projektā KD pilnas darbības laikā abās pilotteritorijās t. i. 2–3 gadu laikā. KD kontrolakas būvē no dažādiem materiāliem – dzelzsbetona groziem (2. attēls) vai polimēra materiāla vienlaidus akām (3. attēls), vai nerūsējoša metāla akām (4. attēls).

Pastāv dažādi risinājumi ūdens regulēšanas mehānismam akās, kas turklāt var būt manuāli regulējams, vai attālināti vadāms. LIFE CRAFT projektā tika izmēģināti divi risinājumi aizvaram akās. Meņģeles pilotteritorijā sākotnēji akas izveidoja ar koka dēļiem regulējamu šķērssienu (5. attēls). Pēc apmēram viena gada garumā veiktiem novērojumiem tika secināts, ka koka dēļi nesakļaujas pietiekami blīvi un veidojas nevēlama aizturētā ūdens noplūde sūču veidā. Tādēļ vēlāk šo konstrukciju aizstāja ar vienlaidus polimēra materiāla sienu, kurai pamatnē atrodas vārti, caur kuriem nepieciešamības gadījumā var pilnībā novadīt laukā aizturēto ūdeni. Aizturētā ūdens līmeņa regulācijai jaunajā aizvaru sistēmā bija iestrādāti divi atvērumi, 15 cm attālumā viens zem otra, kurus pēc vajadzības var aizvērt pilnībā vai daļēji (2. attēls). Daļēji aizvērojami vāki bija ar divu veidu V formas šaurāku un platāku atvēruma leņķi (3. attēla labajā un kreisajā malā redzami). Ar platāku leņķi straujāk novadāms atvērumam caurplūstošais ūdens, ar šaurāku – lēnāk. Šāds regulācijas



4. attēls. Nerūsējoša metāla kontrolaka ar aizvaru ūdens noteces regulācijai no lauka ar segtās drenāžas sistēmu, kas instalēta uz drenu kolektora. Attēlā pa kreisi – kontrolaka, pa labi – akas iekšskats pie ūdens pārteces pār noteiktā augstumā noregulētu aizvaru. [16]

mehānisms tika uzstādīts arī Smiltenes pilotteritorijā (3. attēls). Abās LIFE CRAFT pilotteritorijās akas tika uzstādītas ar vākiem. Smiltenes teritorijā ar slēdzamu, atvāzamu polimērmateriāla vāku, bet Meņģeles teritorijā ar brīvi noceļamu koka vāku, kuru laiku pa laikam spēcīgākas vēja brāzmas dažkārt norauj no akām. Tādēļ turpmāk rekomendējam vieglus, ūdensizturīgus, bet labi fiksējamus vākus. Citviet pasaulē ūdens regulēšanas konstrukcija akās var būt veidota kā T formas caurulveida savienojums, kurā iestrādāta bīdāma konstrukcija līmeņa regulēšanai (6. attēls). [13, 49]

KD projektēšanas un būvniecības gaita ir līdzīga kā lauka meliorācijas sistēmai, kura pielāgojama KD vajadzībām, tā arī plānojot KD laukā, kuram nav bijusi iepriekšēja meliorācijas sistēmas izveide. LIFE CRAFT projektā tika izstrādāta un tā mājaslapā ir pieejama vienkāršota KD projektēšanas un būvniecības gaitas brošūra “Meliorācijas sistēmas pielāgošana kontrolētajai drenāžai”, kā ceļvedis katram, kas apsver KD ieviešanu Latvijā. [50]

Pēc korektas KD izbūves pats galvenais ir apgūt atbilstoši lauka specifiskajiem augsnes apstākļiem, izvēlētajai ziemāju, vai vasarāju kultūrai, apsaimniekošanas režīmam un laikapstākļiem maksimāli efektīvāko regulēšanas režīmu. Aizvaru regulācijas pamatprincips ir sekojošs: 1) Aizvaru atver pirms mehānizētas lauku apstrādes (t.i. aršanas, kultivēšanas, ecēšanas, sējas, mēslošanas, augu aizsardzības līdzekļu izklīdes, ražas novākšanas), ja lauks ir pārlietu mitrs lauksaimniecības tehnikas izmantošanai; 2) Aizvarus atkal aiztaisa tūlīt pēc lauka mehānizētās apstrādes, lai mazinātu barības vielu izskalošanos no lauka un kultūraugu augšanas periodā mazinātu sausuma ietekmi. Aizvaru maksimālo ūdens aiztures līmeni nosaka pēc attiecīgajā sezonā izvēlētajā kultūrauga sakņu iestiepšanās dziļuma augsnē, ūdens līmeni noregulējot nedaudz



5. attēls. Ar koka dēļiem regulējama aizvaru sistēma kontrolakā. Foto: R. Abaja

6. attēls. Cauruļveida T formas savienojuma konstrukcijas ar bīdāmu mehānismu ūdens aiztures līmeņa regulēšanai kontrolakā. [49] Foto: R. Rosendahl

zem sakņu augšanas zonas. Tā piemēram, ASV kukurūzai, sojai, kviešiem to augšanas, nobriešanas fāzē rekomendē ūdens līmeni augsnē uzturēt 45–60 cm zem augsnes virskārtas, bet kviešiem cerošanas, vārpošanas stadijā tas var būt arī nedaudz augstāks – līdz 30 cm zem augsnes virskārtas. [16] Ainis Lagzdiņš [48] rekomendē, ka Latvijā laukiem, kas atstāti papuvē vai pēc ražas novākšanas ūdens līmeni augsnē var uzturēt no 15–30 cm zem augsnes virskārtas, kultūraugu augšanas stadijā – 50–80 cm zem augsnes virskārtas, bet pirms mehanizētas lauka apstrādes šim līmenim vajadzētu būt ne vairāk kā 70–80 cm zem augsnes virskārtas. Akām ar manuālu regulēšanas mehānismu nepieciešams tajās ievietot centimetru mēru nekļūdīgai atbilstošā ūdens līmeņa regulēšanai attiecībā pret augsnes virskārtu. Būtiskākais, kam Latvijā nepieciešams vērst uzmanību, ir vietai raksturīgo nokrišņu režīmam un lauka augsnes ūdens filtrācijas īpašībām, jo tas palīdz novērtēt laiku, cik laicīgi pirms lauka apsaimniekošanas nepieciešams atvērt aizvarus un vai to nepieciešams darīt pilnībā vai tikai daļēji pazeminot ūdens līmeni. Tāpat būtiski novērtēt pēc cik intensīvām un apjomīgām lietavām ir nepieciešams pazemināt uzstādīto ūdens līmeni kultūraugu veģetācijas periodā, lai neveidotos to izslīkšana. Pēc LIFE CRAFT pieredzes, šim apstāklim jāpievērš uzmanība audzējot ziemājus, jo atkarībā no augsnes sasaluma stāvokļa pavasarī pēc sniega kušanas var veidoties pārlietu mitri apstākļi, kas lauka zemākajās ieplakās var veidot izslīkumus vai aizkavēt ziemāju attīstību. Uzmanīgiem jābūt situācijā, kad ir bagātīga sniega sega, bet augsnes zem tās nav sasalusī. Šādā gadījumā var būt nepieciešams, pazemināt kontrolakās ūdens aiztures līmeni sniega kušanas periodā.

Lai apgūtu laukam un izvēlētajam kultūraugam atbilstošāko KD regulēšanas režīmu, ieteicams sekot līdzi tuvākās meteoroloģiskās stacijas nokrišņu un

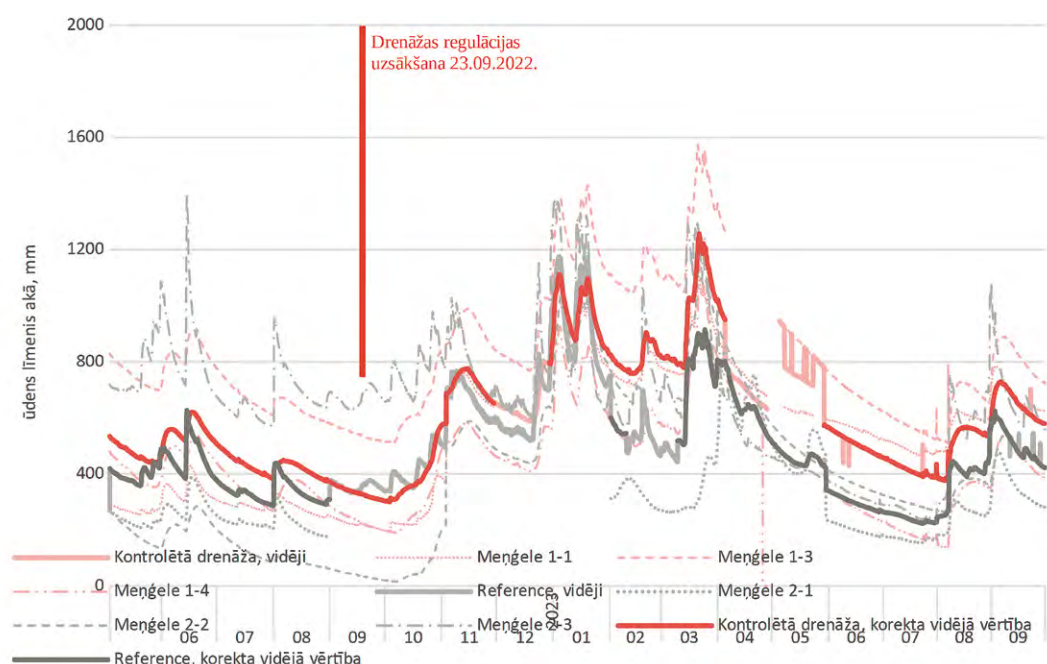
temperatūras datiem, kā arī veikt lauka mitruma vizuālo monitoringu un ūdens līmeņa stāvokli KD kontrolakās. Precīzākam rezultātam ieteicams uzstādīt vienkāršotu lokālu meteoroloģisko novērojumu staciju un vismaz vienu grunts-ūdens līmeņa mērījumu aku, kas ideālā gadījumā datus automatizēti reģistrē un nosūta ērti lietojamā aplikācijā. LIFE CRAFT projektā šādu aplikāciju izstrādāja un nodrošināja čehu kompānija – *Czech Center for Science and Society* (Smiltenes pilotteritorijai: <https://smiltene.ccss.cz/>; Meņģeles pilotteritorijai: <https://mengele.ccss.cz/>). Kopumā nepieciešamas vairākas sezonas, lai noteiktu optimālo KD režīmu. LIFE CRAFT projektā varēja tikai divas sezonas pie korekti darbojošas KD veikt novērojumus, tas ir par maz, lai rastu vietai pilnībā adaptētu un labi atstrādātu KD regulēšanas režīmu.

LIFE CRAFT projekta piemērā balstīta kontrolētās drenāžas pielietojuma analīze

LIFE CRAFT projektā KD sekmju novērtēšanai tika īstenota monitoringa programma, kas ietvēra sekojošu mērījumu veikšanu:

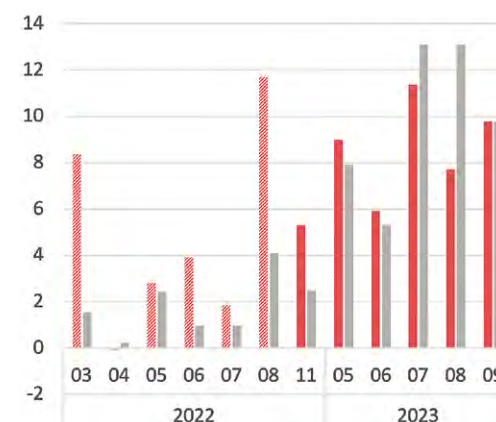
1. Gruntsūdens līmeņa izmaiņu un lokālo meteoroloģisko novērojumu datu ieguve – KD ietekmes novērtēšanai uz sausuma riska mazināšanu;
2. SEG (CO_2 , N_2O , CH_4) emisiju mērījumi – KD ietekmes novērtēšanai SEG emisiju mazināšanā;
3. Augsnes agroķīmiskās un drenāžas ūdens paraugu ķīmiskā sastāva analīzes – KD ietekmes novērtēšanai uz barības vielu izskalošanas samazinājumu;
4. Iegūtā raža – KD ietekmes novērtēšana uz ražu.

LIFE CRAFT projektā iegūtie monitoringa dati apliecina, ka KD palīdz aizturēt ūdeni augsnē. Izteiktāk tas bija novērojams, salīdzinot sausuma periodus KD laukos pirms ūdens līmeņa regulācijas un KD regulācijas laikā pie maksimāli augstas ūdens aiztures. KD laukos gruntsūdens līmenis pazeminājās aptuveni divas reizes lēnāk nekā līdzvērtīga ilguma sausuma periodos šajos laukos pirms KD sistēmas izveides un regulācijas. Aizturētā ūdens līmeņa augstums sausuma periodā vidēji bija par 10–20 cm augstāks nekā līdzīgā sausuma periodā, nepielietojot KD regulācijas. Jāpiebilst, ka salīdzinājumu teritorijās bija apgrūtināši veikt, jo vairumā salīdzināmajos laukos pirms KD izveides sākotnēji bija nevienlīdzīgs gruntsūdens līmenis, ko acīmredzami veidoja atšķirīgs lauka vai to daļu mikroreljefs un augsnes īpatnības. 7. attēlā redzams piemērs, kur KD lauks un references lauks pirms KD regulēšanas uzrāda praktiski vienādus gruntsūdens līmeņus, tāpēc šajā teritorijā visuzskatāmāk datus novērtējama KD ietekme uz ūdens aizturi augsnē.

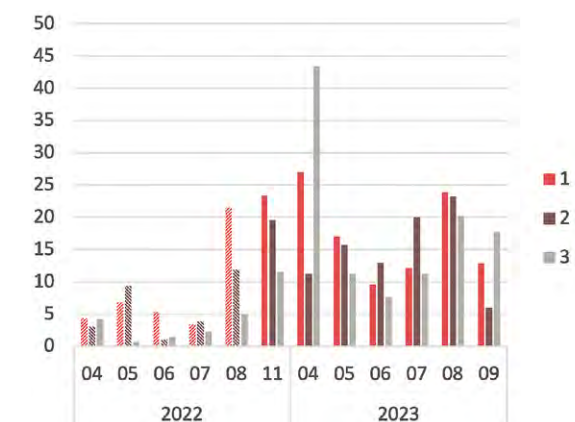


7. attēls. Vidējās gruntsūdens līmeņa izmaiņas kontrolētās drenāžas un tam līdzās esošajā references laukā LIFE CRAFT Meņģeles pilotteritorijā – vienā no trim šajā pilotteritorijā izveidotajām kontrolētās drenāžas demonstrāciju platībām. Apzīmējumi kontrolētās drenāžas lauka gruntsūdens līmeņa mērījumu akām – Meņģele 1-1; 1-3; 1-4; apzīmējumi references lauka gruntsūdens līmeņa mērījumu akām – Meņģele 2-1; 2-2; 2-3. Piesātināti sārti un pelēki iekrāsotās līknes atspoguļo vidējās vērtības kontroles vai references lauka mērījumiem, kad dati ir vienlaikus no visām gruntsūdens mērījumu akām, bet blāvākas šo krāsu vidējo vērtību līknes nobīdās, jo iztrūkst kāds no aku mērījumiem. Datu avots: *Czech Center for Science and Society*.

Projektā iegūtie CO₂ mērījumu rezultāti ir neviennozīmīgi. Praktiski visos projekta pilotteritoriju references laukos jau sākotnēji, pirms izteiktas KD regulēšanas, veģetācijas sezonā ir zemāki CO₂ emisiju rādītāji. 2023. gada sezonā tika sagaidītas izmaiņas kopējo CO₂ emisiju samazinājumā KD laukos, vai vismaz salīdzināmu vai mazāku CO₂ emisiju apmēri pret novēroto references laukos, tomēr šādi pārliecinoši rezultāti netika iegūti. Labākie un tuvāk gaidītajam rezultāti tika sasniegti vienā no Meņģeles (8. attēls) un Smiltenes KD laukiem (9. attēls), kuros ūdens līmeni visvairāk bija izdevies aizturēt. Šajos laukos atšķirība vasaras beigās, kad datos parādās sezonā visaugstākās CO₂ emisijas, starp references un KD laukiem ir izlīdzinājusies, vai pat CO₂ emisijas KD laukos ir mazākas. Šie novērojumi vismaz daļēji vedina domāt, ka pie pietiekami nozīmīga ūdens līmeņa pacēluma KD laukos ir iespējams mazināt CO₂ emisijas ar KD palīdzību. Turklāt jāpiebilst, ka šīs tendences tika novērotas 2023. gada vasaras beigās, kad praktiski nebija bijuši nozīmīgi nokrišņi gandrīz trīs mēnešu garumā, tātad CO₂ vērtību atšķirības novērotas laikā, kad KD ietekme visvairāk izpaužas.

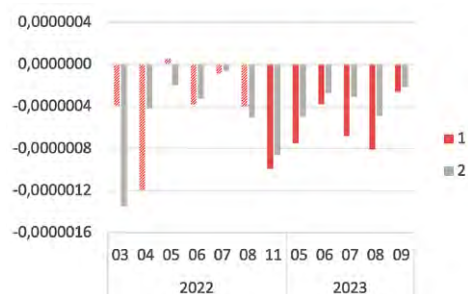


8. attēls. Vidējie CO₂ emisiju apjomi (t/ha gadā) un to izmaiņas pēc ūdens aiztures kontrolētās drenāžas (KD) laukā (1) salīdzinājumā ar tam līdzās esošo references lauku (2) LIFE CRAFT Meņģeles pilotteritorijā – vienā no trim šajā pilotteritorijā izveidotajām kontrolētās drenāžas demonstrāciju platībām. Apzīmējumi: sārti svītroti stabiņi – ūdens aizture KD laukā nenotiek; pildīti sārti stabiņi – notiek maksimāla ūdens aizture KD laukā.

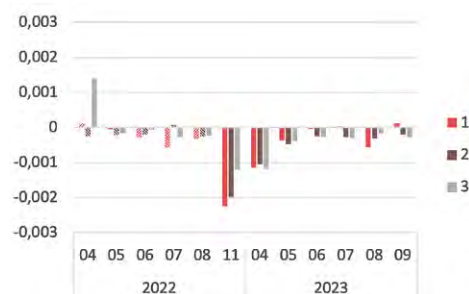


9. attēls. Vidējie CO₂ emisiju apjomi (t/ha gadā) un to izmaiņas pēc ūdens aiztures kontrolētās drenāžas (KD) lauka daļās (1, 2) salīdzinājumā ar tam līdzās esošo references lauka daļu (3) LIFE CRAFT Smiltenes pilotteritorijā. Apzīmējumi: sārti un brūni svītroti stabiņi – ūdens aizture KD laukā nenotiek; pildīti sārti un brūni stabiņi – notiek maksimāla ūdens aizture KD laukā.

N₂O dati liecina, ka visi lauki (gan KD, gan references), lielākoties piesaistīja N₂O. Kopumā pilotteritorijās vislielākā N₂O piesaiste vērojama agrā pavasarī un vēlā rudenī. Jāpiebilst, ka ziemā laukus klāja sniegs un SEG mērījumi netika veikti. Vasaras periodā N₂O piesaiste bija vismazākā. Meņģeles pilotteritorijā teju visos KD laukos ar ūdens noteces aizturi tika novērota palielināta N₂O piesaiste salīdzinājumā ar references laukiem (10. attēls). Turpretī Smiltenes pilotteritorijā iegūtie dati nebija tik viennozīmīgi (11. attēls). Pretēji gaidītajam, tajā lauka daļā, kur vairāk bija izdevies aizturēt mitrumu augsnē, N₂O piesaiste bija mazāka vai pat atsevišķus mēnešos pārvērtās niecīga apjoma N₂O emitēšanā. To diez vai varētu skaidrot ar pārmitrinātiem augsnes apstākļiem, jo šis pretējais efekts tika novērots jūlijā, kad kopumā bija izteikti ilgstoša sausuma apstākļi un aizturētais ūdens līmenis augsnē bija apmēram par 50 cm zemāks nekā pavasarī, kad pie vēl augstākiem ūdens piesātinājuma rādītājiem augsnē N₂O tika piesaistīts vismaz tikpat, cik references teritorijā. Arī septembrī novērotā N₂O emitēšana nevar būt saistīta ar pārmitriem apstākļiem, jo arī 2023. gada septembris bija sausāks, toties karstāks nekā ierasts. Iespējams šeit būtiskāks ir relatīvi augstāks augsnes piesātinājums ar ūdeni un izteikti augstāka augsnes temperatūra vasaras otrajā pusē augsnē, kad abi šie apstākļi komplektā veicinājuši lielāku anaerobo mikroorganismu aktivitāti šajā KD lauka daļā.

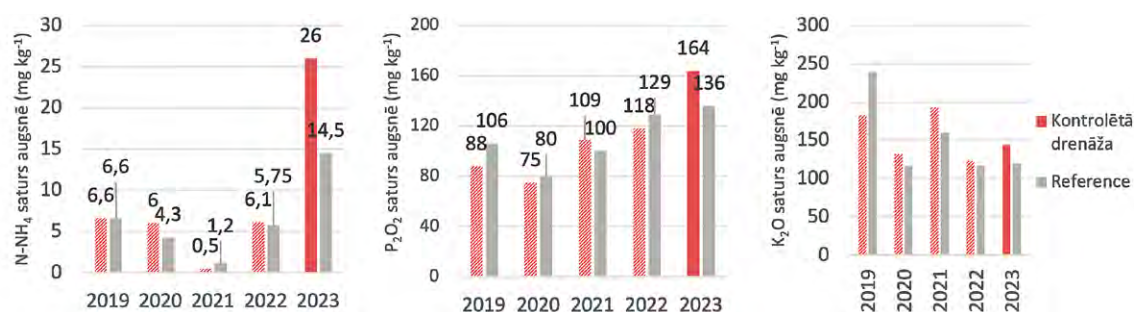


10. attēls. Vidējie N_2O emisiju (t/ha gadā) piesaistes apjomi un to izmaiņas pēc ūdens aiztures kontrolētās drenāžas (KD) laukā (1) salīdzinājumā ar tam līdzās esošo references lauku (2) LIFE CRAFT Meņģeles pilotteritorijā – vienā no trim šajā pilotteritorijā izveidotajām kontrolētās drenāžas demonstrāciju platībām. Apzīmējumi: sārti svītroti stabiņi – ūdens aizture KD laukā nenotiek; pildīti sārti stabiņi – notiek maksimāla ūdens aizture KD laukā.



11. attēls. Vidējie N_2O emisiju (t/ha gadā) piesaistes apjomi un to izmaiņas pēc ūdens aiztures kontrolētās drenāžas (KD) lauka daļās (1, 2) salīdzinājumā ar tam līdzās esošo references lauka daļu (3) LIFE CRAFT Smiltenes pilotteritorijā. Apzīmējumi: sārti un brūni svītroti stabiņi – ūdens aizture KD laukā nenotiek; pildīti sārti un brūni stabiņi – notiek maksimāla ūdens aizture KD laukā.

Atbilstoši literatūrā minētajam, lauksaimniecības zemes minerālaugsnēs ir metāna piesaistītāji, tas tika apstiprināts arī LIFE CRAFT monitoringa datos. Kopumā CH_4 piesaiste līdzīgi kā ar N_2O ir ievērojamāka agrā pavasarī un rudenī, tā samazinās vasaras sezonā. Kopējie piesaistītā metāna apjomi ir salīdzinoši niecīgi abās projekta pilotteritorijās. KD ietekme ir minimāla, bet CH_4 piesaisti mazinoša salīdzinājumā ar references platībām. To gan nevar teikt par vēlāku rudens periodu un agru pavasari, kad tā joprojām saglabājas lielāka un arī piesaistīto CH_4 emisiju apjoma ziņā ir 10 reizes lielāka nekā vasaras sezonā.



12. attēls. Izmaiņas augsnes agroķīmisko parametru ($N-NH_4$, P_2O_5 , K_2O) vidējās vērtībās gada ietvaros pēc ūdens aiztures kontrolētās drenāžas (KD) laukā salīdzinājumā ar tam līdzās esošo references lauku LIFE CRAFT Meņģeles pilotteritorijā – vienā no trim šajā pilotteritorijā izveidotajām kontrolētās drenāžas demonstrāciju platībām. Apzīmējumi: sārti svītroti stabiņi – ūdens aizture KD laukā nenotiek; pildīti sārti stabiņi – notiek maksimāla ūdens aizture KD laukā.

KD rezultāti attiecībā uz barības vielu aizturi bija tuvu gaidītajam LIFE CRAFT projektā. Proti, augsnes agroķīmiskajās analīzēs pierādījās, ka KD ierīkotajos un regulētajos laukos pēc ūdens aiztures augsnē ir palielinājies augsnes amonija slāpekļa ($N-NH_4$) un fosforā oksīda (P_2O_5) saturs, bet negaidīti mazinājies nitrātu slāpekļa ($N-NO_3$) saturs. Tas bija labi novērojams Meņģeles pilotteritorijas daļā, kurā KD un references lauki jau pirms eksperimentu veikšanas bija vislīdzīgākie gan pēc augsnes, reljefa un hidroloģijas apstākļiem. Šajā KD teritorijā pēc ūdens aiztures $N-NH_4$ un P_2O_5 saturs augsnē bija attiecīgi par vidēji 11,5 mg/kg un 28 mg/kg vairāk nekā references platībā, arī K_2O saturs augsnē (mazāk izteikti kā abi iepriekšminētie parametri gan Meņģeles, gan Smiltenes KD laukos) pēc ūdens aiztures palielinājies (12. attēls). Pirms tam abās pilotteritorijās K_2O saturs augsnē bija augstāks references platībās. Smiltenes pilotteritorijā un citās Meņģeles pilotteritorijas daļās šie novērojumi nebija tik izteikti lielāku KD un references lauku savstarpējo atšķirību dēļ. Pārējie vērtētie augsnes agroķīmiskie parametri (apmaiņas Mg, Ca, sulfātu sēra ($S-SO_4$) un mikroelementu B, Zn, Cu, Mn saturs augsnē) neuzrādīja skaidru saistību ar KD regulēšanas ietekmi projekta pilotteritorijās.

Dati par drenāžas ūdens sastāvā izšķīdušo fosforu un slāpekli saturošo barības vielu ($P-PO_4$, $N-NH_4$, $N-NO_3$, $N-NO_2$, kopējo N, kopējo P) izmaiņas starp KD un references laukiem arī tika vākti LIFE CRAFT projektā. Tomēr iegūtie dati ir nepietiekami pārliecinošu secinājumu izdarīšanai. Pēc ūdens kontroles uzsākšanas KD akām vasaras sezonā un sevišķi 2023. gada sausā vasaras sākuma iespaidā neveidojās ūdens pārtece pār aizvāriem, tādēļ nebija iespējams ar šādu metodisko pieeju iegūt paraugus analīzēm. No otras puses tas savā ziņā apliecināja KD aku ūdens aiztures efektivitāti, jo neveidojās no lauka novadāmais ūdens. Tas nozīmē, ka šajā laikā barības vielas no KD laukiem netika izskalotas, pretēji references laukiem, kuriem tikai pašā sausākajā sezonas periodā neveidojās notece no lauka. Šos rezultātus kopā ar izvērstu augstāk minēto projekta monitoringa rezultātu analīzi iesakām skatīt projekta monitoringa gala atskaitē, kas LIFE CRAFT projekta noslēgumā būs publiski pieejama projekta mājaslapā.

KD ietekme uz ražu bijusi nenozīmīga un starp KD un references laukiem saglabājusies līdzīga LIFE CRAFT pilotteritorijās. Smiltenes pilotteritorijā to var skaidrot ar precīzās lauksaimniecības pielietojumu, kuru pielāgo vietas apstākļu maiņai un attiecīgi piegādā optimālu mēslojuma un augu aizsardzības līdzekļu apjomu maksimāli produktīvas ražas ieguvei. Meņģeles pilotteritorijā neizmantoja precīzo lauksaimniecību. Šai teritorijai skaidrojums varētu būt KD un references lauku neviendabīgie augsnes un reljefa apstākļi, kas atšķirīgi izpaudās gan KD sistēmas darbībā, gan attiecīgi atsaucās uz kopējiem ražas datiem. Turklāt šīs teritorijas apsaimniekotājs nevarēja piegādāt individuāli ražas datus katrai pētītajai references un KD lauka platībai, monitoringa analīžu veikšanai tika piegādāti tikai kopējie ikgadējie visā pilotteritorijas platībā iegūtie ražas dati.

Secinājumi

Kopumā LIFE CRAFT projekta rezultāti Latvijā un KD pētījumi citviet pasaulē apliecina, ka KD ir rekomendējama lauksaimniecībā sausuma riska mazināšanai un izlīdzinātāka ūdens režīma nodrošināšanai, lai pielāgotos un mazinātu klimata pārmaiņu nelabvēlīgo ietekmi uz lauksaimniecības nozari. Lai KD sniegtu vēlamu efektu ir būtiski pareizi izvērtēt lauka piemērotību tās ierīkošanai, ņemot vērā lauka augsnes, reljefa viendabīguma īpatnības un esošās meliorācijas sistēmas stāvokli, plānojumu. Laukos ar viendabīgām augsnes īpašībām, līdzenu reljefu ar slīpumu ne vairāk kā 1 %, KD sniegs visefektīvākos rezultātus pie izvēlētajiem kultūraugiem (ziemājiem vai vasarājiem) un nokrišņu režīmam atbilstošas ūdens līmeņa regulācijas. Būtiski KD projektētājus un būvniekus iepazīstināt ne tikai ar KD ierīkošanas, bet regulēšanas specifiku, tai skaitā ievērojot vienāda augstuma attiecību kontrolakās aizvaru sistēmai no augsnes virskārtas, un projektēt KD sistēmu tā, lai panāktu laukos iespēju viendabīgi aizturētu gruntsūdens līmeni noteiktā augstumā no augsnes virskārtas. Tas ne vienmēr var būt racionāli iespējams laukos, kuros agrāk ierīkotās meliorācijas sistēmas plānojums to nenodrošina.

Projektā LIFE CRAFT mērķis bija testēt KD pielietojumu situācijās, kādas visbiežāk ir Latvijā – tas ir, vairums lauku nav ar izteikti viendabīgām augsnes īpašībām, lielākā daļa ir ar jau iepriekšēju, lielākoties līdz 1985. gadam ierīkotu tradicionālo segtās meliorācijas sistēmu, turklāt vairumā gadījumu, izņemot Zemgales līdzenuma teritoriju, Latvijā ir ar izteiktāku vai mazāk izteiktu virsmas reljefa mainību lauku ietvaros. Šādiem apstākļiem atbilda abas Smiltenes un Meņģeles pilotteritorijas, kurās iegūtie rezultāti atspoguļo samērā lielu dažādību. Citviet pasaulē veikto pētījumu rezultāti ir vieglāk interpretējami un salīdzināmi, jo izmēģinājumi ir speciāli dizainēti konkrētu faktoru detalizētai izpētei, tādēļ KD un references teritoriju izpētes vietas ir speciāli ierīkotas praktiski identiskas. LIFE CRAFT projekts ir šo iepriekšējo zinātnisko pētījumu pārbaude reālos lauksaimnieciskās ražošanas apstākļos Latvijā. Tā gūtie kopumā liecina, ka:

- Latvijā KD var rekomendēt primāri sausuma riska un barības vielu izneses mazināšanai. Tas lauksaimniekiem var sniegt ieguvumus mazāku mēslojuma devu pielietošanai, bet apkārtējai videi, sevišķi ūdens ekosistēmām, samazināt eutrofikācijas nevēlamo ietekmi.
- Attiecībā uz SEG emisiju samazināšanu laukos, kuros dominē minerālaugšnes ar samērā zemu oglekļa saturu, būtu nepieciešami tālāki vairāku sezonu KD pētījumi viendabīgākos lauka apstākļos, lai noskaidrotu galvenos ietekmējošos faktorus un varētu sniegt precīzu novērtējumu par KD rekomendēšanu kā potenciāli klimata pārmaiņas mazinošu praksi.

- LIFE CRAFT iegūtie SEG monitoringa rezultāti kopumā norāda, ka KD prakse sezonas ietvaros summāri nemazina šo lauku N_2O un CH_4 emisiju piesaistes rādītājus Latvijā, bet ietekme uz C_2O emisiju rādītājiem ir padziļināmi pētāma, jo projektā iegūtie rezultāti bija neviennozīmīgi – atsevišķos laukos KD regulācija sakrita ar CO_2 emisiju samazinājumu, bet citos ne.

Literatūra

1. 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, 2023.
2. Avotniece Z., Aņiskeviča S., Maļinovskis E. Klimata pārmaiņu scenāriji Latvijai. Ziņojuma kopsavilkums. Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs: Rīga, 2017.
3. Zandersons V. Standartizētā nokrišņu daudzuma indeksa (SPI) pārmaiņu scenāriji Latvijai. Ziņojums. Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs: Rīga, 2019.
4. Ross T., Lott N. A Climatology of 1980–2003 Extreme Weather and Climate Events. National Climatic Data Center Technical Report No. 2003-01. NOAA/NESDIS. National Climatic Data Center: Asheville, NC, 2003.
5. Zemkopības ministrija. Atbalsts sausuma radītajiem zaudējumiem lauksaimniekiem. 22.12.2022. (Skatīts 5.10.2023.) Pieejams: file:///C:/Users/User/Downloads/Atbalsts%20par%20sausuma%20raditajiem%20zaudejumiem%20lauksaimniekiem.pdf
6. Eiropas Parlaments. Siltumnīcefekta gāzu emisijas valstu un sektoru sadalījumā (infografika). 28.03.2023. (Skatīts 5.10.2023.) Pieejams: https://www.europarl.europa.eu/news/lv/headlines/society/20180301STO98928/siltumnicefeka-gazu-emisijas-valstu-un-sektoru-dalijuma-infografika?at_campaign=20234-Green&at_medium=Google_Ads&at_platform=Search&at_creation=SiteLink&at_goal=TR_G&at_audience=g
7. 2022. gada siltumnīcefekta gāzu inventarizācijas kopsavilkums. Versija: iesniegts ANO Vispārējai konvencijai par klimata pārmaiņām 15.04.2022. Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs: Rīga, 2022.
8. Crézé C. M., Madramootoo C. A. Water table management and fertilizer application impacts on CO_2 , N_2O and CH_4 fluxes in a corn agro-ecosystem. Sci. Rep. 2019, 9(1): 1–13.
9. Jiang Q., Qi Z., Madramootoo C. A., Crézé C. Mitigating greenhouse gas emissions in subsurface-drained field using RZWQM2. Science of the Total Environment. 2019, 646: 377–389.
10. Pease L. A., Fausey N. R., Martin J. F., Brown L. C. (2017). Projected climate change effects on subsurface drainage and the performance of controlled drainage in the Western Lake Erie Basin. Journal of Soil and Water Conservation. 2017, 72(3): 240–250.
11. Wang W., Sardans J., Lai D. Y., Wang C., Zeng C., Tong C., Liang Y., Peñuelas J. Effects of steel slag application on greenhouse gas emissions and crop yield over multiple growing seasons in a subtropical paddy field in China. Field Crops Research. 2015, 171: 146–156.
12. Ritzema H. P., Stuyt L. C. P. M. Land drainage strategies to cope with climate change in the Netherlands. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science. 2015, 65(sup1): 80–92.
13. Sojka M., Kozłowski M., Kęsicka B., Wróżyński R., Stasik R., Napierała M., Jaskuła J., Liberacki D. The effect of climate change on controlled drainage effectiveness in the context of groundwater dynamics, surface, and drainage outflows. Central-western Poland case study. Agronomy. 2020, 10(5): 625.

14. Valipour M., Krasilnikof J., Yannopoulos S., Kumar R., Deng J., Roccaro P., Mays L. W., Grismer M. E., Angelakis A. N. The evolution of agricultural drainage from the earliest times to the present. *Sustainability*. 2020, 12(1): 416.
15. Doty C. W., Currin S. T., McLin R. E. Controlled subsurface drainage for southern Coastal Plains soil. 1975.
16. Poole C., Burchell M., Youssef M. Controlled Drainage – An Important Practice to Protect Water Quality That Can Enhance Crop Yields [Internets]. 14.06.2023. (Skatīts 5.10.2023.) Pieejams: <https://content.ces.ncsu.edu/controlled-drainage>
17. Wang Z., Shao G., Lu J., Zhang K., Gao Y., Ding J. Effects of controlled drainage on crop yield, drainage water quantity and quality: A meta-analysis. *Agricultural Water Management*. 2020, 239: 106253.
18. Kārtība, kādā piešķir valsts un Eiropas Savienības atbalstu atklātu projektu konkursu veidā pasākumam “Ieguldījumi materiālos aktīvos” [Internets]. LR Ministru kabineta noteikumi Nr. 600, pieņemti Rīgā 2014. gada 30. septembrī, Latvijas Vēstnesis, interneta vietne Likumi.lv. (Skatīts 5.10.2023.) Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/269868-kartiba-kada-pieskir-valsts-un-eiropas-savienibas-atbalstu-atklatu-projektu-konkursu-veida-pasakumam-ieguldijumi-materialajos>
19. Evans R. O., Wayne Skaggs R., Wendell Gilliam J. Controlled versus conventional drainage effects on water quality. *Journal of irrigation and drainage engineering*. 1995, 121(4): 271–276.
20. Wahba M. A. S., El-Ganainy M., Abdel-Dayem M. S., Gobran A. T. E. F., Kandil H. (2001). Controlled drainage effects on water quality under semi-arid conditions in the western delta of Egypt. *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*. 2001, 50(4): 295–308.
21. Skaggs R. W., Fausey N. R., Evans R. O. Drainage water management. *Journal of soil and water conservation*. 2012, 67(6): 167A–172A.
22. Williams M. R., King K. W., Fausey N. R. Drainage water management effects on tile discharge and water quality. *Agricultural water management*. 2015, 148: 43–51.
23. 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*. 2017, 69: 85–93.
24. Jiang B., Yang S. Y., Yang X. B., Ma Y. H., Chen X. L., Zuo H. F., Fan D. F., Gao L., Yu Q., Yang W. Effect of controlled drainage in the wheat season on soil CH₄ and N₂O emissions during the rice season. *International Journal of Plant Production*. 2015, 9(2): 273–290.
25. Jiang Q., Qi Z., Xue L., Bukovsky M., Madramootoo C. A., Smith W. (2020). Assessing climate change impacts on greenhouse gas emissions, N losses in drainage and crop production in a subsurface drained field. *Science of The Total Environment*. 2020, 705: 135969.
26. Hagedorn J. G., Davidson E. A., Fisher T. R., Fox R. J., Zhu Q., Gustafson A. B., Koontz E., Castro M. S., Lewis J. Effects of drainage water management in a corn-soy rotation on soil N₂O and CH₄ fluxes. *Nitrogen*. 2022, 3(1): 10.
27. Cooke R. A. 2. Drainage Water Management: A Practice for Reducing Nitrate Loads from Subsurface Drainage Systems. 2008.
28. Ballantine D. J., Tanner C. C. Controlled drainage systems to reduce contaminant losses and optimize productivity from New Zealand pastoral systems. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 2013, 56(2): 171–185.
29. Wesström L., Messing I., Linner H., Lindström J. Controlled drainage—effects on drain outflow and water quality. *Agricultural water management*. 2001, 47(2): 85–100.
30. Tolomio M., Borin M. Controlled drainage and crop production in a long-term experiment in North-Eastern Italy. *Agricultural Water Management*. 2019, 222: 21–29.
31. Ramoska E., Bastiene N., Saulys V. Evaluation of controlled drainage efficiency in Lithuania. *Irrigation and drainage*. 2011, 60(2): 196–206.

32. Singh R., Helmers M. J., Kaleita A. L., Takle E. S. Potential impact of climate change on subsurface drainage in Iowa's subsurface drained landscapes. *Journal of irrigation and drainage engineering*. 2009, 135(4): 459–466.
33. Dayyani S., Prasher S. O., Madani A., Madramootoo C. A. Impact of climate change on the hydrology and nitrogen pollution in a tile-drained agricultural watershed in eastern Canada. *Transactions of the ASABE*. 2012, 55(2): 389–401.
34. Skaggs R. W. Water table management: Subirrigation and controlled drainage. *Agricultural drainage*. 1999, 38: 695–718.
35. Oertel C., Matschullat J., Zurba K., Zimmermann F., Erasmī S. Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Geochemistry*. 2016, 76(3): 327–352.
36. Norberg L., Berglund Ö., Berglund K. Impact of drainage and soil properties on carbon dioxide emissions from intact cores of cultivated peat soils. *Mires & Peat*. 2018, 21.
37. Fierer N., Schimel J. P. Effects of drying-rewetting frequency on soil carbon and nitrogen transformations. *Soil Biology and Biochemistry*. 2002, 34(6): 777–787.
38. Edwards K. P., Madramootoo C. A., Whalen J. K., Adamchuk V. I., Mat Su A. S., Benslim H. Nitrous oxide and carbon dioxide emissions from surface and subsurface drip irrigated tomato fields. *Canadian Journal of Soil Science*. 2018, 98(3): 389–398.
39. Al-Kaisi M. M., Kruse M. L., Sawyer J. E. (2008). Effect of nitrogen fertilizer application on growing season soil carbon dioxide emission in a corn-soybean rotation. *Journal of Environmental Quality*. 2008, 37(2): 325–332.
40. Gu J., Nicoulaud B., Rochette P., Gossel A., Hénault C., Cellier P., Richard G. (2013). A regional experiment suggests that soil texture is a major control of N₂O emissions from tile-drained winter wheat fields during the fertilization period. *Soil Biology and Biochemistry*. 2013, 60: 134–141.
41. MacKenzie A. F., Fan M. X., Cadrin F. Nitrous oxide emission in three years as affected by tillage, corn-soybean-alfalfa rotations, and nitrogen fertilization (Vol. 27, No. 3, pp. 698–703). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. 1998.
42. Fernández F. G., Venterea R. T., Fabrizzi K. P. (2016). Corn nitrogen management influences nitrous oxide emissions in drained and undrained soils. *Journal of environmental quality*. 2016, 45(6): 1847–1855.
43. McSwiney C. P., Robertson G. P. Nonlinear response of N₂O flux to incremental fertilizer addition in a continuous maize (Zea mays L.) cropping system. *Global Change Biology*. 2005, 11(10): 1712–1719.
44. Ussiri D., Lal R. Soil emission of nitrous oxide and its mitigation. Springer Science & Business Media. 2012.
45. Van den Pol-van Dasselaar A., Van Beusichem M. L., Oenema O. (1999). Determinants of spatial variability of methane emissions from wet grasslands on peat soil. *Biogeochemistry*. 1999, 44(2): 221–237.
46. Frankenberg J., Klavivko E., Sands G., Jaynes D., Fauser N., Helmer M., Cooke R., Strock J., Nelson K., Brown L. Drainage Water Management for the Midwest. 2004. (Skatīts 5.10.2023.) Pieejams: <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/WQ/WQ-44.pdf>
47. Kasparinskis R., Nikodemus O. (2012). Influence of environmental factors on the spatial distribution and diversity of forest soil in Latvia. *Estonian Journal of Earth Sciences*. 2012, 61(1): 48–64.
48. Lagzdīņš A. Atskaite par zinātniskās izpētes projektu “Meliorācijas ietekmes novērtēšana klimata pārmaiņu (plūdu riska) mazināšanā (1. posma atskaite)”. Latvijas Lauksaimniecības Univērsitāte: Jelgava, 2016.
49. Uusi-Kämppe J., Virtanen S., Rosendahl R., Österholm P., Mäensivi M., Westberg V., Regina K., Ylivainio K., Yli-Halla M., Edén P., Turtola E. Minskning av miljörisker orsakade av sura sulfatjordar. Handbok för reglering av grundvattennivån. MMT, Rapport 89, 2013.
50. LIFE CRAFT brošūra. Meliorācijas sistēmas pielāgošana kontrolētajai drenāžai. Vides risinājumu institūts, 2022.

**ATZIŅAS NO KLASISKA
ILGTERMIŅA EKSPERIMENTA
DĀNIJĀ: OGLEKĻA UZKRĀŠANA
UN KLIMATA PĀRMAIŅU
APKAROŠANA, PĀRVEIDOJOT
NABADZĪGAS ARAMZEMES PAR
DAĻĒJI DABISKĀM PĻAVĀM**

AREZOO TAGHIZADEH-TOOSI

Agroekoloģijas departaments,
Orhūsas Universitāte,
Tjele, Dānija

Anotācija

Nabadzīgas aramzemes pārveidošana par ilggadīgām pļavām joprojām ir efektīvs risinājums, kā palielināt oglekļa (C) uzglabāšanu lauksaimniecības zemē. Šeit pārskatīsim dažādus ar šo tēmu saistītus avotus, lielākoties pievērsoties 2019. gada pētījumam, ko veica Hu un citi autori. Viņi kvantitatīvi novērtēja C un slāpekļa (N) izmaiņas augsnes virskārtā no *Sandmarken* eksperimenta (kas tika uzsākts 1894. gadā Dānijā) pirms un pēc lauka pārveidošanas par daļēji dabiskām pļavām 1998. gadā. Aramzemes augšējā slāņa smilšainā augsnes virskārtā vidējie zudumi bija 0,10 tonnas C un 0,01 tonnas N ha⁻¹ gadā⁻¹, bet δ¹³C palielinājās par 0,002 ‰ un δ¹⁵N – par 0,013 ‰. Pļavu ierīkošana samazināja C un N zudumus par 0,29 tonnām C un 0,017 tonnām N ha⁻¹ gadā⁻¹; δ¹³C tagad samazinājās par 0,065 ‰ un δ¹⁵N par 0,074 ‰. Pārveidojot mazražīgo smilšaino augsni no aramzemes par pļavu, tika nodrošināts kopējais gada guvums – 0,39 tonnas C un 0,029 tonnas N ha⁻¹ augsnes virskārtā. Izmaiņas δ¹³C un δ¹⁵N liecināja par samazinātu C apgrozījuma līmeni un mazāku N ciklu caurlaidību pļavās.

Ievads

Augsne kā siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju avots un oglekļa (C) piesaistītājs ir būtisks klimata regulēšanas elements. Augsne uzglabā lielu daudzumu C, un pirmie minerālaugsnes metri satur no 1500 līdz 2400 Pg (petagrams, Pg=10¹⁵ g) organiskā C. Tas ir aptuveni trīs reizes lielāks par oglekļa krājumu veģetācijā un divreiz lielāks par C krājumu atmosfērā [1]. Aptuveni 44 % no šī C krājuma atrodas augšējā 0,3 m augsnes slānī, proti, augsnes izmantošanas un apsaimniekošanas izmaiņu ietekmē visbiežāk mainās augsnes kvalitāte [2]. Tāpēc nelielas izmaiņas augsnes C krājumos var būtiski ietekmēt atmosfēru un klimata pārmaiņas, un tiek uzskatīts, ka C piesaistīšana augsnē varētu būt nozīmīga siltumnīcefekta gāzu piesaistes stratēģija [3].

Zemes izmantošana, zemes izmantošanas maiņa un mežsaimniecība (ZIZIMM) ir viens no pieciem siltumnīcefekta gāzu avotiem, kas iekļauti Apvienoto Nāciju Vispārējā konvencijā par klimata pārmaiņām (UNFCCC) un ietekmē globālās SEG emisijas, bioloģisko daudzveidību un zemes kvalitāti [4]. Augsnes organiskā oglekļa (AOO) zudums lauksaimniecības zemēs ir atzīts par vienu no astoņiem galvenajiem augsnes apdraudējumiem, jo tas negatīvi ietekmē augsnes auglību un spēju nodrošināt ekosistēmas pakalpojumus [5]. Starptautiskā mērogā pieaug interese par labāku augsnes apsaimniekošanu, lai palielinātu AOO saturu, tādējādi veicinot klimata pārmaiņu seku mazināšanu, palielinot noturību pret klimata pārmaiņām un nostiprinot nodrošinātību ar pārtiku.

Aramzeme un pļavas ir galvenie zemes izmantošanas veidi Eiropā, un augsnes C krājuma apjoms gan aramzemē, gan pļavās varētu būtiski ietekmēt Eiropas C budžetu [6]. Jebkuras no šīm zemes izmantošanas veida izmaiņām var būtiski ietekmēt C daudzumu, kas glabājas augsnē [7]. Lieli augsnes organiskā oglekļa zudumi parasti rodas, pārveidojot ilggadīgo veģetāciju, piemēram, pļavas par aramzemi, kurā dominē viengadīgās kultūras, ar straujiem C zudumiem agrīnajā fāzē pēc pārveidošanas un lēnākiem zudumiem, turpinoties aramzemes izmantošanai [8].

Poeplau un Don (2013) veica pētījumu 24 apsekojumu vietās Eiropā, aptverot galvenos Eiropas zemes izmantošanas maiņas veidus: no aramzemes uz pļavu, no pļavas uz aramzemi, no aramzemes uz mežu un no pļavas uz mežu. Pētnieki konstatēja, ka AOO piesaiste pēc pļavu pārveidošanas aramzemēs bija vienāda ar AOO piesaisti, ko rada aramzemes apmežošana [9]. Tāpēc viens no variantiem, kā vairāk augsnē uzglabāt C, var būt degradētu un aramzemju ar mazu C saturu un ierobežotu produktivitāti pārveidošana par pastāvīgi veģetējošām augsnēm, piemēram, daļēji dabiskām pļavām [10]. Šī nodaļa ir balstīta uz pētījumu, ko veica Hu un citi (2009). Tika novērtēta augšējā augsnes slāņa oglekļa (C), slāpekļa (N), ¹³C un ¹⁵N satura izmaiņas desmitgades griezumā ar atšķirīgu apsaimniekošanu Dānijas aramzemēs, kas pēc tam pārveidotas par daļēji dabiskām pļavām.

Augsnes organiskā oglekļa satura izmaiņas rada oglekļa emisijas

ES Komisija ir konstatējusi, ka organiskā oglekļa (jeb organisko vielu) samazināšanās ir viens no galvenajiem draudiem Eiropas augsnēm [11]. Kopumā augsnei ar augstāku organisko C saturu būs stabilāka struktūra nekā tādai pašai augsnei ar zemāku organisko C saturu, tā būs mazāk pakļauta notecei, erozijai vai virsmas noskalošanās procesiem, un tai būs lielāks ūdens infiltrācijas ātrums, ūdens aizture un lielāka porainība. Augsnes C līdzsvaru galvenokārt kontrolē zemes izmantošana, kultivēšanas vēsture, veģetācijas dinamika, augsnes īpašības un klimats. C nokļūšanu augsnē ietekmē biomasas ražošana, biomasas zudums zemes izmantošanas (ražas novākšanas) rezultātā un biomasas pārneses ātrums no virszemes uz augsni. C var izdalīties mineralizācijas procesā, kura ātrumu kontrolē augsnes struktūra, augsnes skābums, organisko vielu saturs, labilā C krājums, pakaišu kvalitāte, augsnes mitrums un augsnes temperatūra, kas rada augstu vai zemu mikrobu aktivitāti [1]. Attiecībā uz C piesaistīšanu augsnē ilgtermiņa aramzemes pārveidošanai par daļēji dabiskām pļavām ir divi ieguvumi: augsnes C pieaugums, ko rada pļavu veģetācija, galvenokārt zem zemes un C zudumu novēršana augsnē, kas rodas, turpinot aramzemes apsaimniekošanu [12, 13]. Makrouzturvielu, piemēram, slāpekļa (N) un fosfora (P), pievienošana varētu būt liels ieguvums slikti apsaimniekotām vai degradētām vietām, piemēram, nekoptām pļavām [14].

Piemēram, Apvienotajā Karalistē 15 zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņas un mežsaimniecības (ZIZIMM) prognozes par sasniedzamo oglekļa piesaisti minerālaugsnēs un organominerālajās augsnēs liecina, ka pļavu augsnes līdz 2050. gadam piesaistīs 10 347 tonnas CO₂ (t. i., ~10 miljoni tonnu oglekļa dioksīda (CO₂) augsnes 0–1 m dziļuma slānī). Pļavu platība ir aptuveni 36 % no Apvienotās Karalistes sauszemes platības, un tas nozīmē, ka turpmāko 30 gadu laikā augsnes C piesaistes potenciāls ir aptuveni 2822 tūkstoši tonnu C. Lielākā daļa no šī augsnes C (1865 tūkstoši tonnu C) tiks piesaistīta “atlikušajās pļavās” (nemainot zemes pielietojumu). Pārveidojot aramzemes par pļavām, augsnēs tiks iegūts aptuveni 1000 tūkstoši tonnu C. Aramzeme nav saistīta ar C pieaugumu minerālaugsnēs, bet tiek uzskatīta par tīro C emisiju avotu (3842 tūkstoši tonnas C līdz 2050. gadam).

Politikas veidotāji arvien lielāku uzmanību pievērš AOO saglabāšanas pasākumiem, vienlaikus apsverot C piesaistes apjoma palielināšanas potenciālo ietekmi uz vidi (piemēram, palielināts N daudzums augsnē, ko rada mēslošana piesaistītajā organiskajā vielā, var palielināt nitrātu izskalošanos vai N₂O emisijas no augsnes [16, 17]).

Lauksaimniecības apsaimniekošanas ietekme uz augsnes organiskā oglekļa saturu

Lauksaimniecības augsnēm ir potenciāls darboties kā oglekļa piesaistītājām, ņemot vērā dažus pasākumus, piemēram: mainot zemes izmantojumu no aramzemes uz ilggadīgām pļavām, ieviešot augsnes apstrādes sistēmas bez augsnes apstrādes vai ar saglabājošu augsnes apstrādi, mainot mēslošanas līdzekļu ievadi, palielinot C ievadi no organiskajiem papildinājumiem, saglabājot seklāku gruntsūdens līmeni un pārmitrinot pļavas kūdras augsnēs, apsverot atmatā atstāto platību pastāvīgu apzaļumošanu ar daudzgadīgām zālēm, segaugiem vai koksnēs bioenerģijas kultūrām rotācijas papuves vietā [18]. Turklāt uzlabojumi lauksaimniecības tehnikā, iespējams, ir palielinājuši kultūraugu atlieku

aizvākšanu. Iespējams, ka izmaiņas praksē šajā periodā, piemēram, pieaugošā skābbarības ražošana siena vietā, kas likvidē vairāk atlikumu un samazina C krājumus augsnē, arī ir novedušas pie tā, ka no apsaimniekotajām aramzemēm un pļavām tika aizvākts vairāk kultūraugu atlikumu. Paredzams, ka šīm tehnoloģiju un prakses izmaiņām nākotnē būs liela ietekme uz augsnes organiskajiem C krājumiem [1, 19].

No visām iespējamām C piesaistes metodēm, pļavas joprojām ir ļoti svarīga oglekļa piesaistītāja. Ir pierādīts, ka aramzemes pārveidošana par pļavām varētu palielināt augsnes C piesaistes rādītājus no 0,3 līdz 0,8 tonnām C ha⁻¹ gadā⁻¹ (Dawson

un Smith, 2007). Salīdzinot augsnes septiņās vietās Apvienotajā Karalistē, Powlson un citi (2012) konstatēja, ka bezaršanas augsnes apstrāde veicināja augsnes C uzkrāšanos par 0,31 tonnu C ha⁻¹ gadā⁻¹. Dati, kas iegūti, izmantojot lauksaimniecības modeli (Roth-CNP), liecina, ka aramzeme Apvienotajā Karalistē ir zaudējusi AOO par – 0,18, – 0,25 un – 0,08 tonnām C ha⁻¹ gadā⁻¹, savukārt uzlaboto pļavu zeme (piemēram, labākas kultūraugu šķirnes un mehanizācija)

ir palielinājusi AOO krājumus par 0,20, 0,47 un 0,24 tonnām C ha⁻¹ gadā⁻¹, 1800. līdz 1950., 1950. līdz 1970. un 1970. līdz 2010. gadam [20]. Turklāt lielāks C daudzums no virszemes un apakšzemes zāles atliekām parasti nonāk augsnes virskārtā pļavas fāzē, nevis aramzemes fāzē, un materiālu kvalitāti nosaka lignīns un vaski, kuriem ir zems sadalīšanās ātrums salīdzinājumā ar kultūraugu atliekām no aramzemēm [21].



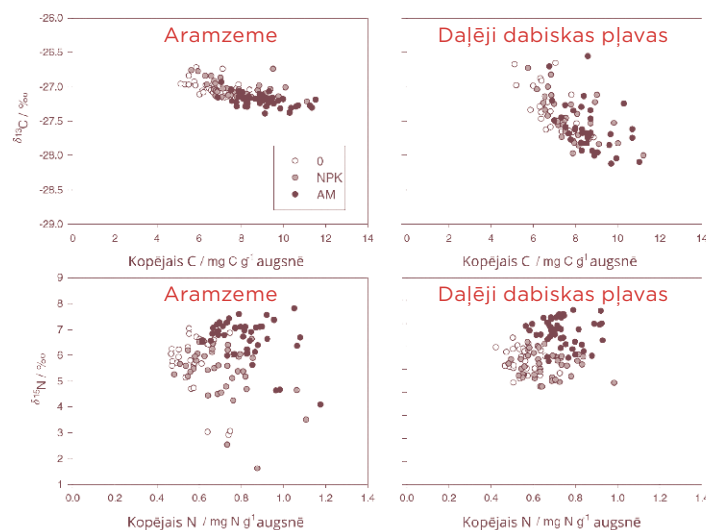
Nesenu un vairāk nekā gadsimtu ilgu eksperimentu parauglaukumu gadījumu izpēte

Lauksaimniecības apsaimniekošanai ir ilgstoša ietekme uz augsnes organisko oglekli. Lauksaimniecības apsaimniekošanas ilglaicīgās sekas var konstatēt Rothamsted Apvienotās Karalistes aramzemēs, kas liecina, ka kūtsmēsli ietekme, kas ilga no 1852. līdz 1871. gadam un pēc tam tika pārtraukta, joprojām ir redzama organisko vielu līmenī vairāk nekā 100 gadus vēlāk [8]. Cits pētījums parāda, kā daudzgadīgās aieres (*Lolium perenne* L.) papuves atstāšana atmatā ievērojami veicināja augsnes aizsardzību un kā augsnes organisko vielu saturs pastāvīgi un ievērojami palielinājās no 20,4 g kg⁻¹ 1991. gadā līdz 31,1 g kg⁻¹ 2001. gadā atmatā atstātajos eksperimentālajos parauglaukumos [22].

Augsnes apstrādes trūkums, šķiet, noved pie zālaugu sakņu sistēmas attīstības ar pozitīvu ietekmi, norādot uz nepieciešamību apsvērt saistīšanos, kā arī saistīšanās mehānismus augsnes strukturālajā stabilizācijā [22, 24].

Hu un citu pētījumā (2019) tika izvirzīta hipotēze, ka aramzemes pārveidošana par ilggadīgām pļavām palielinātu augsnes C krājumus un AOO krājumi būtu lielāki zemes gabalos, kuros agrāk iestrādāti kūtsmēsli vai minerālmēsli, nekā zemes gabalos, kuros minerālmēsli nav iestrādāti. Tāpēc Dānijā tika novērotas C un N augsnes virskārtas izmaiņas no nabadzīgas

smilšainas augsnes pirms un pēc tās pārveidošanas par neapstrādātām daļēji dabiskām pļavām. Pētāmā augsne tika uzskatīta par aršanai nelabvēlīgu augsni, jo tai bija zema ražība. Tāpēc netiešas zemes izmantošanas maiņas risks, lai kompensētu zaudēto produkciju, bija minimāls. Eksperiments bija daļa no Askovas ilgtermiņa eksperimentālās stacijas, kas sākās 1894. gadā. Laukā 75 gadus tika veikta labi dokumentēta aramzemes apsaimniekošana. Pēc ražas novākšanas 1997. gadā barības vielu pievienošana tika pārtraukta un laukauga augsekas vieta tika pārveidota par ilggadīgo pļavu ar daudzgadīgo aieni un sarkano auzeni (*Festuca rubra* L.), ko iesēja 1998. gada marta vidū. Zāli pļāva vienu vai divas reizes gadā un nopļauto biomasu atstāja uz zemes. Tādējādi zāles ražība netika noteikta. *Sandmarken* teritorija kopš 1998. gada tiek uzskatīta par daļēji dabisku pļavu, kurā netiek izmantots mēslojums un augu biomasa netiek aizvākta. Tā kā augsne ir skāba, 1997. gadā pirms zāles sēšanas tika iestrādāts ar magniju bagātināts kaļķis (4 tonnas ha⁻¹), bet 2005. gadā, kad zāli iesēja tieši zālājā, neveicot nekādu citu kultivēšanu, kaļķis tika iestrādāts atkārtoti (3,5 tonnas ha⁻¹). Pieejamā informācija par laikapstākļiem, ražas datiem un augsnes īpašībām padarīja šo vietu par unikālu pētniecības platformu. Arhivētajām augsnēm, no kurām ņēma paraugus no 1942. līdz 2012. gadam, tika analizēti C, N, ¹³C un ¹⁵N. Tālāk norādītie rezultāti ir no pētījuma, ko veica Hu un citi.



1. attēls. Saistība starp C un ¹³C koncentrāciju, kā arī starp N un ¹⁵N koncentrāciju *Sandmarken* augsnes aramzemes (1942–1997) virskārtā (0–20 cm) un daļēji dabisko pļavu (1998–2012) fāzēs. Apstrāde bez kūtsmēsliem (0), minerālmēsliem (NPK) un kūtsmēsliem (AM) tika izmantota tikai aramzemes fāzē.

Dānijā pirms 1894. gada lauksaimniecība balstījās uz rotāciju, kurā dominēja zālāju un pākšaugu sējumi, ko izmantoja siena iegūšanai [25]. Zālāju un pākšaugu velēnu uzar pēc pieciem septiņiem gadiem, tad audzē vienu graudaugu rudzu sējumu, kam seko divi trīs auzu sējumi. Pāreja no šīs sējumiem bagātās apsaimniekošanas sistēmas uz eksperimenta rotāciju 1894. gadā ar viengadīgo kultūraugu dominanci, virszemes augu biomasas izņemšanu un biežu augsnes apstrādi, iespējams, ir izraisījusi vispārēju C satura samazināšanos augsnē neatkarīgi no turpmākajiem mēslojuma režīmiem. Šis C samazinājums augsnē pirms 1894. gada, iespējams, izskaidro, kāpēc augsnes virskārta turpināja zaudēt C un N arī aramzemes fāzē. Kopš 1923. gada zudumi radās tādā pašā ātrumā, bet dažādajiem apstrādes veidiem ražas novākšanas laikā bija atšķirīga raža, un tādējādi C un N saturā (0 < NPK < AM) tika atspoguļota atšķirīga kultūraugu atlieku atgriešanās augsnē. Vienlaicīgs C un N zudums nozīmēja, ka C/N attiecība aramzemes fāzē atšķīrās nedaudz.

δ¹³C ir izotopu paraksts, ko plaši izmanto pagātnes notikumu rekonstrukcijā. Hu un citu pētījumā (2019) δ¹³C pieaugums bija saistīts ar stabilas augsnes C īpatsvara palielināšanos, kas saistīts ar izturīgām augsnes organiskajām vielām. Augsnes virskārtas δ¹³C samazinājums zāles fāzes laikā vidēji bija 1 ‰, un tas ir saistīts ar negatīvāku δ¹³C no zāles ievada un

lielāka C ievada ar virszemes un apakšzemes zāles atliekām. Selektīvā pret sadalīšanos noturīgu augu atlieku komponentu uzkrāšanās, kam ir neliels ¹³C saturs (piemēram, lignīns un vaski), iespējams, būtu veicinājusi δ¹³C samazināšanos, kas notika, kad aramzeme tika pārveidota par nemēslojamām pļavām [26].

Augsnes virskārtas N izmaiņas atšķīrās no C izmaiņām, un augsnes organiskās vielas C/N attiecība palielinājās no 8 aramzemes fāzē līdz 17 pļavas fāzē. Pļavas fāzē, kad nav N₂ fiksējošas pākšaugu komponentes un netiek lietots N, vienīgais N avots ir atmosfēras nogulsnes. Askovas apgabalā amonjaka un nitrātu slapjā nogulsnēšanās (neņemot vērā sauso nogulsnēšanos) veido 0,02 tonnas N ha⁻¹ gadā⁻¹. Šis N daudzums atbilst vidējam ikgadējam augsnes N daudzuma pieaugumam, kas tika izmērīts pļavu ierīkošanas posmā (0,02 tonnas N ha⁻¹), kas liecina, ka pēc pārveidošanas par pļavām augsnes virskārtā N zudums bija neliels. Mazāk caurlaidīga

N cikla izveide augsnes virskārtā zem nemēslotiem daļēji dabiskām pļavām apstiprina datus par ^{15}N pārpilnību. Izotopu frakcionēšanas dēļ, kas saistīti ar N zudumiem amonjaka izgarošanas procesā un nitrifikācijas rezultātā ar nitrātiem, izskalošanai vai denitrifikācijai, augsnes ar ievērojamiem N zudumiem bagātinās ar ^{15}N . Aramzemes fāzes laikā augsnes virskārta uzrādīja $\delta^{15}\text{N}$ pieaugumu, augsnei pakļaujot to AM apstrādei, šīs vērtības bija lielākas nekā nemēslojamai augsnei un augsnei, kas apstrādāta ar NPK. Lielāka $\delta^{15}\text{N}$ vērtība AM bija augsnēs, kurās bija izmantoti ar ^{15}N bagātināti kūtsmēsli [27].

Secinājumi

Zema ražīguma aramzemes pārveidošana par daļēji dabiskām pļavām var būt efektīvs apsaimniekošanas veids, lai palielinātu C uzkrāšanu lauksaimniecības zemēs. Tas tāpēc, ka ir palielinājies C pieplūdums no pļavu veģetācijas un tiek novērsts nepārtraukts C zudums no aramzemes apsaimniekošanas augsnes. Lai gan atšķirīga mēslojuma vēsture šajā pētījumā būtiski neietekmēja C izmaiņas, augsnei ar vismazāko sākotnējo C saturu bija vislielākais C uzglabāšanas potenciāls, kad to pārveidoja par pļavu. Izmaiņas $\delta^{13}\text{C}$ un $\delta^{15}\text{N}$ liecina par C aprites ātruma samazināšanos un mazāku N cikla noplūdi pļavās. Secinot no pētījuma, ko veica Hu un citi (2019), eksperimenta 75 gadu laikā, kad tika apsaimniekota aramzeme, vidējais augsnes C zudums gadā bija $0,10 \text{ tonnas ha}^{-1}$. 14 gadu laikā, kad tika audzētas daļēji dabiskas pļavas, augsne ieguva vidēji $0,29 \text{ tonnas C ha}^{-1}$ gadā. Tādējādi kopējais ieguvums no šīm izmaiņām zemes izmantošanā no neproduktīvas aramzemes uz nemēslojamām daļēji dabiskām pļavām veido C piesaistes neto likmi $0,39 \text{ tonnas C ha}^{-1}$ gadā⁻¹.

Literatūra

1. Smith P. *et al.* How to measure, report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. *Global Change Biology*, 1–23, doi:10.1111/gcb.14815 (2019).
2. Batjes N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* 47, 151–163 (1996).
3. Lal R. *et al.* The carbon sequestration potential of terrestrial ecosystems. *Journal of Soil and Water Conservation* 73, 145A–152A (2018).
4. UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change, Article 4. (1992).
5. Schiefer J. *et al.* The increase of soil organic carbon as proposed by the “4/1000 initiative” is strongly limited by the status of soil development – A case study along a substrate age gradient in Central Europe. *Science of the Total Environment* 628–629, 840–847 (2018).
6. Janssens I. A. *et al.* The carbon budget of terrestrial ecosystems at country-scale – A European case study. *Biogeosciences* 2:15–26 2, 15–26 (2005).
7. Kämpf I., Hölzel, N., Störrle, M., Broll, G. & Kiehl, K. Potential of temperate agricultural soils for carbon sequestration: a meta-analysis of land-use effects. *Science of the Total Environment* 566–567, 428–435 (2016).
8. Johnston A. E., Poulton P. R. & Coleman K. Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Advances in Agronomy* 101, 1–57 (2009).

9. Poeplau C. & Don, A. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe. *Geoderma* 192 (2013).
10. Powlson D. S., Whitmore A. P. & Goulding K. W. T. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science* 62, 42–55 (2011).
11. Gobin A. *et al.* Soil organic matter management across the EU – best practices, constraints and trade-offs. (2011).
12. Soussana J.-F. *et al.* Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. *Soil Use & Management* 20, 219–230 (2004).
13. Hu T. *et al.* Converting temperate long-term arable land into semi-natural grassland: decadal-scale changes in topsoil C, N, ^{13}C and ^{15}N contents. *European Journal of Soil Science* 70, 350–360 (2019).
14. Donnelly M. B. J. a. A. Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO_2 . *New phytologist* 164, 423–439 (2004).
15. Brown P. *et al.* Report: UK Greenhouse Gas Inventory, 1990 to 2018: Annual Report for submission under the Framework Convention on Climate Change (2020).
16. Boeckx P. & Van Cleemput, O. Estimates of N_2O and CH_4 fluxes from agricultural lands in various regions in Europe. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60, 35–47 (2001).
17. Powlson D. S. *et al.* The potential to increase soil carbon stocks through reduced tillage or organic material additions in England and Wales: A case study. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 146, 23–33 (2012).
18. Smith P., Nkem J. & Calvin K. IPCC SRCCL Chapter 6: Interlinkages between desertification, land degradation, food security and greenhouse gas fluxes: Synergies, trade-offs and integrated response options. (2019).
19. Dawson J. J. C. & Smith P. Carbon losses from soil and its consequences for land-use management. *Science of the Total Environment* 382, 165–190 (2007).
20. Muhammed S. E. *et al.* Impact of two centuries of intensive agriculture on soil carbon, nitrogen and phosphorus cycling in the UK. *Science of the Total Environment* 634, 1486–1504 (2018).
21. Gregory A. S. *et al.* Long-term management changes topsoil and subsoil organic carbon and nitrogen dynamics in a temperate agricultural system. *European Journal of Soil Science* 67, 421–430 (2016).
22. Fullen, M. A., Booth, C. A. & Brandsma, R. T. Long-term effects of grass ley set-aside on erosion rates and soil organic matter on sandy soils in east Shropshire, UK. *Soil & Tillage Research* 89, 122–128 (2006).
23. Jensen J. L. *et al.* Soil degradation and recovery – Changes in organic matter fractions and structural stability. *Geoderma* 364, 114181 (2020).
24. Schjønning P., Munkholm L. J., Elmholt, S. & Olesen, J. E. Organic matter and soil tilth in arable farming: management makes a difference within 5–6 years. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 122, 157–172 (2007).
25. Christensen B. T., Olesen J. E. & Eriksen J. Year 1900: agriculture and leaching of nitrogen from the root zone. 37–46 (Aarhus University–Danish Centre for Environment and Energy, Aarhus, 2017).
26. Quideau S. A., Graham R. C., Feng X. & Chadwick O. A. Natural isotope distribution in soil surface horizons differentiated by vegetation. *Soil Science Society of America Journal* 67, 1544–1550 (2003).
27. Bol R. *et al.* The natural abundance of ^{13}C , ^{15}N , ^{34}S and ^{14}C in archived (1923–2000) plant and soil samples from the Askov long-term experiments on animal manure and mineral fertilizer. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 19, 3216–3226 (2005).

TIEŠĀ SĒJA KĀ IESPĒJA SAMAZINĀT CO₂ EMISIJAS

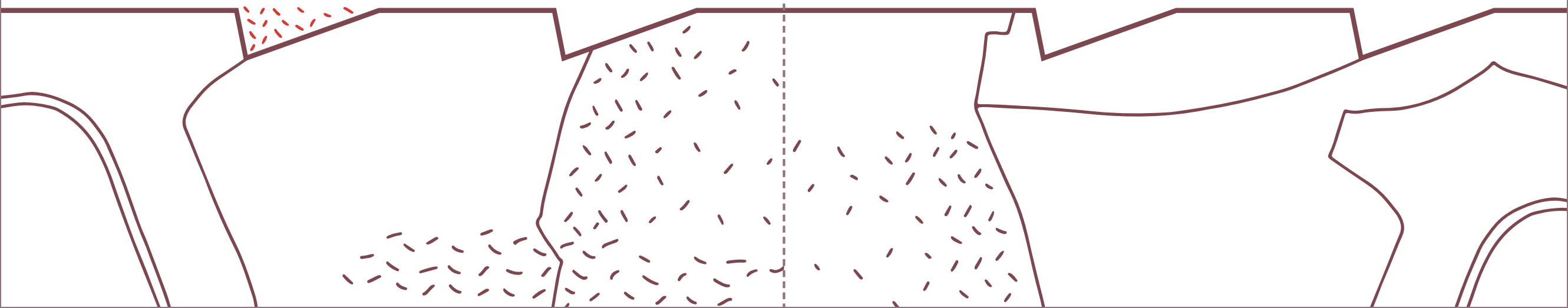
JĀNIS KAŽOTNIEKS

Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centra
Inženiertehniskās nodaļas vadītājs,
Rīgas iela 34, Ozolnieki,
Jelgavas nov., LV-3018, Latvija
e-pasts: janis.kazotnieks@llkc.lv

levads

Augsne ir galvenais lauksaimnieciskās ražošanas resurss, tā veidojusies gadu tūkstošiem ilgos procesos, par to māca dabaszinību stundās jau 4. klases skolniekiem. Augsnes veidošanās nav iedomājama bez augiem, dažādiem organismiem, saules gaismas, siltuma un ūdens. Dabā ir iekārtots tā, ka visas šīs sastāvdaļas savstarpēji mijiedarbojas un viss it kā notiek pats no sevis. Tomēr, ieskatoties dziļāk, var saprast, ka augsnes veidošanās procesi ir loģiski un notiek noteiktā kārtībā. Sēkla uzdīgst tikai tad, kad atrodas augsnē, kad augsne ir pietiekoši uzsilusi un mitra, kad visam procesam ir pietiekoši daudz saules gaismas. Kad asns izdīdzis, pateicoties saules gaismai un gaisā esošajai ogļskābajai gāzei, sāk darboties fotosintēzes procesi, kuru rezultātā sāk veidoties dažādi oglekļa savienojumi – cukuri. Interesanti, ka aptuveni 1/3 no fotosintēzes rezultātā saražotā cukura augs caur sakņu sistēmu burtiski iesūknē augsnē [1], kur šie savienojumi kalpo par barību augsnē dzīvojošajiem mikroorganismiem, kuri savukārt šos cukurus pārveido augiem pieejamās barības vielās, tā atgriežot paša auga saražotās barības vielas atkal atpakaļ augā un nodrošinot tā attīstību. Kad augs ir izaudzis un devis augļus, tas pamazām atmirst un nokļūst uz augsnes virskārtas, kur to sasmalcina kukaiņi un vēlāk sēnes un baktērijas burtiski pārstrādā augsnē – līdzīgi kā tas notiek komposta kaudzē. Ir ļoti svarīgi saprast, ka šajā dabīgajā procesā svarīgs jebkurš posms – ja kāds no tiem izkrīt vai kļūst vājš, tiek traucēts viss process kopumā. Diemžēl jāatzīst, ka normālus augsnes veidošanās procesus ar savu rīcību traucē tieši cilvēks, pārlietu intensīvi apstrādājot augsni un izmantojot augu aizsardzības līdzekļus [2].

Tiešā sēja ir viens no bezaršanas tehnoloģijas veidiem. Strādājot ar šo metodi, vienīgā augsnes apstrādes operācija ir sēklas vadziņas iegriešana augsnē. Tādā veidā augsne paliek faktiski neskarta un uz tās saglabājas augu atliekas, kas savukārt pasargā augsni no laikapstākļu kaitīgās iedarbības, ierobežo viengadīgo nezāļu attīstību, kā arī kalpo par barības bāzi dažādiem augsnē dzīvojošajiem organismiem. Rezultātā uzlabojas augsnes mikrobioloģiskā aktivitāte, struktūra, ūdens un gaisa aprīte, auglība,



palielinās organiskās vielas saturs, kā arī šādā augsnē augošo augu noturība pret slimībām. Strādājot ar tiešās sējas metodi, samazinās no augsnes izdalītā CO₂ apjoms un augsne ar tajā augošo augu un mikroorganismu starpniecību ilgtermiņā sekmīgi piesaista gaisā esošo oglekli, tādā veidā konstanti palielinot organiskās vielas saturu augsnē. Pasaules piemēri rāda, ka ar tiešo sēju apsētajos tīrums raža mēdz būt pat lielāka [3] nekā izmantojot tradicionālo augsnes apstrādi. Izmantojot tiešās sējas paņēmieni, ievērojami palielinās darba ražīgums, bet samazinās darbaspēka un degvielas patēriņš, kā arī izdevumi tehnikas iegādei, remontiem un apkopēm [4].

Projekta LIFE CRAFT ietvaros Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centrs sadarbībā ar astoņām saimniecībām Latvijā testē tiešās sējas metodi. Iegūto rezultātu salīdzināšanai projekta saimniecībās tiek uzturēti arī tīrumi, kur saimnieki turpina tradicionālo augsnes apstrādi. Šajos tīrumsos ir tādi paši augšanas apstākļi un audzētās kultūras kā ar tiešās sējas metodi sētajos tīrumsos.

Lai arī Latvijā ir lauksaimnieki, kuri jau strādā ar dažādām bezaršanas metodēm, LIFE CRAFT projekts palīdz izvērtēt tiešās sējas un lentveida sējas (*StripTill*) efektivitāti, gan analizējot augsnes struktūru un sastāvu, gan iegūtās ražas apjomu un metodes izmantošanai nepieciešamos resursus.

Tiešās sējas ietekme uz CO₂ emisiju intensitāti

Lauksaimnieciskajā ražošanā siltumnīcu gāzu emisijas ir neizbēgams faktors gan tieši – no augsnes apstrādes un tehnikas darbināšanas, gan netieši – degvielas, minerālmēslu un tehnikas ražošanas gaitā.

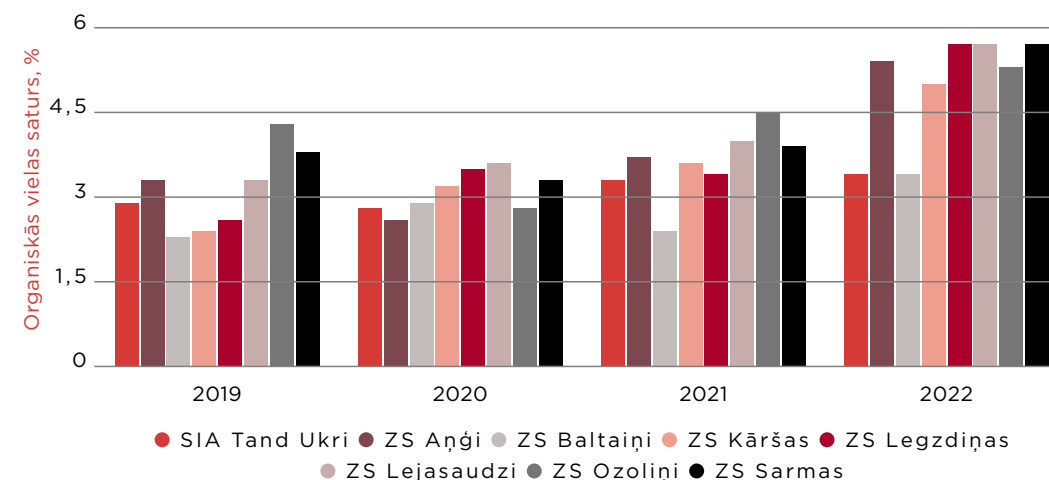
Ja zinām, cik darba laikā emitē traktors, tad dīzeļdegvielas ražošanas izmaksas ir vēl par aptuveni 30 % lielākas [5]. Ja zinām, ka, piemēram, 200 Zs jaudas traktors, sējot tiešajā sējā, patērē aptuveni 15 litrus dīzeļdegvielas uz katru apstrādāto hektāru un ka, vienam litram dīzeļdegvielas sadegot, rodas aptuveni 2,7 kg CO₂ [6], tad kopējās CO₂ emisijas, apsējot vienu hektāru, ir 2,7X15+30 %=52,7 kgC tikai no dīzeļdegvielas vien.

Ja runājam par minerālmēslu izmantošanas radītajām CO₂ emisijām, tad pēc Kembridžas Universitātes zinātnieku aplēsēm tie ir aptuveni 5 % no kopējām siltumnīcas gāzu emisijām. Kopā ar organisko mēslojumu, minerālmēslu izmantošanas rezultātā katru gadu atmosfērā tiek emitētas 2,6 gigatonnas CO₂, kas ir vairāk nekā saražo aviācija un kuģniecība kopā. Ejot vēl tālāk, zinātnieki ir aprēķinājuši, ka gandrīz puse (48 %) no pasaules iedzīvotājiem patērē pārtiku, kas saražota, izmantojot sintētisko mēslojumu. Labā ziņa ir tāda, ka, saprātīgi saimniekojot, šīs emisijas ir iespējams samazināt par 80 % līdz 2050. gadam [7].

Pētot četras atšķirīgas augsnes apstrādes tehnoloģijas mālsmits augsnē ASV ziemeļrietumu daļā, zinātnieki fiksēja CO₂ emisijas 19 dienu laikā no brīža, kad augsne tika apstrādāta [8]. Apstrādājot tīrumu ar arklū, augsnē tika iestrādātas visas augu atliekas, atstājot augsnes virskārtu irdenu un vienlaikus radot arī vislielākās CO₂ emisijas. Oglekļa emisijas CO₂ formā procentos no tā gada augu atliekās esošā oglekļa (C) 19 dienu laikā no četriem dažādiem augsnes apstrādes veidiem bija attiecīgi 134 % arklam (faktiski zūd vairāk nekā ir, konstanti pazeminot augsnes organiskās vielas saturu gadu no gada), 70 % – arklam kombinācijā ar diskkiem, 58 % – diskkiem, 54 % – rugaines kultivatoram un 27 % – tiešās sējas gadījumā.

Saskaņā ar Ohio Universitātes zinātnieku pētījumu rezultātiem, kviešu salmos C/N attiecība ir aptuveni 80/1, kas nozīmē, ka uz katru slāpekļa kilogramu salmos ir 80 kilogrami oglekļa [9]. No vienas puses, šī attiecība ir cēlonis tam, kāpēc salmi salīdzinoši lēni sadalās (strauja

mineralizācija notiek, ja C/N attiecība ir mazāka par 20/1), bet, no otras puses, tie ir reāli slāpekļa un oglekļa kilogrami, kas paliek uz tīruma pēc ražas novākšanas. Ko mēs ar tiem darām, tā jau ir mūsu izvēle. Lai būtu viela pārdomām, ņemot vērā pētījumu rezultātus, parēķināsim, cik oglekļa mēs zaudējam dažādu augsnes apstrādes veidu rezultātā. Ja pieņemam, ka vienā tonnā ziemas kviešu salmu ir aptuveni 5 kg N [10], tad, pārreķinot proporcionāli, tas ir 400 kgC/t. Pieņemot, ka ražība ir Zemgalei pieticīgās 6 tonnas no hektāra, kopējais C saturs salmos ir 2400 kg. Tātad, izmantojot arklū, katru gadu no katra hektāra tiek zaudēts 3216 kgC, izmantojot arklū kombinācijā ar diskkiem attiecīgi 1680 kg, diskus – 1392 kg, rugaines kultivatoru – 1296 kg, bet tiešās sējas gadījumā – tikai 648 kg. Tiešās sējas gadījumā uz lauka kā barība dažādiem augsnē dzīvojošiem organismiem katrā hektārā paliek vairāk nekā pusotra tona – 1752 kgC. Šo tendenci ļoti labi var pamanīt arī projekta gaitā veiktajos mērījumos, kas atspoguļoti 1. attēlā.



1. attēls. Organiskās vielas saturs augsnē (%) tiešās sējas laukos 2019.–2022. gadā. Attēlā redzams, ka augsnes organiskās vielas saturs konstanti pieaug.

Tiešās sējas praktiskās ieviešanas aspekti

Tiešās sējas un lentveida sējas (*StripTill*) ieviešana kā jebkurš sējas process sākas jau ar ražas novākšanu. Atšķirībā no tradicionālās tehnoloģijas, kur ar arklu iespējams labot ražas novākšanā pieļautās kļūdas, iearot salmus, tiešās sējas gadījumā salmu nevienmērīga izkliešana var būt cēlonis sliktai lauka dīdžībai. Salmi mēdz traucēt sēklas un augsnes kontakta nodrošināšanai – īpaši, ja strādājam ar diskveida sējas lemesīšu sējmašīnu un salmi ir mitri. Šajā gadījumā disks vienkārši iespiež salmus sēklas vadziņā un uzsēj uz tiem sēklu – augsnes kontakta nav un nav arī dīgšanai nepieciešamā mitruma. Lai tā nenotiktu, ļoti jādomā, kā kombains pārvietojas pa tīrumu, pēc iespējas mēģinot neapstāties uz vietas, kad kuļaparāts vēl strādā un salmi sakrīt kaudzē. Problēmu daļēji var atrisināt, izmantojot salmu ecēšas, bet tas ir papildu laiks, degviela (gan salīdzinoši nedomā – ap 2l/ha) un nepieciešama papildu mašīna – tas viss sadārdzina procesu. Noteikti arī palīdzēs regulāra salmu smalcinātāja nažu un pretgriezēju pārbaude un asināšana vai nomaīņa – arī pelavu izkliešanas nebūs lieka greznība.

Lai arī somu kolēģi pārejai uz tiešo sēju kviešu/rapša tīrums iesaka pāris gadus paaudzēt zālāju, projekta gaitā esam nonākuši pie secinājuma, ka tiešā sēja strādā arī bez šī nosacījuma. Sākotnējās bažas par dramatiskiem ražas samazinājumiem ir izgaissušas bez pēdām. Gluži otrādi – saimniecībās ar īpaši smagiem augsnes apstākļiem šie smagie tīrumi vairs nav jāar, un mums, ņemot augsnes paraugus divas reizes gadā, ir pilnīgi skaidrs, ka augsne pamazām kļūst dzīvāka, augu saknes iekļūst arvien dziļāk un augsne pat maina krāsu – kļūst tumšāka. Paradokss šķietami ir tajā, ka smagās augsnes pat ir piemērotākas tiešajai sējai, jo atšķirībā no smilšainām augsnēm spēj sekmīgāk saglabāt struktūru.

Protams, ka jautājums par sējmašīnas izvēli vienmēr būs aktuāls. Jāsaprot, ka nav vienas ideālās sējmašīnas, katrai ir savas priekšrocības un galvenais – katrai ir arī savi trūkumi. Tālāk par dažām tehniskām lietām.

Ja izvēlamies disku sējas lemesīšus, jāreķinās ar to, ka mitros, nevienmērīgi izkliešamos un nekvalitatīvi sasmalcinātos salmos var parādīties problēmas ar sēklu dīdžību. Disku salmus mēdz iespiest augsnē (īpaši vieglā un irdenā), tos nepārgriežot, radot tā saucamo matadatas efektu, kad sēkla tiek uzsēta uz augsnē iespiestiem salmiem – tai nav kontakta ar augsni un tajā esošo mitrumu.

Šo problēmu iespējams kaut nedaudz novērst, sējmašīnai pirms sējas lemesīšiem uzmontēt atsevišķu disku rindu. Katram sējas lemesītim priekšā esošais disks samazina vilces pretestību, pārgriež salmus un saknes, izveido sēklas gultni, kā arī palīdz sējas lemesītim kvalitatīvāk iesēt sēklu. Atkarībā

no augu atlieku sastāva un daudzuma var izvēlēties gludus (vismazāk augu atlieku), gofrētus vai viļņotus diskus. Pēdējie attīra no augu atliekām un nedaudz uzirdina joslu, kur pēc tam vadziņu griezīs sēklas lemesītis.

Otra alternatīva augu atlieku problēmas risināšanai ir izmantot vadziņas attīrītājus. Parasti tie ir zvaigznītes formas rotējoši sējmašīnas elementi, kas izvietoti tieši pirms sējas lemesīšiem. Mēdz būt gan viena, gan divu rotoru attīrītāji. Ir novērots, ka labāk (īpaši mitrākos apstākļos) strādā viena rotora variants, jo starp diviem rotoriem mēdz sasprūst salmi kopā ar augsni, traucējot kvalitatīvu sēklas vadziņas joslas attīrīšanu.

Ja izvēlamies sējmašīnu ar kaltveida sējas lemesīšiem vai arī *StripTill* sējmašīnu, jāreķinās ar lielāku vilces jaudas nepieciešamību (+15–20 %) un problemātisku darbu tīrums ar akmeņiem. Tai pašā laikā šīm sējmašīnām nekad nebūs problēmu ar sēklas uzsēšanu uz augsnē iespiestiem salmiem. Kaltveida lemesīšu sējmašīnai svarīgi, lai sējas lemesīši būtu izveidoti pēc iespējas vairāk rindās, lai attālums starp lemesīšiem katrā rindā būtu pēc iespējas lielāks. Tas nodrošinās vienmērīgāku salmu plūsmu starp lemesīšiem un novērsīs grābekļa efekta rašanos.

Ja tīrums nav perfekti līdzens (mikroreljefs), būtu vēlams izvēlēties sējmašīnu, kam katram sējas lemesītim ir atsevišķa piekares (ieteicams paralelograma mehānisms ar pēc iespējas lielāku vertikālo brīv kustību) sistēma, pretējā gadījumā, visticamāk, cietīs sējas dziļuma vienmērības rādītāji. Atšķirīgs sēšanas dziļums savukārt nozīmē, ka mikroieplakā tiks iesēts seklāk vai vispār pa virsu, bet mikropauguriņos daudz par dziļi. Rezultātā tīrums būs nevienmērīgi sadīdzis, bet vēlāk nevienmērīgi nogatavosies un neizbēgami novedīs pie palielinātiem graudu zudumiem, kā arī paaugstināta graudu mitruma (zaļie sajaukumā ar gatavajiem) pie novākšanas.

Tiešajai sējai arī raksturīgi, ka uz tīruma ir daudz salmu un tiem ir tendence kopā ar augsni pielipt sējmašīnas darbīgajām daļām – īpaši *StripTill* sējmašīnām. Tāpēc svarīgi atcerēties, ka nebraucam, ja kļūst mitrs (vakara rasa vai pat sīks lietus) – vakarus un naktis labāk pavadīt mājās, nevis, atbrīvojot sējmašīnu no darbīgajām daļām pielipušiem salmiem un māliem.

Ir dzirdēts mīts, ka tiešā sēja uzreiz paredz dārgu tehniku, kas piemērota tikai lielām saimniecībām. Projektā ir saimnieks, kurš jau pirmajā gadā aizbrauca uz Angliju un nopirka lietotu 3 m platu *StripTill* sējmašīnu par padsmi tūkstošiem eiro. Tā joprojām ir pilnā darba kārtībā.

Viena no tiešās sējas priekšrocībām īpaši pavasarī ir tāda, ka augsnē mitruma netrūks. Tieši tāpēc pareizi ir nevis ātrāk iesēt, bet gan sagaidīt, kad augsne iesilusi. Pretējā gadījumā sēkla – īpaši marta beigās iesētās pupas – vienkārši atradīsies augsnē un sadīgs vienā laikā ar aprīļa vidū sētajām pupām. Tāpēc nesteidzamies, šajā tehnoloģijā faktiski neko nevar nokavēt.

Otra priekšrocība ir sēšanas dziļums. Ja tradicionālajā tehnoloģijā, piemēram, pupas iesaka sēt 8 cm dziļumā, lai tām pietiek mitruma, tiešajā sējā pilnīgi pietiek ar 5–6 cm, jo mitrums paliek augsnē, nevis iztvaiko intensīvas augsnes apstrādes laikā. Šie centimetri arī atsaucas uz degvielas patēriņu un sējmašīnas darbīgo daļu dilšanas intensitāti. Jo dziļāk apstrādājam, jo vairāk tērējam. Tiešā sēja ir izdevīgāka arī degvielas patēriņa ziņā – piemēram, 4 m sējmašīnai, sējot 5 cm dziļi, nepieciešami ap 19 l/ha, 10 cm dziļumā – jau 39, bet 25 cm dziļumā – veseli 58 litri un, protams, arī jaudīgāks traktors.

No vienas puses, šai tehnoloģijai ir arī trūkums. Tā kā uz augsnes virskārtas ir salīdzinoši daudz augu atlieku, augsne žūst salīdzinoši lēnāk nekā tradicionāli rudenī artais un pavasarī nošļūktais tīrums. Bet šis trūkums ir tikai nosacīts – palasām iepriekš rakstīto par oglekļa zudumiem – 3216 pret 648 kgC/ha – un tai pašā sadaļā par to, ka nevajag steigties; līdz ar to trūkums gandrīz nemanot pārvēršas par ieguvumu!

Praktiskā tiešās sējas demonstrējuma analīze

Projekta sagatavošanas fāzē ap 2016. gadu Latvijā par tiešo sēju ja ne smējās, tad klusi runāja tikai daži “trakie”, tāpēc nebija viegli atrast saimniekus, kuri būtu ar mieru piedalīties projektā. Sākotnējā ideja bija izvēlēties saimniecības reģionā ar tradicionālām aršanas tradīcijām un īpaši smagiem augsnes apstākļiem – tādā vietā, kur pēc vispārējiem priekšstatiem bez aršanas saimniekot nav iespējams. Par lielu izbrīnu šāda deviņu saimnieku grupiņa atradās Dobeles novadā, un 2018. gadā projekts varēja sākties.

Projekta plāns bija nejaukties saimnieku izvēlētajā augu maiņas procesā, bet nomainīt iepriekšējo aršanas praksi uz tiešo sēju vai *StripTill* katrā saimniecībā vienā saimnieka izvēlētajā tīrumā. Sākotnēji tika sēts ar īrētu sējmašīnu, vēlāk ar jau saimnieku īpašumā esošām mašīnām. Projekta sekmes ļoti labi raksturo apstāklis, ka projekta gaitā piecas no astoņām projektā palikušajām saimniecībām iegādājās savas sējmašīnas (vienā saimniecībā savas sējmašīnas bija jau projekta sākumā).

Runājot par augu maiņu, projekta sākumā saimniecībās pārsvarā tika izmantota tradicionālā “Zemgales” augu maiņa, kad audzē pārsvarā ziemas kviešus un ziemas rapsi, zaļināšanas vajadzībām pa reizei iesējot arī pupas. Tomēr projekta gaitā mācoties, pamazām augu maiņā tika iekļautas arī starpkultūras un zirņi. Pirmās līdz šim saimniecībās nekad nebija izmantotas. Pateicoties šīm izmaiņām, ir izdevies samazināt sintētiskā slāpekļa mēslojuma izmantošanu par 30 %.

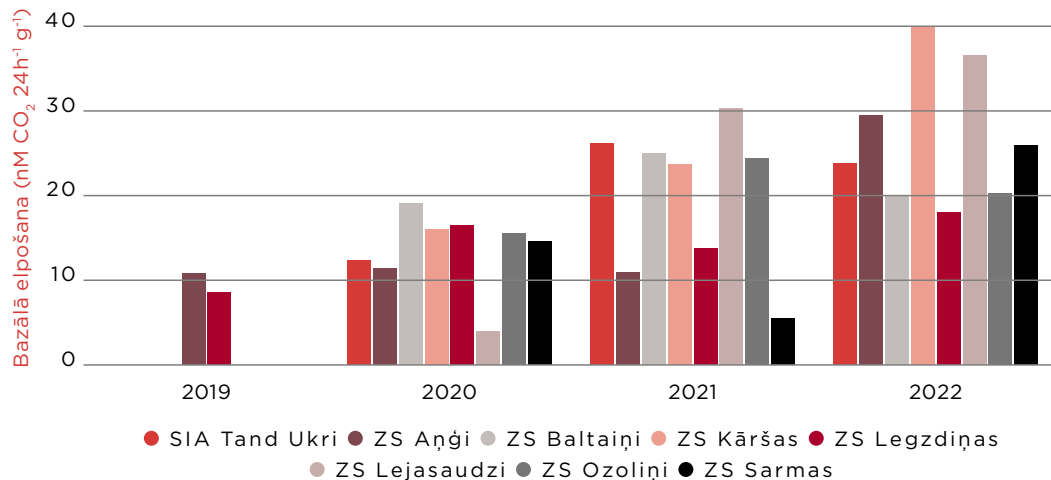
Tā kā CO₂ emisiju samazināšana ir viens no projekta galvenajiem mērķiem, projekta gaitā tika veikti emisiju apjoma samazinājuma aprēķini sējumu

ierīkošanas procesā, pieņemot, ka pārējie tehnoloģiskie procesi abās tehnoloģijās kardināli neatšķiras. Kā zināms, CO₂ emisijas rada vairāki faktori: tas C apjoms, ko zaudējam augsnes apstrādes rezultātā; tas apjoms, kas rodas, darbinot tehniku; emisijas, kas rodas, ražojot degvielu. Aprēķinos netika ņemtas vērā emisijas, kas rodas, ražojot tehniku un sintezējot minerālmēslojumu. Lai veiktu aprēķinus, jāzina pamatdati: traktora degvielas patēriņš dažādos lauka darbos; C emisiju apjoms degvielas ražošanas procesā; C zudumi atkarībā no augsnes apstrādes tehnoloģijas. Degvielas patēriņš tradicionālajā tehnoloģijā, kur tiek veikta diskošana, aršana, kultivēšana, sēšana un pieveļšana, ir aptuveni 65 l/ha, bet tiešajā sējā, kur tiek veikta tikai viena operācija (sēšana), aptuveni 20 l/ha. Atšķirība – 45 l/ha. Zinot, ka viena litra dīzeļdegvielas sadedzināšanas procesā rodas aptuveni 2,7 kgC [6], varam elementāri aprēķināt, ka, strādājot tiešās sējas tehnoloģijā, CO₂ emisiju apjoms no sadedzinātās dīzeļdegvielas samazinās par 121 kgC/ha. Pieskaitot klāt aptuveni 30 %, kas rodas dīzeļdegvielas ražošanas procesā, iegūstam 157 kgC/ha. Otra komponente ir C zudumi no augsnes apstrādes tehnoloģijas. Ņemot vērā, ka tradicionālajā tehnoloģijā tiek zaudēts 134 % no iepriekšējā gada ražas C pārpalikuma (aprēķinos rēķināti tikai salmi), bet tiešajā sējā tikai 27 % [8], absolūtos skaitļos pie Zemgalei salīdzinoši zemās ziemas kviešu ražības 6 t/ha starpība starp tradicionālās tehnoloģijas un tiešās sējas radītajiem CO₂ zudumiem ir 3216–648=2568 kgC/ha. Saskaitot kopā degvielas patēriņa un augsnes apstrādes radītās emisiju starpības, tiešās sējas gadījumā no katra hektāra gadā tiek emitēts par 2689 kgC mazāk nekā tradicionālās tehnoloģijas gadījumā. Projektam noslēdzoties, demonstrējumu tīrumi 200 ha platībā emitēs par 26'768 kgC/ha gadā mazāk, nekā tas bija pirms projekta ieviešanas.

Emisiju samazinājums ir cieši saistīts ar sējumu ierīkošanas izmaksām. Ņemot vērā tehnikas pakalpojumu tirgus cenas 2022. gadā [11], tradicionālajā tehnoloģijā sējumu ierīkošanas izmaksas ir 249,73 EUR/ha, bet tiešās sējas izmaksas, pamatojoties uz mūsu aprēķiniem (ieskaitot peļņu 15 %), ir attiecīgi 92 EUR/ha. Ietaupījums – 157 EUR/ha. Pareizino ar 200 h projekta demonstrējumu tīrumu platību, iegūstam ekonomiju 31 400 EUR katru gadu.

Lai noskaidrotu augsnes tilpummasas izmaiņas, divas reizes gadā (pavasarī un rudenī) ņēmām paraugus piecos demonstrējumu tīrumos. Katrā tīrumā trīs vietās, četros dažādos dziļumos (5–10, 10–15, 15–20, 20–25 cm), katru gadu 120 paraugi, četros gados kopā 480 paraugi. Galvenais secinājums, ka augsnes blīvums gadu laikā nepalielinās. Tāpat augsnes mākslīga irdināšana ar arklū nav nepieciešama, jo to veic augsne dzīvojošās dzīvības formas, kuru daudzums, ņemot vērā 2. attēlā redzamos mērījumu rezultātus, katru gadu palielinās. To varam apliecināt arī no augsnes paraugu ņemšanas ekspedīcijām: augsnes struktūra pa gadiem

arī vizuāli mainās – to ir vieglāk rakt, sīkās saknītes parādās arvien dziļāk, augsnē ir vairāk visdažādāko dzīvības formu, augsne (īpaši virskārtā) kļūst tumšāka.



2. attēls. Bazālā elpošana (nM CO₂ 24h⁻¹ g⁻¹) tiešās sējas laukos 2019.–2022. gadā

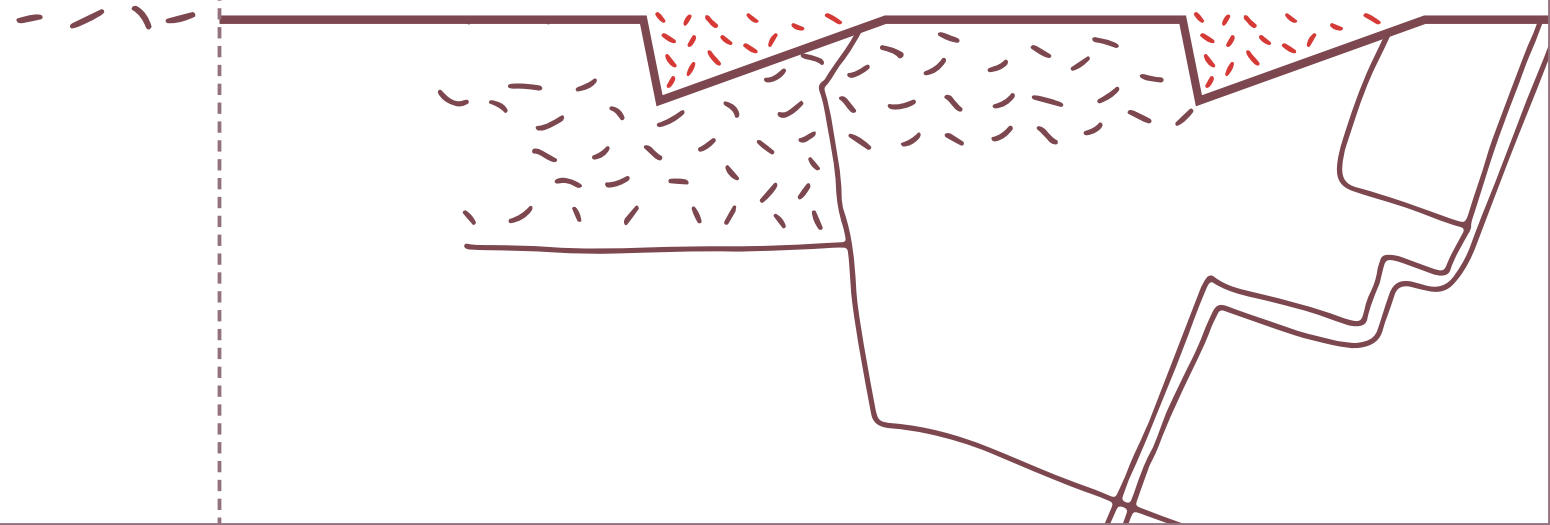
Saimnieki atzīst, ka, nomainot tehnoloģiju no tradicionālās uz *StripTill* vai tiešo sēju, pēc intensīva lietus uz tīruma ar traktoru var izbraukt vairākas dienas ātrāk nekā iepriekš. Tas liecina, ka, šādā tehnoloģijā strādājot, augsne labāk uzņem intensīvu ūdens plūsmu, tai pašā laikā augu atliekas augsnes virspusē aizsargā augsni no izžūšanas (īpaši svarīgi pavasarī), lietus un vēja erozijas, kā arī aizkavē viengadīgo nezāļu attīstību (īpaši, ja labi padevusies starpkultūra). Kā salīdzinošu trūkumu var minēt apstākli, ka augsne arī ilgāk žūst un lēnāk uzsilst. Bet šis ir tikai daļējs trūkums, jo īpaši pavasarī, kad nav jāuztraucas par to, ka maijā sēklai pietrūks mitruma. Svarīgi ir nekonzentrēties uz tradicionālajiem sējas termiņiem 15. maiju un 15. septembri, bet gan sēt tad, kad augsnes apstākļi ir vislabvēlīgākie. Šajā tehnoloģijā kaut ko nokavēt faktiski nav iespējams.

Attiecībā uz augsnes spēju uzņemt intensīvu nokrišņu radītu ūdens plūsmu ir zinātniski pierādīts, ka katrs papildu organiskās vielas procents augsnē spējīgs uzņemt papildu 25 mm ūdens [12].

Sabiedrībā valda arī mīts par tiešajā sējā nepieciešamo AAL apjomu neizbēgamo pieaugumu. Somu kolēģis Timo Rouhiainen no kompānijas “Propax Agro” (kopā ar projekta saimniekiem esam bijuši Somijā pie viņa ciemos) ar 16 gadu ilgiem izmēģinājumiem uzskatāmi pierāda, ka AAL patēriņš tiešajā sējā nav lielāks par tradicionālajā tehnoloģijā izmantoto. Arī šeit galvenais jautājums ir nevis par tehnoloģiju, bet gan ilgtspējīgu augu maiņu, kad veselā un dzīvā augsnē augi paši cīnās gan ar nezālēm, gan slimībām un kaitēkļiem.

Secinājumi:

1. Tiešajā sējā salīdzinājumā ar konvenciālo tehnoloģiju CO₂ emisijas iespējams samazināt par 2689 kgC/ha katru gadu;
2. Tiešajā sējā sējumu ierīkošana ir par 157 EUR/ha lētāka nekā sējot konvencionāli;
3. Ražas apjoms tiešajā sējā būtiski neatšķiras no konvencionālajā tehnoloģijā iegūtā;
4. Tiešā sēja nerada augsnes sablīvēšanos ilgtermiņā;
5. Tiešā sēja uzlabo augsnes organiskās vielas saturu;
6. Tiešā sēja atdzīvina augsni un uzlabo tās mikrobioloģisko aktivitāti;
7. Tiešā sēja nav brīnumlīdzeklis visu problēmu risināšanai. Tiešā sēja ir iespēja saimniekot dabai draudzīgāk, taupot resursus, uzlabojot augsnes veselību, kā arī ūdens un gaisa apriti augsnē, samazinot izdevumus un maksimāli efektīvi izmantojot dabas dotās iespējas. Tomēr galvenais faktors ir ilgtspējīga augu maiņa un koncentrēšanās nevis uz viena gada maksimālo peļņu, bet gan augu maiņas kombinācijām, kas savstarpēji nodrošina augus ar gaisā esošajām barības vielām (N un C), pasargā no slimībām un baro augsni.



Literatūra

1. Sait G. The soil solution: 10 keys, <https://www.ecofarmingdaily.com/build-soil/the-soil-solution/> (skatīts 24.07.2023.)
2. Beste A. #SoilMatters | Part 1: Andrea Beste on humus, soil structures & the limits of no-till, <https://www.arc2020.eu/andrea-beste-soil-matters/> (skatīts 24.07.2023.)
3. Yields From a Long-term Tillage Comparison Study, <https://cropwatch.unl.edu/tillage/rmfyields> (skatīts 01.08.2023.)
4. Chreech E. Saving Money, Time and Soil: The Economics of No-Till Farming, <https://www.usda.gov/media/blog/2017/11/30/saving-money-time-and-soil-economics-no-till-farming> (skatīts 01.08.2023.)
5. Producing gasoline and diesel emits more CO2 than we thought, <https://innovationorigins.com/en/producing-gasoline-and-diesel-emits-more-co2-than-we-thought/> (skatīts 18.07.2023.)
6. Kg CO2 per litre of diesel vehicles, <https://comcar.co.uk/emissions/co2litre/?fueltype=-diesel> (skatīts 24.07.2023.)
7. Carbon emissions from fertilisers could be reduced by as much as 80 % by 2050, <https://www.cam.ac.uk/research/news/carbon-emissions-from-fertilisers-could-be-reduced-by-as-much-as-80-by-2050> (skatīts 24.07.2023.)
8. Reicosky D. C. Tillage-induced CO2 emission from soil, <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009766510274> (skatīts 24.07.2023.)
9. Lentz E., Lindsey L. Nutrient Value of Wheat Straw, <https://agcrops.osu.edu/newsletter/corn-newsletter/nutrient-value-wheat-straw> (skatīts 01.08.2023.)
10. Kārkliņš A. (2001) Augu barības elementu iznesas kā lauksaimniecības agroekoloģiskais indikators. Agronomijas Vēstis, 3, 14.-19. lpp.
11. Vītols K. Tehnisko pakalpojumu cenu apkopojums par 2022. gadu, <https://new.lkk.lv/lv/nozares/ekonomika/tehnisko-pakalpojumu-cenu-apkopojums-par-2022-gadu> (skatīts 01.08.2023.)
12. The Importance Of Water Holding Capacity, <https://www.groundwatergovernance.org/the-importance-of-water-holding-capacity/> (skatīts 05.09.2023.)

AGROMEŽSAIMNIECĪBAS RISINĀJUMI NOTURĪBAS PALIELINĀŠANAI PRET KLIMATA PĀRMAIŅĀM Ziemeļeiropā

DŽO SMITS (JO SMITH)

Agroekoloģisko pētījumu centrs
(MV Agroecological Research Centre),
Moinhos de Vento de Baixo,
Espírito Santo 7750-217, Portugāle
e-pasts: josmith@mvarc.eu

SALLIJA VESTVEJA (SALLY WESTAWAY)

Karaliskā Lauksaimniecības universitāte
(Royal Agricultural University),
Stroud Rd, Cirencester, GL7 6JS,
Apvienotā Karaliste

Kopsavilkums

Agromežsaimniecība – koku un lauksaimniecības sistēmu integrācija – var nodrošināt spēcīgu instrumentu, lai palielinātu mūsu pārtikas ražošanas sistēmu noturību. Papildu lauksaimniecības nozares ietekmes uz klimata pārmaiņu mazināšanai ar oglekļa (C) piesaisti, C aizstāšanai un SEG emisiju samazināšanai, agromežsaimniecībai var būt nozīmīga loma, palīdzot lauksaimniekiem pielāgoties un kļūt izturīgākiem pret klimata pārmaiņām, piemēram, veicot mikroklimatiskās izmaiņas, palielinot sistēmu daudzveidību un samazinot plūdu un ugunsgrēku risku. Šajā nodaļā tiks aplūkoti pierādījumi, kas apstiprina agromežsaimniecības nozīmi lauksaimniecības sistēmas noturības uzlabošanā, kā arī ietekmi uz citiem ekosistēmu pakalpojumiem, piemēram, bioloģiskās daudzveidības, augšnes un ūdens kvalitātes veicināšanu. Tomēr agromežsaimniecības kā daudzveidīgas sistēmas izveide, ierīkošana un pārvaldība var būt sarežģīta, un otrajā sadaļā tiks izklāstīti galvenie apsvērumi, kuru mērķis ir maksimāli palielināt pozitīvo mijiedarbību starp kokiem un kultūraugiem vai mājlopiem, kas veicina un līdz minimumam samazina negatīvo mijiedarbību, kas rada konkurenci par resursiem. Pēdējā sadaļā tiks apskatīts iedvesmojošs piemērs daudzveidīgai meža aramzemes sistēmai Anglijas austrumos – *Wakelyns Agroforest* – un detalizēti aprakstīti daži pētījumu pierādījumi, kas parāda, kā šāda sistēma var nodrošināt enerģijas pašpietiekamību, lielākus oglekļa krājumus un augstāku kopējo produktivitāti nekā monokultūra. Potenciāls palielināt agromežsaimniecību platības Eiropā ir ievērojams, un, mērķtiecīgi veidojot agromežsaimniecības platības tieši prioritārās teritorijās (t. i., teritorijās, uz kurām darbojas vairāki vides faktori), var sagaidīt ievērojamus ieguvumus attiecībā uz oglekļa piesaisti, kā arī citiem ekosistēmu pakalpojumiem.

tiešos maksājumus. Tomēr iepriekšējos divos KLP 2. pīlāra ietvaros ir bijuši pasākumi, kas atbalstīja agromežsaimniecības sistēmu izveidi (un pēdējā laikā arī uzturēšanu), lai gan dalībvalstis tos īstenoja un lauksaimnieki izmantoja ierobežoti [8]. Šķiet, ka arvien vairāk tiek atzīts agromežsaimniecības potenciāls kā risinājums klimata pārmaiņu mazināšanai, pielāgošanai, noturībai un bioloģiskajai daudzveidībai, un tādas organizācijas kā *European Agroforestry Federation* (www.europeanagroforestry.eu) turpina aktīvi strādāt, lai veicinātu vienotu pieeju agromežsaimniecības atbalstam jaunajās KLP reformās.

Pašreizējās agromežsaimniecības platības 27 ES dalībvalstīs ir aptuveni 15,4 miljoni ha (no kuriem 15,1 miljons ha ir lopkopības agromežsaimniecība), kas atbilst aptuveni 3,6 % no teritoriālās platības un 8,8 % no lauksaimniecībā izmantojamās zemes [9]. Vislielākā izplatība ir Ibērijas pussalas dienvidrietumu apgabalā, Francijas dienvidos, Sardīnijā, Itālijas dienvidos un centrālajā daļā, Grieķijas centrālajā un ziemeļaustrumu daļā, Bulgārijas dienvidos un centrālajā daļā, kā arī Rumānijas centrālajā daļā [9]. Agromežsaimniecības platību palielināšanas potenciāls ir ievērojams, un mērķtiecīgi veidojot agromežsaimniecības platības prioritārās teritorijās (t. i., teritorijās, uz kurām darbojas vairāki vides faktori), var sagaidīt ievērojamus ieguvumus attiecībā uz oglekļa piesaisti, kā arī citiem ekosistēmu pakalpojumiem [10, 11].

Agromežsaimniecība klimata pārmaiņu mazināšanai un pielāgošanai

Klimata pārmaiņu seku mazināšanas stratēģijas ir vērstas uz to cēloņu novēršanu, avotu samazināšanu un siltumnīcefekta gāzu (SEG) piesaistes palielināšanu, lai mazinātu klimata pārmaiņu ietekmi, savukārt pielāgošanās stratēģijas ir vērstas uz veidiem, kā pielāgot dabas vai cilvēku sistēmas, lai mazinātu negatīvo ietekmi un palielinātu noturību [12].

Mazināšana

Saskaņā ar Kioto protokolu agromežsaimniecība ir atzīta par klimata pārmaiņu mazināšanas stratēģiju un tai var būt nozīmīga loma lauksaimniecības nozares ietekmes uz klimata pārmaiņām mazināšanā, piesaistot oglekli (C), aizvietojo C un veicinot SEG emisiju samazināšanu [13].

Oglekļa piesaiste

Koku integrācija lauksaimniecības laukos nodrošina lielu C piesaistes potenciālu. Papildu koksnes biomasā – koku stumbrā, zaros un saknēs – tieši uzkrātajam C agromežsaimniecības prakse var palielināt augsnes organiskā oglekļa (AOO) krājumu, pievienojot lapu, zaru un sakņu pakaišus [14]. Ir pierādīts, ka agromežsaimniecības sistēmas spēj uzkrāt vairāk oglekļa nekā tradicionālās lauksaimniecības sistēmas. Piemēram, tika konstatēts, ka 13 gadus vecā aleju kultūru audzēšanas sistēmā Ontārio, Kanādā, tika uzkrāts par 11–41 % vairāk C nekā parauglaukumā, kurā audzēja vienkultūras [15], un tika aprēķināts, ka apšu meža aramzemes sistēmā Apvienotajā Karalistē kokos tiek uzkrāts vidēji 2,7–2,9 t C ha⁻¹ gadā⁻¹ [16]. Pārskatā par C krājumu neto izmaiņu ātrumu dažādās agromežsaimniecības sistēmās, kas veikts 56 pētījumos visā pasaulē, konstatēts, ka agromežsaimniecības mežaudzes vidēji 14 gadu vecumā uzkrāj 7,2 +/- 2,8 t C ha⁻¹ gadā⁻¹, no kurām biomasas un augsnes C piesaiste veido aptuveni 70 % un 30 % [17].

Pārskatā par agromežsaimniecības risinājumiem klimata pārmaiņu novēršanai Eiropā konstatēts, ka vislielākais klimata pārmaiņu mazināšanas potenciāls būtu tādu metožu ieviešanai, kas palielinātu AOO krājumus [18]. Tomēr šī ietekme ir atkarīga no zemes izmantošanas pirms agromežsaimniecības izveides, un apmežošanas pozitīvā ietekme uz AOO krājumiem ir izteiktāka aramzemes augsnēs nekā ganībās, kur pēc koku ieaudzēšanas var rasties tīrie zaudējumi [19], [20]. Piemēram, *Upson* un citi (2016) novēroja, ka 14 gadus pēc meža ganību sistēmas ieviešanas zālajos AOO samazinās, ka AOO zudumus kompensēja palielināta virszemes C uzglabāšana un analīze liecina, ka meža ganību sistēma uzglabāja aptuveni 5 % vairāk C nekā līdzvērtīgās meža un ganību platībās. Ievērojami augstāks AOO tika konstatēts zem nobriedušiem valriekstu kokiem meža aramzemes sistēmā [21]. Kopējā C dinamika lauksaimniecības sistēmās ir daudzveidīga un sarežģīta, un tikai tad, kad C akumulācija jaunā agromežsaimniecības sistēmā pārsniegs C zudumus, kas rodas noārdīšanās vai traucējumu (piemēram, koku stādīšanas) rezultātā, sistēmā tiks piesaistīts papildu C [22].

Siltumefekta gāzu emisiju samazināšana

Galvenās SEG ir ūdens tvaiks, oglekļa dioksīds (CO₂), metāns (CH₄), slāpekļa oksīdi (tostarp N₂O) un ozons. No lauksaimniecības un mežsaimniecības atmosfērā nonāk liels daudzums CO₂, CH₄ un N₂O. Agromežsaimniecība var palielināt C piesaisti, tādējādi palīdzot kompensēt daļu no šīm emisijām. Agromežsaimniecības sistēmas, kurā apvienoti brīvās turēšanas apstākļos audzēti mājputni un augļu dārzi, dzīves cikla analīze liecina, ka salīdzinājumā ar atsevišķām sistēmām ievērojami samazinās kopējās SEG emisijas,

kā arī cita ietekme uz vidi [23]. Agromežsaimniecības integrēšana lauksaimniecības darbībās var samazināt N_2O emisijas, novēršot slāpekļa (N) lietošanas ierobežošanu koku aizņemtajā platībā un kokiem absorbējot lieko N [5]. Dažas agromežsaimniecības sistēmas var arī samazināt tehnikas izmantošanu, apstrādātās zemes platību un tādējādi samazināt CO_2 emisijas [24], taču arī koku pievienošana var sarežģīt tehnikas manevrus, tādējādi izlietojot degvielas ietaupījumus, kas rodas, samazinot apstrādātās zemes platību.

Joprojām trūkst visaptverošu pētījumu par agromežsaimniecības sistēmu ietekmi uz metāna un slāpekļa oksīda un citu SEG emisijām. Tika salīdzināti dati no 15 pētījumiem, kuros novērtētas CH_4 un N_2O emisiju neto izmaiņas dažādās vietās un sistēmās. Tika konstatētas tikai nelielas atšķirības starp emisijām agromežsaimniecības sistēmās un blakus esošajās lauksaimniecības zemēs [17]. Tomēr jaunākie pētījumi liecina, ka dažu koku un krūmu lapotne, izbarojot to atgremotājiem, var samazināt amonjaka (NH_3) un CH_4 emisijas, vienlaikus optimizējot dzīvnieku barošanu un uzlabojot dzīvnieku veselību [25]. Sekundārie augu metabolīti (SAM), piemēram, kondensētie tanīni, palielina atgremotāju apvedceļu proteīnu un neaizvietojamu aminoskābju plūsmu uz tievo zarnu, novēršot uzpūšanos, nodrošinot pretparazītu iedarbību, kā arī samazinot amonjaka un metāna emisijas [26].

Oglekļa aizstāšana

Agromežsaimniecības sistēmas (piemēram, dzīvžogi, aizsargjoslas vai īscirtmeta atvasāji (ĪA)) var projektēt tā, lai tās varētu apcirt un šķeldas vai apaļkokus izmantot bioenerģijas ražošanai, kas ir alternatīva fosilajam kurināmajam un C aizvietošanas veids (1. attēls). ĪA koksnes kultūras, piemēram, vītoli, saražo no 11 līdz 16 izmantojamās enerģijas vienībām uz neatjaunojamās fosilā kurināmā enerģijas vienību, ko izmanto ĪA audzēšanai, novākšanai un piegādei [27]. Apvienotajā Karalistē veiktajos pētījumos aprēķināts, ka tipiskas lauku saimniecības vajadzībām nepieciešamās enerģijas nodrošināšanai būtu nepieciešami aptuveni 3,6 ha jeb 5 km dzīvžoga [28]. Daļu no kokos uzkrātā oglekļa no meža var iegūt kā koksni, kas, ja to izmanto būvniecībā, var aizstāt fosilā kurināmā ietilpīgus materiālus, piemēram, tēraudu. Kad koksne galu galā sadalīsies vai sadegs, gan biodegviela, gan koksne atbrīvos C. Agromežsaimniecības sistēmās iegūtās koksnes šķeldas var izmantot kā augsnes papildinājumu ar zināmu



4. attēls.
Kurināmajai koksnei
apsaimniekots
robeždzīvžogs.
Foto: Džo Smits

potenciālo vērtību, aizstājot no fosilā kurināmā iegūtos mēslošanas līdzekļus [29], kā arī tās var pārvērst kompostā, izmantot kā alternatīvu materiālu mājlopu pakaišiem salmu vietā vai kā mulču, lai novērstu nezāles pārtikas mežos un permakultūras sistēmās.

Pielāgošanās un noturība

Pielāgošanās klimata pārmaiņām stratēģiju mērķis ir veikt sistēmas izmaiņas, lai mazinātu klimata pārmaiņu negatīvo ietekmi un palielinātu noturību. Agromežsaimniecība var būtiski palīdzēt lauksaimniekiem pielāgoties klimata pārmaiņām un kļūt noturīgākiem pret tām, piemēram, pateicoties mikroklimata izmaiņām, palielinot sistēmu daudzveidību un samazinot plūdu un meža ugunsgrēku risku.

Mikroklimata izmaiņas

Pārskatā par agromežsaimniecības risinājumiem daudzfunkcionālu dzīvžogu un pretvēja stādījumu stādīšana tika atzīta par risinājumu ar vislielāko pielāgošanās potenciālu klimata pārmaiņām [18]. Dzīvžogi, pretvēja stādījumi un koki lauksaimniecības zemēs var mainīt mikroklimatiskos apstākļus, pasargājot dzīvniekus un kultūraugus no ekstremāliem laikapstākļiem, un, palīdzot sistēmām pielāgoties sausuma un ūdens trūkuma periodiem. Pareizi izvietoti dzīvžogi, pretvēja stādījumi un agromežsaimniecības alejas apgabalā var samazināt vēja ātrumu līdz pat 30 reizēm no to augstuma [30]. Modelējot kultūraugu ražas reakciju uz pretvēja stādījumiem, tika konstatēts, ka to aizsargātajās platībās ievērojami uzlabojas sojas pupu un mazākā mērā arī kviešu raža. [31]. Atklātās vietās koki var nodrošināt mājlopiem pajumti un ēnu, kas var samazināt termoregulācijai patērētās

enerģijas patēriņu, tādējādi uzlabojot barības izmantojumu, svara pieaugumu un dzīvnieku labturību (2. attēls). Ir pierādīts, ka pajumtes nodrošināšana samazina jēru atnešanās zaudējumus līdz pat 50 % [32] un palielina aitu dzīvsvara pieaugumu par 10–21 % [33]. Mikroklimata izmaiņas zem koku vainaga var arī pagarināt ganību sezonu; izmantojot 40 % augsnes mitruma saturu kā robežvērtību, lai pārtrauktu ganīšanu, *Loughgall*, Ziemeļīrijā agromežsaimniecības sistēmā salīdzinājumā ar pļavu sistēmu, ganību sezona bija par 17 nedēļām garāka [34, 35].



2. attēls.
Ēnas nozīme.
Foto: Džo Smits

Daudzveidība

Agromežsaimniecības sistēmas var nodrošināt lielāku ekonomisko stabilitāti. Kultūru dažādošana, izmantojot vairākas kultūras un produktus, ekstremālu laikapstākļu gadījumā samazina vienas kultūras ražas zaudējumu, tādējādi radot daudzveidīgākus uzņēmumus ar lielāku ienākumu sadalījumu laika gaitā [36]. Diversifikācija var arī potenciāli palielināt kopējo sistēmas ražību, jo palielinās resursu izmantošanas efektivitāte un koku spēja piekļūt barības vielām un ūdenim, kas nav pieejams viengadīgām kultūrām.

Jaunu agromežsaimniecības sistēmu izveide var palielināt lauksaimniecības zemju daudzveidību, kas ir svarīga sistēmas noturībai pret vides svārstībām [37]. Šī daudzveidība var arī veicināt kultūraugu veselības uzlabošanu, jo uzlabota biotopu daudzveidība veicina lielāku derīgo kukaiņu populāciju veidošanos. Mērenā klimata joslas mežu aramzemes agromežsaimniecības sistēmā ir konstatēta ievērojama derīgo kukaiņu (kaitēkļu plēsēju un apputeksnētāju) pārpilnība [38].

Plūdu un meža ugunsgrēku skaita samazināšana

Paredzams, ka klimata pārmaiņu rezultātā nokrišņu daudzums kļūs nepastāvīgāks, kas galu galā palielinās augsnes erozijas līmeni un plūdu risku. Ir pierādīts, ka agromežsaimniecība palielina augsnes segumu, palielina augsnes porainību un samazina virszemes noteces daudzumu, kas var uzlabot ūdens infiltrāciju un aizturēšanu augsnes profilā, tādējādi mazinot mitruma trūkumu maz nokrišņu gados [39] un mazinot vietējo plūdu ietekmi pēc spēcīgām lietavām [40]. Jaunzēlandē 15 gadus vecas papeles, kas 20 x 20 m attālumā stādītas erodējošās nogāzēs, par 13,8 % samazināja ganību produkcijas zudumus, ko izraisīja zemes nogrūvumi ciklonu vētras laikā. Katrs koks no bojāejas izglāba vidēji 8,4 m² [41].

Pētījumi Pontbrenas upes sateces baseinā Velsas vidienē parādīja, ka stratēģiski izvietotas aizsargjoslas efektīvi uztver virszemes noteces ūdeņus no augstāk esošajām

ganībām, infiltrācijas līmenis platlapju meža joslās bija 60 reizes lielāks nekā desmit metru attālumā esošajās ganībās [42], un šis efekts bija vērojams jau divus gadus pēc stādīšanas [43]. Rezultāti liecina, ka, pareizi izvietojot aizsargjoslas, mēs samazinām plūsmu var samazināt par aptuveni 40 %.

Augstākas temperatūras un sausas vasaras ir palielinājušas meža ugunsgrēku risku ne tikai Vidusjūras reģiona valstīs, bet arī Ziemeļeiropā. Agromežsaimniecība var palīdzēt samazināt ugunsgrēku risku, likvidējot daļu zemsedzes veģetācijas, vienlaikus nodrošinot ienākumus no biomasas pārdošanas pārtikai vai kurināmajam, palielinot bioloģisko daudzveidību, samazinot augsnes eroziju un aizsargājot ūdeni, un pētījumos ir konstatēts, ka agromežsaimniecības apvidos Vidusjūras reģionā ugunsgrēku biežums ir mazāks [44].

Agromežsaimniecības uzņēmība pret klimata pārmaiņām

Agromežsaimniecības sistēmas var ietekmēt klimata pārmaiņas, piemēram, mainīgo laikapstākļu dēļ palielinoties augu stresam un kaitēkļu un slimību izplatībai. Koku augšanas un nobriešanas termiņi nozīmē, ka stādīšanas laikā tie var nebūt paredzami. Koku sugu daudzveidībai, kā arī inovatīvajām šķirnēm, kas pielāgotas dažādiem klimatiskajiem apstākļiem, vajadzētu būt galvenajiem principiem, veidojot klimata pārmaiņām pielāgotus agromežsaimniecības stādījumus [5, 18].

Agromežsaimniecība atbalsta citus ekosistēmu pakalpojumus

Pieaug spiediens uz lauksaimniecības zemi, lai apmierinātu augošo pieprasījumu pēc lauksaimniecības precēm, vienlaikus samazinot arī ietekmi uz vidi. Agromežsaimniecība ir viens no risinājumiem, kā saglabāt lauksaimniecības produktivitāti, vienlaikus uzlabojot arī plašāku ekosistēmas pakalpojumu sniegšanu. Ekosistēmas preces un pakalpojumi ir ekonomiskie un ekoloģiskie ieguvumi, ko rada ekosistēmas funkcijas [45]. Ekosistēmu pakalpojumus, ko nodrošina agromežsaimniecības sistēmas, var iedalīt regulatīvajos (ogleklis, augsnes auglības un erozijas kontrole, ūdens kvalitāte un saglabāšana), bioloģiskās daudzveidības (dzīvotnes un sugas), produktivitātes un kultūras pakalpojumos [22]. 53 atsevišķu Eiropas pētījumu par agromežsaimniecības ietekmi uz ekosistēmu pakalpojumiem metaanalīzes rezultāti liecina, ka agromežsaimniecība kopumā pozitīvi ietekmē tradicionālo lauksaimniecību, jo īpaši attiecībā uz labāku erozijas kontroli, bioloģisko daudzveidību un augsnes auglību [11]. Pētījums arī parādīja, ka agromežsaimniecības pozitīvā ietekme uz ekosistēmu pakalpojumiem bieži vien ir redzamāka ainavas un reģionālā mērogā nekā lauku saimniecību mērogā.

Augsnes un ūdens regulēšana

Koki var aizturēt barības vielas un nogulsnes, kas tiek izskalotas vai aizpūstas no lauksaimniecības zemēm, tādējādi samazinot erozijas ietekmi [46] un uzlabojot ūdens kvalitāti. Pētījumos ir konstatēts, ka koku klātbūtne īsirtmeta atvasāji agromežsaimniecībā un buferjoslās aramzemes sistēmās samazina nogulšņu un barības vielu zudumus salīdzinājumā ar tradicionālo lauksaimniecību, turklāt samazinājuma apjoms ir atkarīgs no vietas apstākļiem (piemēram, nogāzes slīpuma, veģetācijas seguma, nokrišņiem) [22]. Kultūru audzēšana alejās un kontūrstādījumu modelētā ietekme uz augsnes eroziju, ko izraisa ūdens, liecina, ka eroziju var ievērojami samazināt. Kombinējot kultūru audzēšanu alejās un kontūrstādījumus var panākt samazinājumu līdz pat 70 % [47].

Koku aizsargjoslām var būt arī praktiska nozīme piesārņojuma samazināšanā, uztverot amonjaku no mājlopu saimniecībām. Modelēšana ir parādījusi, ka stratēģiski izvietotās agromežsaimniecības sistēmas var uzņemt ievērojamu amonjaka daudzumu – no dzīvnieku turēšanas vietas ar koku vainagu var uzņemt līdz pat 27 % amonjaka, bet mājlopi zem kokiem saņiedza 60 % amonjaka uztveršanas līmeni [48].

Ražīgums

Labi izstrādātas agromežsaimniecības sistēmas var būt produktīvākas nekā monokultūras. Dažādi agromežsaimniecības sistēmas komponenti var savstarpēji papildināt saules starojuma un ūdens izmantošanu [36], un kopā ar uzlabotiem patvēruma un mikroklimatiskajiem apstākļiem tas var palielināt sistēmas kopējo ražīgumu. Tomēr koku un kultūraugu savstarpējā konkurence par resursiem (ūdeni, barības vielām un gaismu) var izraisīt arī kopējo ražas samazināšanos, jo īpaši koku un kultūraugu saskarē. Lauka eksperimenti un ražas modelēšana trijās Eiropas valstīs liecina, ka agromežsaimniecība var palielināt kopējo ražu aramzemes sistēmās līdz pat 40 % salīdzinājumā ar monokultūru aramzemēm un meža sistēmām [49]. Salīdzinot pētījumus, tika konstatēts, ka agromežsaimniecības atvasāju sistēmās biomasas raža no platībām ir līdzīga kā biomasai no atvasājiem monokultūrās [22]. Tomēr kopējā (koku un kultūraugu) raža bija atkarīga no sugas, vietas un augšanas apstākļiem, un agromežsaimniecības sistēmā tās bija par 2 % mazākas līdz 140 % lielākas nekā tad, ja koki un kultūraugi tika audzēti atsevišķi.

Bioloģiskā daudzveidība

Eiropas pētījumu metaanalīzes rezultāti, kuros pētītas bioloģiskās daudzveidības izmaiņas agromežsaimniecībā, liecina, ka agromežsaimniecība spēcīgi pozitīvi ietekmē bioloģisko daudzveidību; ietekmes lielums ir atšķirīgs atkarībā no pētītajiem taksoniem, un visspēcīgākā pozitīvā ietekme vērojama attiecībā uz putniem [11]. Arī agromežsaimniecības sistēmas veids bija nozīmīgs, un vislielākā agromežsaimniecības pozitīvā ietekme uz bioloģisko daudzveidību bija vērojama meža aramzemes sistēmās. Agromežsaimniecības sistēmu stādīšana maina ainavas mozaīku, palielinot biotopu heterogenitāti [22] un palielinot augsnes bioloģisko daudzveidību koku sakņu klātbūtnes dēļ (piem., nematodes) [50]. Koku stādīšana lauksaimniecības zemēs nodrošina papildu barību, patvērumu un daudzveidīgus biotopus dažādām sugām. Dzīvzogi un aizsargjoslas bieži vien ir vienīgie atlikušie daļēji dabiskie biotopi intensīvi apsaimniekotās zemieņu lauksaimniecības ainavās, un tiem var būt svarīga loma ainavu savienojamībā, kas veicina savvaļas dzīvnieku un augu pārvietošanos ainavā [51]. Turklāt agromežsaimniecības sistēmas palīdz saglabāt bioloģisko daudzveidību, nodrošinot citus ekosistēmas pakalpojumus, piemēram, erozijas kontroli, tādējādi novēršot biotopu degradāciju un izzušanu [39].

Kultūras un sociālie pakalpojumi

Agromežsaimniecības sistēmas ir nozīmīga vērtība sabiedrībai kopumā, jo tās sniedz vides un sociālekonomisku labumu. Agromežsaimniecības sistēmas var nodrošināt atpūtas iespējas, kas var dot labumu gan plašai sabiedrībai, gan zemes īpašniekam. Tādas aktivitātes kā medības, makšķerēšana, kalnu riteņbraukšana, jātnieku sports un lauku tūrisms var dažādot lauksaimnieku ienākumus, savukārt sabiedrība var gūt labumu no labākas veselības un agromežsaimniecības sniegtā prieka, sportojot un vērojot savvaļas dzīvniekus [52]. Kultūru vai koku monokultūru vizuālā ietekme daudziem cilvēkiem nav pievilcīga; koku integrēšana lauksaimniecības ainavā var palielināt ainavas daudzveidību un pievilcību [52]. Tomēr pieejamie pierādījumi par agromežsaimniecības plašākiem ieguvumiem sabiedrībai ir sadrumstaloti; trūkst pētījumu, kuros būtu novērtēti ar agromežsaimniecības sistēmām saistītie kultūras ekosistēmu pakalpojumi [11], un agromežsaimniecības pakalpojumu ekonomiskajos novērtējumos ir būtiska plaša, jo nav ņemti vērā sociālie un ekoloģiskie ieguvumi [10]. Praktiskā līmenī joprojām pastāv kultūras šķēršļi, kas traucē lauksaimniekiem visā Eiropā plašāk ieviest agromežsaimniecības praksi. Veiktā ierīkto personu analīze par ieviešanas problēmām liecina, ka visbiežāk sastopamās problēmas, kas kavē lauksaimniekus, ir finansiālā, kā arī zināšanu un ekspertu atbalsta trūkums, lai nodrošinātu atbilstošu pārvaldību [18].

Agromežsaimniecības plānošana un pārvaldība maksimālai un ilgtspējīgai ražošanai

Lai nodrošinātu aizsardzību pret ekstremāliem laikapstākļiem un citām klimata pārmaiņu izraisītām sekām, agromežsaimniecības sistēmas ir jāveido vairākus gadus pirms šādiem notikumiem [5]. Tāpēc ir svarīgas zināšanas par labi plānotas agromežsaimniecības sistēmas papildu priekšrocībām, lai veicinātu tās ieviešanu. Agromežsaimniecības rokasgrāmata [53] ir lielisks avots, kurā sniegti detalizēti norādījumi par praktiskiem pārvaldības un projektēšanas apsvērumiem attiecībā uz visām agromežsaimniecības sistēmām. Sistēmas produktivitāti nosaka līdzsvars starp pozitīvo un negatīvo mijiedarbību starp koka un lauksaimniecības komponentiem. Agromežsaimniecības sistēmu projektēšanas un pārvaldības mērķim jābūt maksimāli palielināt pozitīvo mijiedarbību, kas veicina un līdz minimumam samazina negatīvo mijiedarbību, kas izraisa konkurenci par resursiem.

Sistēmas projekts

Projektēšanas apsvērumi ietver piemērotu sugu izvēli, pamatojoties uz vairākiem kritērijiem, un sistēmas telpisko izvietojumu.

Sugu izvēle

Koku, kultūraugu un mājlopu sugu izvēli agromežsaimniecības sistēmai ietekmē vairāki faktori, tostarp vēlamie rezultāti, vietas apstākļi un klimats, sugu īpašības un agronomiskie faktori, piemēram, ražas novākšanas laiks.

Mērķi

Pirmais solis agromežsaimniecības sistēmas izveidē ir noteikt galvenos nepieciešamos produktus: pārtika (laukaugi, gaļa un piena produkti, augstākā labuma augļi un rieksti, lopbarība), augstas kvalitātes kokmateriāli (valrieksti, ķirši, skabārži) un/vai bioenerģija (īscirtmeta atvasāja (ĪA) sugas, piemēram, vītols). Sistēmas kokaugu komponentu var noteikt atkarībā no nepieciešamo ieņēmumu periodiskuma, proti, augļu un riekstu, kā arī ĪA sistēmas nodrošina ikgadēju peļņu, savukārt kokaugi ir ilgtermiņa ieguldījums, ko var uzskatīt par "pensiju fondu" lauksaimniekiem, kuri plāno nākotnei. Šo lēmumu ietekmēs arī valdības atbalsta politika, jo dažās valstīs atbalsts ir ierobežots tikai noteiktām koku sugām (piemēram, augļkokiem, riekstiem, ĪA). Jāņem vērā arī tirgus spēki un tirdzniecības infrastruktūra.

Vietas apstākļi

Koku sugu izvēle ir atkarīga no vietas īpašībām, piemēram, vasaras sausuma jutības un augsnes īpašībām (akmeņainība, seklums, sezonālais mitrums). Sugu izvēle ir saistīta arī ar vietas īpašībām, piemēram, papeles var stādīt, lai paaugstinātu augsnes pH, vītols – mitrās augsnēs, bet erodētās augsnēs – ātraudzīgas sugas. Jāņem vērā arī klimata pārmaiņu ietekme, jo tiek prognozēts, ka temperatūras paaugstināšanās un nokrišņu režīma izmaiņas ietekmēs daudzas sugas. Kā riska pārvaldības līdzeklis ir ieteicama dažādu sugu iekļaušana, palielinot ģenētiskā materiāla klāstu sistēmā, izvēloties labi adaptētas augu izcelšanās vietas un sajaukšanu.

Sugu īpašības

Ideālām sugām agromežsaimniecības sistēmās būtu maksimāli jāpalielina nišas diferenciācija starp kokiem un citiem augu komponentiem (kultūraugiem vai ganībām). Tas samazina konkurenci par ierobežojošiem resursiem (ūdeni, saules gaismu, barības vielām) un palielina kopējo ražību. Piemēram, ideālām koku sugām ir dziļas saknes, kas ļauj piekļūt kultūraugiem nepieejamām barības vielām un ūdenim, un vai nu vainags ir lapu veidā ārpus kultūraugu galvenā augšanas perioda, vai arī tas met vieglu, vienmērīgu ēnu [54].

Koki

Agromežsaimniecības sistēmās parasti priekšroka ir lapu koku sugām, nevis mūžzaļajām sugām. Lapu koku sugas var vairāk ietekmēt kultūraugu audzēšanu, jo tās aizēno, bet mūžzaļās sugas var būt piemērotas atklātās kalnu teritorijās, kur tās no rudens līdz pavasarim var sniegt patvērumu kultūraugiem un mājlopiem. Pierādījumi arī liecina, ka platlapju koku sugām var būt lielāka spēja uzkrāt AOO nekā skujkoku sugām. [19].

Koku lapotnes lielums, forma un blīvums var ietekmēt ražību apakšaudzē. Pētījumā, kurā tika salīdzināta ganību ražība zem blīvi stādītiem jauniem vītoliem un papelēm, tika konstatēts, ka vītols vairāk ietekmē apakšaudzes augu augšanu (24 % samazinājums salīdzinājumā ar 9 %) [55]. Iespējams, ka tas ir saistīts ar lielāku ēnojumu un nedaudz zemāku augsnes mitruma saturu zem vītoliem. Vītols aug ātrāk nekā papele, tam ir vairāk dzinumu, lielāks stumbra diametrs un lielāks vainaga diametrs. Sakņu izvietojums un sakņu aktivitātes veids dažādām sugām atšķiras; zinot šīs īpašības, var palīdzēt izvairīties no koku un kultūraugu konkurences, izmantojot piemērotus attālumus [56]. Sakņu sistēmas ir noteiktas ģenētiski un modificētas, reaģējot uz vides un apsaimniekošanas faktoriem.

Lai samazinātu laika konkurenci un palielinātu ražību, var izmantot atšķirības augšanas maksimuma vai lapu/augu attīstības laikā. Piemēram, Lielbritānijas dienvidos oši *Fraxinus excelsior* sāk ziedēt tikai maija beigās, tādējādi izvairoties no blakus esošo kultūraugu vai ganību maksimālā augšanas tempa perioda [54]. Agromežsaimniecības sistēmās rudenī sētiem ziemājiem salīdzinājumā ar pavasarī sētiem kultūraugiem ir priekšrocības, jo tie var izaugt vēl pirms koku pumpuru plaukšanas pavasarī. Turpretī koki var turpināt asimilēt oglekli sausajā masā līdz pat lapu nokrišanai pēc ražas novākšanas vasaras vidū vai beigās, un kultūraugi ar tiem nekonkurē. Meža apstrādes sistēmās ir jāņem vērā prasības attiecībā uz koku un kultūraugu ražas novākšanas laiku, lai novērstu abu komponentu bojājumus ražas novākšanas laikā.

Kultūraugi/mājlopi

ĒNAS TOLERANCE

Apakšaudzes sugu izturība pret ēnu ir atkarīga to spējas izdzīvot un vairoties agromežsaimniecības sistēmā. Nesen veikto pētījumu mērķis ir identificēt augstražīgus, ēnu necauraidīgus ganību un graudaugu sugu genotipus, lai uzlabotu produktivitāti agromežsaimniecības sistēmās [57], [58]. Nobriedušas meža dārzu agromežsaimniecības sistēmas ir ēnainākas nekā meža aramzemes un meža ganību sistēmas ar mazāku koku blīvumu. Meža dārzos tiek audzētas dažādas ēnu izturīgas sugas, lai nodrošinātu kultūraugus un produkciju, kā arī citus pakalpojumus, piemēram, augsnes segumu un bioloģiskās daudzveidības atbalstu [59].

KOKU BOJĀJUMI

Mājlopi var nodarīt ievērojamus bojājumus kokiem, jo īpaši agromežsaimniecības sistēmas agrīnajos posmos, un sistēmas darbības laikā var mainīties sugu vai šķirņu izvēle. Sistēmai veidojoties, par labāko sugu parasti tiek uzskatītas aitas, bet vēlāk pastāv iespēja ieviest liellopus [60]. Mājputni, visticamāk, mazāk ietekmēs koku veselību, savukārt cūkas ir piemērotākas jau izveidotā sistēmā vai meža ganībās, jo tās veic izrakšanas un mizas bojāšanas darbības [60].

Izvietojums un blīvums

Koku stādīšanas modelis ietekmē produktivitāti (3. attēls). Vienmērīgs atsevišķu koku izvietojums laukā samazina koku konkurenci, bet palielina koku un kultūraugu mijiedarbību, jo palielinās koku un kultūraugu saskarsmes zona. Meža aramzemes sistēmās to izvietojumu parasti nosaka lauksaimniecības prasības, bet alejas platumu nosaka aramzemes apstrādē izmantojamās tehnikas lielums. Koku rindu stādīšana ziemeļu–dienvidu virzienā parasti tiek uzskatīta par visefektīvāko orientāciju, lai optimizētu tiešās saules gaismas iekļūšanu kultūraugos/ganībās. Tomēr, ja koku stādīšanas mērķis ir nodrošināt patvērumu, pretvēja stādījumi jāizvieto taisnā leņķī pret valdošo vēju. Koku blīvums atkarībā no agromežsaimniecības sistēmas būs ļoti atšķirīgs. Kokaugu audzēšanas sistēmās sākotnējais blīvums var būt lielāks, lai varētu veikt retināšanu, savukārt sistēmās ar augļu koku audzēšanu, iespējams, ka koki tiks stādīti ar galīgo blīvumu.



3. attēls. A) vienmērīgi izvietoti koki ar 200 kokiem/ha; B) koki stādīti grupās, lai samazinātu koku aizsardzības izmaksas; C) kultūru audzēšana alejās, ābeles pret briežu bojājumiem aizsargā būri; D) izklīdēti atsevišķi koki, kas pret liellopiem tiek aizsargāti ar stabu un stiepli. Foto: Džo Smits

Pārvaldība

Agromežsaimniecības sistēmās katra komponenta ražību var regulēt ar pārvaldīšanas palīdzību. Retināšana un atzarošana nosaka koku kvalitāti un ražību, kā arī ietekmē kultūraugu un ganību ražību un līdz ar to arī dzīvnieku produkciju. Mēslošana palielina produkcijas apjomu un maina koku un kultūraugu konkurences dinamiku, savukārt mājlopu blīvums ietekmē lopkopības produkciju un ietekmē koku ražību, jo samazinās konkurence ar ganībām vai negatīvi ietekmē augsnes sablīvēšanos, ko izraisa tās piekopšana.

Atzarošana

Lai iegūtu augstas kvalitātes kokmateriālus, atzarošana jāveic tā, lai iegūtu vienu taisnu stumbru bez zariem un bojājumiem, vismaz 5 m augstumā, bet papeļu gadījumā – 7–10 m augstumā. Tas ir īpaši svarīgi agromežsaimniecības sistēmās, kur koki tiek stādīti plašāk nekā plantācijās, kas var veicināt sliktas formas veidošanos. Dažām koku sugām, piemēram, papelei *Populus sp.*, osim un kļavai *Acer pseudoplatanus*, ir spēcīgāka galotnes dominante, un tām būs nepieciešama mazāka formatīvā atzarošana nekā citām sugām, piemēram, ozoliem un valriekstiem.

Meža aramzemes sistēmās regulāra kultivēšana kultūraugu alejās iznīcinās virspusējās koku saknes un mainīs konkurences līdzsvaru par labu kultūraugiem. Nogrieztas koku saknes sadalās un papildina augsnes organisko vielu krājumu, tādējādi kultūraugiem sagādājot barības vielas [56]. Ja ir jākontrolē koku un kultūraugu sakņu konkurence apakšzemē, var izmantot tādus efektīvākus pārvaldības paņēmienus kā tranšeju rakšana, dziļaršanu vai zemaugsnes apstrāde.

Nezāļu kontrole

Nezāles, jo īpaši zālaugi, var agresīvi konkurēt ar tikko iestādītiem kokiem, un koku rindu veģetācijas apakšaudze var kalpot kā nezāļu sēklu krātuve, no kuras tās var inficēt blakus esošās kultūraugu alejas. Kamēr koki nav pietiekami dziļi iesakņojušies, lai konkurētu ar nezālēm, tiem nav jārada konkurence – pirmos trīs augšanas periodus var būt nepieciešama nezāļu apkarošana [61]. Nezāļu apkarošanai var izmantot mulču, herbicīdus vai augsnes seguma augus. Lai mazinātu nezāļu ietekmi uz tikko iestādītiem kokiem, bieži izmanto plastmasas mulčēšanu. Lai novērstu nezāļu invāziju, koku rindās var stādīt tādus augsnes seguma augus kā āboliņš un lucerna, ja vien tiem ir minimāls konkurences spiediens uz kokiem [61]. Ja zem kokiem sēj daudzveidīgu ziedošu sugu maisījumu, tas var arī piesaistīt apputeksnētājus un dabiskos kaitēkļu ienaidniekus.

Aizsardzība pret mājlopiem un savvaļas dzīvniekiem

Jaunizveidotajās meža ganību sistēmās koki no mājlopiem ir jāaizsargā (parasti ar plastmasas aizsargiem vai tīkliem). Aitām līdz pat 5 gadiem, bet liellopiem līdz 12 gadiem [62]. Dzīvnieku komponents meža ganību sistēmā var mainīties līdz ar koku augšanu, un, kokiem nostiprinoties, var palielināties sugu izvēle. Koku aizsardzība ir atkarīga no dzīvnieka un koku sugas; zālēdāji, piemēram, liellopi un zirgi, neapēd tādas sugas kā *Eucalyptus globulus* vai *Pinus pinaster*, bet kazas un cūkas var nodarīt nopietnus bojājumus pat lieliem kokiem. Svarīgs faktors ir arī ganāmpulka blīvums un alternatīvās lopbarības pieejamība. Gan meža aramzemju, gan meža ganību sistēmās jaunos kokus var bojāt savvaļas dzīvnieki, piemēram, truši, zaķi un brieži. Arī tādi putni kā baloži, krauči un vārnas var nodarīt strukturālus bojājumus kokiem, jo tie ir pietiekami smagi, lai uzsēžoties sabojātu zarus [61].

Wakelyns Agroforest noturība caur daudzveidību

Wakelyns Agroforest www.Wakelyns.co.uk, kas atrodas Anglijas austrumu daļas aramzemē, ir koku oāze, kurā dzīvo putnu dziesmas un kukaiņi, bet ieskauj liela mēroga tradicionālā laukaugu audzēšana. *Wakelyns*, kas koksnes ieguvei integrē kokus un ar bioloģisko augseku ražo enerģiju un augļus, 90. gadu vidū izveidoja augu patologs un profesors Martins Volfs (*Martin Wolfe*), lai īstenotu savas teorijas par agrobioloģisko daudzveidību, kas ir atbilde uz ilgtspējīgas, un noturīgas lauksaimniecības sasniegšanu. Jau vairāk nekā divas desmitgades saimniecībā tiek veikti pētījumi par bioloģisko augkopību un agromežsaimniecību. Daudzveidība visos līmeņos ir *Wakelyns Agroforest* (52,4 °N, 1,4 °E) attīstības filozofijas un pieejas pamatā, kas ietver četras meža aramzemes sistēmas: vītulu īscirtmeta atvasāju (ĪA), lazdu *Corylus avellana* ĪA, jauktu augļkoku un riekstu koku, kā arī jauktu lapu koku ar 10–12 m platām alejām starp koku rindām (4. attēls).

Šādas daudzveidīgas sistēmas izveides iemesli bija dažādi: palielinot atālumu starp vienas sugas indivīdiem, samazināt kaitēkļu un slimību radīto slodzi; palielināt bioloģisko daudzveidību, tostarp tādus derīgos organismus kā apputeksnētāji un dabiskie ienaidnieki; nodrošināt noturību pret klimata pārmaiņām; dažādot ražošanu un samazināt riskus, kas saistīti ar vienas sugas audzēšanu. Koki tika stādīti pa pāriem no vienas sugas. Lai saglabātu formu, tiek apgriezti apakšējie zari, un pēdējos gados ir ieviesta vainaga veidošana, lai pārvaldītu vainagu un veicinātu kultūraugu pārvaldību. Lazdu un vītulu īscirtmeta atvasāju kopšanu veic ziemā, izmantojot ripzāģi; nocirsto materiālu vasarā žāvē laukā un šķeldo. Gadu gaitā ir savākti daudzi dati par visiem dažādo sistēmu elementiem, tostarp par koku augšanu un ražību, viengadīgo un daudzgadīgo kultūru ražību, kaitēkļu un slimību izplatību, funkcionālo bioloģisko daudzveidību un visas sistēmas ilgtspējību.



4. attēls. *Wakelyns* agromežsaimniecības sistēmas, pulksteņrādītāja virzienā no augšas pa kreisi: jaukta riekstu un augļu koku sistēma; lazdu ĪA sistēma; jaukta koku sistēma; vītoli ĪA sistēma. Foto: Džo Smits.

Pārtikas un enerģijas ražošanas decentralizācija

Galvenais *Wakelyns* pētījuma elements ir bijis izpētīt dažādas pieejas lauksaimniecības, pārtikas un enerģijas ražošanas decentralizācijai un lokalizācijai, kā arī nodrošināt modeli, lai pierādītu šo koncepciju un kalpotu kā paraugs citiem.

Daudzveidīgais produkcijas klāsts, kas gadu gaitā iegūts no *Wakelyns*, liecina par to, cik patiesi ražīgs var būt neliels zemes gabals. Produkti ir bioenerģija no vītoli un lazdu audzēm, kokmateriāli, augļi, dārzeņi, graudaugi un pākšaugi, rieksti, sulas un sidrs, olas, savvaļas muntjaku gaļa un amatniecības materiāli no vītoliem un lazdam.

Wakelyns ir ļoti veiksmīgi nodrošinājis enerģētisko pašpietiekamību, izmantojot īscirtmeta atvasāju (ĪA) agromežsaimniecības koku rindas un tradicionālos lauku robežu dzīvžogus, lai ražotu šķeldu kurināmajam, kā arī uzstādot saules paneļus elektroenerģijas ražošanai. Koksnes šķelda no ĪA un dzīvžogiem tiek izmantota neliela 20 kW katla darbināšanai, kas nodrošina saimniecības ēkas apkures vajadzības visu gadu, un papildu koksnes šķelda tiek atstāta citiem mērķiem. Atvasāju šķeldas ražošanai izmanto lazdu sugas, kas tiek cirstas ar piecu gadu rotāciju, un vītoli *Salix viminalis*, kas tiek cirsts ar divu gadu rotāciju. Ražas novākšana tiek veikta ziemā, izmantojot pie traktora piestiprinātu ripzāģi, un nākamajā vasarā tā tiek šķeldota, izmantojot nelielu ar rokām darbināmu šķeldotāju.

ĪA vītoli biomasas ražošana tiek mērīta kopš 2011. gada, bet lazdu – kopš 2014. gada [63]. Pārrēķinot uz ikgadējo biomasas ražošanu (2,87 m³/100 m/gadā), abu ĪA sugu raža pašreizējā augsekā ir ļoti līdzīga. Tas dod divas iespējas: vītoli sistēma, kur vainagu noņem katru otro gadu, tādējādi samazinot ēnas daudzumu alejas kultūraugiem, bet prasot biežāku ražas novākšanu (un, iespējams, lielāku konkurenci ar kultūraugiem par ūdeni un barības vielām), pretstatā lazdu sistēmai ar lēnāk augošiem kokiem, kas, iespējams, met lielāku ēnu, bet ar mazāku ražas novākšanas skaitu, lai iegūtu tādu pašu ražu.

Cik daudz koku ir nepieciešams, lai apsildītu lauku māju?

Tipisks 20 kW apkures katls lauku saimniecībā, piemēram, *Wakelyns*, patērē aptuveni 80 m³ šķeldas gadā. Tāpēc, pamatojoties uz 2. tabulā sniegtajiem aprēķiniem:

- Lauku mājas apsildīšanai ir nepieciešami 2800 m īscirtmeta atvasāju (ĪA) – dubultās vītoli vai lazdu rindas. Pārvēršot lauka platībā ar 3 m platām koku rindām un 10 m platām alejām, tas atbilst aptuveni 3,62 ha agromežsaimniecības.
- Lai apsildītu lauku māju, katru gadu ir nepieciešams 320 m dzīvžoga; ja ražas novākšanas rotācija ilgst 15 gadus, lai apmierinātu šo vajadzību, kopumā būtu jāapkopj 4,8 km dzīvžogs.
- *Wakelyns Agroforest* aleju audzēšanā ir 3,7 km dzīvžogu, 2,18 km (3,2 ha) vītoli ĪA un 1,5 km (2,4 ha) lazdu ĪA, tāpēc šo vajadzību var viegli piepildīt (2. tabula).

2. tabula

KOKSNES ŠĶELDAS RAŽOŠANA WAKELYS [64]

	Garums (m), <i>Wakelyns</i>	Koku skaits uz m	Koksnes šķeldas tilpums (m ³ /m)	Atvasāju rotācijas ilgums (gadi)	Viena gada laikā sasmalcinātais atvasāju garums (m)	Koksnes šķeldas ražošana gadā (m ³)
Vītoli ĪA	2175	1,65	0,0574	2	1087,5	62,42
Lazdas ĪA	1500	1,33	0,1432	2	300	42,96
Robežu dzīvžogs	3700	mainīgais	0,25	15	247	61,75

Oglekļa uzglabāšana un plūsmas

Kā minēts iepriekš, agromežsaimniecība var palielināt piesaistītā oglekļa daudzumu, salīdzinot ar monokultūrām, kurās audzē kultūraugus vai ganības, jo tajās tiek izmantoti koki un krūmi. Sistēmai, kas apvieno tādas īsās augsekas kultūras kā vītols, bioenerģijas ražošanai ar lauksaimniecības sistēmu ir potenciāls uzkrāt vairāk oglekļa nekā tikai lauksaimniecības sistēmai, jo ogleklis tiek uzkrāts vītola atvasēs un resnajās saknēs, un palielinās augsnes organiskā oglekļa daudzums, jo augsnē nonāk lapu un sakņu izdalījumi, kā arī notiek augsnes apauguma maiņa [65]. *Wakelyns* vītola ĪA sistēmā tika novērtēta oglekļa uzkrāšana un plūsma, un tika salīdzināta ar blakus esošo lauku bez kokiem [66].

3. tabula

C KRĀJUMI UN PLŪSMAS AGROMEŽSAIMNIECĪBĀ UN BEZKOKU KONTROLĒ WAKELYS

	Agromežsaimniecība t/C/ha	Kontrole t/C/ha
C krājumi		
Vītola saknes	2,22	0,00
Vītola atvases	2,06	0,00
Augsnes OC	91,16	62,83
Kopējie krājumi	95,44	62,83
C izplūst no sistēmas		
Vītola koksnes kurināmā biomasa	2,91	0,00
Papuves biomasa	0,77	1,11
Kopējās izplūdes	3,68	1,11
C ieplūst sistēmā		
Papuves biomasa	1,84	2,84
Lapu pakaiši	0,92	0,00
Kopējās plūsmas iekšienē	2,76	2,84

Pētījums liecina, ka oglekļa krājumi agromežsaimniecībā ir daudz lielāki nekā bezkoku kontrolē, un lielāko daļu šīs atšķirības veido augsnes organiskā oglekļa (AOO) atšķirības. Agromežsaimniecībā AOO saturs augšējā augsnes slāņa horizontā bija augstāks, kas, salīdzinot ar bezkoku kontroli,

veidoja papildu 21,11 t/C/ha. Augstāks oglekļa saturs augsnē tika reģistrēts zemākajos augsnes horizontos (30–40 cm) zem vītola rindām, kas, iespējams, ir saistīts ar augsnes apstrādes trūkumu. Oglekļa izplūšana no sistēmas 2012./2013. gadā bija lielāka arī agromežsaimniecībā, jo koksnes kurināmā ražošanai no tās eksportēja vītola biomasu. Lai gan, sadedzinot biomasu, no tās izdalās ogleklis, tas aizvieto fosilā kurināmā izmantošanu, tāpēc to var uzskatīt par oglekļa aizvietošanas veidu. Oglekļa plūsmas sistēmā 2012./2013. gadā bija līdzīgas gan agromežsaimniecības, gan kontroles sistēmā, kur zemāku papuves produktivitāti agromežsaimniecībā zināmā mērā kompensēja vītola lapu pakaiši.

Kopējā ražība: zemes ekvivalenta attiecība

Kā minēts iepriekš, viens no galvenajiem agromežsaimniecības pievilcīgajiem aspektiem ir tas, ka, lai gan agromežsaimniecības sistēmas atsevišķu komponentu produktivitāte var būt zemāka nekā lauksaimniecības sistēmās bez kokiem, kopējā ražība var būt augstāka, jo resursi tiek savstarpēji papildināti. Modelēšana ļauj aplūkot agromežsaimniecības sistēmas ražību laika gaitā, prognozējot katras dienas koku un kultūraugu augšanu, izmantojot vietējo laikapstākļu, augsnes un pārvaldības datus. Izmantojot īpašu agromežsaimniecības modeli *Yield-SAFE*, iespējams modelēt un salīdzināt ražas, ko var sagaidīt *Wakelyns* tīrā aramzemes sistēmā, tīrā vītola ĪA sistēmā un vītola-arāju agromežsaimniecības sistēmā (20:80 vītola pamežs: kultūraugi) 10 gadu periodā. [63]. Modelētajā augsekā tika izmantota šāda augsekas sistēma: vasaras kvieši/papuve/ kartupeļi/papuve/ziemas kabači/papuve (atkārtoti).

Vienas pilnas augsekas laikā (trīs atvasāju cikli) kopējā biomasa agromežsaimniecības sistēmā (t. i., apvienojot koku un kultūraugu biomasu) tika modelēta 57 t/ha, salīdzinot ar 47 t/ha tīrā ĪA sistēmā (t. i., tikai koku biomasa) un 32 t/ha tīrā aramzemes sistēmā (tikai kultūraugu biomasa). Šo modeli var izmantot, lai aprēķinātu zemes ekvivalenta koeficientu (LER), t. i., agromežsaimniecības ražības attiecību pret ražību monokultūru sistēmās. Koeficients > 1 norāda, ka agromežsaimniecība nodrošina lielāku produkcijas apjomu nekā identiska monokultūras ražošanas platība. Citiem vārdiem sakot, lai iegūtu līdzvērtīgu ražu, ir vajadzīga lielāka zemes platība, ja aramzeme un atvasāji ir telpiski atdalīti, nekā tad, ja tie ir apvienoti agromežsaimniecības sistēmā. LER tika aprēķināts vienai pilnai augsekas rotācijai (t. i., sešiem gadiem), un tas ir 1,36, kas nozīmē, ka agromežsaimniecība dod 36 % peļņas priekšrocību salīdzinājumā ar ražas priekšrocību, ja komponenti tiek audzēti atsevišķi kā monokultūras. Tas liecina, ka notiek resursu sadale un ka agromežsaimniecības sistēmas neto produkcija ir lielāka nekā monokultūras sistēmas ekvivalents. Šāda veida modelēšana nodrošina pamatu, lai izstrādātu sistēmu salīdzinājumu attiecībā uz novākto ražu, kopējo peļņu un optimālo atvasāju un aramzemes attiecību.

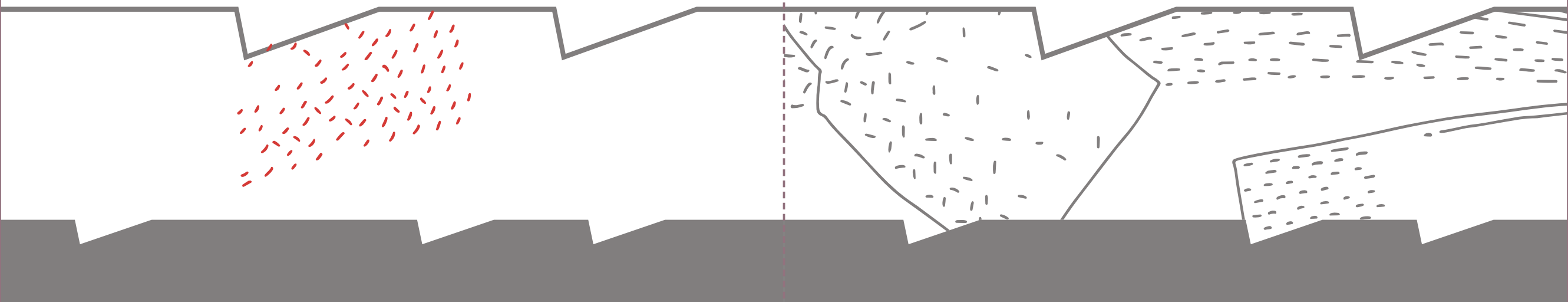
Secinājumi

Koki uzkrāj un piesaista oglekli, un valdības visā pasaulē uzskata, ka koku stādīšana ir viens no visrentablākajiem veidiem, kā no atmosfēras aizvākt CO₂, lai risinātu klimata krīzi. Tā kā lauksaimniecības zeme aizņem gandrīz pusi no ES platības, Eiropas valstu valdībām, lai sasniegtu savus koku stādīšanas mērķus, ir jācenšas lauksaimniecības zemēs stādīt kokus, izmantojot agromežsaimniecības pieeju. Papildu koksnes biomasā – stumbrā, zaros un saknēs – tieši uzkrātajam C koku stādīšana var palielināt augsnes organiskā oglekļa (AOO) krājumu, pievienojot lapu, zaru un sakņu pakaišus. Lai gan šo “darba koku” ražas novākšana (piem., atvasāji) nozīmē, ka virs zemes esošā C krājumi bieži vien ir īslaicīgi, kā pierādīts *Wakelyns*, lielākie ilgtermiņa ieguvumi ir vērojami zem zemes esošajos krājumos un vislielākā pozitīvā ietekme uz AOO krājumiem ir tad, ja koki tiek integrēti aramzemes augsnēs.

Tomēr agromežsaimniecības ieguvumi ir plašāki nekā tikai CO₂ emisiju samazināšana, jo tā nodrošina alternatīvus ieņēmumus no produktiem, amortizē ekstrēmus klimata apstākļus, uzlabo dzīvnieku labturību, atbalsta bioloģisko daudzveidību, uzlabo lauksaimniecības zemes estētiku sabiedrībai un palielina ražību. Tā kā agromežsaimniecība ir sarežģīta sistēma ar vairākiem komponentiem, lai izmantotu tās potenciālu, tā jāveido un jāpārvalda tā, lai maksimāli palielinātu pozitīvo mijiedarbību starp kokiem un kultūraugiem vai mājlopiem, vienlaikus cenšoties samazināt konkurenci par resursiem. Šo līdzsvaru var palīdzēt panākt gudra piemērotu sugu izvēle, stādīšanas projekti un apsaimniekošanas metodes, turklāt tiek veikti jauni pētījumi par kultūraugu selekciju agromežsaimniecības apstākļiem, lai vēl vairāk palielinātu ražību. Lai gan agromežsaimniecības sistēmas pašlaik aizņem tikai nepilnus 9 % no Eiropas lauksaimniecībā izmantojamām zemes platībām, tādām saimniecībām kā *Wakelyns Agroforest* ir svarīga loma, iedvesmojot citus integrēt kokus un nodrošinot pētniecības platformu pētījumiem par ietekmi uz ražību un vidi.

Literatūra

1. ECMWF. European State of the Climate 2018. European State of the Climate 2018., 2019.
2. R. Lorenz, Z. Stalhandske, and E. M. Fischer. Detection of a Climate Change Signal in Extreme Heat, Heat Stress, and Cold in Europe From Observations. *Geophys. Res. Lett.*, vol. 46, no. 14, pp. 8363–8374, 2019, doi: 10.1029/2019GL082062.
3. Eurostat. Agri-environmental indicator – greenhouse gas emissions, 2018.
4. H. Martineau *et al.* Effective performance of tools for climate action policy – meta-review of Common Agricultural Policy (CAP). *Ricardo AEA*, no. 340202, p. 286, 2016.
5. M. Schoeneberger *et al.* Branching out: Agroforestry as a climate change mitigation and adaptation tool for agriculture. *J. Soil Water Conserv.*, vol. 67, no. 5, 2012, doi: 10.2489/jswc.67.5.128A.
6. G. Lawson, A. Brunori, J. H. N. Palma, and F. Balaguer. Sustainable management criteria for agroforestry in the European Union. *3rd European Agroforestry Conference*, 2016, pp. 375–378.
7. M. P. Eichhorn *et al.* Silvoarable systems in Europe – Past, present and future prospects. *Agrofor. Syst.*, vol. 67, no. 1, pp. 29–50, 2006, doi: 10.1007/s10457-005-1111-7.
8. A. Pisanelli, P. Paris, D. Marandola, R. Romano, S. Marongiu, and A. Rosati. The role of EU rural development policy in supporting agroforestry systems in EU. *2nd Eur. Agrofor. Conf. – Integr. Sci. Policy to Promot. Agrofor. Pract. Cottbus, Ger.*, no. January 2018, 2014.
9. M. den Herder *et al.* Current extent and stratification of agroforestry in the European Union. *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 241, pp. 121–132, 2017, doi: 10.1016/j.agee.2017.03.005.
10. S. Kay *et al.* Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe. *Land use policy*, vol. 83, no. February, pp. 581–593, 2019, doi: 10.1016/j.landusepol.2019.02.025.
11. M. Torralba, N. Fagerholm, P. J. Burgess, G. Moreno, and T. Plieninger. Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 230, pp. 150–161, 2016, doi: 10.1016/j.agee.2016.06.002.
12. IPCC. Climate-Resilient Pathways: Adaptation, Mitigation, and Sustainable Development, 2014.
13. P. K. R. Nair, B. Mohan Kumar, and V. D. Nair. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, vol. 172, no. 1, pp. 10–23, Feb. 2009, doi: 10.1002/jpln.200800030.
14. J. Morison *et al.* Understanding the carbon and greenhouse gas balance of forests in Britain, 2012.

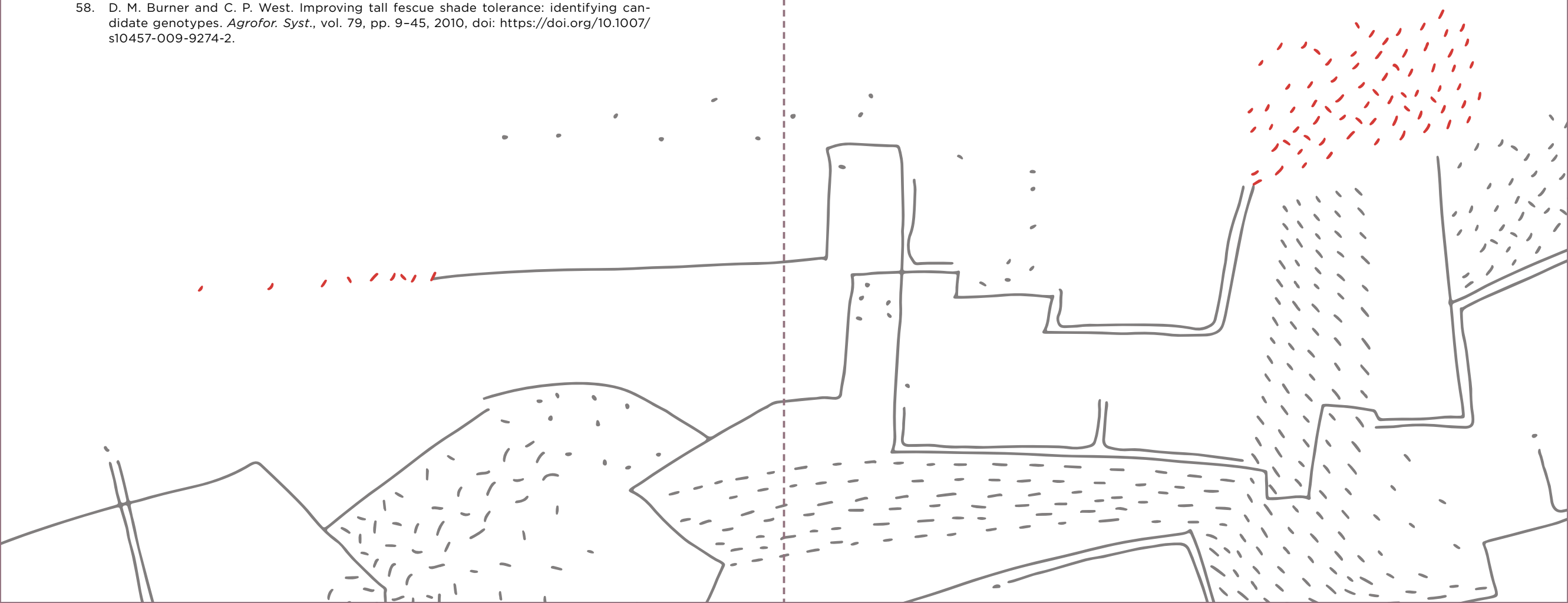


15. M. Peichl, N. V. Thevathasan, A. M. Gordon, J. Huss, and R. A. Abohassan. Carbon Sequestration Potentials in Temperate Tree-Based Intercropping Systems, Southern Ontario, Canada. *Agrofor. Syst.*, vol. 66, no. 3, pp. 243–257, Mar. 2006, doi: 10.1007/s10457-005-0361-8.
16. M. Upson. The carbon storage benefits of agroforestry and farm woodlands, 2014.
17. D. G. Kim, M. U. F. Kirschbaum, and T. L. Beedy. Carbon sequestration and net emissions of CH₄ and N₂O under agroforestry: Synthesizing available data and suggestions for future studies. *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 226, pp. 65–78, 2016, doi: 10.1016/j.agee.2016.04.011.
18. M. Hernández-Morcillo, P. Burgess, J. Mirck, A. Pantera, and T. Plieninger. Scanning agroforestry-based solutions for climate change mitigation and adaptation in Europe. *Environmental Science and Policy*, vol. 80. Elsevier Ltd, pp. 44–52, Feb. 01, 2018, doi: 10.1016/j.envsci.2017.11.013.
19. J. Laganière, D. A. Angers, and D. Paré. Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: A meta-analysis. *Glob. Chang. Biol.*, vol. 16, no. 1, pp. 439–453, 2010, doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.01930.x.
20. S. Shi, W. Zhang, P. Zhang, Y. Yu, and F. Ding. A synthesis of change in deep soil organic carbon stores with afforestation of agricultural soils. *For. Ecol. Manage.*, vol. 296, pp. 53–63, 2013, doi: 10.1016/j.foreco.2013.01.026.
21. P. Pardon *et al.* Juglans regia (walnut) in temperate arable agroforestry systems: Effects on soil characteristics, arthropod diversity and crop yield. *Renew. Agric. Food Syst.*, vol. 35, no. 5, pp. 533–549, 2020, doi: 10.1017/S1742170519000176.
22. P. Tsonkova, C. Böhm, A. Quinkenstein, and D. Freese. Ecological benefits provided by alley cropping systems for production of woody biomass in the temperate region: A review. *Agrofor. Syst.*, vol. 85, no. 1, pp. 133–152, 2012, doi: 10.1007/s10457-012-9494-8.
23. L. Paolotti, A. Boggia, C. Castellini, L. Rocchi, and A. Rosati. Combining livestock and tree crops to improve sustainability in agriculture: A case study using the Life Cycle Assessment (LCA) approach. *J. Clean. Prod.*, vol. 131, pp. 351–363, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.05.024.
24. C. M. M. E. Torres *et al.* Greenhouse gas emissions and carbon sequestration by agroforestry systems in southeastern Brazil. *Sci. Rep.*, vol. 7, no. 1, p. 16738, Dec. 2017, doi: 10.1038/s41598-017-16821-4.
25. J. C. Ku-Vera *et al.* Role of Secondary Plant Metabolites on Enteric Methane Mitigation in Ruminants. *Front. Vet. Sci.*, vol. 7, no. August, pp. 1–14, 2020, doi: 10.3389/fvets.2020.00584.
26. I. Mueller-Harvey. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *J. Sci. Food Agric.*, vol. 86, pp. 2010–2037, 2006, doi: https://doi.org/10.1002/jsfa.2577.
27. T. A. Volk, L. P. Abrahamson, C. A. Nowak, L. B. Smart, P. J. Tharakan, and E. H. White. The development of short-rotation willow in the northeastern United States for bioenergy and bioproducts, agroforestry and phytoremediation. *Biomass and Bioenergy*, vol. 30, pp. 715–727, 2006.
28. J. Smith and S. Westaway. Wakelyns Agroforestry : Resilience through diversity, 2020.
29. S. Westaway. Ramial Woodchip production and use WOOFs Technical Guide, 2020.
30. B. Gardiner, H. Palmer, and M. Hislop. The Principles of Using Woods for Shelter. *For. Comm. Inf. Note*, no. February, pp. 1–8, 2006.
31. R. J. Osorio, C. J. Barden, and I. A. Ciampitti. GIS approach to estimate windbreak crop yield effects in Kansas-Nebraska. *Agrofor. Syst.*, vol. 93, no. 4, pp. 1567–1576, 2019, doi: 10.1007/s10457-018-0270-2.

32. J. C. Broster, S. M. Robertson, R. L. Dehaan, B. J. King, and M. A. Friend. Evaluating seasonal risk and the potential for windspeed reductions to reduce chill index at six locations using GrassGro. *Anim. Prod. Sci.*, vol. 52, no. 10, p. 921, 2012, doi: 10.1071/AN12066.
33. T. F. Pagella and L. Whistance. The Agroforestry Handbook: Chapter 3 Silvopasture, 2019.
34. J. McAdam. Silvopastoral agroforestry – an option to support sustainable grassland intensification. *Grassland Science in Europe*, 2018, vol. 23, pp. 628–630.
35. J. McAdam and E. Curran. Adoption of agroforestry options in land use policy measures in Northern and Southern Ireland, 2018, [Online]. Available: <https://www.agroforestry.ac.uk/sites/www.agroforestry.ac.uk/files/MCADAM%26CURRAN-FWF.pdf>.
36. J. Smith, B. D. Pearce, and M. S. Wolfe. A European perspective for developing modern multifunctional agroforestry systems for sustainable intensification. *Renew. Agric. Food Syst.*, vol. 27, no. 4, pp. 323–332, 2012, doi: 10.1017/S1742170511000597.
37. M. S. Wolfe and J. Smith. Darwin, diversity and future land use. *Asp. Appl. Biol.*, vol. 121, no. Rethinking Agricultural Systems in the UK, pp. 11–16, 2013.
38. T. Staton, R. J. Walters, J. Smith, and R. D. Girling. Evaluating the effects of integrating trees into temperate arable systems on pest control and pollination. *Agric. Syst.*, vol. 176, no. February, p. 102676, 2019, doi: 10.1016/j.agry.2019.102676.
39. S. Jose. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agrofor. Syst.*, vol. 76, no. 1, pp. 1–10, 2009, doi: 10.1007/s10457-009-9229-7.
40. I. D. Rotherham. Issues of water and flooding for trees, woods and forests. *Arboric. J.*, vol. 37, no. 4, pp. 200–223, Oct. 2015, doi: 10.1080/03071375.2015.1137432.
41. R. Benavides, G. B. Douglas, and K. Osoro. Silvopastoralism in New Zealand: Review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *Agrofor. Syst.*, vol. 76, no. 2, pp. 327–350, 2009, doi: 10.1007/s10457-008-9186-6.
42. Z. L. Carroll, Z. L. Carroll, S. B. Bird, B. A. Emmett, B. Reynolds, and F. L. Sinclair. Can tree shelterbelts on agricultural land reduce flood risk? *Soil Use Manag.*, vol. 20, no. 3, pp. 357–359, 2004, doi: 10.1079/sum2004266.
43. B. M. Jackson *et al.* The impact of upland land management on flooding: insights from a multiscale experimental and modelling programme. *J. Flood Risk Manag.*, vol. 1, no. 2, pp. 71–80, 2008, doi: 10.1111/j.1753-318x.2008.00009.x.
44. C. Damianidis *et al.* Agroforestry as a sustainable land use option to reduce wildfires risk in European Mediterranean areas. *Agrofor. Syst.*, vol. 0123456789, 2020, doi: 10.1007/s10457-020-00482-w.
45. R. Costanza *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, vol. 387, no. 6630, pp. 253–260, May 1997, doi: 10.1038/387253a0.
46. L. J. Cole, J. Stockan, and R. Helliwell. Managing riparian buffer strips to optimise ecosystem services: A review, 2020, doi: 10.1016/j.agee.2020.106891.
47. J. Palma, A. R. Graves, P. J. Burgess, W. van der Werf, and F. Herzog. Integrating environmental and economic performance to assess modern silvoarable agroforestry in Europe. *Ecol. Econ.*, vol. 63, no. 4, pp. 759–767, 2007, doi: 10.1016/j.ecolecon.2007.01.011.
48. W. J. Bealey *et al.* Modelling agro-forestry scenarios for ammonia abatement in the landscape. *Environ. Res. Lett.*, vol. 9, no. 12, p. 125001, 2014, doi: 10.1088/1748-9326/9/12/125001.
49. A. R. Graves *et al.* Development and application of bio-economic modelling to compare silvoarable, arable, and forestry systems in three European countries. *Ecol. Eng.*, vol. 29, no. 4, pp. 434–449, 2007, doi: 10.1016/j.ecoleng.2006.09.018.

50. A. M. Keith, R. W. Brooker, G. H. R. Osler, S. J. Chapman, D. F. R. P. Burslem, and R. van der Wal. Strong impacts of belowground tree inputs on soil nematode trophic composition. *Soil Biol. Biochem.*, vol. 41, no. 6, pp. 1060-1065, Jun. 2009, doi: 10.1016/j.soilbio.2009.02.009.
51. R. Feber. The role of trees outside woods (TOWs), no. June, pp. 1-23, 2017.
52. J. McAdam, P. J. Burgess, A. R. Graves, A. Rigueiro-Rodríguez, and M. R. Mosquera-Losada. Classifications and Functions of Agroforestry Systems in Europe. *Agroforestry in Europe: Current Status and Future Prospects.*, A. Rigueiro-Rodríguez, J. McAdam, and M. R. Mosquera-Losada, Eds. Springer Netherlands, 2009, pp. 21-41.
53. B. Raskin and S. Osbone. The Agroforestry Handbook: Agroforestry for the UK, 2019.
54. F. Sinclair, B. Eason, and J. Hooker. Understanding and Management of Interactions. *Agroforestry in the UK*, vol. 122, Forestry Commission, 2000, pp. 17-28.
55. Z. Hussain, P. D. Kemp, D. J. Horne, and I. K. D. Jaya. Pasture production under densely planted young willow and poplar in a silvopastoral system. *Agrofor. Syst.*, vol. 76, no. 2, pp. 351-362, 2009, doi: 10.1007/s10457-008-9195-5.
56. G. Schroth. A review of belowground interactions in agroforestry, focussing on mechanisms and management options. *Agrofor. Syst.*, vol. 43, no. 1-3, pp. 5-34, 1998, doi: 10.1023/a:1026443018920.
57. M. G. Arenas-Corraliza, V. Rolo, M. L. López-Díaz, and G. Moreno. Wheat and barley can increase grain yield in shade through acclimation of physiological and morphological traits in Mediterranean conditions. *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, pp. 1-11, 2019, doi: 10.1038/s41598-019-46027-9.
58. D. M. Burner and C. P. West. Improving tall fescue shade tolerance: identifying candidate genotypes. *Agrofor. Syst.*, vol. 79, pp. 9-45, 2010, doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9274-2>.

59. M. Crawford. Creating a Forest Garden: Working with nature to grow edible crops. Green Books Ltd., 2010.
60. J. McAdam and A. Sibbald. Grazing livestock management. *Agroforestry in the UK. Bulletin 122*, 2000.
61. A. Beaton and M. Hislop. Trees in Agroforestry Systems. *Agroforestry in the UK. Bulletin 122*, M. Hislop and F. Sinclair, Eds. Forestry Commission, 2000.
62. J. McAdam and P. M. McEvoy. Chapter 17: The Potential for Silvopastoralism to Enhance Biodiversity on Grassland Farms in Ireland. *Agroforestry in Europe: Current Status and Future Prospects.*, A. Rigueiro-Rodríguez, J. McAdam, and M. R. Mosquera-Losada, Eds. Springer Netherlands, 2008.
63. J. Smith, A. Costanzo, N. Fradgley, S. Mullender, M. S. Wolfe, and J. H. N. Palma. Lessons learnt : Silvoarable agroforestry in the UK (Part 1). Report for H2020 project AGFORWARD. 2017. [Online]. Available: <https://www.agforward.eu/index.%0Aphp/en/silvoarable-agroforestry-in-the-uk.html>.
64. J. Smith, S. Westaway, C. Venot, and M. Cathcart-James. Lessons learnt : Silvoarable agroforestry in the UK (Part 2). Report for FP7 Project AGFORWARD, 2017.
65. P. Tsonkova and J. Mirck. Research and Development Protocol for Agroforestry in the Spreewald Floodplain, Germany. *AGFORWARD Agrofor. Eur.*, p. 11, 2015.
66. J. Smith, K. Leach, C. Gerrard, and S. Padel. Assessment of an agroforestry system in terms of feed supply and multifunctionality. Part 1: Deliverable for FP7 project Sustainable Organic and Low Input Dairying, 2014.



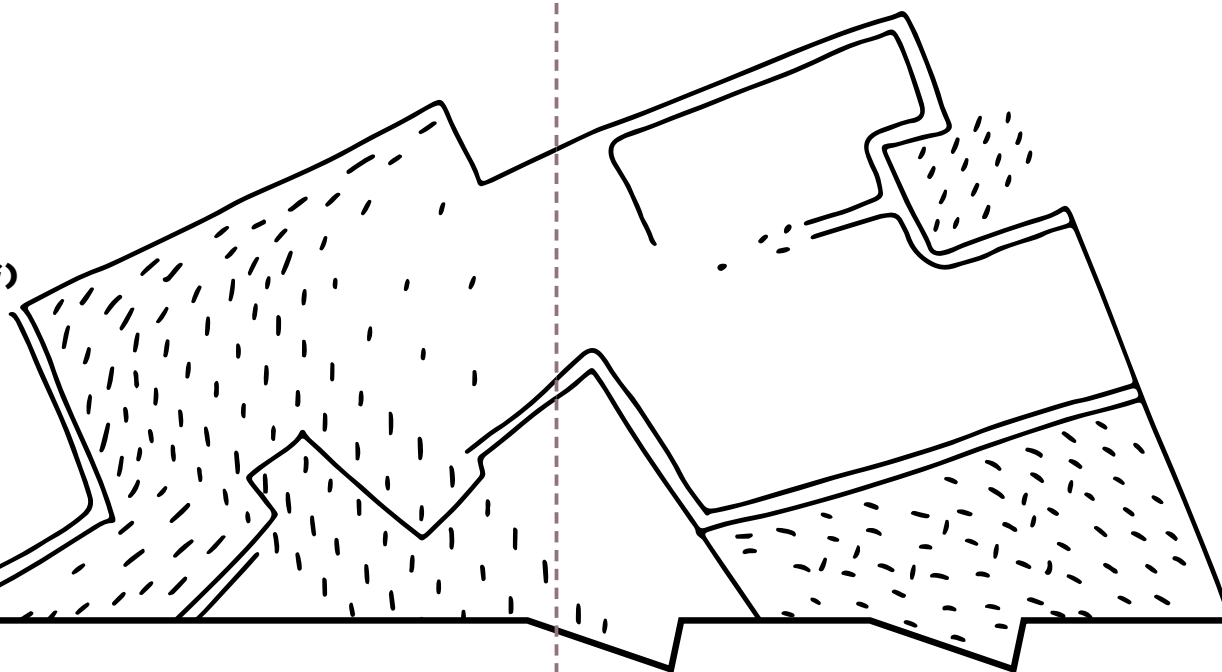
BIOOGLES – KLIMATAM LABVĒLĪGS RISINĀJUMS LAUKSAIMNIECĪBĀ?

KARI TĪLIKALA (*KARI TIILIKKALA*)

Prof. emeritus,
MTT Agrifood Research Finland (MTT/Luke)
Käpytie 8 A 1, 33180 Tampere, Somija

PRĪTS TAMEORG (*PRIIT TAMMEORG*)

Adjunct Prof.,
Helsinki Universitātes Lauksaimniecības
zinātņu departaments (*Dept of Agricultural
Sciences, University of Helsinki*), Somija
e-pasts: priit.tammeorg@helsinki.fi



Levads

Steidzami ir jāattīsta klimatam nekaitīga lauksaimniecība un jāmaina pārtikas un lauksaimniecības sistēmas, lai tās kļūtu ilgtspējīgākas visā pasaulē [1; 2; 3]. Bioogļu izmantošana ir kļuvusi par vienu no tehnoloģijām, kas piedāvā daudz iespēju uzlabot augsnes auglību un radīt ilgtermiņa oglekļa piesaistes iespējas. Bioogļu pievienošana augsnei var vienlaikus uzlabot augsnes veselību un veicināt klimata pārmaiņu mazināšanu. Lielākā daļa augsnei pievienoto bioogļu ir ilgtermiņa krātuve ogleklī [4, 5, 6, 7] ar stabilitāti simtiem līdz tūkstošiem gadu [8]. Bioogļu kā augsnes uzlabotāju vēsture ir tūkstošiem gadu ilga [8], taču to izmantošana mūsdienu lauksaimniecībā ir salīdzinoši neilga [9, 10], un agrākie eksperimenti tika uzsākti 2006. gadā [11]. Ļoti bieži bioogļu izmantošana lauksaimniecībā ir balstīta uz ierobežotām praktiskām zināšanām par bioogļu ilgtermiņa ietekmi uz augsnes ekosistēmām. Bioogļu funkcijas lielā mērā ir atkarīgas no augsnes tipa un lauka ražības [12]. Tāpēc steidzami ir vajadzīgi komerciāla mēroga bioogļu lauka izmēģinājumi, lai iegūtu vairāk informācijas par bioogļu ilgtermiņa ietekmi uz augsnes veselību un ražību [13].

Šī raksta mērķis ir palīdzēt lauksaimniekiem uzzināt: 1) kas ir bioogles un 2) kā sākt tās izmantot. Rakstā tiks izklāstīta bioogļu kvalitātes nozīme un apspriesta nepieciešamība attīstīt reģionālo sadarbību bioogļu ražošanā un izmantošanā. Trešais mērķis ir mudināt padomdevējus un konsultantus veidot reģionālus izmēģinājuma projektus uz bioogļēm balstītu lauksaimniecības sistēmu izstrādei un vākt datus par ilgtermiņa ietekmi uz augsnes veselību un auglību. Visbeidzot, šī raksta ceturtais mērķis ir arī mudināt politikas veidotājus paātrināt pāreju no rūpnieciskās lauksaimniecības uz oglekļa lauksaimniecību un klimatam labvēlīgu lauksaimniecību Eiropā.

Kas ir bioogles?

Literatūrā var atrast daudz definīciju vārdam “bioogles”. Dažādās valodās to var saprast un definēt atšķirīgi. Dažos gadījumos “bioogles” tiek izmantotas kā vispārējs termins, lai aprakstītu jebkuru termiski apstrādātu biomasu, neraugoties uz tās pielietojuma mērķi. Viena no vispāratzītākajām ir definīcija, kas publicēta *European Biochar Certificate (EBC)*: “Bioogles ir heterogēna viela, kurā ir daudz aromātiskā oglekļa un minerālvielu. To iegūst, kontrolētos apstākļos pirolizējot ilgtspējīgi iegūtu biomasu, izmantojot tīru tehnoloģiju, un to izmanto jebkurai mērķim, kas nav saistīts ar tās ātru mineralizāciju līdz CO_2 , un galu galā to var izmantot kā augsnes papildinājumu” [14]. Ir pieejamas arī vairākas citas ļoti vērtīgas ziņas par bioogļēm un to izmantošanu, piemēram, *Foundation Ithaka Institute* tīmekļa vietnē <http://www.ithaka-institut.org/en/> [14]. Praksē visu veidu

biomasu var pirolizēt vai termokīmiski pārstrādāt bioogļēs, kā arī pirolīzes gāzē un šķidrums. Daudzi Eiropas bioogļu zinātnieki, ieinteresētās personas un ražotāji ir brīvprātīgi vienojušies par sertificētu bioogļu ražošanai piemērotu izejvielu sarakstu. Saraksts un kvalitātes prasības ir publicētas *EBC*. Turklāt Eiropas Komisija ir publicējusi kvalitātes kritērijus bioogļēm, ko izmanto mēslošanas līdzekļos [15]. Katrā Eiropas Savienības dalībvalstī pārtikas nekaitīguma iestādēm ir savi noteikumi, kuri nosaka likumīgos kvalitātes standartus bioogļēm un produktiem, kas sastāv no bioogļēm.

Katra bioogle ir atšķirīga no citas (1. attēls). Kvalitāte ir atkarīga no izejvielām, pirolīzes tehnoloģijas, procesa temperatūras un laika, kā arī no pēcapstrādes tehnoloģijām. Pirms bioogļu izmantošanas ir svarīgi zināt to īpašības, jo dažas var saturēt lielu daudzumu bīstamu vielu, piemēram, polikliskos ogļūdeņražus. Arī bioogļu novecošanās maina to īpašības uzglabāšanas un transportēšanas laikā un vēl būtiskāk – augsnē.



1. attēls. Bioogles no egles (pa kreisi) un bērza (pa labi) izskatās atšķirīgi, jo koksnes sugām ir raksturīgi augšanas gredzeni un koksnes šūnu kompaktums. Foto: Kari Tiilikkala

Kā ražot bioogles?

Bioogļu ražošanas vēsture ir sena, un pirolīzes tehnoloģijas attīstība ir dokumentēta kopš 1600. gada [16, 17].

Bioogļu ražošana var balstīties vai nu uz decentralizētu sistēmu (2. attēls), vai uz liela mēroga bioogļu pirolīzes iekārtām. Pastāv ļoti daudz pirolīzes tehnoloģiju, un katru gadu tiek izstrādātas jaunas sistēmas. Lēnā pirolīze ir viens no piemērotākajiem bioogļu iegūšanas veidiem no sausas augu biomasas. Apmēram 30 % izejvielu var pārvērst bioogļēs.



2. attēls. Divu veidu sērijveida retortes, kas piemērotas decentralizētai bioogļu ražošanai. Foto: Tomo Lapanens (*Tuomo Leppänen*)

Fermu mēroga sērijveida retortēs var saražot aptuveni 1–8 m³ bioogļu vienā piegājienā. Termoķīmiskajā procesā sistēmas uzsildīšanai ir nepieciešama viena diena, bet otra – retortes atdzesēšanai. Sērijveida retorti var papildīt ar dažādu veidu biomasu (sausu), un ar dažādu daļiņu izmēru. Pirolīze ir lieliska tehnoloģija, lai ražotu augstvērtīgus produktus no augu atkritumiem, kas bieži tiek sadedzināti, radot siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijas un vietējās gaisa kvalitātes problēmas. Daudzas no mazajām sērijveida retortēm ir salīdzinoši viegli pārvietot no vienas izejvielu uzglabāšanas vietas uz citu. Pussērijveida retortes parasti nav mobilas, un to jauda ir aptuveni 5 000–10 000 m³ bioogļu gadā. Nepārtraukti darbojošās pirolīzes iekārtas bioogles ražo rūpnieciskā mērogā – 20 000 m³/gadā vai vairāk. Visas tehnoloģijas var izmantot pirolīzes gāzes kā bioenerģijas un pirolīzes šķidrumu ražošanai, lai aizstātu no naftas iegūtas ķīmiskās vielas. Liela mēroga pirolīzes iekārtām ir vajadzīgs vairāk standarta izejvielu nekā mazajām sērijveida retortēm.

Viens no vienkāršākajiem un lētākajiem veidiem, kā saimniecībā ražot augstas kvalitātes bioogles (iespējama arī *EBC premium* klase), ir izmantot cepļus (Kon-Tiki vai līdzīgus) vai pat tikai konusveida augsnes bedres [18]. Šādus vienkāršus cepļus var izmantot dažādu veidu biomasas, tostarp garu zaru vai koksnes atkritumu, pirolīzei. Tie var sasniegt pirolīzes temperatūru līdz pat 650–800 °C grādiem un, ja cepļi tiek labi uzturēti, nerada gandrīz nekādas dūmu vai gāzu emisijas [18,19]. Pirolīzes gāzes tiek gandrīz pilnībā sadedzinātas, pateicoties virpuļsistēmai cepļa augšpusē, un karbonizācija notiek zem liesmu aizkara [18]. Šādas sistēmas galvenais trūkums ir lielais nepārtrauktais darbaspēka patēriņš pirolīzes procesā, kā arī siltumenerģijas un pirolīzes šķidrumu zudumi. Liela mēroga apstākļos nepieciešamību pēc roku darba var ievērojami samazināt, izmantojot traktoros ar frontālo iekrāvēju (3. attēls).



3. attēls. Pa kreisi: Kon-Tiki cepis Tasmānijā (Foto: Franks Strī (*Frank Strie*)), viens no pirmajiem modeļiem karstās bioogles aktivizēšanai ar ūdens dzesēšanu no apakšas uz augšu. Foto no [18]. Pa labi: liela mēroga pirolīze augsnes bedrē ir efektīvs veids, kā bioogles iegūt saimniecībā – tomēr ir ļoti svarīgi darboties ar labu garu instrumentu komplektu biomasas sakārtošanai vienmērīgās kārtās, lai izvairītos no dūmu emisijām. Ieteicams arī augsnes bedres sienas apklāt ar māla apmetumu, lai atvieglotu šķidrā veidā aktivizēto bioogļu savākšanu pēc dzesēšanas. Fermas mēroga pirolīzes pasākums Liperi, Somijā, 2019. gada oktobrī. Foto: Priits Tameorgs (*Priit Tammeorg*)

Lai optimizētu visu materiālu loģistiku, ir svarīgi izvēlēties atbilstošas tehnoloģijas reģionālā līmenī. Izejvielu un bioogļu transportēšanas attālums ir svarīgi faktori bioogļu aprites cikla novērtēšanā un oglekļa neitralitātes nodrošināšanā oglekļa ķēdē, sākot no biomasas savākšanas līdz bioogļu galējam produktam.

Bioogļu cena Eiropā ir ļoti mainīga, jo bioogļu kvalitāte ir atšķirīga un tās tirgus ir nestabils. Sertificētās bioogles, sevišķi ar īpašām funkcijām, ir dārgākas nekā nesertificētas bioogles ar pamata kvalitāti. Ilgtermiņā cena lauksaimniekiem būs pieņemama, ja bioogles varēs ražot, par izejvielu izmantojot vietējo augu biomasu. Arī augu izcelsmes pirolīzes šķidrumu tirgus atvēršanu Eiropā varētu ievērojami samazināt bioogļu cenu.

LIETAS, KAS JĀIEVĒRO IZMANTOJOT CEPLI

- 🔥 Izmantot sausu biomasu, kas nav biezāka par 10 cm;
- 🔥 Pievienot jaunu biomasu plānās kārtās ikreiz, kad biomasas augšējā virsma kļūst pelēka (pelni);
- 🔥 Sagatavot piemērotus instrumentus, lai vienmērīgi sakārtotu biomasas virskārtu (īpaši liela izmēra augsnes bedrēs);
- 🔥 Izvairīties no dūmu izmešiem;
- 🔥 Vēl karstās bioogles dzēst ar ūdeni vai ūdens un virscas maisījumu, lai palielinātu virsmas laukumu un porainību.

Pielietošanas metodes izstrādes fāzē

Ilgajā bioogļu izmantošanas vēsturē ir izstrādātas daudzas bioogļu izmantošanas tehnoloģijas, taču lielākoties tās ir paredzētas neliela mēroga lauksaimniecības sistēmām. Vadlīnijas par bioogļu izmantošanu liela mēroga lauksaimniecībā ir dažādas un balstās vai nu uz vēsturiskām procedūrām, vai uz lauksaimnieku vai pētniecības grupu īstermiņa pieredzi. Tāpēc turpmākajos gados, lauksaimniekiem un konsultantiem labi sadarbojoties, ir jāapgūst zināšanas par bioogļu izmantošanas tehnoloģijām un ilgtermiņa ietekmi. Vairāki pētījumi liecina, ka bioogļu izmantošana pozitīvi ietekmē kultūraugu ražu pat apjomā 5–50 tonnu uz hektāru, bet tikai tad, ja bioogles tiek izmantotas ar atbilstošu barības vielu pārvaldību. Piezīme! Lielākā daļa bioogļu materiālu NAV mēslojums, un, iespējams, vienīgais izņēmums ir kālijs koksnes bioogļēs. Tāpēc nevar gaidīt, ka bioogļu pievienošana bez nepieciešamā slāpekļa (N) un citu barības vielu daudzuma uzlabos kultūraugu ražu. Sākumā vislabāk izmantot ar barības vielām bagātinātas bioogles. Tomēr svarīgākā bioogļu maisījumu ietekme ir saistīta ar augsnes fizikālajām īpašībām, piemēram, porainību un ūdens aizturēšanas spēju vai sinerģiju ar augsnes biotu, nevis ar augu ražas pieaugumu pievienoto barības vielu dēļ. Ideālā gadījumā bioogles būtu jālieto netālu no sakņu zonas, kur notiek barības vielu aprīte un uzņemšana. Dažas augkopības sistēmas var gūt labumu no bioogles izmantošanas slāņos zem sakņu zonas, piemēram, veicot ainavu veidošanu, lai piesaistītu oglekli, vai ja bioogles izmanto mitruma pārvaldībai. Ja bioogles tiek izmantotas augsnē, jo īpaši oglekļa piesaistes nolūkos vai dziļi iesakņojušos koku audzēšanai, augsnē to nepieciešams iestrādāt dziļāk. Lauksaimniecībā bieži izmantotās pielietošanas metodes ir:

- izkaisīšana;
- tradicionālā pievienošana augsnei;
- bioogļu sajaukšana ar citiem cietajiem papildinājumiem;
- bioogļu sajaukšana ar kūtsmēsliem vai šķidrajiem vircas maisījumiem;
- bioogļu mērķtiecīga izmantošana precīzajā lauksaimniecībā vai dārzkopībā.

Bioogļu vienreizēja lietošana var nodrošināt labvēlīgu ietekmi vairāku veģetācijas periodu laikā. Tāpēc bioogles laukam nav jāpievieno katru gadu. Lietošanas sadalīšana pa laikiem ir iespējama atkarībā no kultūrauga un lauksaimniecības sistēmas [20]. Parastas saimniecības tehnika ir pietiekama, lai apstrādātu un pielietotu bioogles (4., 5. attēli), un bioogļu izmantošanas dēļ nav nepieciešams veikt augstu izmaksu ieguldījumus. Bioogles parasti ir viegli materiāli, un atkarībā no ogles mitruma satura un daļiņu izmēra sausais tilpummasas blīvums ir 250–320 kg/m³. Lai kontrolētu putekļus, pirms bioogles uzklāšanas uz lauka ir ļoti svarīgi materiālu samitrināt

līdz apmēram 20–50 % mitruma saturam. Ūdens atvieglo ogļu apstrādi, un dažos tirgos tas var būt nepieciešams drošības apsvērumu dēļ. Lietošanas norādījumi un tirgus cenas ir balstītas vai nu uz bioogļu svaru, vai tilpumu. Praksē tilpums bieži vien ir vēlamāks, jo tad ogles ūdens saturs nemaina cenu. Prakse liecina, ka bioogļu daudzuma noteikšanai labāk izmantot tilpumu. Jāņem vērā, ka bioogļu mīkstsums rada salīdzinoši lielas prasības attiecībā uz vietu to uzglabāšanai un transportēšanai [21].



4. attēls. Kūtsmēslu bioogļu maisījuma izmantošana uz lauka. Foto: Jarmo Pudas



5. attēls. Smilšu izklaidētāja izmantošana tīras skujkoku bioogļu (aptuvenais mitruma sastāvs 30 %) uzklāšanai uz eksperimenta lauka Helsinkos. Pievērsiet uzmanību uzklāšanas precizitātei, ko nodrošina minimālais putekļu daudzums. Foto: Priits Tameorgs

Bioogles produktu izmantošana laukaugu audzēšanā

Laukaugu lauksaimniecībā bioogles var izmantot dažādos veidos, lai risinātu dažādas augsnes problēmas. Pirmais solis ir noteikt iemeslu, kāpēc katrā gadījumā un vietā būtu jāizmanto bioogles. Iemesls var arī būt tikai oglekļa krātuves izveide un augsnes barības vielu zudumu samazināšana caur augsnes izskalošanos un SEG emisijām [22]. Šādā gadījumā normālā deva ir 10–25 t ha⁻¹ (jo vairāk augsnē ir dabīgā oglekļa, jo ievērojamā uzlabojumiem vajadzēs vairāk bioogļu), un lietošanas tehnoloģija jāizvēlas atbilstoši lauksaimniecības sistēmai. Bieži vien lauksaimniekiem ir daudzi citi praktiski iemesli bioogļu izmantošanai, piemēram: 1) uzlabot augsnes struktūru un hidraulisko vadītspēju sablīvētajās lauka daļās, 2) uzlabot augsnes ūdens aizturēšanas spēju un augiem pieejamā ūdens saturu, 3) pievienot augsnei stabilu un porainu oglekļa materiālu, uzlabojot augsnes bioaktivitāti un labvēlīgās augsnes biotas darbību, piemēram, arbuskulāro mikorizu, 4) uzlabot barības vielu ciklus, uzlabojot mēslojuma lietošanas efektivitāti un ierobežojot augu barības vielu izskalošanos no lauka, 5) novērst augsnes toksisko ķīmisko vielu ietekmi. Otrais solis ir izvēlēties bioogles, kas izgatavotas vēlamajam mērķim. Trešais solis ir izlemt, kā iegūt atbilstošās bioogles

un kā tas izmantot. Lai izvairītos no slāpekļa sākotnējās imobilizācijas ar svaigi uzklātām biooglēm, pareizais laiks bieži vien ir pirms lietus sezonas vai pat rudenī pirms tās. Praksē ar barības vielām bagātinātas bioogles (kompostētas vai sajauktas ar kūtsmēsliem u. c.) izmantošana bieži vien ir visizdevīgākais veids, ja to izmanto pirms augšanas perioda. Bioogļu izmantošanu varētu saistīt arī ar kaļķošanu, jo tās ietekme un izmantošanas tehnoloģija ir līdzīga [23]. Bioogļu daļiņu izmēram jābūt 2 mm vai lielākam. Putekļi lietotājam ir problēma, un, ja nav laika bioogles sajaukt augsnē tūlīt pēc uzklāšanas, sīkās daļiņas izplatīsies vējā vai pēc spēcīga lietus izskalosies. Ziemeļeiropas augsnēs ar augstu oglekļa saturu (vairāk nekā 2 %) un barības vielām bagātās augsnēs parasti nav sagaidāma būtiska kultūraugu ražas uzlabošanās – izteiktāka ražas reakcija ir augsnēs ar zemu C līmeni [63]. Arī tad, ja bioogles ar augstu kaļķošanas spēju (nekoksnes bioogles) izmanto skābās augsnēs, to kaļķošanas efekts bieži vien uzlabo kultūraugu ražas [24]. Tomēr vissvarīgākā ietekme būtu jānovērtē lauka augsnes ekosistēmā vairāku gadu laikā pēc tā pievienošanas. Ja ir novērotas pozitīvas izmaiņas, pievienošanu var atkārtot katru trešo vai ceturto gadu [25].

Nesen lauksaimniekiem izstrādāja lēmumu pieņemšanas atbalsta rīku, lai palīdzētu novērtēt bioogļu nepieciešamību viņu zemēs vai kā jaunu lauksaimniecības sistēmas produktu [26]. Tā kā ar barības vielām bagātinātām biooglēm ir daudzfunkcionāla ietekme, graudaugu un laukaugu

audzētājiem ir ļoti ieteicams vairāk sadarboties ar lopkopjiem. Bioogles, kas bagātinātas ar barības vielām, reģionāli var ražot arī rentablā veidā. Sadarbība nodrošinās oglekļa apsaimniekošanu un klimatam labvēlīgu lauksaimniecību, kā arī uzlabos pārtikas sistēmu noturību.

Kompostēšana

No praktiskā viedokļa bioogļu izmantošana kompostēšanā ir viena no uzticamākajām tehnoloģijām, lai no viena pielietojuma iegūtu daudz priekšrocību. Tas ir vienkāršākais veids, kā bagātināt bioogles ar barības vielām un mikrobiem. Bagātinātas bioogles uzlabo augsnes produktivitāti gandrīz katrā vietā. Novecojušas un bagātīgas bioogles ir labāki augsnes veselības uzlabotāji nekā svaigas un sausas bioogles [27]. Pirmais solis ir veikt neliela mēroga eksperimentu ar pašu saimniecības biomasu, lai kompostētajā maisījumā iegūtu pareizu oglekļa un slāpekļa (C/N) attiecību. Attiecībai jābūt apmēram 100:1. Bioogļu saturs svārstās no 3 līdz 25 % (tilpums) atkarībā no slāpekļa satura biomasā. Kompostā vienmēr ir jākontrolē ūdens saturs (izspiešanas tests). Paņemiet sauju komposta un izspiediet ūdeni. No tā nevajadzētu varēt izspiest ūdeni, bet, atverot roku, jābūt pietiekami daudz ūdens, lai materiāls turētos kopā. Pirmajā nedēļā temperatūru mēriet katru dienu, bet pēc tam reizi nedēļā aptuveni mēnesi. Pirms komposta atdzišanas un sacietēšanas fāzes temperatūrai vismaz 14 dienas jābūt 55 °C. Pēc trim mēnešiem paņemiet bioogļu komposta maisījuma paraugus, lai veiktu laboratoriskas analīzes. Jāmēra barības vielu daudzums, C:N attiecība un komposta stabilitātes tests (CO₂ elpošana). Pirms komposta izmantošanas nitrātu (NO₃) saturam jābūt augstākam par amonija (NH₄) saturu. Pirms komposta sistēmas paplašināšanas, kuras pamatā ir bioogles, būtu jāveic komposta kvalitātes bioraudzes tests. Šāds tests pirms jauna komposta maisījuma izmantošanas būs vērtīgs vienmēr [28]. Bioogļu komposta lietošanas deva jāaprēķina, pamatojoties uz kultūraugu mēslošanas vajadzībām un barības vielu saturu kompostā.

Lopkopība

Liela daļa Eiropā ražoto bioogļu tiek izmantotas lopkopībā. Bioogles var sajaukt ar barību, pievienot pakaišiem vai izmantot vircas un kūtsmēsļu apstrādei [29]. Bioogļu iejaukšana liellopu barībā ir ieteikta jau sen. Ir publicēti gari pozitīvās ietekmes saraksti, taču labas un mājlopu sugām specifiskas pamatnostādnes par bioogļu kā barības piedevas izmantošanu ir nelielas [30]. Par negatīviem efektiem, bioogles izmantojot kā barības piedevu, nav ziņots [31]. Svarīgākais solis bioogļu kā barības sastāvdaļas izmantošanas sākumā ir pārliecināties, ka ogļu kvalitāte ir pietiekami laba, lai tās varētu izmantot kā dzīvnieku barību. Uz biooglēm, kuras izmanto kā barības sastāvdaļu, attiecas stingri pārtikas kvalitātes noteikumi saskaņā ar EK Regulu 178/2002 un stingri noteikumi par bioloģisko lopbarību saskaņā ar EK Regulu 834/2007. EBC sertifikāts ietver īpašus kvalitātes kritērijus biooglēm, ko izmanto kā barības piedevas [14]. Bioogļu procentuālais daudzums barībā svārstās no 0,5 līdz 2 %, un dienas deva ir atkarīga no mājlopu sugām. Lai iegūtu informāciju par bioogļu izmantošanu lopkopībā, pirms lietošanas uzsākšanas vienmēr konsultējieties ar vietējiem konsultantiem. Vienkāršs un praktisks veids, kā izmantot bioogles, ir tās izmantot kopā ar pakaišu materiāliem (salmiem vai zāgskaidām). 5-10 % ogļu (tilpums) samazina smakas un barības vielu zudumus [32]. Attiecīgi 0,1 % bioogles (m/m) pievienošana šķidrājiem kūtsmēsliem samazināja smakas, virsmas garozas veidošanos un barības vielu zudumus [33]. Bioogli 13 % apjomā var pievienot liellopu vircai un pēc tam izmantot uz lauka – 4 m³ bioogļu uz ha⁻¹. Ir pierādīts, ka šī procedūra efektīvi samazina kopējās NH₃-emisijas, N₂O-emisijas un CH₄-emisijas [34]. Bioogles var pievienot kūtsmēsliem arī pēc tam, kad tie ir izvākti no kūtīm. Visefektīvākais veids ir bioogļu izmantošana tieši kūtī, kur tās var uzņemt slāpekli no urīna un kūtsmēsliem jau to rašanās laikā. Viens no potenciālajiem veidiem, kā izmantot bioogles barības vielu atgūšanai, ir bioogļu slāņa izmantošana sedimentācijas lagūnās un barības vielu atgūšana no piena pārstrādes notekūdeņiem [35]. Jauna iespēja ir izmantot bioogles biogāzes ražošanā, lai kontrolētu mitruma saturu izejvielā un pielāgotu C/N attiecību, lai tā būtu optimāla fermentācijas procesam [36, 37]. Ar hidrolizātu bagātinātas bioogles palīdz uzturēt augsnes auglību, uzturot augstu augsnes organisko vielu daudzumu un pakāpeniski izdalot mikroelementus [38].

Dārzkopība

Nav iespējams sniegt vienotu padomu par to, kā bioogles izmantot dārzkopībā. Dārzu kultūru skaits ir milzīgs, un visām augu sugām ir nepieciešams atšķirīgs ūdens un barības vielu daudzums. Turklāt katra augsne un augšanas substrāts ir atšķirīgs, un vispārējais noteikums ir tāds – jo

nabadzīgāka augsne ir sākotnēji, jo labāks būs efekts. Ir zināms, ka, izmantojot 20 t bioogļu uz ha kopā ar N mēslojumu, ražas pieaugums bijis pozitīvs [39]. Nepālas izmēģinājumos labs efekts tika panākts, bioogles pievienojot tuvu augu saknēm, nevis izkliešot tās uz visa lauka (6. attēls). Tas šo praksi padara arī rentablāku [40].



6. attēls. Kūtsmēsļu un bioogļu maisījuma izmantošana rindu kultūrām Sīnājas pussalas ziemeļos. Foto: *Magdy Maher Mohamed*

Turklāt bioogles var izmantot siltumnīcās, lai augšanas substrātā aizvietotu kūdras un perlītu [41, 42, 43], kā arī hidroponiskajā dārzu audzēšanā [44, 45]. Daudzgadīgajā dārzkopībā bioogļu izmantošana ir vērtīga tikai tad, ja augu augšanu ierobežo zema augsnes auglība vai ūdens trūkums. Dažas bioogles palīdz kontrolēt problēmas, kas saistītas arī ar sāluma stresu. Ir maz informācijas par bioogļu ietekmi uz koku sakņu attīstību, ja tie pēc bioogļu izmantošanas auguši vairākus gadus [46, 47, 48]. Bioogļu produktu lietošana kā ražas palielināšanas veids uz augsnes virsmas ap kokiem nav ieteicama [49].

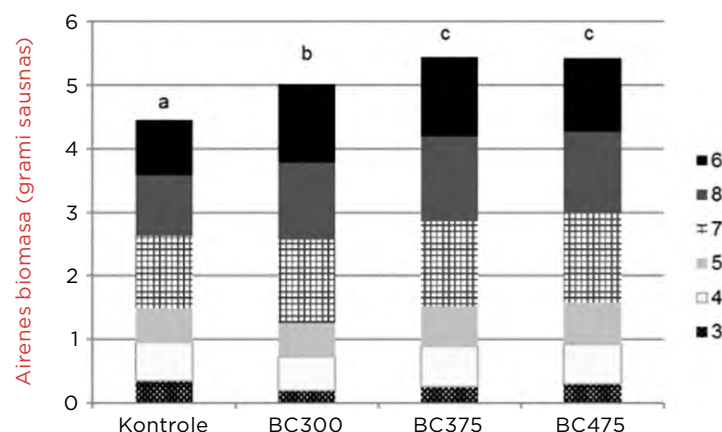
Daudzās pozitīvās ietekmes

Bioogles var izmantot daudzus veidos, un tāpēc ir ziņots par daudzām atšķirīgām ietekmēm. Dažas no ietekmēm ir zinātniski pamatotas, bet daudzas no tām ir komerciālas prasības un funkcijas, ko lauksaimnieki ir pamatījuši ilgajā bioogļu izmantošanā lauksaimniecībā. Ir acīmredzams, ka bioogļu pievienošana augsnei ir efektīva tehnoloģija, lai laukus kā oglekļa piesaistītājus izmantotu ilgu laiku [50]. Viens kilograms bioogļu atbilst aptuveni 3,5 kg CO₂ ekvivalenta neto negatīvajai vērtībai oglekļa piesaistē, kas ir atkarīgs no bioogļu kvalitātes [51]. Bioogļu ražošana un izmantošana

ir klimatam labvēlīgas tehnoloģijas [52, 53, 54], īpaši, ja var izmantot visus biomasas pirolīzes produktus [55]. Papildu oglekļa piesaistei bioogļu pievienošana lauksaimniecības augsnē mazina klimata pārmaiņas, jo samazina siltumnīcefekta gāzu emisijas no augsnes [22, 56, 57].

Raža atšķiras katrā gadījumā

Izmantojot bioogles (bez pievienotām barības vielām) uz lauka, ražas lielums ir ļoti mainīgs un ir atkarīgs no augsnes tipa, sākotnējā C satura un barības vielu pieejamības. Ir ziņots gan par negatīvu, gan pozitīvu ietekmi. Pozitīva ražas reakcija ir iespējama laukos, kur augsnes auglība ir ierobežota, jo augsnē ir maz organisko vielu, trūkst ūdens, vai tā ir sausa, un augsnēs, kur sāļums vai toksiskas ķīmikālijas augiem rada stresu. Izmantojot augstas kalpošanas spējas bioogles, skābās augsnēs ražas pieaugums ir acīmredzams [58]. Dārzenkopībā un tropu lauksaimniecības apstākļos ar zema C satura augsnēm pozitīva ražas ietekme parasti ir vēl acīmredzamāka [59]. Ziemeļvalstīs sākušī parādīties pirmie īstermiņa (līdz četriem gadiem) zinātnisko lauka eksperimentu rezultāti [60, 61, 62], bet ilgtermiņa ietekme joprojām ir nepietiekama. Pirmo gadu rezultāti ilgtermiņa lauka eksperimentos ar biooglēm no Helsinkiem, Somijā, atklāja, ka boreālās augsnēs, kurās sākotnējais C saturs pārsniedz 3 %, bija pazīmes, kas liecināja par labāku augsnes ūdens pieejamību un kālija saturu, kas veicināja augu ražas veidošanos sausuma apstākļos, tomēr ietekme uz graudu ražu nebija būtiska [60, 61]. Vienīgā labi pamatotā bioogļu ietekme uz auglīgām augsnēm ir oglekļa uztveršana, 10 t bioogļu pievienošana uz ha⁻¹ var palielināt neto ekosistēmas C-budžetu par aptuveni 5 Mg C ha⁻¹ [64]. Hagnera un



7. attēls. Aīrenes kumulatīvā biomasa (grami sausas/pods) kontroles BC300, BC375 un BC475 apstrādātajos pods ar atsevišķām ražām (3., 4., 5., 7., 8. un 10. nedēļā pēc iesēšanas) pie 80 t uz ha bioogļu pievienošanas. Bioogles BC300 tika ražotas 300 °C temperatūrā, BC375–375 °C temperatūrā un BC475–475 °C temperatūrā.

citi (2016) [65] īstermiņa siltumnīcas eksperimentā ir pierādījuši, ka sausās bioogles izmantošana var samazināt to kultūraugu ražu, kas audzēti tūlīt pēc bioogles izmantošanas, bet var palielināt to kultūraugu ražu, kuri tiek audzēti pēc vairāku nedēļu vai mēnešu inkubācijas perioda. Bioogļu novecošana un augsnes organismu sinerģija laika gaitā uzlabo augsnes veselību un auglību. Attēls (7. attēls) no šī pētījuma parādīja, ka bioogles palielināja aīrenes ražas kumulatīvo summu (sešas ražas novākšanas reizes), lai gan pirmo divu griezumū raža bija zemāka nekā neapstrādātos kontroles pods (7. attēls.). Ražu ietekmēja arī bioogles pirolīzes temperatūra. 300 °C temperatūra ir pārāk zema, lai ražotu augstas kvalitātes bioogles.

Ļoti bieži ir ziņots par pozitīvu ražas pieaugumu, ja ir izmantotas ar barības vielām bagātinātas bioogles [38, 40]. Turklāt bagātinātas bioogles efektīvi palielina augsnes organiskās vielas. Bioogles ir lēnas izdalīšanās mēslojums, un ogles imobilizē smagos metālus. Daudzos gadījumos bagātinātas bioogles varētu daļēji aizstāt pieprasījumu pēc ķīmiskajiem mēslošanas līdzekļiem un veicināt bioloģisko lauksaimniecību. Bioogļu dabiskā novecošana augsnē var palielināt augsnes fermentatīvo aktivitāti un līdz ar to arī ilgtermiņā palielināt barības vielu pieejamību [66].

Kompostēšana

Bioogļu pozitīvā ietekme uz kompostēšanas procesu un komposta kvalitāti ir labi pamatota daudzās pētnieciskās publikācijās. Bioogles paātrina kompostēšanas procesu un samazina SEG emisijas. Bioogles var būt bagātas ar barības vielām un mikrobiem, kas uzlabo augsnes veselību un auglību [67, 68, 69]. Ir plaši zināms, ka kompostētā materiāla baktēriju kopienū var efektīvi uzlabot [70]. Siltumnīcu iekārtošanā ir svarīgi zināt, ka kūdrū un perlītu var aizstāt ar biooglēm kā augšanas substrāta sastāvdaļu [42].

Ūdensietilpības un ūdens izmantošanas efektivitātes uzlabošana

Viena no nozīmīgākajām ietekmēm ir ūdensietilpības kapacitātes un ūdens izmantošanas efektivitātes uzlabošana ar biooglēm uzlabotās augsnēs. Vairāk gan augsnēs, kurās sākotnēji ir zems C saturs (mazāk nekā 1 %). Tas būs ļoti svarīgi klimatā ar biežākiem sausuma periodiem [71, 72, 73, 74]. Daudzos gadījumos bioogļu izmantošana samazina vajadzību pēc apūdeņošanas [75] un ar ilgtermiņa ietekmi uzlabo augsnes veselību, auglību un struktūru [76, 77, 78]. Bioogles var uzlabot labvēlīgu mikroorganismu aktivitātes stimulēšanu augsnē [79, 80], nodrošinot labvēlīgas dzīvotnes baktērijām un sēnēm [81]. Bioogles var izmantot kā labvēlīgu mikroorganismu

nesēju un palielināt arbuskulārās mikorizas lomu ap sakņu sistēmām. Visi šie organismi uzlabo sakņu veselību un barības vielu un ūdens uzņemšanu. Tā ir ļoti svarīga ietekme bioloģiskajā lauksaimniecībā un visos gadījumos, kad sintētisko mēslošanas līdzekļu intensīva izmantošana būs ierobežota [82]. Pesticīdu atlieku sorbcija no piesārņotām augsnēm ir plaši pamatota. Tas ir viens no svarīgākajiem iemesliem globālajai interesei par bioogļu izmantošanu lauksaimniecībā [83, 84]. Bioogles uzlabo augsnes katjonu apmaiņas spēju, barības vielu sorbciju, un tās var izmantot, lai no piena pārstrādes notekūdeņiem uztvertu barības vielas. Var izstrādāt jaunas tehnoloģijas, lai samazinātu barības vielu izskalošanos no "barības vielu karstajiem punktiem" uz ūdens sistēmām [85].

Ietekme uz lopkopības veselību un vidi

Bioogļu izmantošana un ietekme lopkopībā 2019. gadā labi aprakstījis *Schmidt* un citi [86]. Bioogles biomasas ķēdē var izmantot dažādos veidos – no dzīvnieku barošanas līdz pievienošanai atpakaļ augsnes ekosistēmā. Autori uzskaitīja šādas pozitīvas ietekmes:

- kopumā uzlabota veselība un izskats;
- uzlabota vitalitāte;
- uzlabota tesmeņu veselība;
- samazināts šūnu skaits pienā (pārtraucot bioogles lietošanu, palielinās šūnu skaits un samazinās produktivitāte);
- nagu problēmu samazināšana līdz minimumam;
- pēcdzemdību veselības stāvokļa stabilizācija;
- caureja samazinās 1–2 dienu laikā, fekālijas pēc tam parasti ir cietākas;
- mirstības līmeņa samazināšanās;
- piena olbaltumvielu un/vai tauku satura palielināšanās;
- bioogļu un skābētu kāpostu sālsūdens apvienošana ir izrādījusies vērtīga;
- ievērojami uzlabota vircas viskozitāte, mazāk nepieciešams to maisīt un uz virsmas ir mazāk putu;
- virca vairs neoz tik slikti kā agrāk.

Barības papildināšana ar biooglēm samazina dzīvnieku patogēnus [87, 88, 89], parazītu sastopamību [90] un nodrošina toksīnu sorbciju no barības [91]. Var samazināt pat pesticīdu atlieku un mikotoksīnu risku [92, 93]. Attīstot klimatam labvēlīgu lauksaimniecību, ir ļoti svarīgi samazināt lopkopības ietekmi uz etāna emisijām. Praksē ir svarīgi arī uzlabot šķidro kūtsmēslu viskozitāti un samazināt kūtsmēslu smaku [94]. No apkārtējās vides viedokļa ir svarīgi, lai barības piedeva ne tikai palielinātu barības efektivitāti, bet arī palielinātu kūtsmēslu barības vielu pieejamību, aizsargātu gruntsūdeņus un virszemes ūdeņus un augsnē piesaistītu oglekli [95]. Kaskādes veida pieeja bioogļu izmantošanai lopkopībā maksimāli palielinās uz ogļēm balstītu tehnoloģiju ietekmi un uzlabos ekonomisko efektivitāti [96].

Vairākas kūtsmēslu apstrādes funkcijas

Bioogļu izmantošanai kūtīs ir daudzas funkcijas, piemēram, efektīva slāpekļa uztveršana, kas citādi tiek zaudēta amonjaka iztvaikošanas dēļ, un amonjaka un citu smaku samazināšana. Bioogļu pievienošana kūtsmēsliem, izmantojot barību vai pakaišu materiālus, ir efektīva tehnoloģija ar kūtsmēsliem saistīto siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanai [97, 98]. Bioogļu izkaisīšana uz apstrādātas augsnes samazina barības vielu izskalošanos no lauka uz ūdens sistēmām [99, 100, 101].

Pamatojoties uz zināmo ietekmju kombināciju, var secināt, ka bioogles ir augu augšanu veicinošs augsnes papildinājums, kas uzlabo barības vielu pārstrādi no lopkopības organiskajām atliekām un būs svarīga oglekļa apsaimniekošanas sistēmu sastāvdaļa.

Joprojām pastāv arī neskaidrības

Kopējais publikāciju skaits par kokoglēm un biooglēm no 1998. līdz 2017. gadam ir 17 000 [102]. Lielākā daļa dokumentu ir balstīti uz zinātnisko darbu, kas veikts laboratorijā vai eksperimentālā parauglaukumā. Dati ir reģistrēti īsā laikā, salīdzinot ar laiku, kas nepieciešams, lai reģistrētu izmērāmas izmaiņas augsnes ekosistēmā. Ļoti bieži trūkst izmantoto bioogļu kvalitātes parametru vai par tiem tiek ziņots minimāli. Lai pieņemtu lēmumus saimniecību līmenī, no praktiskā viedokļa nenoteiktība ir mērena. Visdrošākie rezultāti ir saistīti ar oglekļa piesaisti, SEG emisijām, ūdens izmantošanas efektivitāti un augsnes bioaktivitātes un organisko vielu uzlabošanu. Arī rezultāti par kompostēšanas procesa uzlabošanu ir ļoti ticami. Vismainīgākās ir ietekmes uz kultūraugu ražu, jo augu augšana ir atkarīga no daudziem abiotiskiem un biotiskiem faktoriem katrā gadījumā un vietā. Ilgtermiņa izmaiņas augsnes ekosistēmās pēc bioogles izmantošanas ir

gandrīz nezināmas (sāk parādīties tikai pirmie raksti par ietekmi desmitgades mērogā [11], un galvenokārt balstās uz nepārbaudītiem modeļiem un vēsturiskiem datiem. Tāpēc steidzami ir nepieciešami izmēģinājuma projekti lauku saimniecību mērogā, lai aizpildītu zināšanu robos un praktiskās vadlīnijas nākotnē kļūtu par praksi, kas balstīta uz pierādījumiem.

Reģionālās koncepcijas – attīstības pamats

Pirms bioogļu ražošanas un izmantošanas palielināšanas reģionālā mērogā ir ļoti vērtīgi izstrādāt ģenerālpānu vai koncepciju, kā organizēt bioogļu ražošanu un izmantošanu kā daļu no oglekļa apsaimniekošanas sistēmām. Ir jābūt labām zināšanām par: 1) pirolīzei pieejamo augu materiālu reģionā, 2) izejvielu un pirolīzes produktu transportēšanai nepieciešamo loģistikas kapacitāti, 3) reģionā pieejamajām pirolīzes tehnoloģijām, 4) potenciālajiem bioogļu lietotājiem reģionā, 5) nepieciešamo bioogļu veidu un kvalitāti, 6) potenciālajiem investoriem un politiskajiem virzītājspēkiem oglekļa apsaimniekošanai un klimatam draudzīgas lauksaimniecības attīstībai, 7) reģionālo tirgus ķēžu atbalstu pārtikas sistēmu attīstībai un oglekļa apsaimniekošanai.

Labā lauksaimnieku un citu galveno dalībnieku sadarbība reģionālā mērogā var veicināt pastāvīgas izmaiņas augu biomasas izmantošanā un jaunas bioekonomikas attīstību. Viena no svarīgākajām ietekmēm ir saistīta ar pirolīzes tehnoloģijas izmantošanu kā atkritumu apsaimniekošanas tehnoloģiju un bioogļu ražošanu kā klimatam labvēlīgu alternatīvu biomasas dedzināšanai [103, 104]. Eiropas lauksaimniecības sistēmas saskaras ar pieaugošām bažām par noturību pret daudzu veidu satricinājumiem un stresiem [105]. Bioogļu ražošana un izmantošana varētu būt daļa no pārtikas ražošanas sistēmas līmeņa pārveides, kuras pamatā ir fosilā nafta, uz sistēmu, kas ilgtermiņā veicinātu reģionālo nodrošinātību ar pārtiku. Jebkurā gadījumā globālā sasilšana turpināsies vēl daudzus gadus desmitus, un klimata pārmaiņu migrācija padarīs noturības jautājumus arvien svarīgākus arī Eiropā.

Literatūra

1. Cowie Annett, Van Zwieten Lukas, Pal Singh Bhupinder, Anaya de la Rosa Ruy. (2017). Biochar as a strategy for sustainable land management and climate change mitigation. 2017. GLOBAL SYMPOSIUM ON SOIL ORGANIC CARBON, Rome, Italy, 2017 21-23 March. Pieejams: <http://www.fao.org/3/a-br997e.pdf>
2. FAO (2013) Climate-smart agriculture: sourcebook. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. 2013. Pieejams: <http://www.fao.org/3/i3325e/i3325e.pdf>

3. FAO (2018) *Climate-smart agriculture training manual – A reference manual for agricultural extension agents*. Rome 2018; 106 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <http://www.fao.org/3/CA2189EN/ca2189en.pdf>
4. Smith P. (2016) Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies. *Global change biology* 2016; 22(3), pp.1315-1324.
5. Singh B. P., Fang Y, Boersma M., et al. (2015) In Situ Persistence and Migration of Biochar Carbon and Its Impact on Native Carbon Emission in Contrasting Soils under Managed Temperate Pastures. *PLoS ONE* 10(10): e0141560. Pieejams: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141560>.
6. Cayuela M. L., van Zwieten L., Singh B. P., et al. (2014) Biochar's role in mitigating soil nitrous oxide emissions: A review and meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2014; 191, 5-16. Special report: global warming of 1.5 °C. SR15. Pieejams: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.009>
7. Woolf D., Amonette J. E., Street-Perrott F. A., et al. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications* 2010; vol 1, No56. Pieejams: DOI: 10.1038/ncomms1053
8. Emily Wayne (2012). Conquistadors, cannibals and climate change A brief history of biochar. Pro-Natura International 2012. Pieejams: <http://www.pronatura.org/wp-content/uploads/2012/07/History-of-biochar.pdf>
9. Rasul F., Gull U, Rahman M. H., Hussain Q., Chaudhary H. J., Matloob A., Shahzad S., Iqbal S., Shelia V., Masood S. and Bajwa H. M. (2016). Biochar an emerging technology for climate change mitigation. *Journal of Environmental & Agricultural Sciences*. 2016. 9: 37-43. Pieejams: <http://www.agropublishers.com/files/JEAS%209%206a.PDF>
10. Ecologic institute EU 2019. Carbon Farming Schemes in Europe – Roundtable . A video recording of the Roundtable. Pieejams: <https://www.ecologic.eu/16816>
11. Kätterer, T., Roobroeck, D., Andrén, O., Kimutai, G., Karlton, E., Kirchmann, Nyberg, G. Vanlauwe, B. de Nowina, K.R. (2019). Biochar addition persistently increased soil fertility and yields in maize-soybean rotations over 10 years in sub-humid regions of Kenya. *Field Crops Research*, 235, 18-26.
12. DeLuca T. H. and Gao S. (2019). Use of biochar in organic farming. In eBook: Eds. C. Sarath Chandran, Sabu Thomas, M. R. Unni. editors. *Organic Farming: New Advances Towards Sustainable Agricultural Systems*; 2019.
13. Husk Barry and Major Julie (2010). Commercial scale agricultural biochar field trial in Québec, Canada, over two years: Effects of biochar on soil fertility, biology, crop productivity and quality 2010; BlueLeaf Solutions for the Environment. 2010; p. 1 -33
14. EBC (2012) 'European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.' European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. <http://www.europeanbiochar.org/en/download>. Version 8.3E of 1st September 2019, DOI: 10.13140/RG.2.1.4658.7043)
15. Huygens D., Saveyn HGM, Tonini D., Eder P., Delgado Sancho L. (2019) Technical proposals for selected new fertilising materials under the Fertilising Products Regulation (Regulation (EU) 2019/1009) – Process and quality criteria, and assessment of environmental and market impacts for precipitated phosphate salts & derivatives, thermal oxidation materials & derivatives and pyrolysis & gasification materials, EUR 29841 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-09888-1. Pieejams: doi:10.2760/186684, JRC117856.
16. Garcia-Perez M., Lewis T., Kruger CE (2010). Methods for producing Biochar and Advanced Biofukles in Washington State. Part 1: Literature review of pyrolysis reactors. First project report. Department of biological systems engineering and the center for sustaining agriculture and natural resources, Washington State University, Pullman, WA, 137.

17. Bruckman V. J., Varol E. A., Uzun B. B., Liu J. (2017). Biochar: A Regional Supply Chain Approach in View of Climate Change Mitigation. 2017; 1-125
18. Schmidt H. P., Taylor P. (2014): Kon-Tiki flame cap pyrolysis for the democratization of biochar production, the Biochar-Journal 2014, Arbaz, Switzerland, pp 14 -24, www.biochar-journal.org/en/ct/39
19. Cornelissen, G., Pandit, N. R., Taylor, P., Pandit, B. H., Sparrevik, M., & Schmidt, H. P. (2016). Emissions and char quality of flame-Curtain" Kon Tiki" kilns for farmer-scale charcoal/biochar production. *PLoS one*, 11(5).
20. Rajakumar R. and Jayasree Sankar S. (2016). Biochar for Sustainable Agriculture - A Review International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture (IJAPSA) 2016; Volume 02, Issue 09, p. 173-184.
21. Brewer C. E., Levine J. (2015). *Weight or Volume for Handling Biochar and Biomass?*, the Biochar Journal 2015, Arbaz, Switzerland. ISSN 2297-1114 www.biochar-journal.org/en/ct/71
22. Borchard N., Schirrmann, M., Cayuela M.L., Kammann C., Wrage-Mönnig N., Estavillo, J.M., Fuertes-Mendizábal T., Sigua G., Spokas K., Ippolito J. A., Novak J. (2019). Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N2O emissions: a meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 651, 2354-2364.
23. Hale S. E., Nurida N. L., Jubaedah, *et al.* (2020). The effect of biochar, lime and ash on maize yield in a long-term field trial in a Ultisol in the humid tropics, *Science of the Total Environment* 2020; <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137455>
24. Jeffery S., Abalos D., Prodana M., Bastos AC., van Groenigen J., Hungate BA., and Verheijen F. (2017). Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environ. Res. Lett.* 2017; 12, 053001. Pieejams: DOI: 10.1088/1748-9326/aa67bd
25. Shane M. Troy & Peadar G. Lawlor & Cornelius J. O' Flynn & Mark G. Healy (2014). The Impact of Biochar Addition on Nutrient Leaching and Soil Properties from Tillage Soil Amended with Pig Manure. *Water Air Soil Pollut.* 2014; 225:1900. Pieejams: DOI 10.1007/s11270-014-1900-6.
26. Phillips C. L., Light S. E, Lindsley A. et al.(2020). Preliminary evaluation of a decision support tool for biochar amendment. *Biochar* 2020; Pieejams: <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00037-3>
27. Cambs M. and Tomlinson T. (2015). Use of biochar in composting. International Biochar Initiative. February 2015. Pieejams: https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/Compost_biochar_IBI_final.pdf
28. Emino E. R. & Warman P. R. (2004). Biological Assay for Compost Quality, *Compost Science & Utilization* 2004; 12:4, 342-348, DOI: 10.1080/1065657X.2004.10702203
29. Gerlach A., Schmidt H. P. (2014). *The use of biochar in cattle farming*, the Biochar Journal 2014; Arbaz, Switzerland. ISSN 2297-1114 www.biochar-journal.org/en/ct/9
30. Haring F., Mitt F. D. (1937). *Landwirtschaft* 52 (1937)S.308-309 Hrsg: Reichsnährstand Accessed: 22.02.2020 <https://www.biochar-journal.org/en/ct/9>
31. Barth und Zucker (1955): *Z.f. Tierernährung und Futtermittelkunde* 10 (1955); p.300-307
32. O'Toole A., Andersson D., Gerlach A., Glaser B., Kammann C., Kern J., Kuoppamäki K., Mumme J., Schmidt H.-P., Schulze M., Srocke F., Stenrod M., Stenström J. (2016). Current and future applications for biochar. In: Shackley S, Ruysschaert, G, Zwart K, Glaser B, editors. *Biochar in European soils and agriculture*. Science and Practice. Oxon: Routledge. p. 253-280.
33. Schmidt H. P. (2014) Treating liquid manure with biochar. *Ithaka Journal* 1/ 2012: 273-276 (2012); Delinat-Institute for Ecology and Climatefarming, CH-1974 Arbaz www.delinat-institut.org,. ISSN 1663-0521. Pieejams: www.ithaka-journal.net

34. Brennan R. B., Healy M. G., Fenton O., Gary J., Lanigan G. J. (2015). The Effect of Chemical Amendments Used for Phosphorus Abatement on Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Dairy Cattle Slurry: Synergies and Pollution Swapping. *PLOS ONE*. Pieejams: DOI:10.1371/journal.pone.0111965
35. Ghezzehei T. A., Sarkhot D. V. and Berhe A. A. (2014). Biochar can be used to capture essential nutrients from dairy wastewater and improve soil physico-chemical properties. 2014; *Solid Earth*, 5, p. 953-962. Available from: <https://www.solid-earth.net/5/953/2014/>
36. Inthapanya S., Preston T. R., Leng R. A. (2012). Biochar increases biogas production in a batch digester charged with cattle manure. 2012; *Livestock Research for Rural Development* 2012 Vol.24 No.12 pp.
37. Meyer-Kohlstock D., Haupt T., Heldt E., Heldt N. and Kraft E. (2016). Biochar as Additive in Biogas-Production from Bio-Waste. 2016; *Energies* 9, 247; doi:10.3390/en9040247
38. Simon Kizito, Hongzhen Luo, Jiaxin Lu, Hamidou Bah 3, Renjie Dong and Shubiao Wu. (2019) Role of Nutrient-Enriched Biochar as a Soil Amendment during Maize Growth: Exploring Practical Alternatives to Recycle Agricultural Residuals and to Reduce Chemical Fertilizer Demand. *Sustainability* 2019; 11, 3211; doi:10.3390/su11113211
39. Junxiang Jia, Bo Li, Zhaozhi Chen, Zubin Xie & Zhengqin Xiong (2012): Effects of biochar application on vegetable production and emissions of N2O and CH4. *Soil Science and Plant Nutrition* 2012; 58:4, 503-509 Pieejams: <http://dx.doi.org/10.1080/00380768.2012.686436>
40. Schmidt H. P., Pandit, B. H., Martinsen V., Cornelissen G., Conte P., & Kammann C. I. (2015). Fourfold increase in pumpkin yield in response to low-dosage root zone application of urine-enhanced biochar to a fertile tropical soil. *Agriculture*, 5(3), 723-741.
41. Northup J. (2013) Biochar as a replacement for perlite in greenhouse soilless substrates. Iowa State University Graduate Theses and Dissertations. Pieejams: <https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4406&context=etd>
42. Nemati M. R., Simard F., Fortin J.-P., and Beaudoin J. (2014). Potential Use of Biochar in Growing Media. *Vadose Zone Journal* 2014; 14(6) DOI: 10.2136/vzj2014.06.0074
43. Jürgen K., Tammeorg P., Shanskiy M., Sakrabani R., Knicker H., Kammann C., Tuhkanen E.-M., Smidt GM., Prasad M., Tiilikkala K., Sohi S., Gascó G., Steiner C. & Glaser B (2017). Synergistic use of peat and charred material in growing media – an option to reduce the pressure on peatlands?, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 2017; 25:2, 160-174, DOI: 10.3846/16486897.2017.1284665.
44. Yasser Mahmoud Awad, Sung-Eun Lee, Mohamed Bedair M. Ahmed, Ngoc Thang Vu, Muhammad Farooq, Il Seop Kim, Hyuck Soo Kim, Meththika Vithanage, Adel Rabie A. Usman, Mohammad Al-Wabel, Erik Meers, Eilhann E. Kwon, Yong Sik Ok (2017). Biochar, a potential hydroponic growth substrate, enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables. *Journal of Cleaner Production*. 2017; 156. p. 581-588
45. Dunlop S. J., Arbestain M. C., Bishop P. A., and Wargent J. J. (2015). Closing the Loop: Use of Biochar Produced from Tomato Crop Green Waste as a Substrate for Soilless, Hydroponic Tomato Production. 2015; *HortScience* 50:1572-1581. Pieejams : <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/50/10/article-p1572.xml>
46. Eyles A., Bound SA., Oliver G., Corkrey R., Hardie M., Green S. and Close D. C. (2015). Impact of biochar amendment on the growth, physiology and fruit of a young commercial apple orchard. *Trees* 2015: DOI 10.1007/s00468-015-1263-7
47. Sorrenti G., Muzzi E., Toselli M. (2019). Root growth dynamic and plant performance of nectarine trees amended with biochar and compost. *Scientia Horticulturae*. 2019; Volume 257, 17, 108710
48. Abo-Ogiala A. M. (2018) Impact of Biochar on Growth, Biochemical Parameters and Nutrients Content of Volkamer Lemon (*C. volkameriana*, Tenx pasq.) under Saline Condition. *Egypt. J. Hort.* Vol. 45, No. 2, pp. 305 - 314 . DOI: 10.21608/ejoh.2018.4753.1073

49. Schmidt H.-P., Kammann C., Niggli C., Evangelou MWH., Mackie K. A., Abiven S. (2014). Biochar and biochar-compost as soil amendments to a vineyard soil: Influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2014;191: p.117-123 . Pieejams: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2014.04.001>
50. Santin C., Doerr S. H., Merino A. *et al.* (2017). Carbon sequestration potential and physicochemical properties differ between wildfire charcoals and slow-pyrolysis biochars. *Sci Rep* 2017; 7, 11233. Pieejams: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10455-2>
51. De Gryze S., Cullen M. and Durschinger L. (2010). Evaluation of the Opportunities for Generating Carbon Offsets from Soil Sequestration of Biochar An issues paper commissioned by the Climate Action Reserve. Terra Global Capital LLC 2010. Pieejams: https://www.climateactionreserve.org/wp-content/uploads/2009/03/Soil_Sequestration_Biochar_Issue_Paper1.pdf
52. Hamedani S., Kuppens T., Malina R., Bocci E., Colantoni A., Villarini M. (2019). Life cycle assessment and environmental valuation of biochar production: Two case studies in Belgium. *Energies*, 2019, 11. 2166. ISSN 1996-1073.
53. Tisserant A. and Cherubini F. (2019). Potentials, Limitations, Co-Benefits, and Trade-Offs of Biochar Applications to Soils for Climate Change Mitigation. *Land* 2019; 8, 179; doi:10.3390/land8120179.
54. Yufang Shen Lixia Zhu, Hongyan Cheng, Shanchao Yue and Shiqing Li (2017). Effects of Biochar Application on CO2 Emissions from a Cultivated Soil under Semiarid Climate Conditions in Northwest China. *Sustainability* 2017; 9, 1482. Pieejams: <https://doi.org/10.3390/su9081482>
55. Gerten D., Anca A., Kucht W. and Kammann C. (2019) Pyrogenic carbon capture and storage GCB Bioenergy. 2019;11:573-591. Pieejams: DOI: 10.1111/gcbb.12553
56. Karhu K., Mattila T., Bergström I. and Regina K. (2011). Biochar Addition to Agricultural Soil Increased CH4 Uptake and Water Holding Capacity – Results from a Short-Term Pilot Field Study. *Agriculture Ecosystems & Environment* 2011; 140(1):309-313. Available from: DOI: 10.1016/j.agee.2010.12.005
57. Junxiang Jia, Bo Li, Zhaozhi Chen, Zubin Xie & Zhengqin Xiong (2012): Effects of biochar application on vegetable production and emissions of N2O and CH4 , *Soil Science and Plant Nutrition*, 58:4, 503-509. Pieejams: <http://dx.doi.org/10.1080/00380768.2012.686436>
58. Hale S. E., Nurida N. L., Jubaedah, Mulder J., Sørmo E., Silvani L., Abiven S., Joseph S., Taherymoosavi S. and Cornelissen G. (2020). The effect of biochar, lime and ash on maize yield in a long-term field trial in a Ultisol in the humid tropics. *Science of the Total Environment* (2020); Volume 719, 137455. Pieejams: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137455>
59. Robin Walter and B. K. Rajashekhar Rao (2015). Biochars influence sweet-potato yield and nutrient uptake in tropical Papua New Guinea . *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 2015; 178 (3) p 393-400. Pieejams: DOI: 10.1002/jpln.201400405
60. Tammeorg P., Simojoki A., Mäkelä P., Stoddard F., Alakukku L., Helenius J. 2014. Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal and inorganic fertiliser on a boreal loamy sand. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 191: 108-116.
61. Tammeorg P., Simojoki A., Mäkelä P., Stoddard F., Alakukku L., Helenius J. 2014. Biochar application to a fertile sandy clay loam in boreal conditions: effects on soil properties and yield formation of wheat, turnip rape and faba bean. *Plant and Soil*, 374: 89-107. Erratum *Plant and Soil*, 379: 389-390.
62. O' Toole A., Moni C., Weldon S., Schols A., Carnol M., Bosman B., & Rasse, D. P. (2018). Miscanthus biochar had limited effects on soil physical properties, microbial biomass, and grain yield in a four-year field experiment in Norway. *Agriculture*, 8(11), 171.

63. Tammeorg P. 2014. Softwood biochar as a soil amendment material for boreal agriculture. Doctoral thesis. Helsinki: University of Helsinki, Department of Agricultural Sciences. 56 p. Department of Agricultural Sciences – Publications: 33. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/44862/tammeorg_dissertation.pdf?sequence=1&isAllowed=y
64. Koga N., Shimoda S., Iwata Y. (2016). Biochar impacts on crop productivity and greenhouse gas emissions from an Andasol. *Journal of environmental quality* 2016; Vol. 46, NO 1 p, 27-35. Pieejams: doi:10.2134/jeq2016.04.0156
65. Hagnera M., Kemppainenb R., Jauhiainenb L., Tiilikkalab K., Setälää H. 2016. The effects of birch (*Betula* spp.) biochar and pyrolysis temperature on soil properties and plant growth. *Soil & Tillage Research* 163 (2016) 224-234
66. Futa B., Oleszczuk P., Andruszczak S., Kwieciensks-Poppe and Kraska P. (2020). Effect of natural aging of biochar on soil enzymatic activity and physicochemical properties in long-term field experiment. *agronomy* 2020; 10(3),449. Pieejams: <https://doi.org/10.3390/agronomy10030449>
67. Prost K., Borchard N., Siemens J., Kautz T., Sequaris J.-M., Moller A., and Amelung W. (2013). Biochar Affected by Composting with Farmyard Manure. *J. Environ. Qual.* 2013; 42:164-172.
68. Agegnehu G., Bass AM., Nelson PN. and Bird MI. (2015). Benefits of biochar, compost and biochar-compost. for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Sci Total Environ.* 2016 Feb 1;543(Pt A):295-306. Pieejams: doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.11.054.
69. Wang Y., Villamil MB., Davidson P. C., Akdeniz N. (2019). A quantitative understanding of the role of co-composted biochar in plant growth using meta-analysis. *Science of The Total Environment* 2019: Volume 685, 1 p. 741-752 Pieejams: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.06
70. Mukesh KumarAwasthi, Yumin Duan, Tao Liu, Sanjeev Kumar Awasthi, ZengqiangZhang (2020). Relevance of biochar to influence the bacterial succession during pig manure composting. *Bioresource Technology* 2020; Volume 304, 122962
71. Batista E. M. C. C., Shultz J., Matos T. T. S. *et al.* (2018). Effect of surface and porosity of biochar on water holding capacity aiming indirectly at preservation of the Amazon biome 2018; *Sci Rep* 8, 10677. Pieejams: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28794-z>
72. Basso A. S., Miguez F. E., Laird D. A., *et al.* (2013). Assessing potential of biochar for increasing holding capacity of sandy soils. *GCB Bioenergy* 2013; 5(2), pp.132-143. Pieejams: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12026>
73. Batool A., Taj S., Rashid A., Khalid A., Qadeer S., Saleem A. R. and Ghufuran M. A. (2015). Potential of soil amendments (Biochar and Gypsum) in increasing water use efficiency of *Abelmoschus esculentus* L. Moench. *Front Plant Sci.* 2015; 6: 733. Pieejams: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4566053/>
74. Paetsch L., Mueller C. W., Ingrid Kögel-Knabner I., von Lützow M., Girardin C. & Rumpel C. (2018). Effect of in-situ aged and fresh biochar on soil hydraulic conditions and microbial C use under drought conditions. *Sci Rep* 2018; 8, 6852. Pieejams: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25039-x>
75. Abdelraouf R. E., Essay E. F. and Saleh M. M. S. (2017). Sustainable management of deficit irrigation in sandy soils by producing biochar and adding it as a soil amendment. *Middle East Journal of Agriculture* 2017; Volume: 06 Issue: 04 p.1359-1375
76. Krishnakumar S., Rajalakshmi A. G., Balaganesh B., Manikandan P., Chelladurai V. and Rajendran V. (2014). Impact of Biochar on Soil Health. *International Journal of Advanced Research* 2014; Volume 2, Issue 4, p. 933-950
77. Joseph SD., Camps-Arbestain M., Lin Y., Munroe P., Chia C. H., Hook J., van Zwieten L., Kimber S., Cowie A., Singh B. P., Lehmann J., Foidl N., Smernik R. J., and Amonette J. E. (2010). An investigation into the reactions of biochar in soil. *Australian Journal of Soil Research* 2010; 48, p. 501-515

78. Juriga M. and Šimanský V. (2018). Effect of biochar on soil structure – review Acta fytotechn. zootechny 2018; 21, (1): 11-19. Pieejams: <https://doi.org/10.15414/afz.2018.21.01.11-19>
79. Zhang M., Riaz M., Zhang L., El-desouki Z. and Jiang C. (2019). Biochar Induces Changes to Basic Soil Properties and Bacterial Communities of Different Soils to Varying Degrees at 25 mm Rainfall: More Effective on Acidic Soils. Front. Microbiol. 2019; 10:1321. doi: 10.3389/fmicb.2019.01321
80. Thies J. E., Rillig M. Characteristics of biochar: Biological properties. In: Lehmann M., Joseph S., editors. Biochar for Environmental Management Science and Technology. London: Earthscan; 2009. pp. 85-105
81. Pietikäinen J., Kiikkilä O. and Fritze H. (2000): Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus. Oikos 2000; 89: 231-242. Pieejams: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.890203.x>
82. Nishio M. and Okano S. (1991). Stimulation of the growth of alfalfa and infection of mycorrhizal fungi by the application of charcoal. Bull. Natl. Grassl. Res. Inst. 1991; 45:61-71.
83. Yavari S., Malakahmad A. & Nasiman B. Sapari N. B. (2015). Biochar efficiency in pesticides sorption as a function of production variables—a review. Environmental Science and Pollution Research August 2015; 22(18):13824-41. Pieejams: DOI: 10.1007/s11356-015-5114-2
84. Hagner M., Hallman S., Jauhiainen L., Kemppainen R., Rämö S., Tiilikka K., Setälä H. (2015). Birch (Betula spp.) wood biochar is a potential soil amendment to reduce glyphosate leaching in agricultural soils. J Environ Manage. 2015;164:46-52. Pieejams: doi: 10.1016/j.jenvman.2015.08.039.
85. Ghezzehei T. A., Sarkhot D. V. and Berhe A. A. (2014). Biochar can be used to capture essential nutrients from dairy wastewater and improve soil physico-chemical properties, Solid Earth, 5, 953-962. Pieejams: <https://doi.org/10.5194/se-5-953-2014>, 2014.
86. Schmidt H.-P., Hagemann N., Draper K., Kammann C. (2019). The use of biochar in animal feeding. PeerJ 2019; 7:e7373 <https://doi.org/10.7717/peerj.7373>
87. Willson N.-L., Van T. T. H., Bhattarai S. P., Courtice J. M., McIntyre J. R., Prasai T. P., et al. (2019) Feed supplementation with biochar may reduce poultry pathogens, including *Campylobacter hepaticus*, the causative agent of Spotty Liver Disease. PLoS ONE 2019;14(4): e0214471. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214471>
88. Gerlach H., Gerlach A., Schrödl W., Schottdorf B., Haufe S., Helm H., Shehata A., Krüger M. (2014). Oral application of charcoal and humic acids to dairy cows influences *Clostridium botulinum* blood serum antibody level and glyphosate excretion in urine. Journal of Clinical Toxicology. 2014;4(2):186. Pieejams: doi: 10.4172/2161-0495.1000186
89. Kim K. S., Kim Y.-H., Park J.-C., Yun W., Jang K.-I., Yoo D.-I., Lee D.-H., Kim B.-G., Cho J.-H. 2017. Effect of organic medicinal charcoal supplementation in finishing pig diets. Korean Journal of Agricultural Science 2017; 44:50-59.
90. Van D. T. T., Mui N. T., Ledin I. (2006). Effect of method of processing foliage of Acacia mangium and inclusion of bamboo charcoal in the diet on performance of growing goats. Animal feed science and technology 2006; 130(3-4):242-256
91. Neuvonen P. J., Olkkola K. T. 1988. Oral activated charcoal in the treatment of intoxications. Medical Toxicology and Adverse Drug Experience 1988;3(1):33-58
92. Mandal A., Singh N., Purakayastha T. J. 2017. Characterization of pesticide sorption behaviour of slow pyrolysis biochars as low cost adsorbent for atrazine and imidacloprid removal. Science of the Total Environment 577:376-385

93. Galvano F., Pietri A., Bertuzzi T., Fusconi G., Galvano M., Piva A., Piva G. (1996). Reduction of carryover of aflatoxin from cow feed to milk by addition of activated carbons. Journal of Food Protection 1996; 59(5):551-554 DOI 10.4315/0362-028X-59.5.551.
94. Gerlach A. (2012). Pflanzenkohle in der Rinderhaltung. Ithaka Journal 2010; 1:80-84. Pieejams: <http://ithaka-journal.net/druckversionen/132012-rinderhaltung.pdf>
95. McHenry M. P. (2010). Carbon-based stock feed additives: a research methodology that explores ecologically delivered C biosequestration, alongside live weights, feed use efficiency, soil nutrient retention, and perennial fodder plantations. Journal of the Science of Food and Agriculture 2010;90(2):183-187
96. Joseph S., Pow D., Dawison K. et al. (2015). Feeding Biochar to Cows An Innovative Solution for Improving Soil Fertility and Farm Productivity Pedosphere 2015; Volume 25, Issue 5, p. 666-67. Pieejams: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30047-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30047-3)
97. Kammann C., Ippolito J., Hagemann N., Borchard N., Cayuela ML., Estavillo JM., Fuertes-Mendizabal T., Jeffery S., Kern J., Novak J., Rasse D., Saarnio S., Schmidt H.-P., Spokas K. & Wrage-Mönnig N. (2017). Biochar as a tool to reduce the agricultural greenhouse-gas burden – knowns, unknowns and future research needs, Journal of Environmental Engineering and Landscape Management 2017;25:2, 114-139. Pieejams: DOI: 10.3846/16486897.2017.1319375
98. Shane M. Troy S. M., Lawlor P. G., O' Flynn C. J. and Healy M. G. (2014) The Impact of Biochar Addition on Nutrient Leaching and Soil Properties from Tillage Soil Amended with Pig Manure Water Air Soil Pollut 2014; 225:1900. Pieejams: DOI 10.1007/s11270-014-1900-6
99. Laird D. A., Fleming P. D., Davis D. D., Horton R., Wang B. and Karlen D. I. (2010): Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. Geoderma 2010; 158: 443-449.
100. Dai Y., Wang W., Lu L., Yana L. and Yuc D. (2020). Utilization of biochar for the removal of nitrogen and phosphorus. Journal of Cleaner Production 2020; Volume 257, 120573. Pieejams: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120573>
101. Ghezzehei T. A., Sarkhot D. V. and Berhe A. A. (2014). Biochar can be used to capture essential nutrients from dairy wastewater and improve soil physico-chemical properties, Solid Earth 2014; 5, 953-962, Pieejams: <https://doi.org/10.5194/se-5-953-2014>
102. Yuening Li., Shanxue Jiang, Ting Wang, Yingchao Lin and Hongjun Mao (2018). Research on biochar via a comprehensive scientometric approach. RSC Advances 2018; Issue 50. Pieejams: <https://doi.org/10.1039/C8RA05689G>
103. Srinivasarao Ch., Vankateswarlu B., Lal R., Singh A. K., Kundu S. (2013): Soil carbon sequestration and agronomic productivity of an Alfisol for a groundnut-based system in a semiarid environment in southern India. Advances in Agronomy 2013; Volume 121 p. 256-324. Pieejams: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-407685-3.00005-0>
104. Streets D., Yarber K., Woo J. and Carmichael G. (2003): Biomass burning in Asia: Annual and seasonal estimates and atmospheric emissions, Global Biogeochemical Cycles, 17(4): 1099.
105. Meuwissen MPM., Feindt P. H., Spiegel A. et al. (2019). A framework to assess the resilience of farming systems. Agricultural Systems 176 (2019) 102656. Pieejams: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102656>

BIOOGLES IZMANTOŠANA KLIMATAM DRAUDZĪGĀ LAUKSAIMNIECĪBĀ – PIEREDZE UN IZAICINĀJUMI

JĀNIS REIHMANIS

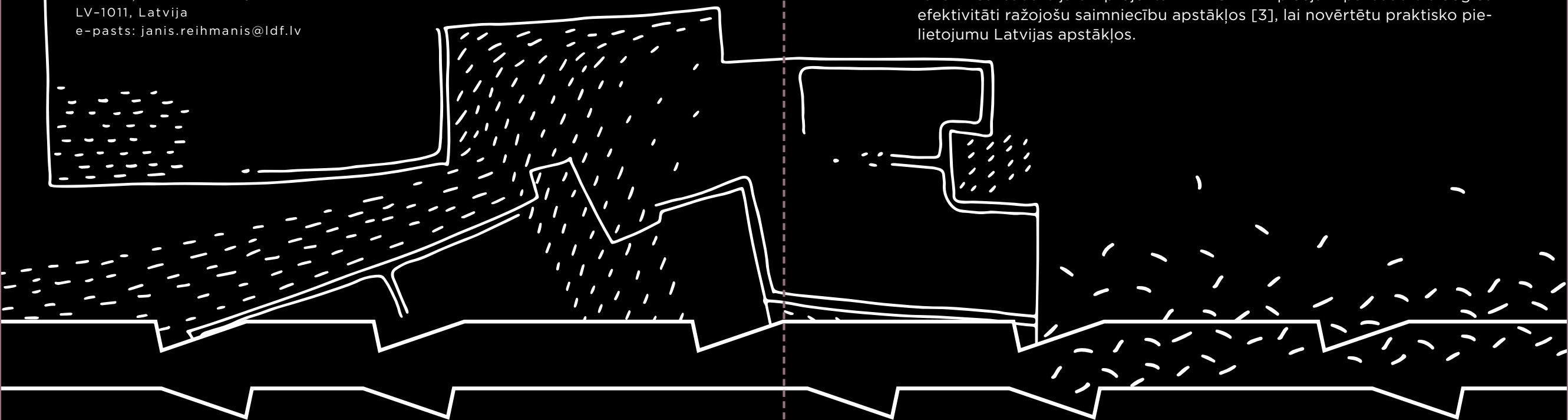
Latvijas Dabas fonds,
Blaumaņa iela 32-8, Rīga,
LV-1011, Latvija
e-pasts: janis.reihmanis@ldf.lv

Ievads

Lauksaimniecība ievērojami veicina globālās siltumnīcefekta gāzu emisijas (SEG) un līdz ar to antropogēnās klimata pārmaiņas. Tajā pašā laikā lauksaimniecībai ir arī milzīgs potenciāls sniegt ieguldījumu klimata izmaiņu mazināšanā, jo tai ir spēcīga ietekme uz klimata pārmaiņām. Lauksaimniecības tiešā ietekme uz kopējām globālajām siltumnīcefekta gāzu emisijām sastāda apmēram 10-15 %. Netiešās emisijas, ieskaitot emisijas no zemes izmantošanas maiņas (ZIZIMM – zemes izmantošana, zemes izmantošanas maiņa un mežsaimniecība), piemēram, mežu izciršanas un kūdrāju izstrādes, šī daļa pieaug līdz vairāk nekā 30 % [1].

Lauksaimniecība ir otrs lielākais kopējo SEG daudzuma emisijas sektors pēc fosilās enerģijas izmantošanas. Šī nozare ir lielākais siltumnīcefekta gāzu, kas nav CO₂, globālās emisijas radītājs un 2005. gadā veidoja 54 % no kopējām metāna (CH₄) un dislāpekļa oksīda (N₂O) emisijām [2]. Klimata pārmaiņām un to ietekmes mazināšanai lauksaimniecībā tiek meklēti risinājumi, kas vienlaikus gan sniegtu labumu klimata pārmaiņu mazināšanas un pielāgošanās ziņā, gan ļautu ilgtspējīgi ražot pārtiku.

Zinātniski pētījumi un praktiski izmēģinājumi par bioogles izmantošanu lauksaimniecībā pēdējā desmitgadē ir ieguvuši ievērojamu aktualitāti. Tas saistīts gan ar klimatam draudzīgāku lauksaimniecības metožu apzināšanu, gan ar bioogles potenciālu uzlabot oglekļa piesaisti un tādējādi mazināt klimata pārmaiņas. Tomēr, no lauksaimnieka skatījuma, galvenā motivācija bioogles izmantošanai ir tās spēja uzlabot barības vielu pieejamību un ražu. Tieši šāda bija arī projekta LIFE CRAFT pieeja – pārbaudīt bioogles efektivitāti ražojošu saimniecību apstākļos [3], lai novērtētu praktisko pielietojumu Latvijas apstākļos.



Bioogles pielietojuma lauksaimniecībā ietekme uz klimatu

Bioogles pielietojums lauksaimniecībā nav jauns koncepts. Tā pirmsākumi meklējami jau senajās zemkopju civilizācijās. Zināmākais no šādiem piemēriem atrodas Amazones baseinā, kur tika atklāts ar bioogli bagātināts augsnes slānis, kas arī citās valodās bieži tiek dēvēts oriģinālajā spāņu valodas apzīmējumā – *Terra preta* (*Terra preta de Indio* – indiāņu tumšā zeme/ augsne).

Bioogles iestrāde ietekmē augsnes struktūru, tekstūru, porainību, augsnes daļiņu sadalījumu un blīvumu. Lielākās daļas bioogļu galvenā fiziskā īpašība ir to ļoti porainā struktūra un lielais virsmas laukums. Šī struktūra var nodrošināt dzīves vidi labvēlīgiem augsnes mikroorganismiem, piemēram, mikorizām un baktērijām, un ietekmē augu barības vielu piesaisti. Pierādījumi liecina, ka bioogles pielietošana uzlabo galveno barības vielu pieejamību augiem, jo sevišķi, ja tā tiek iestrādāta kopā ar papildu barības vielām. Ir arī konstatēts, ka bioogles iestrāde mazina amonija izskalošanos un N_2O izdalīšanos no augsnes [4]. Tāpēc var apgalvot, ka sākotnēji bioogle izmantota kā agrotehnisks līdzeklis augsnes uzlabošanai un ražības nodrošināšanai, bet mūsdienās šī pieeja paplašināta, ietverot arī klimata pārmaiņu mazināšanas un pielāgošanās jautājumus.

Plašs metaanalīzes pētījums demonstrēja, ka bioogles ietekme uz klimatu ir vērtējama ne tikai N_2O emisiju kontekstā, bet tā var samazināt arī nitrātu (NO_3^-) izskalošanos. Šajā pētījumā secināts, ka bioogles izmantošana samazināja N_2O emisijas par 38 %, bet NO_3^- izskalošanos par 13 % [5]. Latvijai tuvākos klimata apstākļos – Somijā –, un apjomā, kas līdzīgs LIFE CRAFT projektā lietotajam – 21 t/ha, tika konstatēts, ka no egļu koksnes iegūta bioogle veģetācijas sezonas laikā samazināja NO_3^- noplūdes par 68 %, salīdzinot ar kontroli [6]. Tomēr šajā pētījumā netika konstatēts ar bioogles pielietojumu saistīts ražas apjoma pieaugums un netika konstatēta arī ietekme uz amonija (NH_4^+) noplūdi no augsnes.

Oglekļa piesaiste augsnē ar bioogles starpniecību notiek arī smalkāku daļiņu mērogā. Vidusjūras klimatā veiktā pētījumā tika konstatēts, ka bioogles iestrāde veicināja augsnes organiskās vielas daļiņu, kas mazākas par 53 μm , aizturi augsnē uz minerālvielu virsmas [7].

Raugoties, kādu ietekmi uz klimatu atstāj bioogles pielietojuma lauksaimniecībā, nenoliedzama ir tiešās oglekļa sekvestrēšana augsnē. Tā kā pirolīzes rezultātā biomasas ogleklis tiek pārveidots stabilos oglekļa savienojumos, tad to iestrāde nodrošina oglekļa ilglaicīgu deponēšanu augsnē. Kā parāda *Terra preta* piemērs – pat uz vairākām tūkstošgadēm.

Bioogles iestrādes augsnē praktiskie aspekti

Jāņem vērā, ka bioogle nav mēslojums. Tādējādi, ja bioogle iegūta no maz barības vielas saturošas biomasas (piemēram, koksnes, salmiem u. c.), tad ar to papildu augu barošanas vielas augsnē tikpat kā netiek iestrādātas. Fizikālo īpašību dēļ tā var uzlabot augsnes struktūru, tekstūru, porainību, augsnes daļiņu sadalījumu un tās blīvumu. Tomēr arī materiāls, no kura bioogle tiek ražota, var būtiski ietekmēt tās pielietojuma efektivitāti. Piemēram, Hokaido Universitātē, Japānā, veiktais pētījums parādīja, ka no putnu vai slaucamo govju mēsliem ražota bioogle satur vairāk augu barības vielu, nekā tāda, kas ražota no koksnes. Lai arī pirolīzes procesā daļa barības vielu tiek izdalītas, tomēr palikušās koncentrācijas var būt pieejamas augiem kā papildu barības vielas [8].

Viens no galvenajiem priekšnosacījumiem, lai maksimāli izmantotu bioogles īpašības, ir tās apstrāde pirms lietošanas. Tas nozīmē – to nepieciešams iestrādāt kopā ar vai iepriekš piesūcināt ar augu barības vielām un/ vai mikroorganismiem. Iepriekšēju piesūcināšanu sauc par inokulāciju. Šādas pirmāpstrādes rezultātā bioogle kļūst par augu barības vielu un/ vai mikroorganismu nesēju un nodrošina to pakāpenisku un ilglaicīgu pieejamību augiem.

Bioogles pielietojuma pieredze LIFE CRAFT projektā

LIFE CRAFT projekta ietvaros tika izvēlētas trīs bioloģiskās saimniecības, kuras specializējās dārzenu audzēšanā. Izvēlētas saimniecības atradās Daugmales, Tirzas un Dāviņu pagastos (apzīmētas kā pilotteritorijas atbilstoši tuvākās apdzīvotās vietas nosaukumam). Katrā saimniecībā tika ierīkots 0,4 ha liels parauglaukums bioogles ietekmes praktisku izmēģinājumu veikšanai no 2019. līdz 2023. gadam. Visās saimniecībās šis parauglaukums tika sadalīts četrās vienādās daļās (0,1 ha katrs) – trijās dažādā koncentrācijā tika iestrādāta bioogle, attiecīgi 2,5, 10 un 20 t/ha bioogles, bet ceturta kalpoja par kontroli, kur bioogle netika iestrādāta, bet tika audzēta tā pati kultūra, kas platībās ar bioogli. Bioogle augsnē tika iestrādāta vienā reizē projekta sākumā kopā ar kūtsmēsliem, zaļmēslojumu vai mikroorganismu preparātu (1. tabula). Turpmākās augsnes apstrādes ietekmē bioogle tika iestrādāta un izklidēta augsnes aramkārtā.

Katrā gadā audzējamās kultūras izvēle projekta saimniecībās nekādi netika ierobežota. Tā bija brīva saimnieku izvēle. Vienīgais nosacījums no projekta puses bija, ka katru kultūru jāaudzē visās bioogles koncentrācijas joslās. Pārsvārā gadījumu saimniecībās vienas sezonas laikā audzēja vienu kultūru visu četru bioogles koncentrāciju joslās. Tomēr atsevišķos

gadījumos vienas sezonas ietvaros tika audzētas arī vairākas kultūras. Šādos gadījumos dārzeņu kultūras tika izvietotas perpendikulāri bioogles koncentrāciju joslām – tā, lai katra kultūra būtu gan kontroles joslā, gan trīs dažādās bioogles koncentrācijas joslās. Tā 2020. gada sezonā Daugmales parauglaukumā perpendikulāri bioogles koncentrāciju joslām tika audzēti rāceņi, sīpoli, rutki un lapu kāposti, bet 2022. gadā Lambārtes parauglaukumā – dažādu šķirņu ķirbji (1. tabula).

1. tabula

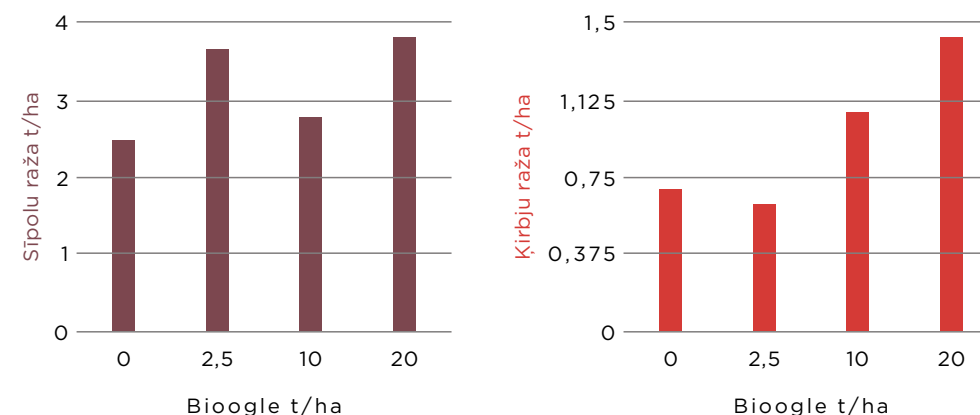
LIFE CRAFT PROJEKTA PILOTTERITORIJU BIOOGLES IESTRĀDES VEIDS UN AUDZĒTIE KULTŪRAUGI

Pilot-teritorija	Bioogles iestrādes datums	Bioogles iestrādes metode	2019	2020	2021	2022	2023
Tirza	21.11.2018.	Iestrādāta kopā ar zaļmēslojumu (lucernu)	Soja	Soja	Kartupeļi	Soja	
Daugmale	24.04.2019.	Iestrādāta kopā ar kūtsmēsliem	Auzas un zirņi zaļmēslojumā	Rāceņi, sīpoli, rutki, lapu kāposti	Sīpoli, ziemas vīķu un rudzu zaļmēslojums	Kartupeļi	Zaļmēslojums – rudzi ar vīķiem
Lambārte	07.05.2019.	Iestrādāta kopā ar Bioefekta preparātu "Biomikss"	Burkāni	Sīpoli	Kartupeļi	Ķirbji	Zaļmēslojums – auzas ar āboliņu pasējā

Lai pārliecinātos par bioogles ietekmi uz dārzeņu ražību, katra bioogles koncentrācija slejas ievāktā raža tika atsevišķi nosvērta. Atsevišķos gados tika veikti arī zaļmasas svara mērījumi un veģetācijas augstuma mērījumi. Lai novērtētu bioogles ietekmi, savstarpēji tika salīdzināti tikai katras saimniecības viena gada radītāji. Bioogles koncentrācijas ietekmes noteikšanai pielietots Spīrmena rangu korelācijas koeficients logoritmizētām ražības (t/ha), zaļmasas (t/ha) vai veģetācijas augstuma (cm) un bioogles koncentrācijas (t/ha) vērtībām.

Iegūtie rezultāti kopumā neuzrāda noturīgu iestrādātās bioogles daudzuma pozitīvu korelāciju ar dārzeņu ražību [9; 10]. Nevienā no veiktajiem zaļmasas un veģetācijas augstuma mērījumiem netika konstatēta statistiski būtiska ($p > 0,5$) korelācija ar iestrādātās bioogles daudzumu. Pozitīva bioogles koncentrācijas ietekme visa projekta laikā tika konstatēta tikai

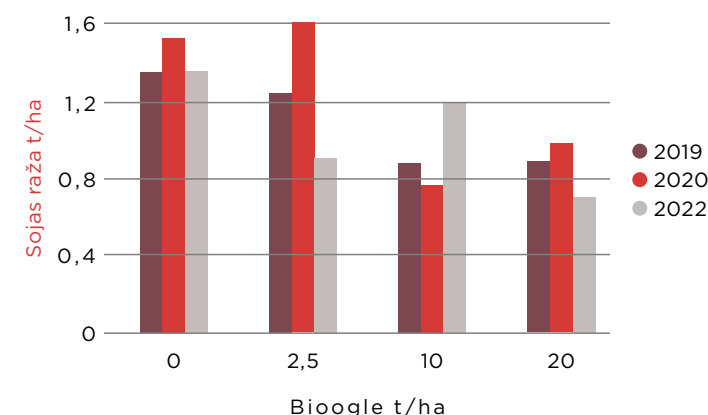
divos gados Lambārtes pilotteritorijā – 2020. gada sīpolu ražībai ($rs=0,8$; $p=0,333$) (1. attēls) un 2022. gada ķirbju ražībai ($rs=0,8$; $p=0,333$) (2. attēls).



1. attēls. Sīpolu ražība Lambārtes pilotteritorijā 2020. gada veģetācijas sezonā

2. attēls. Ķirbju ražība Lambārtes pilotteritorijā 2022. gada veģetācijas sezonā

Tirzas pilotteritorijā tika konstatēta bioogles koncentrācijas statistiski nozīmīga negatīva ietekme uz sojas ražību trīs gados – attiecīgi 2019. ($rs=-0,8$; $p=0,333$), 2020. ($rs=-0,6$; $p=0,417$) un 2022. gadā ($rs=-0,8$; $p=0,333$) (3. attēls).



3. attēls. Sojas ražība Tirzas pilotteritorijā 2019., 2020., un 2022. gada veģetācijas sezonā

Interesanti, ka ir pētījumi, kas uzrādīja pretējas likumsakarības tām, kuras LIFE CRAFT projekta laikā konstatētas sojas sējumos [11]. Šajā pētījumā gan tika izmantota bioogle no putnu mēsliem. Tādējādi tā kalpoja arī par mēslojumu, jo mērījumos uzrādīja augsnes organiskās vielas, kopējā slāpekļa, kopējā fosfora un pieejamā kālija pieaugumu attiecīgi par 43,53 %, 36,97 %, 22,28 % un 4,24 %. Savukārt Tirzas pilotteritorijas lauki tika mēsloti tikai ar zaļmēslojumu bioogles iestrādes gadā un pārejā laikā primāri balstījās uz pašas sojas spēju ar gumiņbaktēriju starpniecību piesaistīt

atmosfēras slāpekli. Minētajā pētījumā [11] sojas augšana tika vērtēta, mērot auga un tā sakņu garumu un svaru. Arī LIFE CRAFT projekta ietvaros 2019. gada veģetācijas sezonā tika veikti augu garuma mērījumi, tomēr tie neuzrādīja statistiski drošu sakarību ar iestrādātās bioogles daudzumu. Savukārt nokultu un izžāvētu sojas pupiņu raža trīs audzēšanas gados, pieaugot bioogles koncentrācijai, samazinājās.

LIFE CRAFT projekta monitorings parādīja, ka bioogles iestrādei bija būtiska ietekme uz tādām augsnes īpašībām kā organiskās vielas saturs, kopējā oglekļa saturs augsnē, kā arī uz augsnes pH, fosfora pentoksīda, cinka un mangāna saturu. Bioogles iestrādes rezultātā vidēji palielinājās organiskās vielas saturs, oglekļa saturs augsnē, augsnes pH un augiem pieejamais fosfora daudzums augsnē, savukārt samazinājās augiem pieejamais cinka un mangāna saturs. Starp bioogles saimniecībām tika novērotas būtiskas atšķirības vairākām augsnes īpašībām, ko var skaidrot ar pilotteritoriju augsnes sastāva, lauka reljefa, pielietotās agrotehnikas, mēslošanas devu un audzēto kultūraugu atšķirībām. Īpaši izteikta ietekme uz organiskās vielas satura un augiem pieejamā P_2O_5 pieaugumu un augsnes skābuma samazinājumu tika novērota Daugmales pilotteritorijā, kur līdz ar bioogļu iestrādāja 30 t/ha kūtsmēsli.

Bioogles iestrādei nebija būtiskas ietekmes ne uz vienu no mikrobioloģisko aktivitāti atspoguļojošajiem parametriem. Bija vērojamas būtiskas sezonālas atšķirības dehidrogenāzes aktivitātei, amonija oksidēšanās potenciālam un Šenona daudzveidības indeksam, kas skaidrojams gan ar atšķirīgiem meteoroloģiskajiem apstākļiem, gan ar mikroorganismiem pieejamajām barības vielām, bet ne ar bioogles iestrādi un tās daudzumu augsnē.

LIFE CRAFT projekta monitoringa periodā tika novērota būtiska bioogles ietekme uz organiskās vielas un kopējā oglekļa piesaisti augsnē, kas norāda uz CO_2 ieslēgšanu augsnē.

Arī citos pārskatos ziņots, ka kultūraugu ražas reakcija uz bioogles izmantošanu ir svārstījusies no negatīvas līdz pozitīvai augsnes īpašību, bioogles īpašību un sarežģītas augsnes, bioogles, kultūru, klimata un apsaimniekošanas mijiedarbības dēļ [12].

Nīderlandē lauka eksperimentos nekonstatēja būtisku bioogles ietekmi uz smilšainu augšņu (kas, iespējams, varētu gūt vislielāko labumu) ūdens aizturi un hidraulisko vadītspēju vai agregāta stabilitāti. Šajos eksperimentos iestrādātās bioogles daudzums pat ievērojami pārsniedza LIFE CRAFT projekta pilotteritorijās maksimāli izmantoto daudzumu, proti, Nīderlandē bioogle lietota līdz 50 t/ha [13].

No LIFE CRAFT projekta pieredzes izriet zīmīgs secinājums, ka pat augstākās bioogles koncentrācijas joslās (20 t/ha) pēc tās iestrādes un

izkliedes aramkārtā nebija vērojamas vizuāli viegli uztveramas izmaiņas augsnē. Tuvāk apskatot augsni, bioogles daļiņas bija viegli konstatējamas arī piektajā gadā pēc to iestrādes. Tomēr tās kopējais daudzums netuvinājās tam, kāds redzams attēlos no *Terra preta* piemēriem. Iespējams, ka risinājums noturīga pozitīva rezultāta sasniegšanai ir iestrādātās bioogles koncentrācijas palielināšana. Tomēr, kā pārliccinājamies LIFE CRAFT projektā, šāds risinājums vairs nebūtu ekonomiski lietderīgs, jo būtiski pieaugtu izejmateriālu cena uz hektāru, bet finansiālie ieguvumi saimniecībai joprojām saglabātos neskaidri.

No iepriekš minētā secināms, ka ir nepieciešami papildu pētījumi un sistemātiski pārskati, kas vispusīgi izvērtē bioogles ietekmi uz SEG emisijām, oglekļa sekvestrāciju augsnē, ražību un šo procesu pamatā esošos mehānismus. Joprojām ir pētījumi, kas atklāja, ka bioogles lietošana var dot atšķirīgus rezultātus atkarībā no izejmateriāla, pirolīzes temperatūras, augsnes īpašības un klimata un citiem apstākļiem.

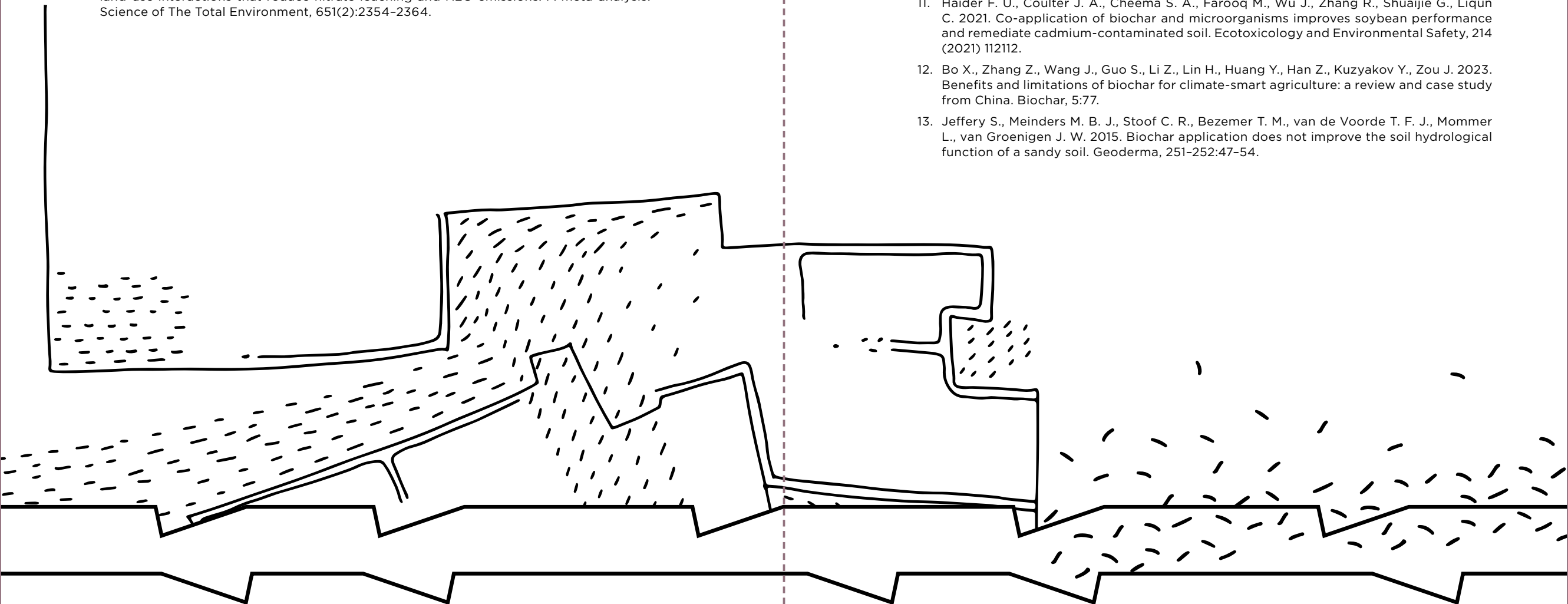
Secinājumi

1. No LIFE CRAFT projekta pieredzes redzams, ka, pretēji testiem, kas veikti stingri kontrolētos laboratorijas apstākļos, ražojošā saimniecībā ražu var ietekmēt dažādi citi faktori, t. sk. nevienmērīgi augšanas un augsnes īpašību apstākļi viena lauka ietvaros, kur šo apstākļu ietekme lokāli var būt nozīmīgāka par iestrādātās bioogles ietekmi;
2. Neskatoties uz pieaugošajiem pierādījumiem par bioogles pozitīvo ietekmi, ir jāturpina pētījumi par iespējamiem faktoriem, kas varētu vājināt vai kavēt tās spēju risināt klimata pārmaiņas un nodrošināt laukaugu ražību;
3. Pirms ir izziņātas un lauka apstākļos pārbaudītas bioogles pielietojuma metodes, kuras sniedz noturīgus pozitīvus rezultātus, būtu priekšlaicīgi šādu praksi rekomendēt lielām laukkopības saimniecībām kā ekonomiski pamatotu;
4. Mazāka mēroga saimniecībās, kurās iespējama bioogles ražošana, izmantojot pašu darbu un biomasu, bioogles izmantošanai ir lielāks potenciāls kļūt ekonomiski pamatotai. Jo sevišķi, ja to izmanto kopā ar citām videi draudzīgām praksēm (permakultūra, agromežsaimniecība, agroekoloģiskā apsaimniekošana u. tml.);
5. Klimata pārmaiņu mazināšanas un pielāgošanās kontekstā bioogle joprojām saglabā augstu potenciālu kā instruments, lai augsnē deponētu oglekli. Tomēr tā pielietojums, balstoties tikai uz tirgus principiem, ir apgrūtināts augsto izmaksu dēļ. Šāda instrumenta ieviešanai būtu nepieciešami papildu atbalsta mehānismi.

Literatūra

1. Bellarby J., Foereid B., Hastings A., Smith P. 2008. Cool Farming: Climate impacts of agriculture and mitigation potential. Greenpeace International, Amsterdam, the Netherlands. <https://www.greenpeace.org/usa/wp-content/uploads/legacy/Global/usa/report/2009/4/cool-farming-climate-impacts.pdf>
2. US EPA. 2012. Global anthropogenic non-CO2 greenhouse gas emissions: 1990-2030. United States Environmental Protection Agency, EPA 430-R-12-006, December 2012, Washington, DC: US-EPA. https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-08/documents/epa_global_nonco2_projections_dec2012.pdf
3. Reihmanis J., Zvingule L., Kažotnieks J., Rotbergs R. 2019. Low emission farming and farm economic viability: multiple win-win solutions for farm resilience demonstrated within the project Climate Responsible Agriculture for Latvia (LIFE CRAFT). The 2nd International Conference ADAPTtoCLIMATE, 24-25 June 2019, Heraklion, Crete Island, Greece.
4. Atkinson C. J., Fitzgerald J. D., Hipps N. A. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil*, 337: 1-18.
5. Borchard N., Schirrmann M., Cayuela M. L., Kammann C., Wrage-Mönnig N., Estavillo J. M., Fuertes-Mendizábal T., Sigua G., Spokas K., Ippolito J. A., Novak J. 2019. Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N2O emissions: A meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 651(2):2354-2364.

6. Karhu K., Kalu S., Seppänen A., Kitzler B., Virtanen E. 2021. Potential of biochar soil amendments to reduce N leaching in boreal field conditions estimated using the resin bag method. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 316 (2021) 107452.
7. Giannetta B., Plaza C., Galluzzi G., Benavente-Ferraces I., García-Gil J. C., Panettieri M., Gasco G., Zaccone C. 2024. Distribution of soil organic carbon between particulate and mineral-associated fractions as affected by biochar and its co-application with other amendments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 360 (2024) 108777.
8. Piash M. I., Iwabuchi K., Itoh T., Uemura K. 2021. Release of essential plant nutrients from manure- and wood-based biochars. *Geoderma*, 397 (2021) 115100.
9. Reihmanis J., Strazdiņš Ģ. 2023. Soil biochar amendment effect on vegetable yield and soil properties: field-tested results under the organic farming conditions in Latvia. The Biochar Summit 2023, 12-15 June, 2023, Helsingborg, Sweden.
10. Reihmanis J., Strazdiņš Ģ. 2023. Biochar application as a method for restocking carbon back into the agricultural soil - uncertain effect on yield in preliminary results from the project Climate Responsible Agriculture for Latvia (LIFE CRAFT). 1st Northern European "4 per 1000" regional meeting: More carbon in the soil for multiple benefits. 6-8 June, 2023. Helsinki, Finland.
11. Haider F. U., Coulter J. A., Cheema S. A., Farooq M., Wu J., Zhang R., Shuaijie G., Liqun C. 2021. Co-application of biochar and microorganisms improves soybean performance and remediate cadmium-contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 214 (2021) 112112.
12. Bo X., Zhang Z., Wang J., Guo S., Li Z., Lin H., Huang Y., Han Z., Kuzyakov Y., Zou J. 2023. Benefits and limitations of biochar for climate-smart agriculture: a review and case study from China. *Biochar*, 5:77.
13. Jeffery S., Meinders M. B. J., Stoof C. R., Bezemer T. M., van de Voorde T. F. J., Mommer L., van Groenigen J. W. 2015. Biochar application does not improve the soil hydrological function of a sandy soil. *Geoderma*, 251-252:47-54.



SAGATAVOTS PROJEKTA "LIFE CRAFT: KLIMATA ATBILDĪGA LAUKSAIMNIECĪBA LATVIJĀ LIFE16 CCM/LV/000083" IETVAROS



Vides
Risinājumu
Institūts



Izdevējs un

sastādītājs: Latvijas Dabas fonds

Finansētājs: ES LIFE programma,

Valsts reģionālās attīstības aģentūra

Partneri: Nodibinājums "Vides risinājumu institūts",

SIA "Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centrs",

Čehijas Zinātnes un sabiedrības centrs

(*Czech Center for Science and Society*)

Autori: Rūta Abaja, Sandra Dane, Jānis Kažotnieks,

Līga Lepse, Ieva Mežaka, Jānis Reihmanis,

Jo Smith, Arezoo Taghizadeh-Toosi,

Priit Tammeorg, Kari Tiilikkala, Sally Westaway

Redaktori: Dzidra Kreišmane, Kaspars Naglis-Liepa,

Jānis Reihmanis

Dizains: Līga Delvera, SIA "De mini"

Iespiests: SIA "Sava grāmata"

2024

Izdevums ir sagatavots ar
ES LIFE programmas atbalstu.
Par izdevuma saturu ir atbildīgi
tā veidotāji.

ISBN: 978-9934-8885-2-6