

**Latvijas Lauku attīstības programmas 2014.–2020. gadam
pasākuma 16. “Sadarbība” 16.12 apakšpasākums
“Atbalsts EIP lauksaimniecības ražīguma un ilgtspējas darba
grupu projekta īstenošanai”**



PĀRSKATS

par paveikto 01.10.2019.–01.08.2023.

Projekta vadītājs:

A. Adamovičs

Jelgava, LBTU, 2023. g. 28. augusts

SATURS

1. Vispārīga informācija par projektu	3
1.1. Projekta realizācijā iesaistītie sadarbības partneri	3
1.2. Projekta izpildītāji	4
1.3. Pētījuma mērķis un uzdevumi	5
2. Literatūras apskats	6
Ievads	6
2.1. Digestāta un koksnes pelnu kā kaļķošanas materiāla izmantošana	7
2.2. Digestāta un organiskā mēslojuma ietekme uz slāpekļa emisijām	11
2.3. Digestāta un koksnes pelnu ietekme uz kultūraugu ražu un kvalitāti	15
2.4. Digestāta un koksnes pelnu ietekme uz uzturvielu optimizāciju	41
2.5. Digestāta un koksnes pelnu izmantošanas ietekme uz vidi lauksaimniecībā	43
Secinājumi	44
Literatūras apskatam izmantotie informācijas avoti	44
3. Pētījuma rezultāti	55
3.1. Projekta izpildes etapi un gaita	55
3.2. Pētījumi sadarbības partnerinstitūcijās un struktūrvienībās	56
Pētījumi LBTU struktūrvienībās	56
A. Tehniskās fakultātes Enerģētikas institūts	56
B. Pētījumi ar dārzenaugiem Lauksaimniecības fakultātes siltumnīcās	96
C. Pētījumi ar laukaugiem Lauksaimniecības fakultātes MPS “Pēterlauki”	141
Pētījumi LVMI “Silava” un ZS “Irbenes”	163
Pētījumi AS “Ziedi JP”	181
Pētījumi AS “Pampāļi”	201
Projekta partneri – izejvielu piegādātāji pētījumiem	225
SIA “Gren Latvija” (“Fortum”)	225
ZS “Līgo”	226
SIA “Latvi Dan Agro”	227
SIA “Dobeles EKO”	229
4. Projekta publicitāte	232
5. Kopsavilkums	238

1. VISPĀRĪGA INFORMĀCIJA PAR POJEKTU

1.1. Projekta realizācijā iesaistītie sadarbības partneri

Eiropas Inovāciju partnerības lauksaimniecības ražīgumam un ilgtspējai darba grupas sadarbības līgums noslēgts ar:

- (1) **Vadošais partneris Latvijas Lauksaimniecības universitāte** (tagad Latvijas biozinātņu un tehnoloģiju universitāte, LBTU), reģistrācijas numurs LV90000041898 (reģistrācijas numurs Augstskolu reģistrā 2841101568), juridiskā adrese Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001,
- (2) **Latvijas Valsts mežzinātnes institūts “Silava”**, reģistrācijas numurs LV90002121030, juridiskā adrese Salaspils, Rīgas iela 111, LV2169,
- (3) **AS “Ziedi JP”**, reģistrācijas numurs LV45101000230, juridiskā adrese Dobeles nov., Auru pag., “Ziedi 1”, LV-3701,
- (4) **SIA “Pampāļi”**, reģistrācijas numurs LV58503000511, juridiskā adrese Saldus nov., Pampāļu pag., Pampāļi, Rūpniecības iela 1A, LV-3882,
- (5) **ZS “Irbenes”**, reģistrācijas numurs LV42401020493, juridiskā adrese Vecumnieku nov., Vecumnieku pag., Vecumnieki, Dīķa 6-10, LV-3933,
- (6) **SIA “Gren (Fortum) Latvija”**, reģistrācijas numurs LV40103854352, juridiskā adrese Jelgava, Rūpniecības iela 73A, LV-3008,
- (7) **SIA “Dobeles EKO”**, reģistrācijas numurs LV40103533061, juridiskā adrese Dobeles nov., Spodrības iela 4, LV-3701,
- (8) **ZS “Līgo”** reģistrācijas numurs LV51701000821, juridiskā adrese Lielplatones pag., Jelgavas nov., LV-3022 (SIA “MC BIO” pārtrauca darbību projektā sakarā ar biogāzes stacijas likvidāciju),
- (9) **SIA “Latvi Dan Agro”**, reģistrācijas numurs LV50003572581, juridiskā adrese Dobeles nov., Jaunbērzes pag., "Ošlejas",

Projekta realizācijas sadarbības partneri – zinātniskās institūcijas



Projekta realizācijas sadarbības partneri- komercuzņēmumi



1.2. Projekta izpildītāji

LBTU

- **Aleksandrs Adamovičs**, Dr. gr., vadošais pētnieks, projekta vadītājs, sadarbības un zinātnisko pētījumu organizācija un vadīšana
- Ilze Vike, projekta administratore
- Iveta Gūtmane, Dr. agr., vadošā pētniece
- Vilis Dubrovskis, Dr. sc. ing., vadošais pētnieks
- Irina Sivicka, Mg. agr., pētniece
- Adrija Dorbe, Mg. agr., pētniece
- Imants Plūme, Mg. ing., pētnieks
- Imants Missa, Mg. agr., pētnieks
- Merabs Katamadze, Mg. agr., pētnieks
- Rihards Berķis, Mg. agr., pētnieks
- Beāte Bušmane, Mg. agr., pētniece
- Inga Skuja, pētniece
- Galina Katamadze, pētniece
- Kristine Afoņina, pētniece
- Andrejs Upenieks, pētnieka asistents

LVMI "Silava"

- Dagnija Lazdiņa, Dr.silv&Mg.biol., vadošā pētniece, projekta koordinatore
- Austrā Zuševica, Mg. biol., zinātniskā asistente
- Viktorija Vendiņa, Mg. silv., zinātniskā asistente
- Kārlis Dūmiņš, Mg. biol., zinātniskais asistents
- Toms Artūrs Štāls Mg. geogr., zinātniskais asistents
- Santa Celma, Mg. biol., zinātniskā asistente

AS “Ziedi JP”

- Jānis Millers, Mg.oec &Mg.chem., koģenerācijas stacijas vadītājs, projekta koordinators, pētnieks
- Andrejs Safonovs, agronoms, pētnieks
- Aija Pilvere, Dr.oec., pētniece,
- Mārtiņš Eidmanis, agronoms, pētnieks

AS “Pampāļi”

- Mārtiņš Vaļko, uzņēmuma vadītājs, projekta koordinators
- Zita Ļauberte, agronome, pētniece
- Līga Stapaņenko, agronome, pētniece

SIA “Gren Latvija”

- **Mārtiņš Priževovs**, projekta koordinators
- **Marija Slaidiņa**, projekta koordinatore

SIA “Dobeles Eco”

- Aiga Stabulniece, vadības asistente, projekta koordinatore
- Raitis Grunde, koģenerācijas stacijas vadītājs, projekta izpildītājs

SIA “Latvi Dan Agro”

- Aiga Markova, projekta koordinatore

ZS “Irbenes”

- Arvis Liepiņš, mežsaimniecības inženieris

ZS “Līgo”

- Jānis Vinters, saimniecības īpašnieks, projekta koordinators

Pavisam projekta izpildē piedalījās 37 cilvēki.

1.3. Pētījuma mērķis un uzdevumi

Mērķis – izstrādāt jaunas tehnoloģijas, lai ražotu augsnes auglību uzlabojošus produktus (mēslošanas līdzekļus) ar augstu pievienoto vērtību no ražošanas blakusproduktiem – digestātiem un koksnes pelniem. Lai sasniegtu projektā plānoto mērķi, ir izvirzīti vairāki uzdevumi.

Pētījuma uzdevumi

1. Analizēt dažādu Latvijā ražotu digestātu sastāvu (veic LLU).
2. Noteikt dažādo Latvijā ražoto pelnu sastāvu (veic LLU).
3. Novērtēt dažādu digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekmi uz augu augšanu veģetācijas traukos (veic LLU un LVMI “Silava”).

4. Novērtēt dažādu digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekmi uz augu augšanu un produktivitāti lauka un meža apstākļos (veic LLU, LVMI “Silava” un AS “Ziedi JP”).
5. Izstrādāt tehnoloģisko ciklu konkurētspējīga produkta ražošanai (veic AS “Ziedi JP”).
6. Izpētīt izejvielu (digestāta un koksnes pelnu) proporcijas maiņas ietekmi uz ražošanas tehnoloģiju (veic LLU, AS “Ziedi JP” un ZS “Irbenes”).

2. LITERATŪRAS APSKATS

IEVADS

Organisko vielu saturs augsnē ir svarīgs augsnes kvalitātes rādītājs. Tas ietekmē ķīmisko vielu piesaisti, augsnes struktūras veidošanos, kā arī mitruma un gaisa režīmu augsnē (Kvasoviene-Petraityte et al., 2019). Nevienmērīga augsnes izmantošana, dažādas kultivēšanas un mēslošanas metodes ietekmē augsnes struktūru, tās agroķīmiskās īpašības un auglību (Koszel & Lorencowicz, 2015; Caruso et al., 2018). Ar katru gadu Latvijā palielinās to augšņu procentuālais daudzums, kurās organisko vielu un pH_{KCl} saturs ir mazāks par 5.5 (Kreismane et al., 2016). Tas negatīvi ietekmē mēslošanas efektu un labības ražu. Digestātu var definēt kā: šķidrums no bioloģiski noārdāmas izejvielas anaerobas fermentācijas; tas satur slāpekli (N), fosforu (P) un kāliju (K) (Dubrovskis & Kotelenec, 2014; Koszel & Lorencowicz, 2015; Kall et al., 2016). Parasti tā ir puscieta masa, kas sastāv no daļēji noārdīta augu materiāla, mikroorganismu biomasas un vircas (ja tā tika izmantota biogāzes ražošanas procesā). Sausnas saturs digestātā ir aptuveni 5–10% (Slepetiene et al., 2016).

Lauksaimniecībā ir liels daudzums organisko atkritumu, kas ir piemēroti biogāzes ražošanai (Dubrovskis & Kotelenec, 2014; Tampere & Viiralt, 2014; Kall et al., 2016). Pēc pēdējiem statistikas datiem Latvijā ir aptuveni 40 biogāzes stacijas. Biogāze tiek izmantota elektroenerģijas un siltuma ražošanai (karstā ūdens veidā), bet digestātu galvenokārt izmanto kā šķidro mēslojumu un iestrādā augsnē (Kalniņa et al., 2018). Latvijā biogāzes ražošanai kā resursi tiek izmantoti ne tikai kūtsmēsli, bet arī kukurūzas skābbarība, notekūdeņu attīrīšanas iekārtu dūņas, graudu atkritumi (Priekulis et al., 2016). Tādēļ vietēji ražotā digestāta sastāvs ir mainīgs, piemēram, cūku fermu kūtsmēsļu digestāta saunā ir pH_{KCL} 6.3–8.1, un tas satur 411–1065 mg kg^{-1} gaistošo taukskābju, 3,3–7,1% no kopējā cietvielu daudzuma, 2,9–5,3% organisko vielu, 0,1–0,4% P, 0,2–0,8% Ca, 0,06–0,24% Mg, 26,8–425 mg kg^{-1} Fe un 0,2–1,2% kopējā N (Dubrovskis & Adamovičs, 2012).

Lielā ūdens satura dēļ digestāta transportēšanas izmaksas ir salīdzinoši augstas – ne tikai Latvijā, bet arī citās Eiropas valstīs (Dubrovskis & Kotelenec, 2014; Auburger et al., 2015; Kuusik et al., 2017). Šī iemesla dēļ digestāts tiek atdalīts un žāvēts (Dąbrowska et al., 2019). Ja digestāts nesatur piedevas (piemēram, kalcija karbonātu (CaCO_3)), tad tā žāvēšana ir nerentabla. Koksnes pelnu pievienošana digestāta dehidratācijas procesa laikā ļauj augsni kalpot, kā arī bagātināt to ar biopieejamiem P, K, Ca, Mg un citiem makro- un mikroelementiem (Augusto et al., 2008; Schiemenz & Eichler-Löbermann, 2010; Libiete et al., 2016). Pelnu ķīmiskās īpašības ir atkarīgas no daudziem faktoriem, t.sk. no papildu degvielas veida, sadegšanas sistēmas un sezonas.

Latvijā koksnes pelnu vidējais bioķīmisko elementu saturs ir: 10,88–31,09 g kg⁻¹ karbonātu (Ccarb.), 20,84–213,5 g kg⁻¹ organiskā oglekļa (Corg.), 11,37–31,76 mg kg⁻¹ S, 0,25–1,72 g kg⁻¹ N, 5,73–11,12 g kg⁻¹ P, 20,64–46,34 g kg⁻¹ K, 114,88–186,96 g kg⁻¹ Ca, 18,41–28,11 g kg⁻¹ Mg, 1,76–3,81 g kg⁻¹ Mn un 4,52–13,58 g kg⁻¹ Fe; smago metālu saturs: 8,79–15,06 mg kg⁻¹ Cd, 103,26–298,01 mg kg⁻¹ Cr, 72,30–232,38 mg kg⁻¹, 23,84–49,80 mg kg⁻¹ Ni, 45,54–88,75 mg kg⁻¹ Pb un 192,44–490,40 mg kg⁻¹ Zn (Okmanis et al., 2015).

Koksnes un koka izstrādājumu patēriņš ar katru gadu palielinās visā pasaulē. Latvijā tas ierindojas pirmajā vietā starp atjaunojamajiem energoresursiem saražotās enerģijas ziņā un otrajā vietā kopējā energobilancē uzreiz aiz naftas produktiem.

Pelni ir degšanas procesa produkts; koksnes pelni parasti tiek nogulsnēti kā atkritumi. Latvijā ievērojams pelnu daudzums (ap 50 tūkst. t) tiek saražots katru gadu (Lazdiņa et al., 2017). Pēc 2017. gada Latvijas Atkritumu saimniecības asociācijas sadzīves atkritumu apkopojuma, kopējais kurtuvju radītais pelnu daudzums valstī sasniedzis 27 329 tonnas. Pašreiz tos apglabā galvenokārt poligonos, lai gan, kā rāda citu valstu prakse, pelnus atkarībā no to sastāva var izmantot gan lauksaimniecībā, gan mežsaimniecībā, kā arī dažādu būvniecības tehnisko risinājumu īstenošanai. Tikai vienā Latvijas ekonomiskajā reģionā – Vidzemē – kopējais saražoto pelnu apjoms ir ap 6800 tonnu. Ar šo daudzumu iespējams apmēsnot 680–1360 ha zemas ražības lauksaimniecības zemes, ja mēslojuma deva ir 5–10 t sausnas ha⁻¹ (Makovskis & Lazdiņa, 2015).

2.1. DIGESTĀTA UN KOKSNES PELNU KĀ KAĻĶOŠANAS MATERIĀLA IZMANTOŠANA

Digestāta un koksnes pelnu agronomiskais raksturojums

Biomasa pārstādes produktu izmantošana lauksaimniecībā kļūst aizvien aktuālāka, jo tā nodrošina ražības palielināšanos un vienlaicīgi arī sekmē barības elementu reciklāciju (Holm-Nielsen, Al Seadi, Oleskowicz-Popiel, 2009).

Lauksaimniecībā izmantojamā kaļķakmens daudzums vairākās Rietumeiropas un Ziemeļeiropas valstīs ir būtiski samazinājies; Latvijā skābo augšņu ir aptuveni 40% no lauksaimniecībā izmantojamo zemju platības (Velthof et al., 2011; Kreismane et al., 2016). Tāpēc, lai iegūtu augstu proteīnaugu un citu kultūraugu ražu, ir jāizmanto kaļķi. Latvijā trūkst zinātnisku pētījumu par augsnes pH līmeņa izmaiņām, augkopībā izmantojot digestātu un/vai koksnes pelnus kā kaļķošanas materiālu. Attiecībā uz koksnes pelniem visvairāk pētījumu un rakstu ir saistīti ar mežkopību (Okmanis et al., 2015, 2016). Tādēļ mežzinātnes nozarē iegūtos eksperimentālos datus nav iespējams identiski izmantot augkopībā. Tas ir saistīts ar eksperimentālo fonu, īpaši ar augsnes tipu, granulometriskajām īpašībām utt. Dārzkopībā pelnus kā kaļķošanas materiālu parasti izmanto mazdārziņos, jo īpaši ķiploku audzēšanai, taču pieejamā informācija pārsvarā ir ļoti sena un to publicē periodiskajā literatūrā.

Koksnes pelni, līdzīgi lauksaimniecības kaļķiem, uzlabo skābas augsnes pH. Zinātniskie pētījumi ir pierādījuši ievērojamu ražas palielināšanos pH korekcijas rezultātā (Standarti un vadlīnijas, 2002). Polijā tika veikti augsnes pH reakcijas testi, ja mēslošanai bija izmantots digestāts. Ziemas rapša un ziemas kviešu audzēšanai izmantotā digestāta pHKCl reakcija bija 8,57 (Koszel et al., 2017), deva – 180 L uz 50 m² (36 000 L ha⁻¹).

Ziemas rapša audzēšanā novēroja nelielu augsnes pH reakcijas pieaugumu – no 7,41 līdz 7,45; pēc ražas novākšanas tas nokritās līdz 7,24. Līdzīgu tendenci novēroja, pārbaudot augsni ziemas kviešu audzēšanai: pH reakcija palielinājās no 7,61 līdz 7,63, un pēc ražas novākšanas tās vērtība nokritās līdz 7,52. Tāpat novēroja arī atlasīto makroelementu satura palielināšanos. Taču var secināt, ka digestāta izcelsme šajā pētījumā netika pieminēta. Atzīmēts, ka fermentācijas procesā tika izmantoti zaļie atkritumi, kukurūzas skābbarība, bietes, lopbarība, sūkals (Dimambro, 2015). Tika izpētīts, ka digestāta pHKCl bija robežās no 8,2 līdz 8,8. Secinājums bija tāds, ka digestātu var izmantot arī dārzkopībā (piemēram, siltumnīcās vai polituneļos).

Digestāta raksturojums un digestāta mēslojuma efektivitāte

Viens no galvenajiem augu mēslošanā izmantotajiem blakusproduktiem bioenerģijas sektorā ir digestāts. Tas ir labs augu barības vielu avots, kas satur daudzus augu augšanai nozīmīgus mikro- un makroelementus. Tādēļ digestātu var izmantot kā efektīvu mēslošanas līdzekli kultūraugiem (Nkoa, 2014; Koszel, Lorencowicz, 2015; Risberg, Cederlund, Pell et al., 2017).

Atkarībā no sausnas satura digestātu iedala divās grupās: šķidrā frakcija, ar sausnas saturu <15%, un cietā jeb separētā frakcija, ar sausnas saturu >15%. Separēto digestātu var izmantot līdzīgi kompostam, vai arī to var kompostēt kopā ar dažādiem organiskajiem atkritumproduktiem (Mikled, Jiraporncharoen, Potikanond, 2002). Cietā frakcija ir bagātāka ar fosforu un organisko slāpekli, savukārt šķidrā frakcija satur ievērojamu daudzumu slāpekļa augiem pieejamā formā (Möller, Schulz, Müller, 2010). No agronomiskā viedokļa, digestāta šķidrā frakcija ir viegli izkliešama, jo pēc konsistences tā ir līdzīga šķidrajiem kūtsmēsliem.

Digestātā esošo barības elementu proporcionālais daudzums ir svārstīgs un ir atkarīgs no biogāzes ražošanā izmantotajām izejvielām, kā arī no fermentācijas procesa biogāzes iekārtā (Makadi, Tomocsik, Orosz, 2012; Albuquerque, Fuente, Ferrer-Costak et al., 2012; Provenzano, Iannuzi, Fabbri et al., 2011).

Konkurētspējīgu ražu ieguvē būtiska loma ir lietotajam mēslojumam, kurā augu barības elementi atrodas viegli uzņemamā formā. Digestāts satur relatīvi daudz augiem viegli izmantojamo barības vielu, un tam ir augsta slāpekļa un fosfora mineralizācijas pakāpe. Fermentācijas procesā notiek dažādas izmaiņas (amonija satura, pH, oglekļa un slāpekļa attiecības u.c.), kas ietekmē augiem pieejamo mikroelementu un makroelementu daudzumu (Makadi, Tomocsik, Orosz, 2012). Digestāts var saturēt savienojumus, kas stimulē vai inhibē augsnes mikrobioloģisko aktivitāti (Risberg, Cederlund, Pell et al., 2017).

Slāpekļlis ir viens no galvenajiem augu augšanu un attīstību limitējošiem minerālelementiem. Fermentācijas process bioreaktorā organisko slāpekli pārveido minerālā, augiem viegli izmantojamā amonija slāpekļa (NH_4) formā (Mikled, Jiraporncharoen, Potikanond, 2002). Digestātā NH_4 daudzums var variēt no 60% līdz pat 80% no kopējā slāpekļa daudzuma (Makadi, Tomocsik, Orosz, 2012). Tomēr palielinātais amonija slāpekļa saturs fermentētajā masā negarantē lielāku slāpekļa uzņemšanas efektivitāti un lielākus slāpekļa mēslojuma ietaupījumus. Izmēģinājumos ir atklājies, ka slaucamo govju kūtsmēsli fermentācija ir samazinājusi tūlītēji pieejamā fosfora un

mikroelementu daļu, tomēr tas nav ietekmējis augiem izmantojamo barības vielu daudzumu lauka apstākļos (Moller, Muller, 2012).

Digestātam piemīt gan stimulējoša, gan inhibējoša iedarbība uz potenciālo amonjaka oksidācijas ātrumu, savukārt nefermentētai vircai un šķīdumēsliem galvenokārt ir inhibējoša ietekme. Parasti kūtsmēsļu anaerobā fermentācija pirms mēslošanas līdzekļa lietošanas tiek vērtēta pozitīvi, jo tā nodrošina augstāku mineralizēto augu barības vielu proporciju salīdzinājumā ar neapstrādātiem kūtsmēsliem. Kaut arī digestātam piemīt zināmas atšķirības salīdzinājumā ar nefermentētu vircu un šķīdumēsliem, tomēr tā lietošana kopumā nepalielina risku attiecībā uz augsnes mikrobioloģisko aktivitāti (Risberg, Cederlund, Pell et al., 2017).

Laukaugu ražu palielināšanā būtiska nozīme ir digestātā esošajām organisko vielu frakcijām, jo tās var veicināt augsnes organisko vielu apriti jeb reciklāciju, sekmējot bioloģisko, ķīmisko un fizikālo augsnes īpašību uzlabošanu (Jakobsen, 1995; Möller, Stinner, Deuker et al., 2008; Makadi, Tomocsi, Orosz, 2012), kā arī var uzlabot augsnes īpašības, pozitīvi ietekmējot augsnes blīvumu, hidraulisko vadītspēju un augsnes mitruma saglabāšanu (Garg, Pathak, Das et al., 2005). Organisko vielu saturu ietekmē arī izejvielas un fermentācijas process (Menardo, Gioelli & Balsari, 2011). Jo ilgāk norisinās fermentācija, jo vairāk samazinās organisko vielu daudzums (Szücs, Simon, Füleky, 2006). Salīdzinot fermentētos kūtsmēsļus ar nefermentētajiem, novērota kopējā oglekļa samazināšanās par 25–50% (Möller, Stinner, 2009).

Digestātam ir sārmaina reakcija. Tā ir vērtīga īpašība, jo visā pasaulē aktuāla kļuvusi augšņu paskābināšanās tendence. Tomēr ir arī pētījumi, kas norāda, ka digestāta izmantošana praktiski neietekmē augsnes pH, un augsnes pH līmenis digestāta lietošanas rezultātā nepaaugstinās (Odlare, Pell, Svensson, 2008; Fuchs, Berner, Mayer et al., 2008).

Kopumā digestātam ir nozīmīga loma augsnes auglības palielināšanā. Digestāta lietošanas rezultātā ievērojami izmainās augsnes ķīmiskās īpašības, palielinās mikrobu biomasas apjoms augsnē, slāpekļa mineralizācijas intensitāte un amonija oksidēšanās potenciāls, slāpekļa un augiem pieejamā fosfora daudzums (Tiwari, Tiwari, Upadhyay, 2000; Tambone, Genevini, Adani, 2007; Odlarek, Pell, Svensson, 2008), kālija un sēra saturs (Mikled, Jiraporncharoen, Potikanond, 2002), kā arī uzlabojas augsnes fizikālās īpašības un augsnes mitruma saglabāšanas spēja (Garg, Pathak, Das et al., 2005).

Digestāta barības vielu saturs var ievērojami atšķirties atkarībā no izejvielu veida, kā arī no fermentācijas procesa un apstrādes tehnoloģijām. Tādēļ arī pētījumu rezultāti par digestāta ietekmi uz laukaugu ražības efektivitāti nav viennozīmīgi un joprojām tiek vērtēti (Teglia, Tremier, Martel, 2011; Makadi, Tomocsik, Orosz, 2012).

Ir konstatēts, ka daļa kultūraugu (piemēram, lucerna, soja, saulespuķes) ir jutīgi pret digestāta pielietošanu. Šiem augiem digestātu var lietot tikai noteiktās veģetatīvās attīstības fāzēs. Daļa laukaugu (piemēram, kukurūza, ziemas kvieši, tritikāle) ir mazāk jutīgi, un tiem digestāta lietošana visās augu attīstības fāzēs nav bīstama (Makadi, Tomocsik, Orosz, 2012). Pozitīvus digestāta izmantošanas rezultātus ietekmē arī tā pareizs pielietošanas laiks (to vēlams saskaņot ar katra konkrētā audzējamā auga prasībām pēc slāpekļa mēslojuma). Digestāta lietošanu laukaugiem (izņemot tauriņziežus) iesaka ziemā vai pavasarī (Stinner, Möller, Leithold, 2008). Vulf un viņa kolēģi (Wulf, Jäger, Döhler, 2006) iesaka līdzīgu pieeju: 70% digestāta lietot pavasarī un 30% digestāta lietot rudenī. Savukārt citi pētnieki

iesaka digestātu lietot divās līdz trīs dalītās devās veģetācijas perioda laikā (Makádi, Tomócsik, Lengyel et al., 2008; Nyord, Søgaard, Hansen et al., 2008).

Konstatēts, ka digestāta lietošana palielina graudaugu (Garg, Pathak, Das et al., 2005; Moller, Stinner, Deuker et al., 2008), kukurūzas, lucernas (Barbosa, Nabel, Jablonowski, 2014) un ganību airesnes (Gunnarsson, Bengtsson, Caspersen, 2010) ražu. Digestāta lietošana nodrošinājusi augstākas graudaugu ražas nekā nefermentētu cūku un liellopu šķidrmēslu lietošana (Odlare, Pell, Svensson, 2008). Citos pētījumos (Abubaker, Cederlund, Arthurson, Pell, 2013) lielāka biomasas raža konstatēta, mēslošanā izmantojot cūku šķidrmēslus, nevis digestātu. Vairākos pētījumos konstatēts, ka, lietojot vienādās devās digestātu un sintētiskos mēslošanas līdzekļus (minerālmēslus), augstāku efektivitāti nodrošinājis digestāta mēslojums (Mikled, Jiraporncharoen, Potikanond, 2002; Tilvikiene, Kadziulienė, Dabkevicius et al., 2014).

Latvijā veiktos pētījumos digestāta (30 t ha^{-1}) lietošana devusi būtisku stiebrzāļu sausnas ražas pieaugumu salīdzinājumā ar kontroles (nemēsloto) variantu, savukārt pelnu lietošana nav devusi būtisku ražas pieaugumu (Rancane, Gutmane, Berzins et al., 2014). Lietojot digestātu pirms sējas (50 t ha^{-1}), iegūtas augstākas kukurūzas sausnas ražas salīdzinājumā ar variantu, kurā digestāts lietots dalītās devās ($25+25 \text{ t ha}^{-1}$) papildmēslojumā, kā arī minerālmēslu (amonija nitrāts $150+300 \text{ kg ha}^{-1}$) variantā (Litiņa, 2013).

Pelnu raksturojums un mēslojuma efektivitāte

Pelnu fizikālās un ķīmiskās īpašības var būtiski atšķirties atkarībā no augu sugas, augu augšanas apstākļiem, dedzināšanā izmantotajām auga daļām, dedzināšanas procesa parametriem un pelnu uzglabāšanas apstākļiem (Demeyer, Nkana, Verloo, 2001). Pelnos koncentrējas dažādas minerālvielas, kas padara tos par vērtīgu augu barības vielu avotu. Tie satur dažādus augu augšanai un attīstībai svarīgus makro- un mikroelementus, izņemot slāpekli, kas dedzināšanas procesā ar dūmgāzēm tiek izvadīts atmosfērā (Patterson, Acharya, Thomas, 2004; Fuzesi, Heil, Kovacs, 2015). Koksnes pelni satur vēlā ņemamu daudzumu P un K, kā īpaši trūkst skābās organiskās augsnes. Tie darbojas ne tikai kā mēslojums, bet arī kā kalpošanas līdzeklis. Visi augu fizioloģiskajiem procesiem vajadzīgie mikroelementi ir atrodamī koksnes pelnos (Lazdiņa, Bebre, Dūmiņš et al., 2017).

Pelni ir bagātīgs augu barības vielu – kālija (K), kalcija (Ca), fosfora (P), sēra (S), magnija (Mg), kā arī hlora (Cl) un silīcija (Si) – avots (Burvall, 1997; Demeyer, Nkana, Verloo, 2001). Visi minētie elementi ir nozīmīgi augu dzīvē, taču tradicionāli pelni galvenokārt tiek lietoti kā kālija un kalcija mēslojums. Kālija saturs pelnos vidēji ir $50-60 \text{ g kg}^{-1}$, kas liecina, ka pelni var būt nozīmīgs kālija avots. No mikroelementiem dažādos koksnes pelnu veidos atšķirīgās koncentrācijās ir atrodamī dzelzs, cinks, arsēns, niķelis, hroms, svins, dzīvsudrabs, varš, bors, molibdēns, vanādijs, bārijs, kadmījs un sudrabs (Demeyer, Nkana, Verloo, 2001; Karlton, Saarsalmi, Ingerslev et al., 2008).

Koksnes pelnus lauksaimniecības zemēs var izmantot arī kā kalpošanas materiālu (Steenari, Karlsson, Lindqvist, 1999). Lielākā daļa pelnu minerālvielu rada spēcīgu sārmainu reakciju jeb kalpošanas efektu (Ljung, Nordin, 1997). Pelnu spēja paaugstināt augsnes pH līmeni kālija, magnija un kalcija oksīdu, hidroksīdu un karbonātu darbības rezultātā ir nozīmīga priekšrocība pelnu izmantošanai skābās augsnēs.

Pētījumos konstatēts pelnu pozitīvais efekts uz augsnes īpašībām, struktūru un ūdens režīmu augsnē (Demeyer, Nkana, Verloo, 2001). Pelnu mēslojums ir palielinājis augiem izmantojamā fosfora, kālija, kalcija un magnija daudzumu augsnē (Park, Yanai, Sahm et al., 2005; Fuzesi, Heil, Kovacs, 2015). Konstatēta slāpekļa koncentrācijas samazināšanās augšējos augsnes slāņos un augsnes pH līmeņa paaugstināšanās pēc pelnu lietošanas (Fritze, Smolander, Levula et al., 1994). Lielu koksnes pelnu devu lietošana (līdz 7 t ha⁻¹) var strauji paaugstināt augsnes pH (līdz pat par 2.4 vienībām), kas savukārt var mazināt dažādu elementu mobilitāti augsnē (Ozolincius, Buozyte, Varnagiryte-Kabasinskiene, 2007; Perucci, Monaci, Onofri et al., 2008). Tādēļ, lietojot pelnus, jābūt ļoti uzmanīgiem ar izvēlētajām devām.

Izmēģinājumos novērots miežu un rapšu sēklu ražas pieaugums, mēslošanā izmantojot koksnes pelnus kombinācijā ar slāpekļa mēslojumu (Patterson, Acharya, Thomas et al., 2004). Latvijā veiktos pētījumos koksnes pelnu (6 t ha⁻¹) lietošana nodrošināja augstākas miežabrāļa un austrumu galegas sēklu ražas salīdzinājumā ar kontroles (nemēslotu) variantu un variantu, kurā lietots minerālmēslojums N60:P50:K125 (Bardule, Rancane, Gutmane et al., 2013).

Vērtējot pelnu mēslojuma iespējamo ietekmi, ļoti svarīga ir pelnu kvalitāte. Lauksaimniecības zemēs nevajadzētu izmantot dažādu atkritumu dedzināšanā iegūtos pelnus, jo to sastāvā var būt palielināts daudzums smago metālu un citu nevēlamu elementu (Lindvall, Gustavsson, Samuelsson et al., 2015).

2.2. DIGESTĀTA UN ORGANISKĀ MĒSLOJUMA IETEKME UZ SLĀPEKĻA EMISIJĀM

Anaerobā fermentācija maina izejvielu iepriekšējās īpašības, kas ietekmēt slāpekļa apriti un biopieejamību. Anaerobā šķelšana var ievērojami samazināt siltumnīcefekta gāzu un smaku emisijas, salīdzinot ar nepārstrādātiem kūtsmēsliem (Battini, Agostini, Boulamanti et al., 2014; Orzi, Scaglia, Lonati et al., 2015). Galvenās bažas par fermentācijas un citu organisko atkritumu izmantošanu lauksaimniecības zemēs ir saistītas ar N noplūdi vidē, iztvaikojot amonjakam (NH₃), kā arī nitrātu (NO₃) izskalošanās un siltumnīcefekta gāzu (N₂O) emisiju rezultātā un ar to saistīto ietekmi uz gaisa un ūdens kvalitāti, ekosistēmas funkcionēšanu un cilvēku veselību (Galloway, Aber, Erisman et al., 2003).

Slāpekļa zudumi N₂O emisiju rezultātā pēc digestāta lietošanas svārstās no 0.45% (Nicholson, Cardenas et al., 2017) līdz 4–10% (Tiwary, Williams, Pant et al., 2015) no kopējā pielietotā N daudzuma. Tiek uzskatīts, ka N₂O emisijas pēc digestāta lietošanas ir zemākas nekā pēc nefermentēta organiskā mēslojuma lietošanas. Lai gan jāpiebilst, ka literatūrā ir pretrunīgi ziņojumi (Möller, 2015), kas liecina, ka emisijas ir saistītas ar lietoto mēslojumu, augsnes īpašībām un struktūru, ūdens saturu augsnē un aerāciju, kā arī ar organisko vielu saturu augsnē (Chantigny, MacDonald Beaupré et al., 2009; Eickenscheidt, Freibauer, Heinichen et al., 2014).

Lai samazinātu NH₃ emisijas, kūtsmēsli un digestāts pēc iespējas ātrāk jāiestrādā augsnē (Tiwary, Williams, Pant et al., 2015). Vaļējās digestāta glabātuves (Wang, Dong, Zhu et al., 2014) un daļēji caurlaidīgu materiālu trūkums tvertņu segšanai (Borjesson,

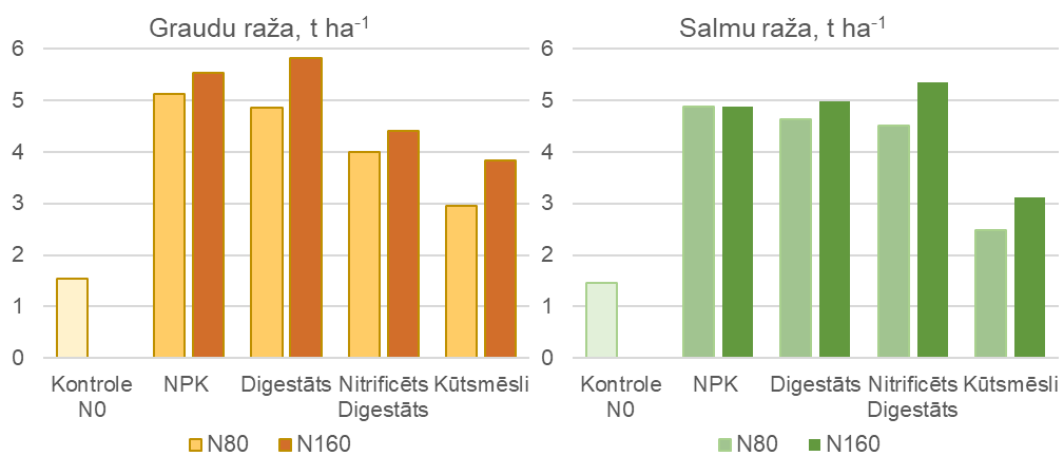
Berglund, 2007) var izraisīt lielus N zudumus, galvenokārt NH_3 iztvaikošanas rezultātā (Fangueiro, Hjorth, Gioelli, 2015), salīdzinot ar nefermentētu organisko mēslojumu.

Organiskā mēslojuma paskābināšana tiek minēta kā emisiju samazināšanas metode (Fangueiro, Hjorth, Gioelli, 2015). Digestāta sārmainā vide palielina NH_3 zudumus, it īpaši ja tas pārsniedz pH 8.0. Zudumi samazinās, ja digestātu paskābina līdz <pH 6 (Muck, Steenhuis, 1982; Baral, Labouriau, Olesen et al., 2017). Ja digestāta pH >6.00, tad augstais NH_4^+ saturs augsnē pēc digestāta lietošanas stimulē nitrifikāciju un līdz ar to arī N_2O emisijas (Muck & Steenhuis, 1982).

Nitrifikācijas inhibitoru izmantošana (Owusu-Twum, Loick, Cardenas et al., 2017) ir viena no metodēm, kā samazināt N_2O emisijas. Nitrifikācijas inhibitori aizkavē procesu, kurā NH_4^+ slāpekļlis pārvēršas NO_3 formā, tādējādi samazinot NO_3 un N_2O zudumus (Subbarao, Ito, Sahrawat et al., 2006).

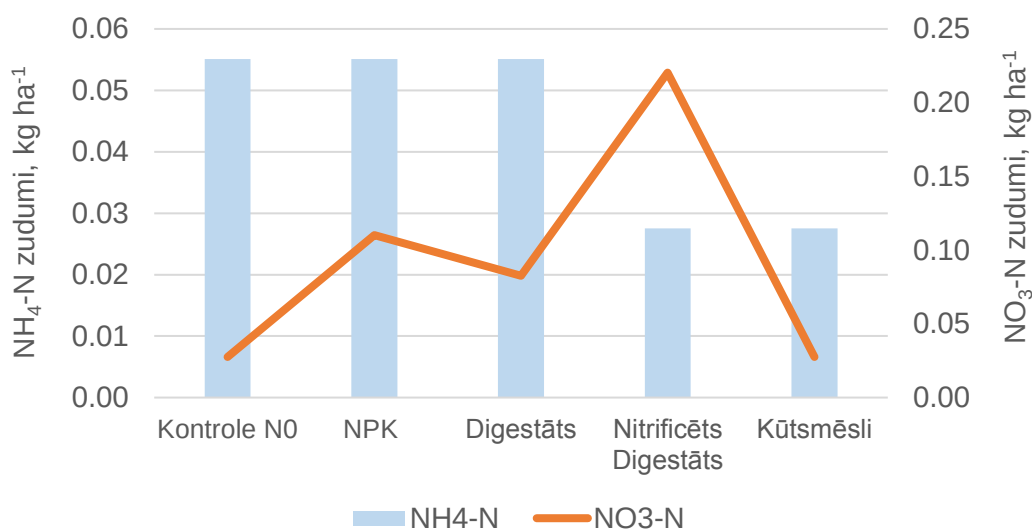
Digestāta nitrifikācija, kurā amonija slāpekļlis NH_4^+ tiek pārvērsts nitrātu formas NO_3^- slāpekļli pirms digestāta iestrādes augsnē, tiek minēta kā iespēja samazināt N emisijas. Nitrifikācija tiek veikta divos posmos. Pirmajā amonija slāpekļlis tiek oksidēts nitrītu formā, izmantojot amonija oksidācijas baktērijas. Otrajā posmā nitrīti tiek oksidēti nitrātos, izmantojot nitrītu oksidējošās baktērijas. Abas baktēriju grupas ir aerobas, un digestāta nitrifikācijai ir jānodrošina aerobi apstākļi. Nitrifikācijas procesā digestāta pH samazinās – >pH 5.0. Nitrificētā digestātā novērota zemāka smago metālu koncentrācija nekā izejmateriāla digestātā (Botheju, Svalheim, Bakke, 2010).

Norvēģijā veiktos izmēģinājumos tika pētīta dažādu organisko mēslojumu veidu izmantošana, audzējot vasaras miežus, kā arī slāpekļa zudumi izskalojoties (Haraldsen, Andersen, Krogstad et al., 2011). Podos audzētiem miežiem tika lietots šķidrās digestāts, nitrificēts šķidrās digestāts un kūtsmēsli, kā arī NPK mēslojums tā, lai nodrošinātu $\text{N}80 \text{ kg ha}^{-1}$ un $\text{N}160 \text{ kg ha}^{-1}$ visiem variantiem. Mēslojamie varianti tika salīdzināti ar kontroles variantu bez mēslojuma. Miežu AS14 attīstības fāzē tika simulēti spēcīgi (28 mm) nokrišņi. Lietojot šķidro digestātu un NPK mēslojumu, ja slāpekļa normas bija vienādas, tika iegūtas līdzvērtīgas miežu graudu un salmu ražas. Digestāta nitrifikācija bija iemesls lieliem NO_3 - N zudumiem, ko izraisīja simulētie nokrišņi, kā rezultātā samazinājās graudu raža. Kūtsmēsli lietošanas variantā ieguva būtiski zemākas graudu un salmu ražas salīdzinājumā ar digestāta un NPK lietošanas variantiem. Slāpekļa mēslojuma normas palielināšana no $\text{N}80$ uz $\text{N}160 \text{ kg ha}^{-1}$ veicināja miežu graudu ražas palielināšanos, tomēr ražas atšķirības nebija būtiskas konkrētajā mēslošanas līdzekļa variantā (1. attēls).



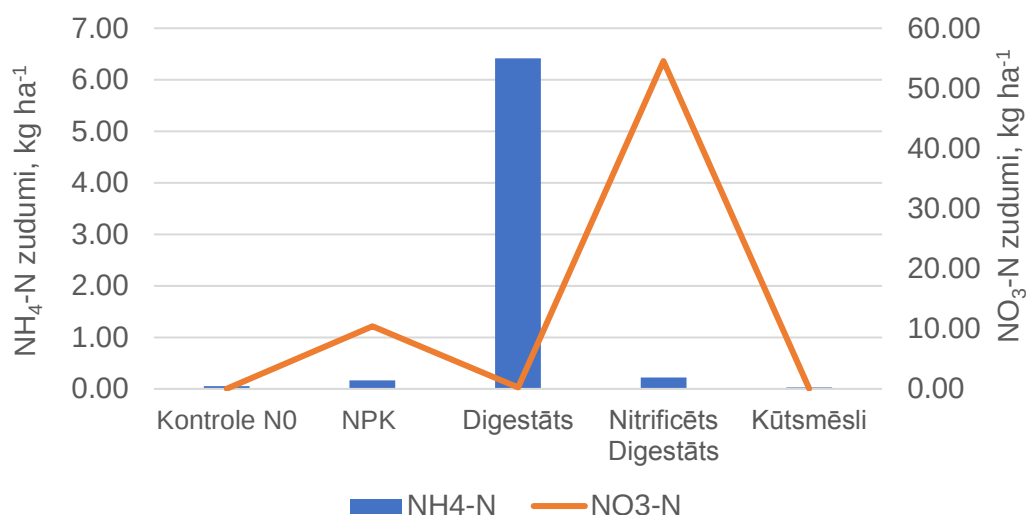
1. att. Vasaras miežu ražība, lietojot dažādus mēslojuma veidus (pēc Haraldsen et al., 2011).

Analizējot slāpekļa zudumus $\text{NO}_3\text{-N}$ un $\text{NH}_4\text{-N}$ formā, lietojot slāpekļa mēslojuma normu N80 kg ha^{-1} , netika konstatētas būtiskas atšķirības starp mēslojuma variantiem, kā arī starp mēslojumiem un kontroles variantu. Nitrificētā digestāta un kūtsmēsli variantos novēroja nedaudz mazākus $\text{NH}_4\text{-N}$ zudumus, tomēr atšķirības nebija būtiskas. Nitrificētā digestāta variantā novēroja lielākus $\text{NO}_3\text{-N}$ zudumus, tomēr atšķirība no pārējiem variantiem nebija būtiska (2. attēls).



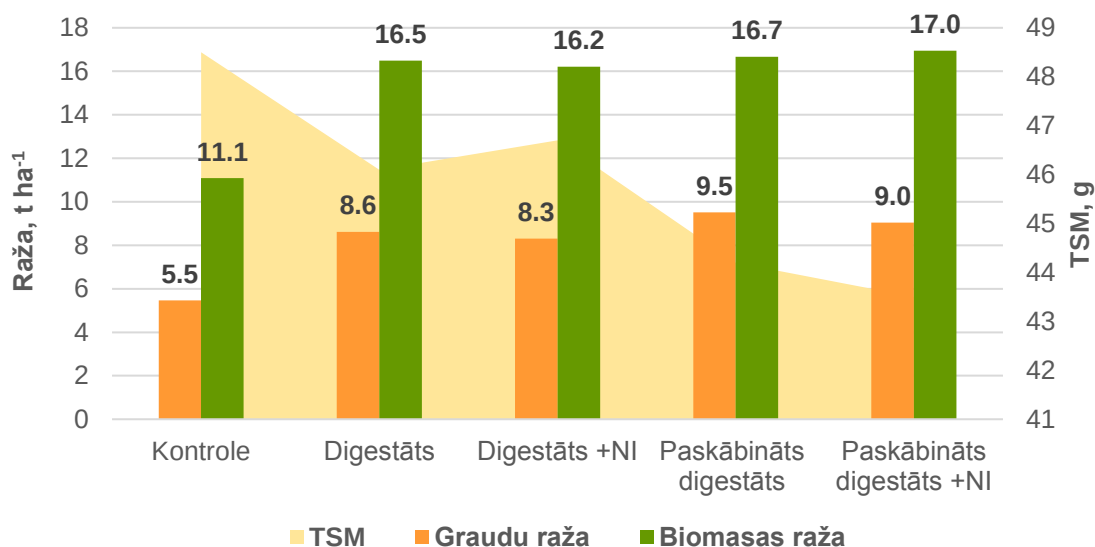
2. att. Slāpekļa izskalošanās, lietojot mēslojumu ar N80 kg ha^{-1} normu (pēc Haraldsen et al., 2011).

Analizējot $\text{NO}_3\text{-N}$ izskalošanos simulēto nokrišņu rezultātā, ja minerālmēsli un nitrificētā digestāta variantos lietoja N160 normu, būtiski palielinājās slāpekļa zudumi, salīdzinot ar N80 un kontroles variantu, kā arī ar digestāta un kūtsmēsli variantu (3. attēls). Lietojot N160 normu, konstatēja būtiski lielākus $\text{NH}_4\text{-N}$ zudumus.



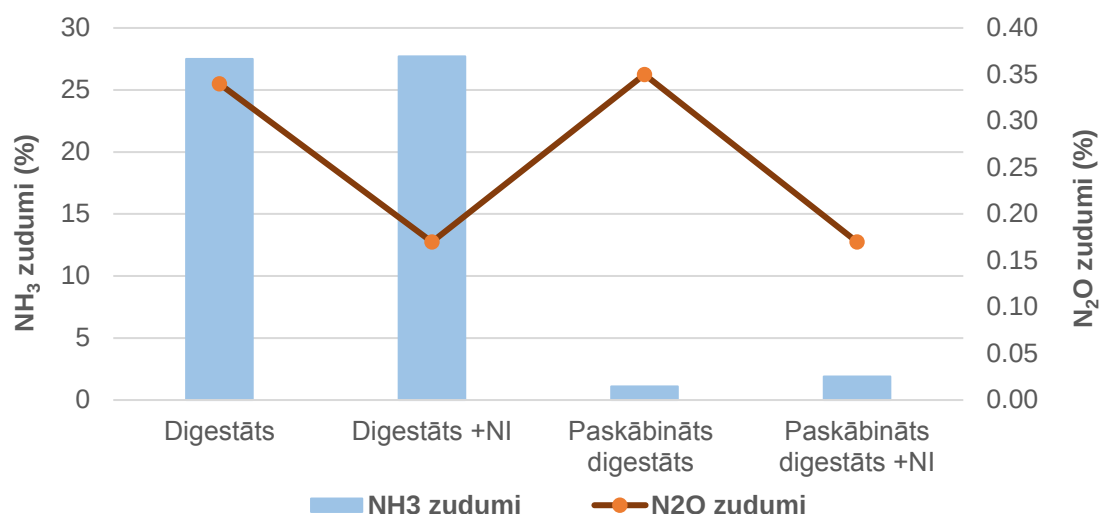
3. att. Slāpekļa izskalošanās, lietojot mēslojumu ar N160 kg ha⁻¹ normu (pēc Haraldsen et al., 2011).

Lielbritānijā ziemas kviešu sējumu izmēģinājumos tika izmantoti digestāta (digestāta pH 8.05–8.24) nitrifikācijas inhibitori (NI) 2 L ha⁻¹ un paskābinātais digestāts ar pH 2.88–pH 5.4 (atkarībā no izmēģinājuma vietas) (Sánchez-Rodríguez, Carswell, Shaw et al., 2018). Digestāta lietošanas variantos ieguva būtiski augstāku graudu un biomasas ražu (4. attēls) salīdzinājumā ar kontroles variantu, kur mēslojums netika dots. Nitrifikācijas inhibitoru lietošanas variantos novērota tendence nedaudz samazināties graudu ražībai, tomēr šīs atšķirības nav bijušas būtiskas. Arī biomasas ražas atšķirības dažādos digestāta apstrādes variantos nebija būtiskas. Analizējot 1000 sēklu masu (TSM), būtiski zemāka tā konstatēta paskābināta digestāta lietošanas variantos. Nitrifikācijas inhibitoru lietošanai netika konstatēta būtiska ietekme uz TSM.



4. att. Ziemas kviešu ražība, lietojot dažādi apstrādātu digestātu (pēc Sanchez-Rodríguez et al., 2018).

Digestāta paskābināšana būtiski samazināja slāpekļa zudumus NH_3 formā, savukārt nitrifikācijas inhibitoru lietošana neatstāja būtisku ietekmi uz NH_3 zudumiem (5. attēls).



5. att. Slāpekļa zudumi (% no kopējā pielietotā N), izmantojot dažādi apstrādātu digestātu (pēc Sanchez-Rodriguez et al., 2018).

Analizējot slāpekļa zudumus N_2O formā, netika konstatēta digestāta paskābināšanas pozitīvā ietekme. Nitrifikācijas inhibitoru lietošana samazināja N_2O zudumus, tomēr samazinājums nebija statistiski būtisks (Sánchez-Rodríguez, Carswell, Shaw et al., 2018).

2.3. DIGESTĀTA UN KOKSNES PELNU IETEKME UZ KULTŪRAUGU RAŽU UN KVALITĀTI

Digestāta un organiskā mēslojuma izmantošana laukaugu audzēšanā

Eiropas Savienībā gadā tiek saražoti aptuveni 180 miljoni tonnu anaerobās fermentācijas digestāta, no kura lielāko daļu izmanto kā organisko mēslojumu (Corden, Bougas, Cunningham et al., 2019). Anaerobās fermentācijas atliekas ir produkti no dažādiem organisko izejvielu avotiem, kas ietver notekūdeņu attīrīšanu, augu dūņas, lauksaimniecības pārtikas rūpniecības atkritumus (daļa no sadzīves cietajiem atkritumiem, ieskaitot augļu un dārzeņu blakusproduktus, ēdnīcas atkritumus, virtuves atkritumus), zaļos atkritumus (augkopības un dārzkopības atkritumi), dzīvnieku atkritumus (cūku, liellopu u.c. kūtsmēsli) un pārtikas atkritumus (dzīvnieku tauki, izlietotas cepamās eļļas, restorānu cisternu attaukošanas atkritumi) (Bhatt, Tao, 2020).

Digestāts ir bagāts ar barības vielām un spēj konkurēt ar neorganiskajiem mēslošanas līdzekļiem, lai celtu ražību un uzlabotu augsnes auglību (Nkoa, 2014; Verdi, Kuikman, Orlandini et al., 2019). Viena no priekšrocībām, ko rada fermentācijas atlieku izmantošana, ir lielāks barības vielu saturs digestātā nekā to daudzums attiecīgajā izejvielā. Lai gan anaerobās fermentācijas procesā tiek emitēts ievērojams daudzums slāpekļa (N) amonija formā, bet ogleklis (C) izdalās kā metāns un oglekļa dioksīds, tomēr liela daļa

barības vielu, piemēram, N, fosfors (P) un kālijs (K), tiek saglabātas (Tambone, Scaglia, D'Imporzano, 2010). Minerālvielu saturs un digestāta īpašības lielākoties ir atkarīgas no substrāta īpašībām un fermentācijas veida (Häfner, Ruser, Claß-Mahler, 2021).

Digestāts veic vairākas funkcijas, un tam ir labvēlīga loma gan augsnes īpašību uzlabošanā, gan augu augšanas veicināšanā. Pirmkārt, digestāts satur augu augšanai nepieciešamās barības vielas un kalpo par mēslošanas līdzekli, kas uzlabo augu produktivitāti. Otrkārt, digestāts būtiski ietekmē kopējo augsnes auglību un citus svarīgus augsnes parametrus. Digestātam ir neatsverama loma augsnes efektivitātes uzlabošanā, nodrošinot barības vielu ciklu augsnē, oglekļa transformāciju un augsnes struktūras uzturēšanu (Przygocka-Cyna, Grzebisz, 2018). Digestāta pielietošanai uz lauka varētu būt mazāk īslaicīgu rezultātu, ko izraisa lēnā mineralizācijas gaita vai mikrobu darbības (Abubaker, Risberg, Jönsson et al., 2015).

Slāpekļis ir būtisks augu augšanas un augsnes mikrobu darbības elements. Tā ir barības viela, ko augi uzņem visvairāk, turklāt slāpekļis ir visizplatītākais augu augšanu ierobežojošs faktors (Makadi, Tomocsik, Orosz, 2012). Digestāta ieguldījums N pieejamībai augsnē ir svarīgs arguments tā izmantošanai. Digestāts ir īpaši bagāts ar amonija slāpekļa ($\text{NH}_4\text{-N}$)-N formu, kas ir augiem viegli pieejama (Jamison, Khanal, Nguyen et al., 2021). Izmantojot N saturošus mēslojumus, jāņem vērā vajadzība palielināt slāpekļa izmantošanās efektivitāti (NUE), lai sasniegtu labākus agronomiskos un vides rezultātus.

Labu ražību un augstas ražas var sasniegt, ja tiek lietots atbilstošs slāpekļa daudzums. Pārmērīga slāpekļa lietošana var izraisīt toksicitāti, izskalošanos, amonjaka iztvaikošanu un videi kaitīgas N_2O emisijas. Svarīga ir pareiza slāpekļa lietošanas stratēģija un atbilstoša lauksaimniecības prakse. Slāpekļa izmantošanas efektivitāti labību audzēšanā var definēt no trim dažādām pieejām: agronomiskā efektivitāte, vides efektivitāte un ekonomiskā efektivitāte (Pires, Da Cunha, De Matos Carlos et al., 2015).

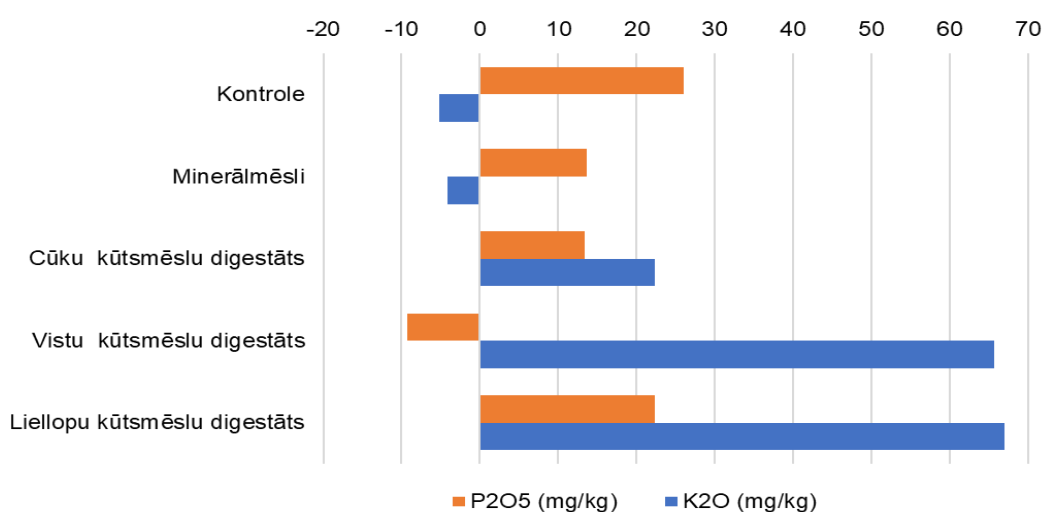
Ilglaidīga nepārtraukta digestāta izmantošana lauksaimniecībā ir uzrādījusi gan pozitīvas, gan negatīvas vidi ietekmējošas īpašības (Nkoa, 2014). Digestāta ietekme uz ražu parasti atšķiras atkarībā no dažādiem faktoriem, piemēram, klimatiskajiem apstākļiem, augsnes īpašībām, pārstrādātā sastāva, kultūraugu sugām un laika (Siebielec, Siebielec, Lipski, 2018).

Lietuvā veiktajos izmēģinājumos tika pētīta dažādas izcelsmes kūtsmēsli (cūku, vistu un liellopu) digestāta ietekme uz labību ražu un kvaliāti, kā arī uz augsnes ķīmiskā sastāva izmaiņām pēc trīs gadu digestāta lietošanas (Doyeni, Stulpinaite, Baksinskaite et al., 2021). Cūku kūtsmēsli digestāts, vistu kūtsmēsli digestāts, liellopu kūtsmēsli digestāts (ķīmiskais sastāvs 1. tabulā), kā arī slāpekļa minerālmēslojums ir doti ar aprēķinu, lai nodrošinātu slāpekļa mēslojumu normu $\text{N } 170_{(90+80)} \text{ kg ha}^{-1}$. Mēslojuma lietošanas varianti tika salīdzināti ar kontroles variantu, kurā mēslojums netika dots.

Digestāta ķīmiskais sastāvs (pēc Doyeni, 2021)

Rādītājs	Cūku kūtsmēslu digestāts	Vistu kūtsmēslu digestāts	Liellopu kūtsmēslu digestāts
Organiskās vielas saturs (%)	2.74	3.35	3.46
Kopējais slāpekļis (%)	0.33	0.57	0.31
P ₂ O ₅ (%)	0.13	0.18	0.14
K ₂ O (%)	0.36	0.23	0.22
pH	8.60	8.73	8.27

Pēc trīs gadu digestāta lietošanas augsnē netika konstatēts būtisks slāpekļa satura palielinājums. Slāpekļa satura izmaiņas augsnē pēc digestāta un minerālmēslojuma lietošanas bija minimālas. Minerālmēslu, vistu un liellopu kūtsmēslu digestāta lietošana veicināja nelielu N satura pieaugumu, bet atšķirības starp variantiem nebija būtiskas. Analizējot oglekļa (C) saturu augsnē, novērota neliela C satura samazināšanās. Minerālmēslu un kūtsmēslu digestāta variantos C samazinājums būtiski neatšķīrās no kontroles variantā. Cūku un vistu kūtsmēslu digestāta variantos C satura samazinājums bija nedaudz lielāks, ko, iespējams, var skaidrot ar izejmateriāla atšķirībām.



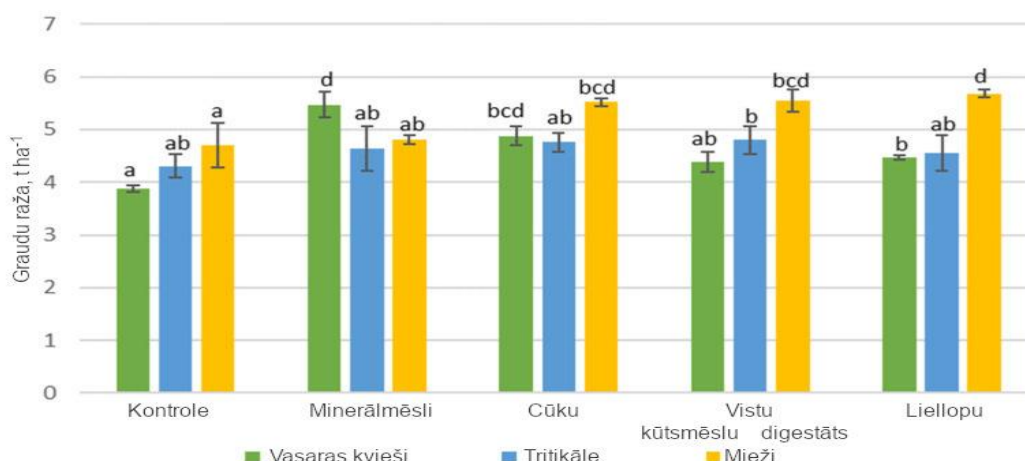
6. att. Kālija (K₂O) un fosfora (P₂O₅) satura izmaiņas augsnē (mg kg⁻¹) pēc trīs gadu mēslojuma lietošanas (pēc Doyeni, 2021).

Vislielākās izmaiņas konstatētas kālija saturam augsnē. Kontroles un minerālmēslu variantos K saturs samazinājās, turpretim digestāta lietošanas variantos K saturs būtiski palielinājās (6. attēls).

Visos variantos, izņemot vistu kūtsmēslu digestāta variantu, bija vērojams fosfora satura pieaugums, bet atšķirības P satura palielinājumā nebija būtiskas. Neskatoties uz augstāku P saturu vistu kūtsmēslu digestātā, tā lietošanas variantā tika konstatēts būtisks P

satura samazinājums augsnē. Iespējams, tas bija saistīts ar mazāku pielietotā digestāta devu, jo vistu kūtsmēsļu digestātam bija lielākais slāpekļa saturs (1. tabula).

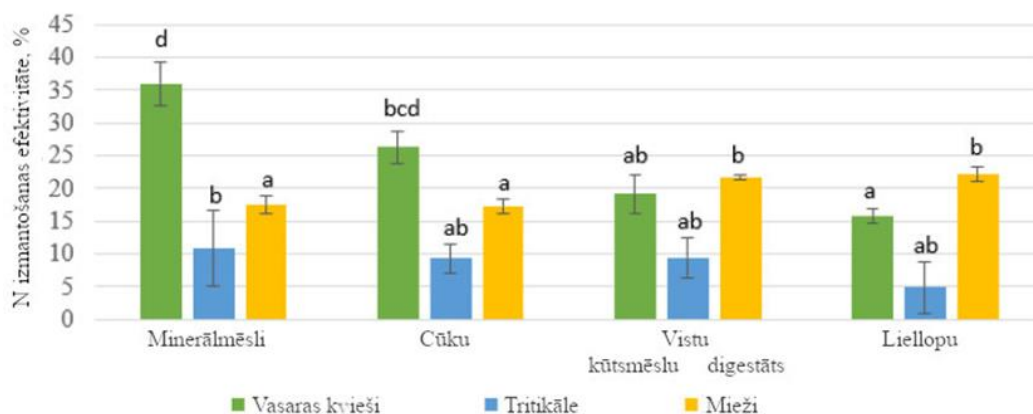
Analizējot vasarāju labību graudu ražu, konstatēts, ka visu veidu digestāta lietošana var nodrošināt ražu, kas līdzvērtīga minerālmēsļu lietošanas variantam. Vasaras kviešiem augstāku graudu ražu ieguva minerālmēsļu lietošanas variantā, bet starp dažādu kūtsmēsļu digestāta lietošanas variantiem būtiskas atšķirības netika konstatētas. Vasaras tritikāles graudu raža būtiski neatšķīrās starp mēslošanas variantiem. Arī miežu graudu ražai starp dažādu kūtsmēsļu digestāta variantiem būtiskas atšķirības netika konstatētas (7. attēls).



7. att. Labību graudu raža dažādos mēslojuma variantos (pēc Doyeni, 2021).

Proteīna saturs graudos ir cieši saistīts ar augu spēju uzņemt un izmantot slāpekli. Proteīna saturs graudos variēja starp labību sugām un mēslošanas variantiem. Vasaras kviešiem un tritikālei novērota tendence veidot lielāku proteīna saturu minerālmēsļu (attiecīgi 14.5% un 13.33%) un cūku kūtsmēsļu digestāta (attiecīgi 14.13% un 12.7%) variantos. Savukārt miežiem augstāks proteīna saturs novērots vistu un liellopu kūtsmēsļu digestāta (attiecīgi 13.03% un 12.76%) variantos. Visos mēslotajos variantos konstatēts būtiski augstāks proteīna saturs salīdzinājumā ar kontroles variantu.

Analizējot slāpekļa izmantošanās efektivitāti (NUE), jāatzīmē, ka to ietekmējuši agroklimatiskie apstākļi konkrētā izmēģinājuma gadā. Ar to tiek skaidrota zemā NUE tritikālei visos mēslojuma variantos (8. attēls).



8. att. Slāpekļa izmantošanās efektivitāte dažādos mēslojuma variantos (pēc Doyeni, 2021).

Visām labību sugām konstatēta būtiska pozitīva korelācija starp slāpekļa izmantošanās efektivitāti un graudu ražu (Doyeni, Stulpinaite, Baksinskaite et al., 2021).

Čehijā veiktos izmēģinājumos tika salīdzināti dažādi mēslošanas veidi vasaras miežu audzēšanā. Trīs organiskā mēslojuma veidi – digestāts 20 t ha⁻¹, digestāts+salmi 20+(5–7) t ha⁻¹ un virca 30 t ha⁻¹ (ķīmiskais sastāvs 2. tabulā) – tika salīdzināti ar minerālmēsli NPK (140-30-90) lietošanas variantu un ar kontroles variantu, kurā mēslojums netika dots.

2. tabula

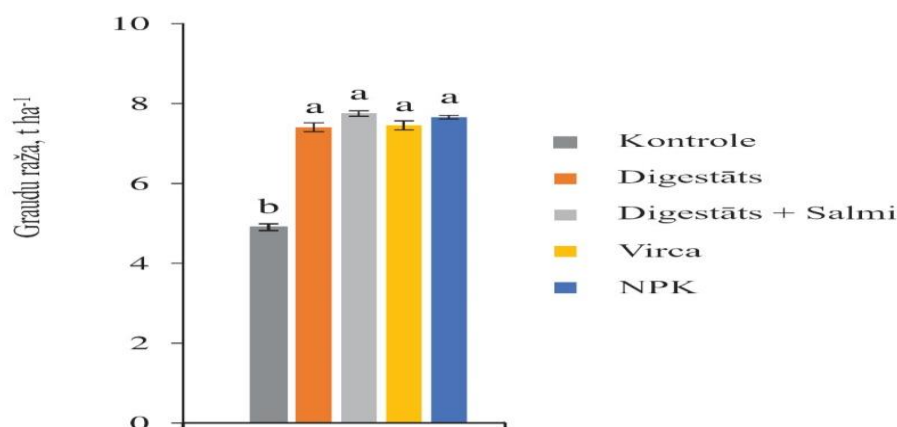
Digestāta ķīmiskais sastāvs (pēc Barlog et al., 2020)

Elements	Mērvienība	Rādītājs	
		Digestāts	Virca
Sausna	g kg ⁻¹	58.3	57.2
Kopējais slāpeklis (N)	g kg ⁻¹	1.83	1.35
Fosfors (P)	g kg ⁻¹	0.68	0.41
Kālijs (K)	g kg ⁻¹	3.22	1.63
Kalcijs (Ca)	g kg ⁻¹	1.72	1.14
Magnijs (Mg)	g kg ⁻¹	0.48	0.38
Varš (Cu)	mg kg ⁻¹	5.6	4.3
Cinks (Zn)	mg kg ⁻¹	17.2	17.2
Mangāns (Mn)	mg kg ⁻¹	16.7	12.0
Dzelzs (Fe)	mg kg ⁻¹	171.4	67.9

“Digestāts+salmi” variantā salmu daudzums bija atkarīgs no priekšauga salmu ražas, kas izmēģinājuma gados svārstījās no 5 līdz 7 t ha⁻¹; pārējos variantos priekšauga salmi tika novākti no lauka (Barlog, Hlisnikovsky, Kunzova, 2020).

Kontroles variantā (bez mēslojuma) iegūtās miežu ražas bija būtiski zemākas par visiem mēslojuma variantiem (8. attēls). Starp vircas, abiem digestāta un minerālmēsli lietošanas variantiem būtiskas ražas atšķirības netika konstatētas. Līdzīga sakarība

konstatēta arī, analizējot miežu salmu ražu: mēslotajos variantos iegūtās salmu ražas bija būtiski lielākas par kontroles variantu, taču atšķirības starp mēslotajiem variantiem nebija būtiskas.



8. att. Miežu graudu raža dažādos mēslojuma variantos (pēc Barlog et al., 2020).

Analizējot graudu ķīmisko sastāvu, būtiski augstāks slāpekļa (N) saturs konstatēts digestāta variantā salīdzinājumā ar digestāta+salmi un vircas variantiem. Digestāta variantā sēra saturs bija lielāks salīdzinājumā ar minerālmēsli variantu. Salmi ir labāks augu barības vielu uzņemšanas indikators salīdzinājumā ar graudiem. Mēslotajos variantos miežu salmos konstatēja būtiski augstāku kālija (K) saturu. Digestāta variantā vasaras mieži uzņēma par 14,8% vairāk K salīdzinājumā ar vircas variantu. Tika konstatēta būtiska pozitīva korelācija starp graudu ražu un K saturu salmos (Barlog, Hlisnikovsky, Kunzova, 2020).

Digestāta un organiskā mēslojuma izmantošana kviešu audzēšanā

Anaerobās fermentācijas procesu rezultātā digestātam var būt augstāks slāpekļa un citu barības vielu saturs, salīdzinot ar nefermentētiem kūsmēsliem (Albuquerque, Fuente, Ferrer-Costak et al., 2012; Li, Yun, Zhang et al., 2018), kas savukārt var ietekmēt mēslojuma efektivitāti un iegūtās ražas lielumu.

Pēc fermentācijas procesa bioreaktorā organiskais slāpekļis baktēriju darbības rezultātā pārveidojas minerālā formā, kā arī stipri palielinās augiem viegli izmantojamā amonija slāpekļa (N-NH_4^+) daudzums (Mikled, Jiraporncharoen, Potikanond, 2002). Tomēr palielinātais amonija slāpekļa saturs fermentētajā masā negarantē lielāku slāpekļa uzņemšanas efektivitāti.

Dažos īstermiņa pētījumos organiskajiem mēslojumiem (virca, digestāts) ir konstatēta zemāka slāpekļa izmantošanas efektivitāte salīdzinājumā ar minerālmēslojumu (Schröder, Jansen, Hilhorst, 2005), kas, iespējams, ir saistīts ar slāpekļa zudumu risku izskalošanās un amonija emisiju rezultātā (Gutser, Ebertseder, Weber et al., 2005; Sānger, Geisseler, Ludwig, 2014). Tomēr ilgtermiņa pētījumos novērota pozitīva organiskā mēslojuma ietekme uz augu ražu, kas ir atkarīgs ne tikai no augiem izmantojamā slāpekļa daudzuma, bet arī citiem organiskā mēslojuma izmantošanas aspektiem, kas saistīti ar augsnes auglības izmaiņām (Sørensen, 2004; Schröder, Uenk, Hilhorst, 2007).

Atšķirīgie pētījumu rezultāti par digestāta ietekmi uz kviešu ražu tiek skaidroti ar daudzu faktoru mijiedarbību, ieskaitot devu un substrāta veidu (Koszel, Kocira, Lorencowicz, 2016; Abubaker, Elnesairy, Ahmad, 2017). Digestāta ietekme uz kultūraugu ražu ir atkarīga no daudziem faktoriem, piemēram, tādiem kā augsnes īpašības, klimatiskie apstākļi veģetācijas periodā, digestāta ķīmiskais sastāvs un lietošanas metodes (Riva, Orzi, Carozzi et al., 2016; Panuccio, Papalia, Attina et al., 2018).

Pētījumos Anglijā salīdzināta digestāta un minerālmēslu ietekme uz ziemas kviešu ražu. Abiem mēslojuma veidiem slāpekļa norma bija $N250 \text{ kg ha}^{-1}$. Netika konstatētas būtiskas biomasas un graudu ražas atšķirības starp digestāta (attiecīgi 19.2 t ha^{-1} un 11.3 t ha^{-1}) un minerālmēslu (attiecīgi 19.6 t ha^{-1} un 11.6 t ha^{-1}) lietošanas variantiem. Arī analizējot proteīna saturu graudos, netika konstatētas būtiskas atšķirības starp digestāta un minerālmēslu (attiecīgi 11.52% un 11.06%) lietošanas variantiem (Udall, Rayns, Charlesworth, 2017).

Citos pētījumos, lietojot digestāta mēslojumu, konstatēts augstāks proteīna saturs kviešu graudos salīdzinājumā ar minerālmēslu variantu, bet būtiskas atšķirības cietes saturā netika konstatētas (Róžyl, Gawlik-Dziki, Swieca et al., 2015).

Polijā veiktos izmēģinājumos (Koszel, Przywara, Santoro et al., 2018) ziemas kviešu audzēšanā tika noskaidrotas iespējas aizvietot minerālmēslojumu ($N 140 \text{ kg ha}^{-1}$, $P 60 \text{ kg ha}^{-1}$ un 81 kg ha^{-1}) ar šķidrā digestāta (skat. ķīmisko sastāvu 3. tabulā) izmantošanu.

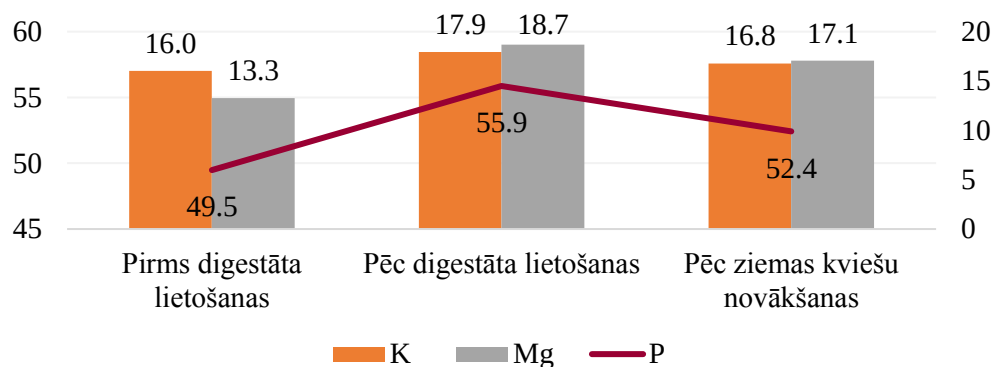
3. tabula

Digestāta ķīmiskais sastāvs, g L^{-1} (pēc Koszel et al., 2018)

Elements	Rādītājs
Fosfors (P)	0.18
Kālijs (K)	6.12
Kalcijs (Ca)	0.45
Magnijs (Mg)	0.18

Augsnes analīzes parādīja, ka digestāts ir ziemas kviešiem piemērots mēslošanas līdzeklis. Digestāta lietošana neatstāja būtisku iespaidu uz augsnes pH izmaiņām ziemas kviešu audzēšanas laikā. Pirms digestāta lietošanas augsnes pH bija 7.46, pēc digestāta lietošanas – pH 7.5, bet pēc kviešu novākšanas – pH 7.34. Pēc ziemas kviešu audzēšanas tika novērots makroelementu fosfora, kālija un magnija satura samazinājums augsnē (9. attēls).

Kviešu graudu kvalitātes analīze liecināja, ka augstāku proteīna saturu salīdzinājumā ar minerālmēslu variantu (10.84%) devusi digestāta mēslojuma (11.01%) lietošana. Šajā variantā novērots arī augstāks minerālelementu saturs graudos (4. tabula).



9. att. Makroelementu saturs augsnē, audzējot ziemas kviešus, mg 100 g⁻¹ augsnes (pēc Koszel et al., 2018).

4. tabula

Makroelementu saturs ziemas kviešu graudos, lietojot minerālmēslojumu un digestātu (pēc Koszel et al., 2018)

Minerālelements	Minerālelementu saturs, %	
	NPK	Digestāts
Slāpeklis (N)	1.78	1.85
Fosfors (P)	0.45	0.51
Kālijs (K)	0.54	0.59
Kalcijs (Ca)	0.13	0.15
Magnijs (Mg)	0.21	0.23

Citos izmēģinājumos, audzējot vasaras kviešus, netika konstatētas būtiskas proteīna satura atšķirības starp digestāta un minerālmēslojumu (attiecīgi 12.06% un 12.07%) lietošanas variantiem (Koszel, Kocira, Lorencowicz, 2016). Analizējot minerālelementu saturu vasaras kviešu graudos, digestāta lietošanas variantā novērots nedaudz augstāks to saturs salīdzinājumā ar minerālmēslojumu variantu (5. tabula).

5. tabula

Makroelementu saturs vasaras kviešu graudos, lietojot minerālmēslojumu un digestātu (pēc Koszel et al., 2016)

Minerālelements	Minerālelementu saturs, %	
	NPK	Digestāts
Slāpeklis (N)	1.60	1.62
Fosfors (P)	0.33	0.34
Kālijs (K)	0.55	0.62
Kalcijs (Ca)	0.27	0.42
Magnijs (Mg)	0.10	0.11

Čehijā veiktos izmēģinājumos tika salīdzināti dažādi mēslošanas veidi, audzējot ziemas kviešus. Trīs organiskā mēslojuma veidus – digestāts 20 t ha⁻¹, digestāts+salmi 20+(5 – 7) t ha⁻¹ un virca 30 t ha⁻¹ (skat. ķīmisko sastāvu 6. tabulā) – salīdzināja ar

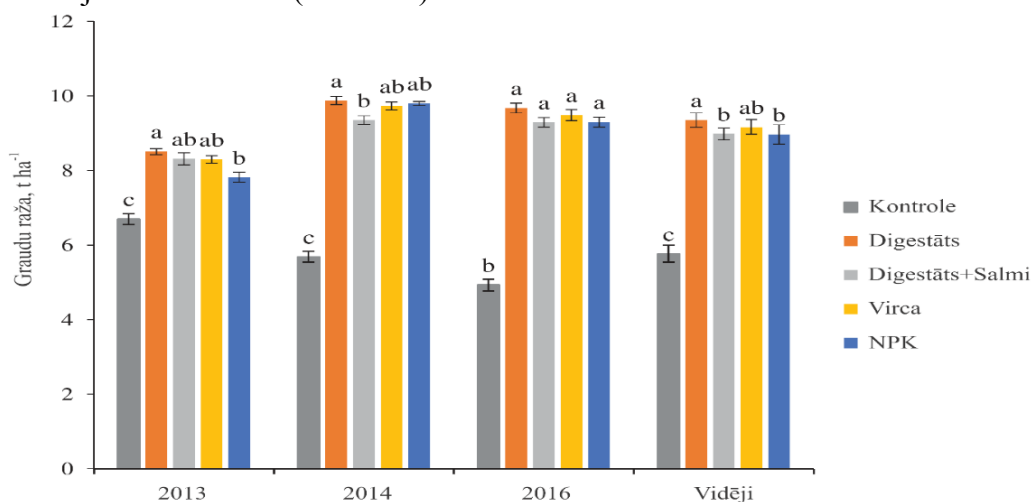
minerālmēsļu NPK (140-30-90) lietošanas variantu un kontroles variantu, kurā mēslojums netika dots. “Digestāts+salmi” variantā salmu daudzums bija atkarīgs no priekšauga salmu ražas, kas izmēģinājuma gados svārstījās no 5 līdz 7 t ha⁻¹; pārējos variantos priekšauga salmi tika novākti no lauka (Barlog, Hlisnikovsky, Kunzova, 2020).

6. tabula

Digestāta ķīmiskais sastāvs (pēc Barlog et al., 2020)

Elements	Mērvienība	Rādītājs	
		Digestāts	Virca
Sausna	g kg ⁻¹	58.3	57.2
Kopējais slāpeklis (N)	g kg ⁻¹	1.83	1.35
Fosfors (P)	g kg ⁻¹	0.68	0.41
Kālijs (K)	g kg ⁻¹	3.22	1.63
Kalcijs (Ca)	g kg ⁻¹	1.72	1.14
Magnijs (Mg)	g kg ⁻¹	0.48	0.38
Varš (Cu)	mg kg ⁻¹	5.6	4.3
Cinks (Zn)	mg kg ⁻¹	17.2	17.2
Mangāns (Mn)	mg kg ⁻¹	16.7	12.0
Dzelzs (Fe)	mg kg ⁻¹	171.4	67.9

Ziemas kviešu graudu ražas bija atšķirīgas dažādos izmēģinājuma variantos. Visaugstākās tās bija digestāta lietošanas variantā, savukārt ražas starpību būtiskums starp mēslojuma variantiem atšķīrās pa izmēģinājuma gadiem. Kontroles variantā (bez mēslošanas) visos izmēģinājuma gados ieguva būtiski zemākas ražas salīdzinājumā ar visiem mēslojuma variantiem (10. attēls).



10. att. Ziemas kviešu graudu raža dažādos mēslojuma variantos (pēc Barlog et al., 2020).

Analizējot trīs izmēģinājuma gadu vidējos ražas datus, secināts, ka digestāta lietošanas variantā iegūtas būtiski augstākas graudu ražas salīdzinājumā ar digestāta+salmi un minerālmēsli variantiem. Starp vircas un digestāta lietošanas variantiem būtiskas ražas atšķirības netika konstatētas.

Analizējot graudu ķīmisko sastāvu, būtiski augstāks sēra (S), nātrijs (Na), cinka (Zn) un vara (Cu) saturs konstatēts digestāta lietošanas variantā salīdzinājumā ar digestāta+salmi un minerālmēsli variantiem, bet slāpekļa (N) un kālija (K) satura atšķirības mēslotajos variantos nebija būtiskas (Barlog, Hlisnikovsky, Kunzova, 2020).

Līdzīgos pētījumos Čehijā konstatēts, ka digestāts ievērojami palielina ziemas kviešu graudu ražu un tā efektivitāte ir salīdzināma ar to efektivitāti, ko dod NPK mēslojums (Šimon, Kunzova, Friedlová, 2015).

7. tabula

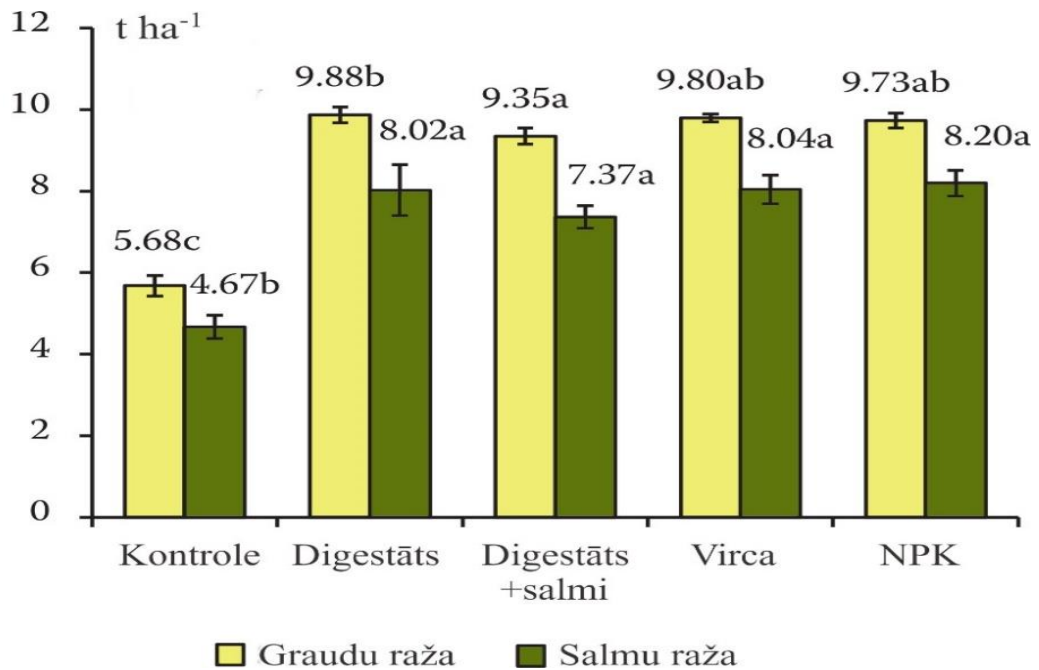
Digestāta ķīmiskais sastāvs (pēc Šimon et al., 2015)

Elements	Vienība	Rādītājs	
		Digestāts	Virca
Sausna	%	6.2	7.0
Kopējais slāpekļis (N)	%	6.1	4.8
Fosfors (P)	% sausnā	1.03	0.78
Kālijs (K)	% sausnā	6.70	3.91
Kalcijs (Ca)	% sausnā	3.08	2.20
Magnijs (Mg)	% sausnā	0.83	0.85

Trīs organiskā mēslojuma veidi (skat. ķīmisko sastāvu 7. tabulā) – digestāts 20 t ha⁻¹ (N 75.6 kg ha⁻¹), digestāts+salmi 20+2.5 t ha⁻¹ (N 91.7 kg ha⁻¹) un virca 30 t ha⁻¹ (N 100.8 kg ha⁻¹) tika salīdzināti ar minerālmēsli NPK (120-30-90) lietošanas variantu un kontroles variantu, kurā mēslojums netika dots.

Kontroles variantā (bez mēslošanas) visos izmēģinājuma gados ieguva būtiski zemākas ražas salīdzinājumā ar visiem mēslotajiem variantiem (11. attēls). Analizējot graudu ražas datus mēslotajos variantos, būtiskas atšķirības konstatēja tikai starp digestāta un digestāta+salmi variantiem. Digestāta lietošanas variantā iegūtas būtiski augstākas graudu ražas salīdzinājumā ar digestāta+salmi variantiem. Starp digestāta, vircas un minerālmēsli lietošanas variantiem būtiskas ražas atšķirības netika konstatētas. Analizējot salmu ražu, būtiskas atšķirības starp mēslotajiem variantiem netika konstatētas.

Analizējot oglekļa un slāpekļa saturu augsnē, būtiskas atšķirības starp mēslotajiem variantiem netika konstatētas. Pētījuma autori secina, ka digestāta lietošana īstermiņa izmēģinājumos veicina ražas pieaugumu un nodrošina būtisku organiskās vielas satura paaugstināšanos augsnē (Šimon, Kunzova, Friedlová, 2015).



11. att. Ziemas kviešu raža dažādos mēslojuma variantos, vidēji divos sējas ciklos (pēc Šimon et al., 2015).

Digestāta un organiskā mēslojuma izmantošana kukurūzas audzēšanā

Lai digestātu izmantotu kā organisko mēslojumu, to parasti sadala cietajā (sausajā) un šķidrā frakcijā. Tās atšķiras pēc sausas saturā un ķīmiskā sastāva, kas savukārt var atšķirīgi ietekmēt biomasas ieguvu (Hjorth, Christensen K.V., Christensen M. et al., 2010).

Lauksaimniecības praksē digestātu bieži lieto kā mēslojumu kultūrām, kuras audzē biomasas ieguvei, it īpaši biogāzes ražošanai, jo digestāts ir bagāts ar barības vielām. Kukurūza ir viena no vissvarīgākajām biomasas kultūrām Eiropā (Herrmann, 2013). Tomēr prakse rāda, ka kukurūzas audzēšana ir ļoti jutīga attiecībā pret slāpekļa zudumiem (izskalošanās un gāzveida emisijas rezultātā) un augsnes eroziju (Taube, Herrmann, 2009; Svoboda, Taube, Kluß et al., 2013).

Vācijā tika pētīta digestāta cietās un šķidrās frakcijas izmantošana kukurūzas mēslošanā. Digestāta lietošanas variantus salīdzināja ar minerālmēsli lietošanas variantu. Visos variantos mēslojums tika dots ar aprēķinu, lai ikgadējā mēslojuma norma būtu N 150 kg ha⁻¹. Pētījumi liecināja, ka visaugstākās kukurūzas sausas ražas deva minerālmēslojuma lietošana, bet viszemākās – cietās digestāta frakcijas lietošana mēslojumā. Minerālmēsli lietošanas pārākums visizteiktāk izpaudās, kad kukurūza tika audzēta nelabvēlīgajos gados – ar aukstu pavasari vai sausām vasarām (Ehmann, Thumm, Lewandowski, 2018).

Citos izmēģinājumos Vācijā tika pētīta minerālmēsli un digestāta lietošanas ietekme uz kukurūzas ražu atkarībā no dažādām slāpekļa normām (no N0 līdz N180). Likumsakarīgi, ka zemāko vidējo kukurūzas sausas ražu (13.4 t ha⁻¹) ieguva N0 variantā. Digestāta mēslošanas variantā ieguva būtiski augstākas kukurūzas sausas ražas (19.3 t ha⁻¹), lietojot slāpekļa normu 96 kg ha⁻¹. Lai iegūtu līdzvērtīgu (19.1 t ha⁻¹) kukurūzas sausas ražu, lietojot minerālmēslus, bija vajadzīgas ievērojami augstākas slāpekļa normas (150 kg ha⁻¹) (Herrmann, Sieling, Wienforth et al., 2013).

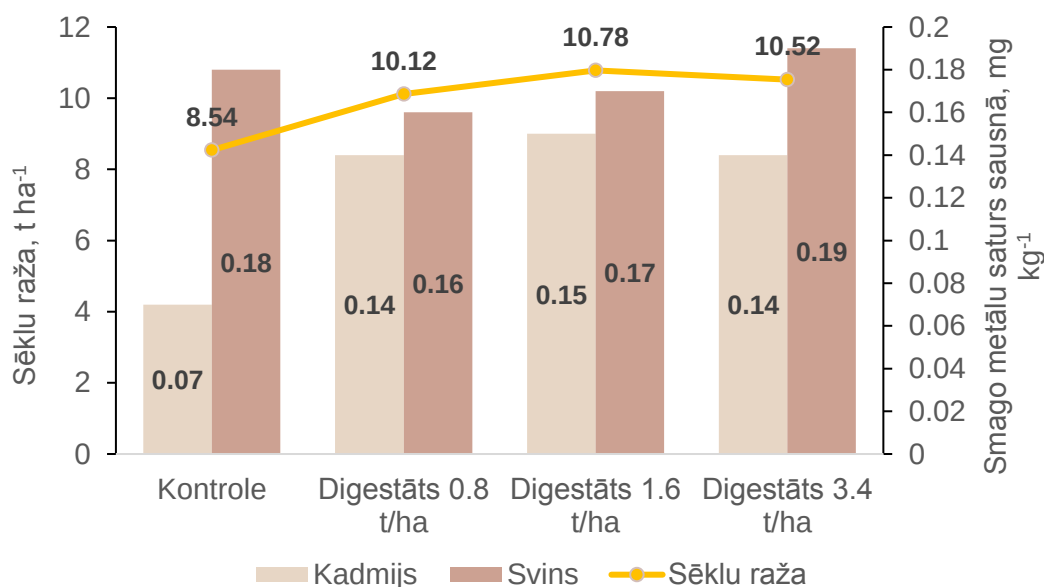
Polijā tika veikti trīs gadīgi izmēģinājumi (Przygocka-Cyna, Grzebisz, 2018), lai pētītu dažādu digestāta lietošanas normu ietekmi uz kukurūzas graudu ražu un smago metālu saturu graudos. Tika pārbaudītas trīs digestāta lietošanas normas: 0.8 t ha⁻¹, 1,6 t ha⁻¹ un 3.2 t ha⁻¹. Digestāta (skat. ķīmisko sastāvu 8. tabulā) lietošanas varianti tika salīdzināti ar kontroles variantu, kurā digestāts netika lietots.

8. tabula

Digestāta ķīmiskais sastāvs (pēc Przygocka-Cyna, Grzebisz, 2018)

Elements	Mērvienība	Rādītājs
Kopējais slāpeklis (N)	g kg ⁻¹	26.1
Fosfors (P)	g kg ⁻¹	3.4
Kālijs (K)	g kg ⁻¹	46.5
Magnijs (Mg)	g kg ⁻¹	5.4
Varš (Cu)	mg kg ⁻¹	325
Cinks (Zn)	mg kg ⁻¹	210
Mangāns (Mn)	mg kg ⁻¹	165
Dzelzs (Fe)	mg kg ⁻¹	982
Svins (Pb)	mg kg ⁻¹	2.8
Kadmijs (Cd)	mg kg ⁻¹	1.64

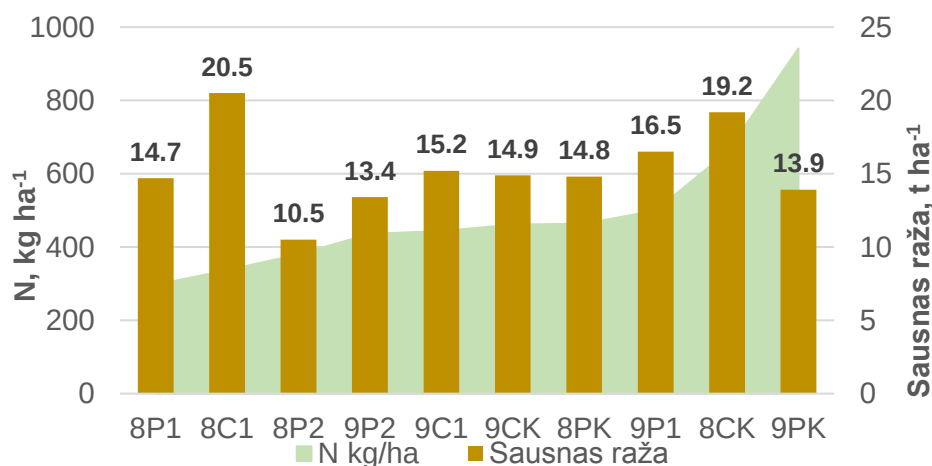
Visos variantos pavasarī tika dots slāpekļa minerālmēslojums ar aprēķinu, lai augiem pieejamais slāpeklis augsnē kopā ar minerālmēsliem nodrošinātu N 140 kg ha⁻¹. Kukurūzas graudu raža visos digestāta lietošanas variantos bija būtiski augstāka nekā kontroles variantā. Būtiskas atšķirības kukurūzas ražai starp dažādiem digestāta lietošanas variantiem netika konstatētas (12. attēls).



12. att. Kukurūzas graudu raža un smago metālu saturs graudos, vidēji trijos izmēģinājuma gados (pēc Przygocka-Cyna, Grzebisz, 2018).

Lietojot digestātu kā organisko mēslojumu, svarīgi ir kontrolēt smago metālu koncentrāciju iegūtajā produkcijā. Vidēji trijos izmēģinājuma gados kukurūzas graudos netika konstatēts būtisks svina satura pieaugums digestāta lietošanas variantos salīdzinājumā ar kontroles variantu. Svina saturu kukurūzas graudos vairāk ietekmēja konkrētais izmēģinājumu gads ar tā atšķirīgajiem klimatiskajiem apstākļiem. Analīze rādīja, ka kadmijs saturs graudos digestāta lietošanas variantos bija būtiski augstāks nekā kontroles variantā. Izmēģinājumos konstatēta arī būtiska pozitīva Cd satura korelācija ar graudu ražu un slāpekļa saturu graudos. Zinātnieki secinājuši, ka Cd uzņemšanu augos ietekmē nitrātu slāpekļa saturs augsnē (Przygocka-Cyna, Grzebisz, 2018).

Itālijā 2018. un 2019. gadā veikti izmēģinājumi par dažādiem digestāta pielietošanas veidiem (digestāta iestrāde augsnē pirms kukurūzas sējas, digestāta šķidrās frakcijas pilienvēda sistēma un cirkulārā laistīšanas sistēma) kukurūzas audzēšanā. Šajos izmēģinājumos lietotas ļoti lielas slāpekļa normas – līdz pat $N\ 942\ kg\ ha^{-1}$, turklāt netika lietotas vienotas N mēslojuma normas visiem digestāta pielietojuma variantiem un katrā variantā tika uzskaitīts ar digestātu iedotais slāpekļlis. Lietojot tik augstas slāpekļa normas, netika konstatēts kāda konkrēta digestāta pielietošanas veida pārkums. Izmēģinājuma rezultāti rādīja, ka palielinātas slāpekļa normas nenodrošināja kukurūzas ražas pieaugumu (13. attēls). Izmēģinājumos ir arī noteikta slāpekļa iznesa ar ražu. Tā svārstījās no 136 līdz $238\ kg\ ha^{-1}$, kas ir ievērojami mazāka par slāpekļa normu, kas iedota ar mēslojumu (Guido, Finzi, Ferrari et al., 2020).



8P1 – 2018. g., Pilienvēda sistēma, lauks 1; 8P2 - 2018. g., Pilienvēda sistēma, lauks 2; 8PK – 2018. g., Pilienvēda sistēma, kontroles lauks; 8C1 – 2018. g., Cirkulārā sistēma, lauks 1; 8CK – 2018. g., Cirkulārā sistēma, kontroles lauks; 9P1 – 2019.g., Pilienvēda sistēma, lauks 1; 9P2 - 2019.g., Pilienvēda sistēma, lauks 2; 9PK – 2019.g., Pilienvēda sistēma, kontroles lauks; 9C1 – 2019.g., Cirkulārā sistēma, lauks 1; 9CK – 2019.g., Cirkulārā sistēma, kontroles lauks.

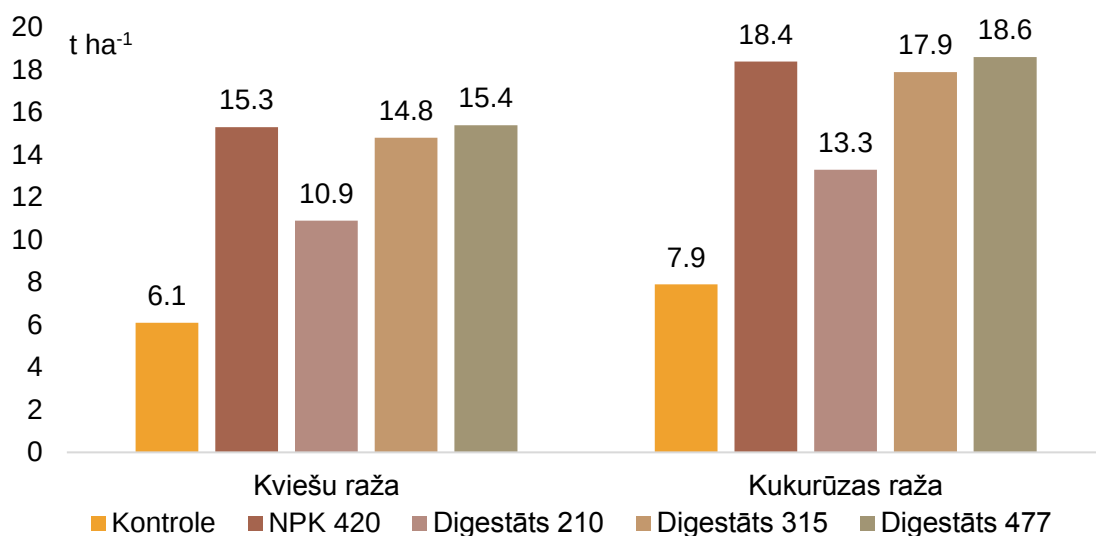
13. att. Kukurūzas sausas raža, lietojot dažādas slāpekļa mēslojuma normas digestāta lietošanas variantā (pēc Guido et al., 2020).

13.attēlā divu izmēģinājuma gadu kukurūzas sausas ražas dati sagrupēti pēc slāpekļa mēslojuma normām. Redzams, ka augstākā ($20.5\ t\ ha^{-1}$) kukurūzas sausas raža

iegūta 2018. gadā cirkulārās šķidrā digestāta laistīšanas variantā, tomēr tas neapstiprina šāda mēslošanas veida pārākumu, jo nākamajā izmēģinājuma gadā tika iegūta būtiski zemāka (15.2 t ha^{-1}) kukurūzas sausas raža. Kopumā pētnieki ir pierādījuši iespēju nodrošināt augstas slāpekļa normas ar atbilstošiem digestāta pielietojuma veidiem (Guido, Finzi, Ferrari et al., 2020).

Ķīnā veiktajos izmēģinājumos kukurūza tika audzēta vienotā ciklā uzreiz pēc ziemas kviešiem. Izmantoti trīs digestāta lietošanas varianti, kuros digestātu dažādās proporcijās atšķaidīja ar ūdeni (tā, lai katrā variantā nodrošinātu atšķirīgu slāpekļa mēslojuma normu – $N 210 \text{ kg ha}^{-1}$, $N 315 \text{ kg ha}^{-1}$ un $N 477 \text{ kg ha}^{-1}$) un kopā ar laistīšanu lietoja ziemas kviešu un kukurūzas audzēšanas periodā (Yin, Wang, Du et al., 2019). Digestāta lietošanas variantus salīdzināja ar minerālmēsli lietošanas variantu ($N 420 \text{ kg ha}^{-1}$) un kontroles variantu, kurā nekāds mēslojums netika dots. Kukurūzu sēja uzreiz pēc ziemas kviešu novākšanas. Iegūtie rezultāti ir apkopoti par diviem kviešu-kukurūzas audzēšanas cikliem.

Pētījumu rezultāti rāda, ka ziemas kviešu un kukurūzas graudu ražas būtiski ietekmē slāpekļa mēslojuma norma, nevis pielietotais mēslojuma veids. Starp līdzvērtīgiem pēc slāpekļa normas variantiem – minerālmēsli N_{420} , digestāta un N_{477} – netika konstatētas būtiskas ražas atšķirības. Arī slāpekļa lietošanas variants N_{315} būtiski neatšķīrās (vidēji par 100 kg ha^{-1}) no variantiem, kuros slāpekli lietoja vairāk par 400 kg uz hektāru (14. attēls).

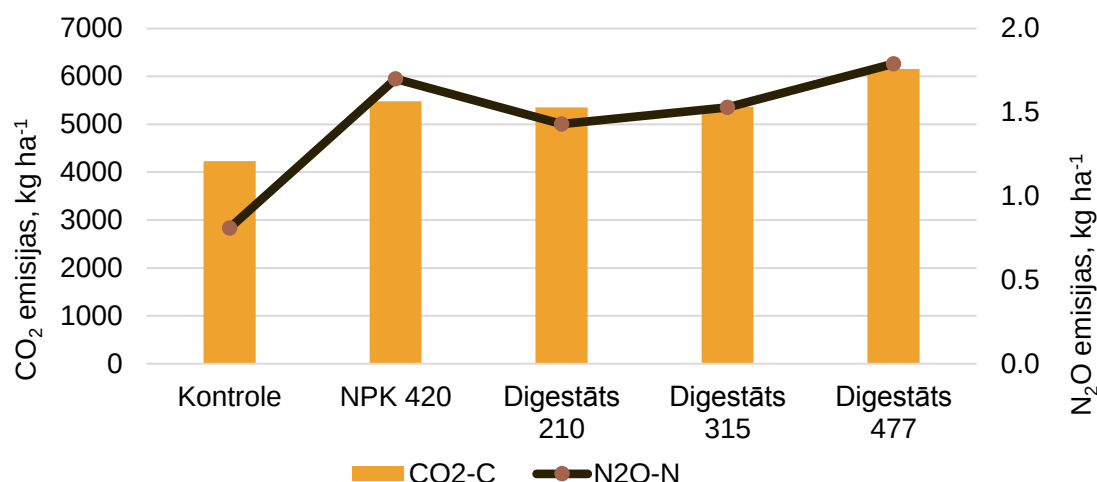


14. att. Kukurūzas graudu un ziemas kviešu graudu ražas (pēc Yin et al., 2020).

Lietojot organisko mēslojumu, tajā skaitā digestātu, ir svarīgi noskaidrot mēslošanas ietekmi uz siltumnīcas gāzu emisijām (Johansen, Carter, Jensen et al., 2013).

CO_2 un N_2O emisiju rādītāji svārstījās audzēšanas ciklu laikā, kā arī bija vērojamas atšķirības starp abiem audzēšanas cikliem. Tomēr, veicot datu matemātisko apstrādi, netika konstatētas būtiskas CO_2 un N_2O emisiju atšķirības starp dažādajiem variantiem, kuros bija lietots mēslojums (Yin, Wang, Du et al., 2019). Vienīgās statistiski būtiskās atšķirības konstatēja starp kontroles variantu, kurā netika lietots nekāds mēslojums, un pārējiem

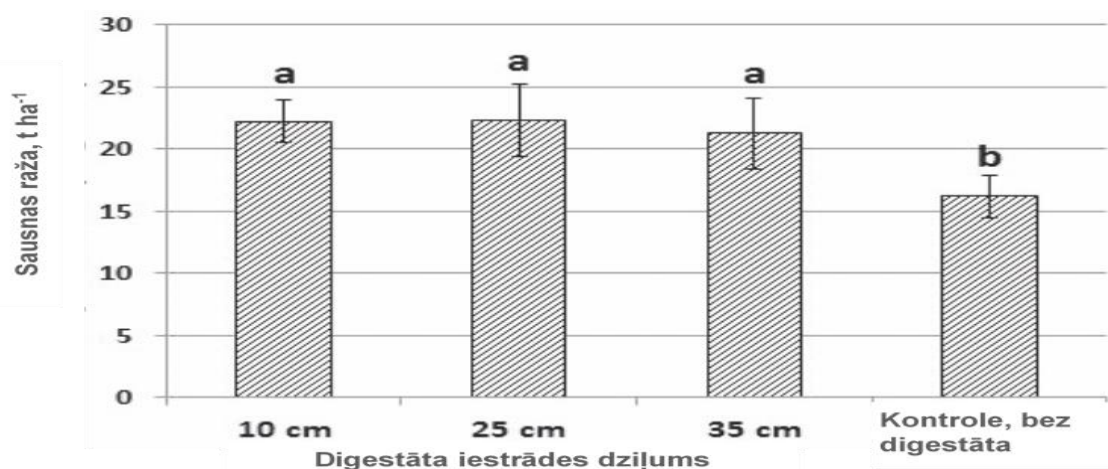
variantiem, kuros tika lietots N mēslojums, neatkarīgi no mēslošanas līdzekļa veida (15. attēls).



15. att. Kopējās CO₂ un N₂O emisijas graudu kukurūzas un ziemas kviešu audzēšanas ciklā (pēc Yin et al., 2020).

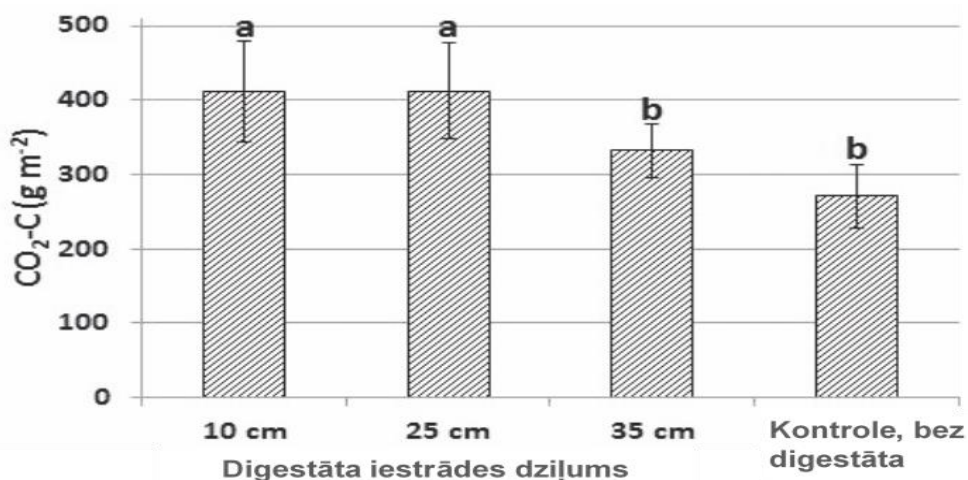
Itālijā veiktos izmēģinājumos tika pētīta digestāta iestrādes dziļuma ietekme uz CO₂ emisijām, audzējot kukurūzu. Digestāts tika iestrādāts augsnē trīs dažādos dziļumos (10 cm, 25 cm un 35 cm), un kontrolei izmantoja variantu bez digestāta. Visos digestāta variantos mēslojums tika dots ar aprēķinu, lai slāpekļa mēslojuma norma būtu N 170 kg ha⁻¹. Papildus visos variantos (arī kontroles) tika doti 50 kg ha⁻¹ slāpekļa minerālmēslojuma (Maucieri, Barbera, Borin, 2016).

Digestāta iestrādes dziļumam netika konstatēta būtiska ietekme uz kukurūzas sausas ražas. Būtiski zemākas kukurūzas sausas ražas konstatēja tikai kontroles variantā, kurā netika lietots digestāts (16. attēls). Turpretim digestāta iestrādes dziļumam bija būtiska ietekme uz CO₂ emisijām. Seklākajos (10 cm un 25 cm) digestāta iestrādes variantos kumulatīvās CO₂ emisijas kukurūzas audzēšanas periodā bija būtiski augstākas salīdzinājumā ar dziļākās (35 cm) iestrādes variantu, kā arī ar kontroles variantu (17. attēls).



16. att. Kukurūzas sausas raža, t ha⁻¹, trijos digestāta iestrādes dziļumos

(pēc Maucieri et al., 2016).



17. att. Augsnes kumulatīvās CO₂ emisijas (pēc Maucieri et al., 2016).

Pētījuma autori (Maucieri, Barbera, Borin, 2016) uzsver, ka 35 cm iestrādes dziļuma zemāko kopējo emisiju daudzumu nedrīkst vērtēt viennozīmīgi un būtu jāņem vērā arī traktortehnikas radītās CO₂ emisijas. Tomēr pētījumu rezultāti liecina, ka ir iespējams mērķtiecīgi regulēt emisijas, audzējot kukurūzu tiešajā sējā, lietojot pirmssējas dziļlirdināšanu, kas apvienota ar digestāta iestrādi ar atbilstošu tehnisko nodrošinājumu (Maucieri, Barbera, Borin, 2016).

Digestāta un organiskā mēslojuma izmantošana ziemas rapša audzēšanā

Lauksaimniecības produkcijas ražošana ir jāveic saskaņā ar vides aizsardzības prasībām. Ir svarīgi uzturēt drošu mēslošanas līdzekļu izmantošanu lauksaimniecības vidē, jo īpaši attiecībā uz slāpekļa mēslošanas līdzekļiem. Digestāta sastāvā esošie barības elementi ir augiem viegli izmantojamā formā, un tas ir arī minerālmēslojumam konkurētspējīgs augu mēslošanas līdzeklis. Digestātā esošās organiskās vielas atstāj pozitīvu ietekmi uz augsnes fizikālajām un ķīmiskajām īpašībām un uz augsnes auglību kopumā (Comparetti, Febo, Greco et al., 2013).

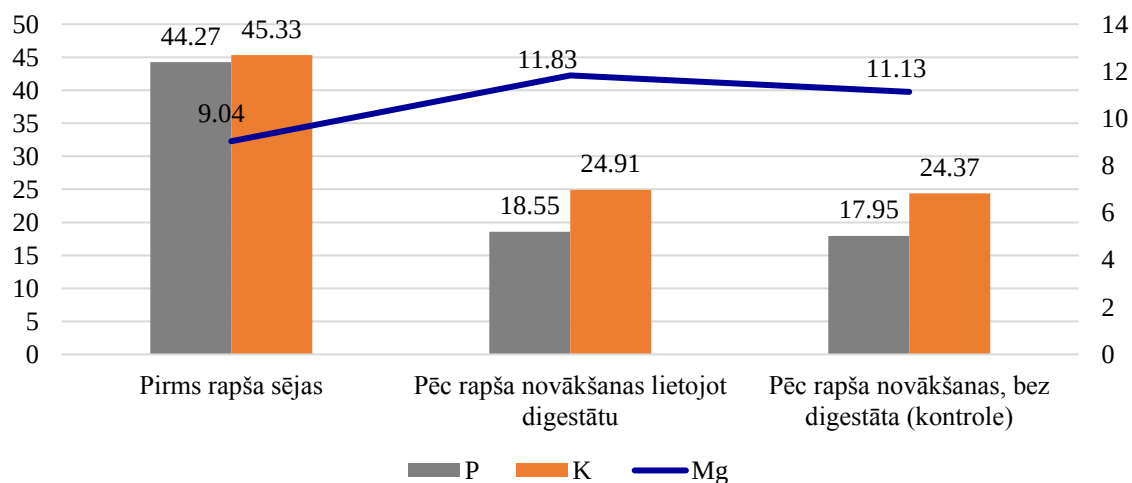
Polijā tika veikti trīsgadīgi izmēģinājumi (Koszel, Parafiniuk, Szparaga et al., 2020), lai noskaidrotu piemērotākās digestāta normas, audzējot ziemas rapsi (šķirne 'Artoga'). Augu biežība izmēģinājumos vidēji bija 30–48 augi uz m². Pirms ziemas rapša sējas tika lietoti 350 kg ha⁻¹ kompleksā minerālmēslojuma, kura sastāvs bija: 6% slāpekļa (N), 20% fosforā (P₂O₅) un 30% kālija (K₂O). Tika pārbaudītas trīs digestāta lietošanas normas: 25 000 (12500+12500) L ha⁻¹, 37 500 (18750+18750) L ha⁻¹ un 50 000 (25000+25000) L ha⁻¹. Digestāta (pH 8.7; skat. ķīmisko sastāvu 9. tabulā) lietošanas varianti tika salīdzināti ar kontroles variantu, kurā digestāts netika lietots.

**Digestāta ķīmiskais sastāvs, vidēji trijos izmēģinājuma gados
(pēc Koszel et al., 2020)**

Elements	Mērvienība	Rādītājs
Fosfors (P)	g l ⁻¹	0.11
Kālijs (K)	g l ⁻¹	4.88
Kalcijs (Ca)	g l ⁻¹	0.3
Magnijs (Mg)	g l ⁻¹	0.06
Kadmijs (Cd)	mg l ⁻¹	<0.43
Svins (Pb)	mg l ⁻¹	<0.43
Niķelis (Ni)	mg l ⁻¹	<0.43
Hroms (Cr)	mg l ⁻¹	<0.43
Varš (Cu)	mg l ⁻¹	0.45
Cinks (Zn)	mg l ⁻¹	1.94
Mangāns (Mn)	mg l ⁻¹	2.05
Dzelzs (Fe)	mg l ⁻¹	74.35

Digestāta lietošana neatstāja būtisku ietekmi uz augsnes pH izmaiņām un makroelementu saturu rapša audzēšanas laikā. Pirms rapša sējas augsnes pH bija 5.62, bet pēc rapša novākšanas – pH 5.55, lietojot digestātu, un pH 5.51 kontroles variantā bez digestāta lietošanas.

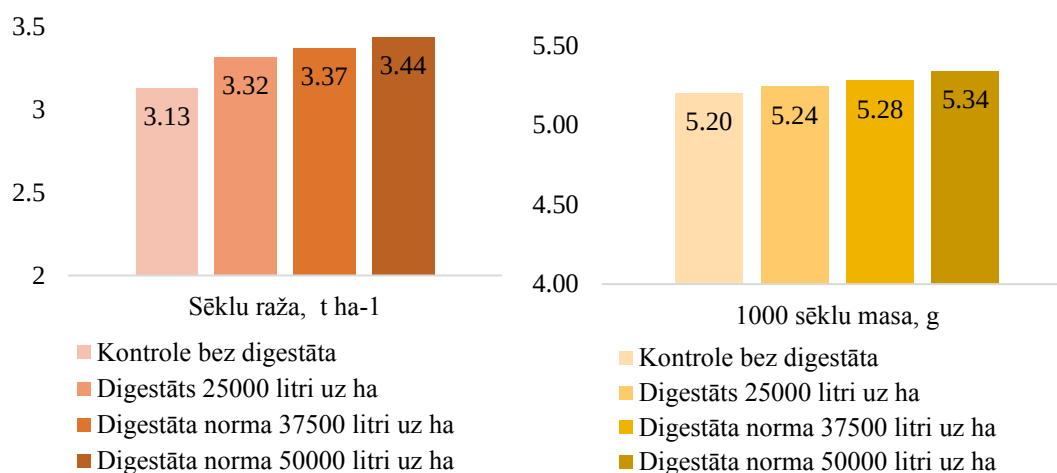
Galveno makroelementu – fosfora un kālija – saturs augsnē samazinājās pēc rapša audzēšanas, gan lietojot digestātu, gan kontroles variantā (bez digestāta), savukārt magnija saturs palielinājās (18. attēls).



18. att. Makroelementu saturs augsnē vidēji trijos izmēģinājuma gados, mg 100 g⁻¹ augsnē (pēc Koszel et al., 2020).

Izmēģinājumos atklājās digestāta lietošanas būtiska pozitīva ietekme uz rapša garumu un stumbra diametru, lietojot lielākās digestāta normas – 37 500 un 50 000 L ha⁻¹. Lielākie rapša garuma un stumbra diametra rādītāji konstatēti, lietojot lielāko (50 000 L ha⁻¹) digestāta normu.

Novērots secīgs ziemas rapša sēklu ražas un 1000 sēklu masas pieaugums, palielinoties digestāta normai (19. attēls). Zemākie ražas rādītāji atzīmēti kontroles variantā, bet augstākie rādītāji – lietojot lielāko digestāta normu.



19. att. Ziemas rapša sēklu raža (t ha⁻¹) un 1000 sēklu masa (g), vidēji trijos izmēģinājuma gados (pēc Koszel et al., 2020).

Taukskābju satura analīze rādīja, ka digestāta lietošanai bija būtiska pozitīva ietekme uz piesātināto, mononepiesātināto un polinepiesātināto taukskābju saturu, ja digestāta normas bija vislielākās – 37 500 un 50 000 L ha⁻¹. Augstākos taukskābju satura rādītājus deva lielākā (50 000 L ha⁻¹) digestāta norma. Analizējot digestāta lietošanas ietekmi uz omega-3, omega-6 un omega-9 taukskābju saturu, netika konstatētas būtiskas atšķirības salīdzinājumā ar kontroles variantu (Koszel, Parafiniuk, Szparaga et al., 2020).

Citos trīsgadīgos izmēģinājumos (Rozylo, Andruszczak, Kwiecinska-Poppe et al., 2019) tika pētīta ziemas rapša raža un tās kvalitāte, lietojot digestātu un minerālmēslojumu. Izsējas norma bija 60 sēklu uz m². Digestāts (pH 9.9; skat. ķīmisko sastāvu 10. tabulā) tika iestrādāts pirms sējas – 5.1 t sausnas uz ha. Lietojot digestātu, katru gadu ziemas rapsim tika doti 147 kg ha⁻¹ slāpekļa (N), 29 kg ha⁻¹ fosfora (P) un 137 kg ha⁻¹ kālija (K). Minerālmēslojuma variantā tika lietots N 120 kg ha⁻¹, P₂O₅ 100 kg ha⁻¹ un K₂O 120 kg ha⁻¹. Digestāta un minerālmēslojuma lietošanas varianti tika salīdzināti ar kontroles variantu, kurā netika lietots nekāds mēslojums.

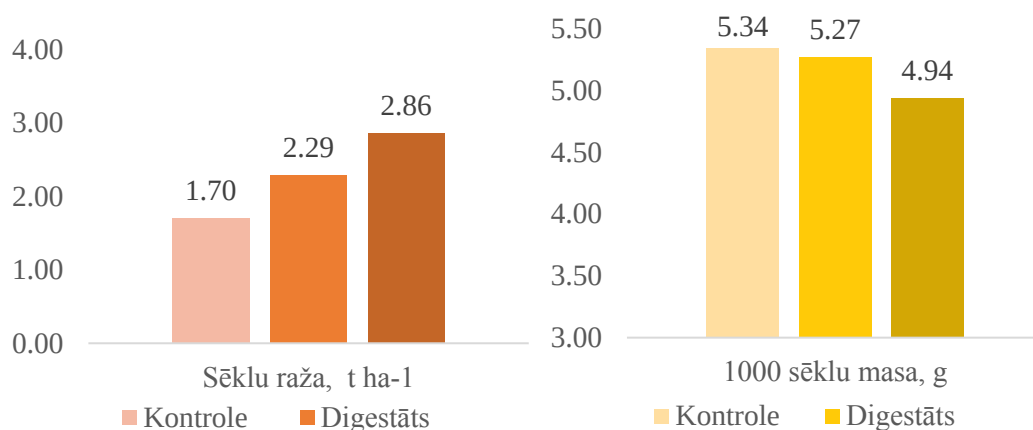
10. tabula

Digestāta ķīmiskais sastāvs, vidēji trijos izmēģinājuma gados (pēc Rozylo et al., 2019)

Elements	Mērvienība	Rādītājs
Kopējais ogleklis (C)	g kg ⁻¹	633.03

Kopējais slāpeklis (N)	g kg ⁻¹	28.82
Fosfors (P)	g kg ⁻¹	5.58
Kālijs (K)	g kg ⁻¹	26.9
Kalcijs (Ca)	g kg ⁻¹	0.31
Magnijs (Mg)	g kg ⁻¹	4.42
Dzelzs (Fe)	g kg ⁻¹	1.44
Kadmijijs (Cd)	mg kg ⁻¹	0.29
Svins (Pb)	mg kg ⁻¹	<0.1
Niķelis (Ni)	mg kg ⁻¹	<0.1
Hroms (Cr)	mg kg ⁻¹	<0.1
Varš (Cu)	mg kg ⁻¹	14.2
Cinks (Zn)	mg kg ⁻¹	145.1
Mangāns (Mn)	mg kg ⁻¹	246.1

Izmēģinājumā rapša sēklu raža būtiski palielinājās, lietojot digestāta mēslojumu, salīdzinājumā ar kontroles variantu. Lielākās sēklu ražas visos izmēģinājuma gados tika konstatētas minerālmēsli lietošanas variantā (20. attēls). Vidēji trijos izmēģinājuma gados bija novērojama tendence mazākai 1000 sēklu masai veidoties minerālmēsli lietošanas variantā un lielākai 1000 sēklu masai – kontroles variantā. Tomēr rādītāju starpību būtiskums atšķīrās pa izmēģinājuma gadiem. Digestāta lietošana deva būtiski augstāku glikozinolātu saturu (15.0 mmol g⁻¹), salīdzinot ar kontroles variantu (12.8 mmol g⁻¹).



20. att. Ziemas rapša sēklu raža (t ha⁻¹) un 1000 sēklu masa (g), vidēji trijos izmēģinājuma gados (pēc Rozylo et al., 2019).

Kopumā izmēģinājumos secināts, ka rapša sēklu tauku saturs ir atkarīgs no mēslojuma veida, tomēr tika arī novērotas atšķirības pa izmēģinājuma gadiem. Otrajā izmēģinājuma gadā mēslošana ar digestātu samazināja tauku saturu sēklās, savukārt trešajā pētījumu gadā tauku saturs bija lielāks nekā minerālmēsli lietošanas variantā. Vidēji trijos izmēģinājuma gados lielākais sēklu tauku saturs (44.57%) bija kontroles variantā, bet zemākais (43.77%) – lietojot minerālmēslus.

Minerālmēsli variantā bija arī ievērojami zemāks stearīnu saturs salīdzinājumā ar digestāta variantu. Digestāta lietošana palielināja arahidīnskābes C20:0, arahidonskābes

C20:4 un behēnskābes C22:4 procentuālo daudzumu, salīdzinot ar kontroles variantu un atsevišķos gados arī ar minerālmēslu lietošanas variantu.

Digestāta lietošanas variantā omega-3 un omega-6 taukskābju saturs bija zemāks nekā kontroles un minerālmēslu lietošanas variantos.

Digestāts atkarībā no izmantoto materiālu avota un veida var saturēt arī smagos metālus, kas var būtiski ietekmēt tā izmantošanu pārtikas produktu ražošanā (Kupper, Bürge, Bachmann et al., 2014; Govasmark, Stäb, Holen et al., 2011). Analizējot smago metālu saturu rapšu sēklās un augsnē pēc trīs gadu digestāta lietošanas, netika konstatēts to pieaugums. Smago metālu saturs augsnē un rapšu sēklās atbilda ES noteiktajām normām (Rozylo, Andruszczak, Kwiecinska-Poppe et al., 2019).

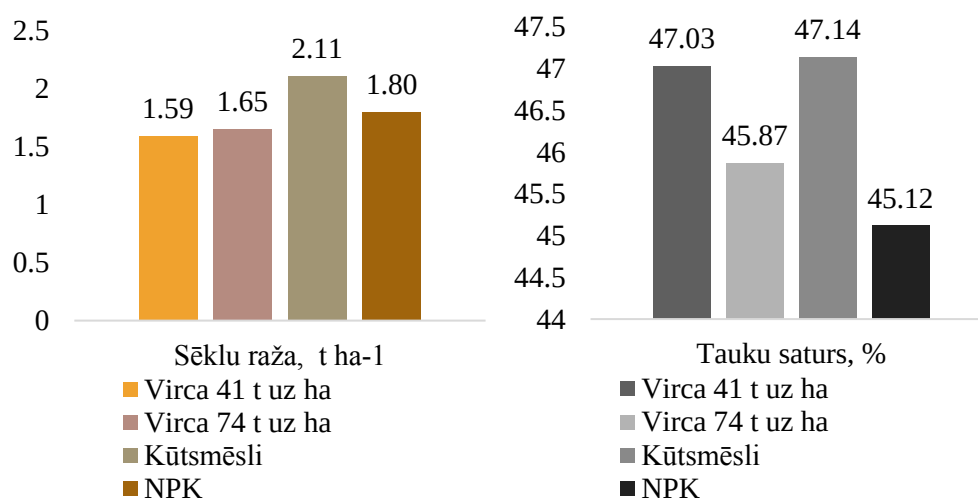
Daudzgadīgos izmēģinājumos Polijā (Bowszys, Sadej, Wierzbowska, 2007) tika vērtēta ziemas rapšu sēklu raža un eļļas saturs un kvalitāte, lietojot dažādus organiskos mēslojumus – vircu un kūtsmēslus, kas salīdzināti ar minerālmēslu lietošanas variantu (11. tabula).

11. tabula

**Mēslojums norma un pielietotais N, P un K daudzums
(pēc Bowszys et al., 2007)**

Mēslojums	t ha ⁻¹	N	P	K
		kg ha ⁻¹		
Virca I	41.2	112	41.8	123.1
Virca II	74.8	209	75.3	220
Kūtsmēsli	22.4	112	37.8	96.6
NPK		112	38.3	107

Būtiski augstākās vidējās ziemas rapšu sēklu ražas konstatēja kūtsmēsli variantā. Zemākās sēklu ražas ieguva, lietojot mazāko vircas normu, tomēr sēklu ražu atšķirības starp vircu un minerālmēslu variantiem nebija būtiskas (21. attēls). Būtiski augstāku eļļas saturu rapša sēklās konstatēja kūtsmēsli variantā un lietojot mazāko (41.2 t ha⁻¹) vircas normu.



21. att. Ziemas rapša sēklu raža (t ha^{-1}) un tauku saturs (%) (pēc Bowszys et al., 2007).

Taukskābju satura analīze rādīja, ka piesātināto taukskābju saturs variēja no 5.40% līdz 6.14% kūtsmēsļu variantā. Mononepiesātināto taukskābju saturs variēja no 58.69% līdz 63.34%, un polinepiesātināto taukskābju saturs variēja no 24.48% līdz 26.37%. Nepiesātināto taukskābju saturs augstāks bija kūtsmēsļu variantā (Bowszys, Sadej, Wierzbowska, 2007).

Ziemas rapša audzēšana ir cieši saistīta ar N_2O emisijas problēmām, kas rodas no slāpekļa mēslojuma lietošanas rapša audzēšanā. Nitrifikācija ir viens no galvenajiem N_2O veidošanās avotiem augsnē (Hoefnagels, Smeets, Faaij, 2010). Organiskā mēslojuma, piemēram, digestāta, lietošana var būt iemesls nelielu anaerobu zonu izveidei augsnē. Tādējādi digestāta lietošana var palielināt N_2O emisijas salīdzinājumā ar minerālmēslojuma lietošanu (Jones, Rees, Skiba et al., 2007).

Organiskā mēslojuma izmantošana, lietojot nitrifikācijas inhibitorus, uzlabo slāpekļa izmantošanas efektivitāti, kā arī uzlabo ražu (Fangueiro, Fernandes, Coutinho et al., 2009). Dažos pētījumos laboratorijas apstākļos apstiprinājusies būtiska N_2O emisiju samazināšanās, digestātam izmantojot nitrifikācijas inhibitorus (Wolf, Fuß, Hoppne et al., 2014; Severin, Fuß, Well et al., 2016).

Vācijā veiktos izmēģinājumos pētītas N_2O emisijas, lietojot digestāta mēslojumu ar un bez nitrifikācijas inhibitoriem rapša audzēšanā. Pētījumos netika konstatēta pozitīva nitrifikācijas inhibitoru ietekme uz ziemas rapša un tā sēklu eļļas ražu no ha. Rapša sēklu raža svārstījās no 2.8 līdz 5.7 t ha^{-1} un eļļas raža – no 1.2 līdz 2.7 t ha^{-1} atkarībā no izmēģinājumu vietas un gada. Iespējams, ka šos rezultātus ietekmēja kopumā augstās (180 $\text{kg NH}_4^+-\text{N ha}^{-1}$ gadā, lietojot šķidro digestātu) mēslojuma normas. Ietekme varētu būt atšķirīga gruntsūdens aizsardzības zonās, kur lauksaimniekiem jāsamazina slāpekļa izmantošanas normas. Kopumā pētījumu rezultāti norāda, ka organisko mēslošanas līdzekļu, piemēram, digestāta, izmantošana var palīdzēt samazināt siltumnīcefekta gāzu emisijas no sintētisko N mēslošanas līdzekļu rūpnieciskās ražošanas (Kesenheimer, Augustin, Hegewald et al., 2021).

Zālaugi

Igaunijā 2012.–2013. gadā tika veikts pētījums ar mērķi salīdzināt biogāzes digestāta, liellopu vircas un neorganiskā slāpekļa mēslojuma ietekmi uz zālaugu ražu. Mēslojums zālaugiem tika lietots atbilstoši slāpekļa normai 180 kg ha^{-1} . Pētījumā tika secināts, ka digestātu var izmantot zālaugu audzēšanai kā minerālmēsļu aizstājēju (Tampere & Viiralt, 2014). Jauktā tādu sugu zālājā kā pļavas skarene (*Poa pratensis* L.), sarkanā auzene (*Festuca rubra* L.), ganību airene (*Lolium perenne* L.) un baltais āboliņš (*Trifolium repens* L.) digestātam, kuru izmantoja kā mēslojumu, bija nedaudz mazāka efektivitāte nekā liellopu vircai. Tika novērots, ka liellopu vircas fermentēšana ar kūtsmēsliem, skābbarību un sienu nesamazina zālāju mēslošanā izmantotā digestāta vērtību.

Kall et al. (2016) tajā pašā izmēģinājumā ir secinājuši, ka par mēslojumu izmantotā digestāta ekonomiskā vērtība ir augstāka par vircas vērtību, jo tajā bija lielāks $\text{NH}_4\text{-N}$ un K saturs. Pētnieki norāda, ka, salīdzinot ar minerālmēsļu ($\text{N } 20 \text{ kg ha}^{-1}$, $\text{P } 60 \text{ kg ha}^{-1}$ un $\text{K } 80 \text{ kg ha}^{-1}$) lietošanu, digestāts (180 L uz 50 m^2 jeb 36 000 L ha^{-1}) ir ietekmējis

makroelementu satura palielināšanos (P – par 5,90 mg 100 g⁻¹ augsnes; K – par 9,20 mg 100 g⁻¹ augsnes; Mg – par 0,4 mg 100 g⁻¹ augsnes) lucernas (šķirne ‘Kometa’) lapās.

Rancane et al. (2014, 2016) ir pētījuši dažādu mēslošanas līdzekļu (koksnes pelni un digestāts reizi sezonā; digestāts divas reizes sezonā; minerālmēsli ar vienādu augu barības vielu daudzumu – N 100 kg ha⁻¹, P 80 kg ha⁻¹ un K 160 kg ha⁻¹) izmantošanas efektivitāti izmēģinājumā ar dažādiem zālaugiem: miežabrāli (*Phalaris arundinacea* L.), auzeņaireni (*F. arundinacea* x *L. multiflorum*) un galegu (*Galega orientalis* Lam.). Pelnos un digestātā trūkstojšie elementi tika kompensēti ar minerālmēsliem. Iegūtie rezultāti liecināja, ka vislielākā vidējā sausnas raža tika nodrošināta variantā ar minerālmēsliem (3,92 t ha⁻¹ un 3,81 t ha⁻¹) un variantā ar koksnes pelniem+minerālmēsliem (3,00 t ha⁻¹ un 3,63 t ha⁻¹).

Digestāta un organiskā mēslojuma izmantošana dārzeņu un kartupeļu audzēšanā

Pētījumi liecina, ka digestāts ir labi piemērots dārzeņu mēslošanā un to var izmantot arī, ja augsnes temperatūra ir zema, agri pavasarī (Möller, Müller, 2012). Pētījumi par digestāta izmantošanu, daļēji vai pilnīgi aizvietojot minerālmēslojumu, ir devuši dažādus rezultātus. Daži autori, pētot digestāta izmantošanu dārzeņu mēslošanā, ir secinājuši, ka digestāts ir efektīvs uzturvielu avots (Albuquerque, Fuente, Campoy et al., 2012; Nkoa, 2014). Tomēr liela daļa literatūrā pieejamās informācijas attiecas uz dzīvnieku izcelsmes digestāta izmantošanu. Barības elementu saturs dzīvnieku barības devā ir ļoti mainīgs, atbilstoši dzīvnieku uztura veidam. Galveno makroelementu analīze rādīja, ka N saturs var svārstīties no 3,1% līdz 14%, P saturs – no 0,6% līdz 1,7%, un K saturs – no 1,9% līdz 4,3% (Möller, Müller, 2012).

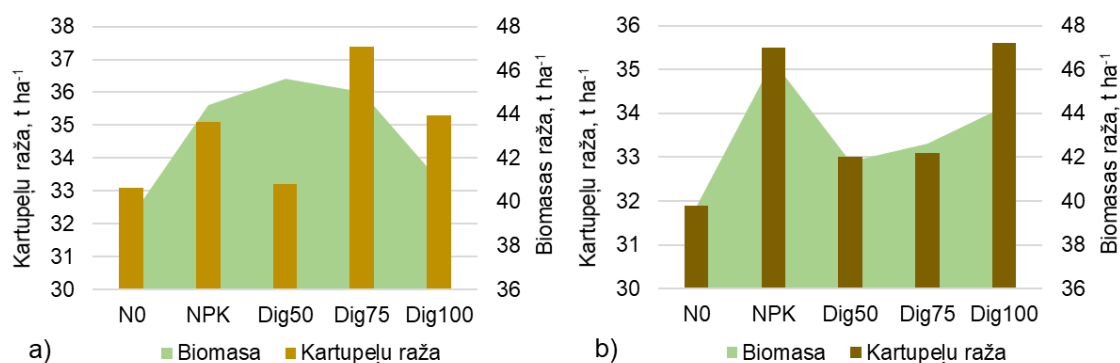
Itālijā veiktos izmēģinājumos tika pētītas iespējas daļēji vai pilnīgi aizvietot slāpekļa minerālmēslojumu ar anaerobās fermentācijas digestātu dārzeņu audzēšanā: 50% N no digestāta un 50% N no minerālmēslojuma (Dig50); 75% N no digestāta un 25% N no minerālmēslojuma (Dig75); 100% N no digestāta (Dig100). Digestāta lietošanas variantus salīdzināja ar minerālmēsli (NPK) lietošanas variantu un kontroles (N0) variantu, kurā mēslojums netika dots (Nicoletto, Dalla Costa, Sambo et al., 2019). Visos digestāta variantos P un K daudzums tika lietots papildus ar aprēķinu, lai mēslojuma norma katrai sugai atbilstu minerālmēslojuma variantā lietotajai P un K normai (12. tabula).

12. tabula

Minerālelementu normas dārzeņu sugām, kg ha⁻¹ (pēc Nicoletto et al., 2019)

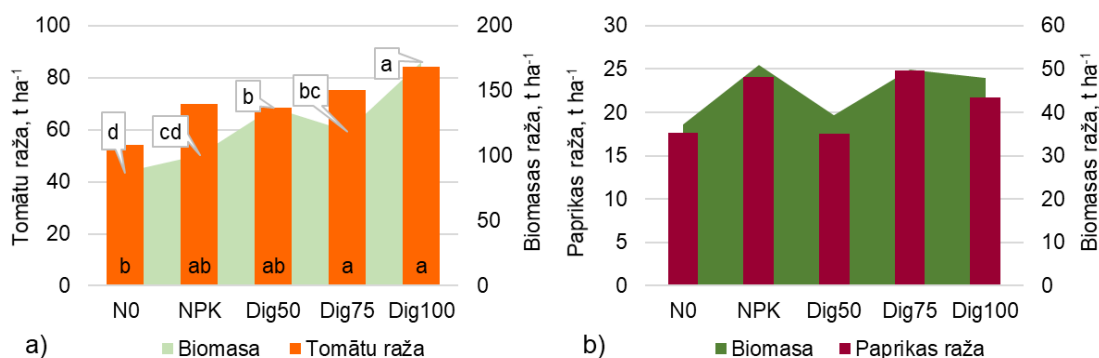
Dārzeņi	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)
Kartupeļi	180	100	200
Tomāti	130	100	200
Paprika	130	100	200

Analizējot kartupeļu bumbuļu ražu, kā arī kopējo kartupeļu biomasas ražu, būtiskas atšķirības starp mēslošanas variantiem netika konstatētas (22. attēls). Vidēji divos izmēģinājuma gados tendence veidot lielākas kartupeļu bumbuļu ražas novēroja, lietojot tikai minerālmēslus (35.3 t ha^{-1}) un tikai digestātu (35.5 t ha^{-1}), kā arī lietojot digestātu un minerālmēslus attiecībā 75%:25% (35.3 t ha^{-1}). Mazākas ražas ieguva kontroles variantā (bez mēslošanas; 32.5 t ha^{-1}), kā arī lietojot digestātu un minerālmēslus attiecībā 50%:50% (33.1 t ha^{-1}). Vidēji divos izmēģinājuma gados tendence veidot lielākas augu biomasas ražas novēroja, lietojot tikai minerālmēslus (45.4 t ha^{-1}), bet mazākas biomasas ražas – kontroles variantā (39.6 t ha^{-1}).



22. att. Kartupeļu raža pirmajā (a) un otrajā (b) izmēģinājuma gadā dažādos mēslojuma variantos (pēc Nicoletto et al., 2019).

Tomātiem augstākās ražas iegūtas, lietojot tikai digestātu, tomēr Dig100 varianta ražas bija būtiski augstākas tikai par kontroles variantā iegūtajām ražām, un atšķirība no pārējiem mēslojuma variantiem nebija būtiska. Savukārt tomātu biomasas ražas, lietojot tikai digestātu, bija būtiski augstākas salīdzinājumā ar visiem mēslojuma un kontroles variantiem (23. attēls). Analizējot paprikas ražu un kopējo paprikas augu biomasas ražu, būtiskas atšķirības starp mēslošanas variantiem netika konstatētas.

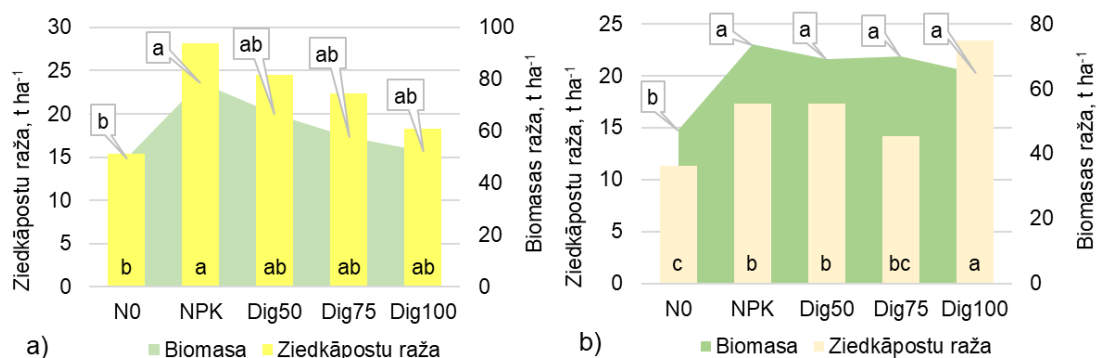


23. att. Tomātu (a) un paprikas (b) raža dažādos mēslojuma variantos (pēc Nicoletto et al., 2019; ar dažādiem alfabēta burtiem apzīmētās ražas ir būtiski atšķirīgas, $p < 0.05$).

Dārzkopībā pelnus parasti izmanto kā kalpošanas materiālu, nevis kā vērtīgu mēslojumu. Taču tika atrasti divi pētījumi par pelnu izmantošanu tomātu (*Solanum lycopersicum* L.) audzēšanā. Pinto Gomes et al. (2017) ir atzīmējuši, ka tomātu stādi, kas

mēsloji ar 120 g pelnu uz vienu augu, bija lielāki un deva vairāk augļu, bet, ja pelniem pievienoja 280 g recirkulāta uz vienu augu, tad pelni neveicināja turpmāku auga augšanu. Pēc Anisimova novērojumiem (2017), kūdras-pelnu komposts ar sastāvdaļu attiecību 1:4 un kūdras-pelnu-lupīnas komposts ar komponentu attiecību 1:1:2 pozitīvi ietekmē biomasas augšanu, lapotni un stublāju garumu.

Agrājiem ziedkāpostiem augstākās ražas ir iegūtas, lietojot tikai minerālmēslus, tomēr NPK varianta ražas bija būtiski augstākas tikai par kontroles variantā iegūtajām ražām un atšķirība no pārējiem mēslojuma variantiem nebija būtiska (24. attēls).



24. att. Agro ziedkāpostu (a) un vēlo ziedkāpostu (b) raža dažādos mēslojuma variantos (pēc Nicoletto et al., 2019; ar dažādiem alfabēta burtiem apzīmētās ražas ir būtiski atšķirīgas, $p < 0.05$).

Savukārt vēlīniem ziedkāpostiem būtiski augstākas ražas iegūtas, lietojot tikai digestātu. Pārējiem mēslojuma variantiem (NPK, Dig50 un Dig75) ražas atšķirības nebija būtiskas. Biomasas ražas agrīniem un vēlīniem ziedkāpostiem mēslotajos variantos būtiski neatšķīrās un bija būtiski augstākas tikai salīdzinājumā ar nemēsloto kontroles variantu (Nicoletto, Dalla Costa, Sambo et al., 2019).

Peru veiktajos izmēģinājumos tika pētīta digestāta, kūtsmēsli un digestāta un kūtsmēsli maisījuma (50%:50%, ņemot vērā slāpekļa normas) ietekme uz kartupeļu (*Solanum tuberosum*) ražu (Garfī, Gelman, Comas et al., 2011). Digestāts tika iegūts no Peru Andu reģionā tradicionāli audzētajām jūras cūciņām. Dienvidamerikā Andu sociāli ekonomiskajā sistēmā jūras cūciņas (*Cavia porcellus*) izmanto kā mājdzīvniekus un vienlaicīgi arī pārtikas rūpniecībā gaļas ieguvei (Morales, 1994).

13. tabula

Minerālelementu saturs mēslošanas variantos (pēc Garfī et al., 2011)

Elements	Mērvienība	Kontrole	Digestāts	Kūtsmēsli	Digestāts+ kūtsmēsli
Kopējais N	Kg ha ⁻¹	0	49.82	49.24	43.3
P (P ₂ O ₅)	Kg ha ⁻¹	0	41.78	23.48	27.41
K (K ₂ O)	Kg ha ⁻¹	0	122.97	86.74	89.48

Digestāts un kūtsmēsli tika lietoti, pamatojoties uz tradicionāli Peru lauku saimniecībās lietotajām slāpekļa mēslojuma normām, kas ir aptuveni 50 kg ha⁻¹ (13. tabula), un lai potenciāli iegūtā raža būtu atbilstoša reģionam – 17.5–25 t ha⁻¹ (Jacob, Uexkull, 1968).

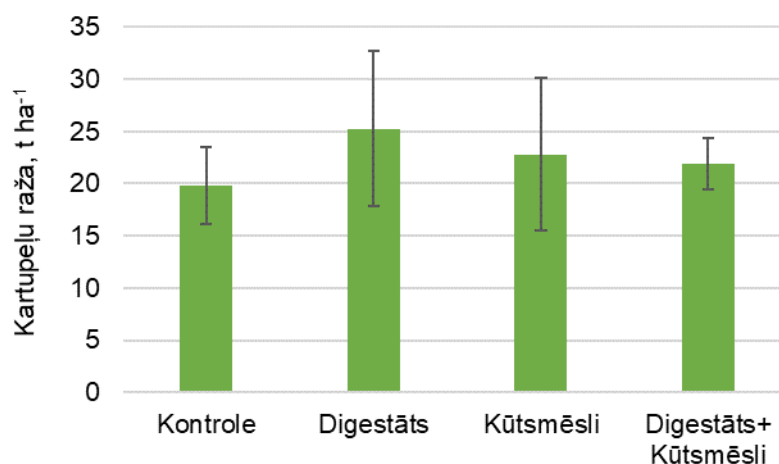
Literatūrā minēts, ka minerālvielu saturs jūrascūciņu kūtsmēslos ir mazāks par minerālvielu saturu liellopu, aitu un māļputnu kūtsmēslos (Pomares, Canet, 2001), kas, iespējams, ir saistīts ar dzīvnieku gremošanas īpatnībām (Flachowsky, Hennig, 1990). Izmēģinājumos lietotā digestāta ķīmiskais sastāvs atspoguļots 14. tabulā.

14. tabula

Digestāta ķīmiskais sastāvs (pēc Garfí et al., 2011)

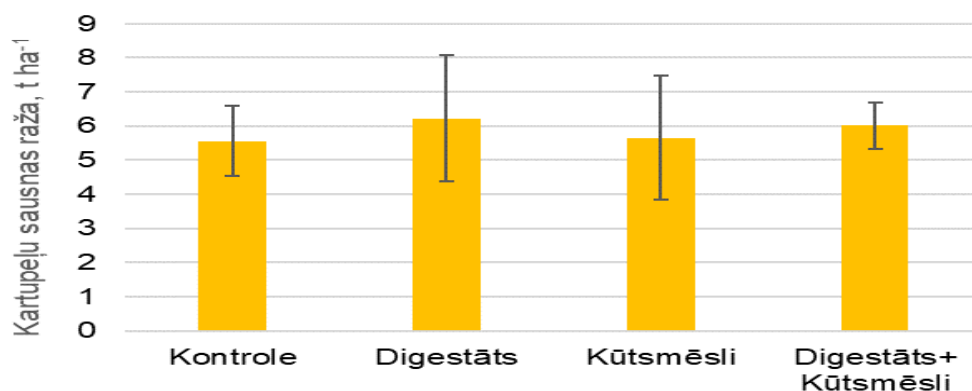
Elements	Mērvienība	Rādītājs
Kop. ogleklis (C)	mg L ⁻¹	139
Kop. slāpekļi (N)	mg L ⁻¹	249
Fosfors P-P ₂ O ₅	mg L ⁻¹	189
Kālijs K-K ₂ O	mg L ⁻¹	251

Visos mēslotajos variantos iegūtā kartupeļu bumbuļu raža bija lielāka salīdzinājumā ar kontroles variantu (bez mēslošanas) (25. attēls). Lielākais kartupeļu ražas pieaugums (par 27.5%) salīdzinājumā ar kontroles variantu, iegūts, lietojot digestātu, bet vismazākais ražas pieaugums (par 10.3%) iegūts, lietojot digestāta un kūtsmēsli maisījumu. Neskatoties uz relatīvi lielajām ražas atšķirībām starp mēslošanas variantiem, tās nebija statistiski būtiskas (ja $\alpha=0.05$).



25. att. Kartupeļu bumbuļu raža dažādos mēslojuma variantos (pēc Garfí et al., 2011).

Arī kartupeļu sausas raža visos mēslotajos variantos bija lielāka par kontroles varianta (bez mēslošanas) sausas ražu (26. attēls). Lielākais kartupeļu sausas ražas pieaugums (par 11.9%) salīdzinājumā ar kontroles variantu arī iegūts, lietojot digestātu. Arī kartupeļu sausas ražas atšķirības starp mēslošanas variantiem nebija statistiski būtiskas (pie $\alpha_{0.05}$, ja $\alpha=0.05$).



26. att. Kartupeļu sausas raža dažādos mēslojuma variantos (pēc Garfi et al., 2011).

Spānijas zinātnieku pētījumi liecina, ka digestāta lietošana augsnē veidoja labu vasaras arbūzu (*Citrullus lanatus* var. *lanatus* (Thumb.) Matsun & Nakai) ražu, turpretim ziemas ziedkāpostiem (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) laba ražība bija tikai tiem paraugiem, kuru audzēšanai tika izmantoti minerālmēsli (Alburquerque et al., 2012). Šajā pētījumā augsekas “arbūzs–ziedkāposti–arbūzs–ziedkāposti” divu gadu augšanas periodā mēslošanai tika izmantots digestāts, kūtsmēsli un minerālmēsli. Katrai sugai izmantoja vienādu N, P un K daudzumu: 240 N, 90 P un 250 K kg ha⁻¹ arbūzam un 280 N, 100 P un 300 K kg ha⁻¹ ziedkāpostam.

Bulgārijas zinātnieki secinājuši, ka salātiem (*Lactuca sativa* L.), saņemot dažādas biomēslojuma devas, salīdzinot ar nemēslotu augsni, augu labāku attīstību un kvalitāti var iegūt, ja 15% digestāta pievieno mēslojumam, kas satur 70% cūku kūtsmēsli (Kathijotes et al., 2015). Viengadīgā veģetācijas podu eksperimentā tika novērota minerālmēsli un biogāzes stacijas digestāta ietekme uz kolrābju (*Brassica oleracea* L.) ‘Seguza’ ražu un kvalitātes parametriem. Izmēģinājumā tika izmantotas četras apstrādes metodes: neapstrādāta kontrole; urīnviela; digestāts; urīnviela, trīskāršais superfosfāts, KCl un MgSO₄. N daudzums bija vienāds (1.5 g uz podu) visās apstrādēs, izņemot pirmo. Ceturtajā apstrādē P, K un Mg daudzums atbilda šo barības vielu daudzumam digestāta apstrādē. Apstrāde ar digestātu nodrošināja labāku ražu un kvalitatīvus parametrus, salīdzinot ar apstrādi ar minerālmēsliem (Lošak et al., 2011).

Itālijā digestāts tika novērtēts kā alternatīvs uzturvielu šķīdums lapu salātu (*Lactuca sativa* L.) hidroponiskajā kultivācijā. Piecu veidu substrāti (kūdra, agriperlīts, māla augsne, cietais digestāts, granulēts digestāts) tika sajaukti ar diviem barības vielu šķīdumiem (standarta šķīdums un šķidrās digestāts). Katrs eksperiments tika izveidots randomizēti, ar 16 atkārtojumiem (atbilst 16 podiem ar 20 salātu stādiem katrā) vienā apstrādē. Kopumā trīs kombinācijas (agriperlīts + šķidrās digestāts, cietais digestāts + standarta šķīdums un granulēts digestāts + standarta šķīdums) uzlaboja augu augšanu, ietekmējot sakni, dzinumus un kopējo sausas ražu visos pētījuma eksperimentos (+32%, +40% un attiecīgi +29%). Pamatojoties uz iegūtajiem rezultātiem, var secināt, ka digestāts ir ilgtspējīgs un alternatīvs mēslojums vai barības vielu šķīdums lapu salātu ražošanai, ko audzē hidroponiskā sistēmā (Ronga et al., 2015).

Var rezumēt, ka, neskatoties uz daudziem zinātniskajiem rakstiem par digestāta izmantošanu kultūraugu mēslošanā, pētījuma ietvaros veiktie eksperimenti ir ļoti atšķirīgi un nav salīdzināmi. Parasti šajos eksperimentos nav zināms digestāta vērtīgais bioķīmiskais

sastāvs, tādēļ rezultātiem jābūt pretrunīgiem. Arī dārzkopībā (īpaši attiecībā uz siltumnīcām) ierastā situācija ir tāda, ka mēslošanas aspekti netiek īpaši pieminēti komerciālu apsvērumu dēļ. Tāpēc izpratne par digestāta ietekmi salīdzinājumā ar citiem mēslošanas līdzekļiem nav pilnīga.

2.4. DIGESTĀTA UN KOKSNES PELNU IETEKME UZ UZTURVIELU OPTIMIZĀCIJU

Pēc Dimambro (2015) pētījumiem, kopējais N svaigā digestātā bijis robežās no 2,4 līdz 6,2 g kg⁻¹ (galvenokārt NH₄-N formā). Taču pētījumā novērots, ka, lietojot augstas koncentrācijas digestātu, elektrovadītspējas EC un/vai NH₄-N līmeņa paaugstināšanās atsevišķos gadījumos negatīvi ietekmēja augu reakciju. Tomēr, ja digestāti atbilda standarta mēslojuma vai augšanas substrāta parametru diapazonam (piemēram, EC, pH, NH₄-N), rezultāti bija salīdzināmi vai pat nedaudz labāki par tiem, kuri tika izmantoti nozares standartos. Dimambro noskaidroja, ka no pārtikas atkritumiem ražotajiem digestātiem parasti bija augstāks NH₄-N saturs, kā arī augstāks EK nekā no kukurūzas un vircas ražotajiem digestātiem (Dimambro, 2015). Arī Kuusik et al. (2017) ir atzinuši, ka NH₄-N koncentrāciju palielina ar olbaltumvielām bagātas izejvielas, piemēram, sausie blakusprodukti un kautuvju atkritumi.

Lietuvas zinātnieku vērtējumā eksperimentā ar ziemas kviešiem atšķirības starp organisko šķidro mēslojumu, cūku vircu un anaerobo digestātu nebija nozīmīgas (Kvasoviene et al., 2019). Turley et al. (2016) ir novērojuši, ka, frakcionējot digestātu, tā šķidrā frakcija satur proporcionāli vairāk N (65–75%) un NH₄-N (70–80%), savukārt cietā frakcija saglabā lielāko daļu P (55–65%) un K (70–80%). Dānijā tika veikts pētījums par zemeņu sastāva, pļaušanas režīma un anaerobās fermentācijas atlieku ietekmi uz dažādu zaļmēsli slāpekļa mēslojuma aizvietošanas vērtību (NFRV). Saskaņā ar rezultātiem digestāts, kas iegūts no lucernas skābbarības (četri pļāvumi gadā), un maisījuma, kurā bija lucerna, stiebrzāles un to maisījumi (divas vai četras pļaušanas gadā), tika izmantots ziemas kviešu (virspusēja smidzināšana) un vasaras miežu mēslošanai (injekcija). Digestātu N mēslojuma vērtība (NFRV) bija par 25–63% augstāka nekā attiecīgajai skābbarībai (divi pļāvumi gadā). Kopējā N koncentrācija skābbarībā lielā mērā izskaidro digestātu NFRV (De Notaris et al., 2018).

Ziemas kviešu audzēšanā tika novērota P (par 6,39 mg 100 g⁻¹ augsnes), K (par 1,92 mg 100 g⁻¹ augsnes) un Mg (par 5,4 mg 100 g⁻¹ augsnes) palielināšanās pēc digestāta lietošanas. Pēc ražas novākšanas samazinājās makroelementu saturs, kas bija saistīts ar labu makroelementu uzsūkšanos augos (Koszel et al., 2018). Kviešu lapu hlorofila saturs sausā laika periodā bija augstāks stublāju pagarināšanās stadijas sākumā nekā cirpšanas stadijas vidū (Kvasoviene et al., 2019). Lucernas audzēšanā pēc mēslošanas ar digestātu lucernas lapās palielinājās makroelementu saturs: P palielinājās par 10,83 mg 100 g⁻¹ augsnes, K – par 5,59 mg 100 g⁻¹ augsnes, un Mg – par 3,74 mg 100 g⁻¹ augsnes. Minerālmēsli variantā rezultāti bija zemāki (Koszel, 2015). Pēc ražas novākšanas novēroja makroelementu satura samazināšanos (Koszel et al., 2018).

Bangladešā tika veikts eksperiments podos ar mērķi izpētīt organiskā un neorganiskā mēslojuma N ietekmi uz lapu redīsu (*Raphanus sativus* L.) ‘Saisai’ augšanu un ražu siltumnīcā. Tika veiktas 10 apstrādes, tostarp ar mājputnu kūtsmēsli digestātu. Rezultāti parādīja, ka mājputnu kūtsmēsli digestāts būtiski ietekmēja redīsu augu augstumu, lapu skaitu uz augiem un dzinumus svaigo un sauso svaru. Tomēr lielāko

dzinumu svaigo svaru ražas novākšanas laikā konstatēja, kad bija izmantoti 50% N no urīnvielas + 50% N no neapstrādātiem māļputnu kūsmēsliem (Shormin & Kibria, 2019).

Kathijotes et al. (2015) eksperimentos ar salātiem konstatēja, ka digestāta devas palielināšana ir būtiski palielinājusi augu P un K absorbciju un kopējās lietotās N, K, P, Ca, Mg, Cu, Zn un Mn devas salātu audzēšanā bijušas normas robežās, kā arī palielinājis minerālā N daudzums.

Wysocka-Czubaszek et al. (2018) uzsver, ka dažādu organisko mēslojumu pievienošana augsnei izraisa virkni procesu, tostarp nitrifikāciju, imobilizāciju un emisiju. Visizteiktākais process ir pielietotā $\text{NH}_4\text{-N}$ nitrifikācija, kuras saturs augsnē pētījumu laikā ir samazinājies līdz nullei tuvām vērtībām, bet $\text{NO}_3\text{-N}$ saturs ir palielinājies līdz $76,43 \pm 43 \text{ mg N kg}^{-1}$, $79,06 \pm 13,95 \text{ mg N kg}^{-1}$ un $94,83 \pm 8,17 \text{ mg N kg}^{-1}$ augsnēs, kas apstrādātas attiecīgi ar anaerobā veidā pārstrādātu parasto niedru skābbarību, anaerobā veidā apstrādātu kukurūzas skābbarību ar vistu izkārnījumiem un kartupeļu mīkstumam un ar neapstrādātu liellopu vircu. Neorganiskā -N transformācija liecina, ka niedru skābbarības digestātu var veiksmīgi izmantot kā organisko mēslojumu, bet ātra nitrifikācija var izraisīt pastiprinātu $\text{NO}_3\text{-N}$ zudumu izskalošanās rezultātā.

Koszel et al. (2017) novēroja, ka ziemas kviešu audzēšanā P, K un Mg saturs palielinājies attiecīgi par 8.84, 1.51 un 3.67 mg 100 g⁻¹ augsnes. Pēc ziemas kviešu novākšanas P, K un Mg saturs samazinājās attiecīgi par 3.13, 0.93 un 1.34 mg 100 g⁻¹ augsnes. Ziemas rapša audzēšanā pēc digestāta lietošanas P, K un Mg saturs palielinājās attiecīgi par 9,08, 3,43 un 3,65 mg 100 g⁻¹ augsnes, Savukārt pēc ražas novākšanas novēroja rādītāju samazināšanos: P – par 2,51 mg 100 g⁻¹ augsnes, K un Mg – attiecīgi par 0,94 un 1,52 mg 100 g⁻¹ augsnes. Pētnieki izdarīja secinājumu, ka digestāts sekmē labāku makroelementu uzsūkšanos augos.

Schiemenz & Eichler-Löbermann (2009), analizējot kultūraugu biomasas pelnu (rapšu miltu pelnu, salmu pelnu un labības pelnu) P mēslošanas efektu mijiedarbībā ar dažādiem kultūraugiem (kukurūza (*Zea mays*), lupīna (*Lupinus albus* L.), vasara mieži (*Hordeum vulgare* L.), eļļas rapsis, eļļas rutks (*Raphanus sativus* L.) un griķi (*Fagopyrum esculentum* Moench)), secināja, ka kultūraugu biomasas pelni var būt atbilstošs P avots, kas ir salīdzināms ar labi šķīstošo P avotu. Vislielākā pelnu efektivitāte tika novērota griķu sējumos.

Pētījumā par biomasas pelnu un biogāzes digestāta biomēslojuma izmantošanu salātu audzēšanai viegli skābā augsnē secināts: no biomasas pelniem un digestāta gatavotiem biomēsliem bija zems uzturvielu saturs; pelnu ietekme uz barības vielu saturu bija būtiska; $\text{NH}_4\text{-N}$ saturs augsnē pēc apstrādes ar biomasas pelniem un digestātu bija indikators to dažādam sastāvam urīnvielas klātbūtnes vai trūkuma dēļ; K, Mg un Na koncentrācija augsnē bija tieši atkarīga no izmantotajām biopelnu devām; izmantojot lielākas pārbaudīto biomēslojumu devas, tika konstatēts arī biopelnu satura pieaugums augsnē, kā arī pieejamā Mg un Fe līmeņi (Przygocka-Cyna et al., 2017).

Citā pētījumā novērots, ka koksnes pelnus var izmantot kā mēslojumu ar zemu K saturu. Koksnes pelnu izmantošana varētu būt lētāka un videi draudzīgāka nekā pašreizējā praksē (Etiegni, Campbell, Mahler, 2008).

2.5. DIGESTĀTA UN KOKSNES PELNU IZMANTOŠANAS IETEKME UZ VIDI LAUKSAIMNIECĪBĀ

Augsnes kalķošanai ir gan tieša, gan netieša ietekme uz siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijām. Paaugstinot augsnes pH, nitrifikācijas rezultātā samazinās N₂O emisiju daudzums, tāpēc, lietojot slāpekļa mēslojumu, ir svarīgi veikt arī kopjošo kalķošanu (Kreismane et al., 2016). Biogāzes iekārtu ieviešana lauksaimniecības sistēmās var samazināt kopējo siltumnīcefekta gāzu emisiju jauktās lauksaimniecībās sistēmās, samazinot neto emisijas (Michel et al., 2010; Battini et al., 2014). Tomēr rezultāti, ko publicējuši Wang et al. (2014), norāda, ka uzglabāšanas laikā atklātās lagūnās un citās glabātuvēs ir ievērojami augstākas CO₂ un N₂O emisijas no digestātiem nekā no nesadalījušiem kūtsmēsliem, kā arī daudz mazākas CH₄ emisijas, kā rezultātā kopējās SEG emisijas ir līdzīgas (nesadalījušies un sadalījušies kūtsmēsli – attiecīgi 1,05 un 1,12 g CO₂-ekv.L⁻¹ dienā⁻¹). Tas nozīmē, ka visas lauksaimniecības sistēmas darbība attiecībā uz biogāzes stacijas ietekmi uz SEG emisijām lielā mērā ir atkarīga no saimniecības digestāta krājumu sastāva (Möller et al., 2015).

Ražas sezonā CO₂ emisijas augsnē būtiski neietekmē mēslošanas apstrāde vai iekšējās endotrofiskās jeb arbuskulārās mikorizas sēnes. Augsnes CO₂ emisiju vidējā vērtība bija 447,3 mg m⁻² stundā (Caruso et al., 2018). Digestātu var granulēt un sadedzināt, lai iegūtu enerģiju, izmantojot biomasas katlu, tomēr pastāv tehniskas problēmas saistībā ar sastāvu un bažas par enerģijas bilanci un ekonomiku. Žāvēšana parasti citādi izmanto “atkritumu” siltumenerģiju no biogāzes koģenerācijas sistēmām, ko bieži ir grūti izmantot citur, jo īpaši lauku apvidos vai blakus lielām iekārtām, kur piedāvājums pārsniedz pieprasījumu no piemērotiem esošajiem vai potenciālajiem jaunajiem siltuma lietotājiem (Möller et al., 2015; Turley et al., 2016). Izmantojot šo “atkritumu” resursu no biogāzes koģenerācijas iekārtām, izmaksas un SEG ietekmi var samazināt citviet piegādes ķēdē, piemēram, uzglabāšanu, transportēšanu, izkliešanas, uzlabojot šādu augu vispārējo ilgtspējību un dzīvotspēju.

Digestāta žāvēšana rada ievērojamus N zudumus, savukārt neapstrādāta digestāta žāvēšana rada slāpekļa zudumus līdz 43 %. Lai gan, pieņemot atūdeņošanas posmus, zudumus var samazināt līdz pat 7% (Turley et al., 2016). Galu galā digestāta žāvēšana var izraisīt ievērojamu SEG emisiju izdalīšanos vidē. Žāvēts digestāts var palielināt tā enerģijas saturu un tādējādi samazināt piegādes ķēdes emisijas, kas tiek piešķirtas biogāzes produktam grāmatvedības nolūkos (Longhurst et al., 2012; Corden et al., 2019). Literatūrā ir definēti daži riski, kas saistīti ar digestāta izmantošanu lauksaimniecībā. Viens no tiem ir iespējamais smago metālu (Ni, Pb, Cu, Zn, kā arī Hg) saturs. Kordens ar kolēģiem (Corden et al., 2019) ir secinājuši, ka Cd, Pb un As saturs no digestāta lietošanas ir ļoti zems un to nevar definēt kā risku cilvēku veselībai.

Kathijotes et al. (2015), veicot eksperimentus ar salātiem, secināja, ka smago metālu saturs sākotnējā eksperimentālajā digestātā bija zem maksimāli pieļaujamās koncentrācijas un līdz ar to augsne nebija noslogota ar šiem piesārņojošajiem elementiem. Šķīstošo sāļu daudzums augsnē uzrādīja nelielu pieaugumu, kas nerada draudus sāļošanai. Lucernas audzēšanā smagie metāli digestātā netika atrasti (Koszel, 2015).

Kuusik et al. (2017) raksta – ja metālu saturs analizētajos digestātos ir zems, tam nevajadzētu radīt vides piesārņojumu. Tomēr par smago metālu piesārņojumu ir jāraizējas, ja augsnē tiek lietots digestāts, jo īpaši saistībā ar iespējamo risku cilvēku veselībai, ko

izraisa daži smagie metāli (piemēram, Cd, Cr un Pb). Tāpēc ir jāveic priekšpētījums, lai izvērtētu no dažādiem organiskajiem atkritumiem iegūto digestātu iespējamo izmantošanu lauksaimniecībā. Tiek definēti cilvēku un dzīvnieku patogēni – nematodes, augu patogēni, sēnītes un baktērijas (piemēram, kartupeļu cista un brīvi dzīvojošas nematodes, pulverveida un parastais kraupis, gredzenpuve, brūnā puve, sakņu puves, kā arī *Phytophthora*, *Rhizoctonia* un *Fusarium*) – kā nākamo potenciālo risku grupa. Literatūrā iespējamais šo organismu daudzums minēts kā ļoti zems un pieņemamā līmenī (Corden et al., 2019).

Kuusik et al. (2017), veicot digestātu mikrobioloģiskās analīzes, atklāja salmonellas klātbūtni fermentācijas procesā. Patogēnu klātbūtne dažos digestāta paraugos uzsver digestāta mikrobioloģiskās kvalitātes nozīmi, lai pētītu tā piemērotību kā mēslojuma izmantošanai lauksaimniecībā. Runājot par organisko savienojumu piesārņotājiem, vienu stundu ilga pasterizācija +70 °C var būt efektīva augu patogēnu iznīcināšanā. Svarīga ir nezāļu un augu toksīnu kontrole, kā arī obligāts faktors ir praktiskie lietošanas norādījumi un laba lauksaimniecības prakse. Pētījumos zināšanas par visiem izejvielu piegādātājiem var ietekmēt sēklu un invazīvo nezāļu klātbūtnes samazināšanu. Pasterizāciju ieteicams veikt mezofilajā anaerobajā bioreaktorā (MAD). Ja ir ierosināts MAD (ar pasterizāciju un bez tās), tad jānosaka tā ietekme uz invazīvo un eksotisko nezāļu sugu izplatību izejmateriālos (Longhurst et al., 2012).

Bang-Andreasen et al. (2017) ir atzīmējuši, ka koksnes pelnu lietošana meža augsnē var izraisīt būtiskas izmaiņas baktēriju skaitā, bagātībā, daudzveidībā un kopienas sastāvā. Pielietotās 5 un 22 t ha⁻¹ pelnu devas palielināja baktēriju skaitu augsnē un radīja labvēlīgus apstākļus kopiotrofajām baktērijām un mazāk labvēlīgus apstākļus oligotrofajām baktērijām, ko varēja tieši redzēt baktēriju kopienas sastāva pakāpeniskā izmaiņā. Kaitīga ietekme uz augsnes baktērijām tika novērota tikai ekstrēmā apstrādē ar 167 t ha⁻¹, samazinot baktēriju skaitu un izraisot dramatiskas izmaiņas baktēriju kopienas sastāvā. Sporas veidojošās baktērijas pārstāv lielāko daļu baktēriju, kuras spēj izturēt lielu pelnu devu.

SECINĀJUMI

Digestāts kā biogāzes ražošanas atkritumu produkts ir viens no šobrīd Latvijā izmantotajiem organisko vielu avotiem. Digestāta frakcionēšana un žāvēšana tiek izmantota, lai samazinātu ūdens saturu tajā, kā arī transporta izmaksas. Digestāts un koksnes pelni ir jāiekļauj lauksaimniecības augu mēslošanas plānos. Neskatoties uz daudzajiem eksperimentiem, iegūtie rezultāti parasti ir ļoti atšķirīgi. Digestātu daudzveidība ietekmē dažādu barības elementu daudzumu, pH un citus parametrus. Digestāta žāvēšana rada ievērojamus slāpekļa zudumus. Galu galā digestāta žāvēšana var izraisīt ievērojamu SEG emisiju izdalīšanos vidē. Koksnes pelni uzlabo skābo augšņu pH līdzīgi kā lauksaimniecības kaļķis. Zinātniskie pētījumi ir parādījuši ievērojamu laukaugu ražas pieaugumu, kas izriet no šīs pH korekcijas. Koksnes pelnu izmantošana varētu būt lētāka un videi draudzīgāka.

Literatūras apskatam izmantotie informācijas avoti

1. Abubaker J., Elnesairy N., Ahmad S. (2017). Effects of non-digested and anaerobically digested farmyard manures on wheat crop cultivated in desert soil. *Journal of Arid Land*, 3, p. 1–10.

2. Abubaker J., Risberg K., Jönsson E., Dahlin A.S., Cederlund H., Pell M. (2015). Short-term effects of biogas digestates and pig slurry application on soil microbial activity. *Applied and Environmental Soil Science*, Vol. 2015. <https://www.hindawi.com/journals/aess/2015/658542/> [skatīts 8.10.2021].
3. Adekayode, F. & Olojugba, M. R. 2010. The utilization of wood ash as manure to reduce the use of mineral fertilizer for improved performance of maize (*Zea mays* L.) as measured in the chlorophyll content and grain yield. *Journal of Soil Science and Environmental Management* 1(3), 40–45.
4. Albuquerque J. A., Fuente C., Campoy M., Carrasco L., Najera I., Baixauli C., Caravaca F., Roldan A., Cegarra J., Bernal M.P. (2012) Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. *European Journal of Agronomy*, 43, pp.119–128.
5. Albuquerque J. A., Fuente C., Ferrer-Costak A., Carrasco L., Cegarra J., Abad M. (2012). Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues. *Biomass Bioenergy*, 40, p. 181–189.
6. Anisimova, T. 2017. The effectiveness of the use of peat ash in the composition of peat nutrient soil for growing tomato seedlings. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development* 17(1), 49–52.
7. Antosovsky, J., Ryant, P., Prudil, M., Gruber, M. & Komprsová, I. 2017. Effect of localities and organic fertilizers on yield in conditions of organic farming. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 65(3), 799–806.
8. Auburger, S., Wüstholtz, R., Petig, E. & Bahrs, E. 2015. Biogas digestate and its economic impact on farms and biogas plants according to the upper limit for nitrogen spreading – the case of nutrient-burdened areas in north-west Germany. *AIMS Energy* 3(4), 740–759.
9. Augusto, L., Bakker, M.R. & Meredieu, C. 2008. Wood ash applications to temperate forest ecosystems–potential benefits and drawbacks. *Plant and Soil* 306, 181–198.
10. Bang-Andreasen, T., Nielsen, J. T., Voriskova, J., Heise, J., Ronn, R., Kjoller, R., Hansen, H. C. B. & Jakobsen, C. S. 2017. Wood Ash Induced pH Changes Strongly Affect Soil Bacterial Numbers and Community Composition. *Frontiers in Microbiology* 8:1400. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5532396/>
11. Baral K. R., Labouriau R., Olesen J. E., Petersen S. O. (2017). Nitrous oxide emissions and nitrogen use efficiency of manure and digestates applied to spring barley. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 239, p. 188–198.
12. Barbosa D.B.P., Nabel M., Jablonowski N.D. (2014). Biogas-digestate as nutrient source for biomass production of *Sida hermaphrodita*, *Zea mays* L. and *Medicago sativa* L. *Energy Procedia*, 59, p. 120–126.
13. Bardule A., Rancane S., Gutmane I., Berzins P., Stesele V., Lazdina D., Bardulis A. (2013). The effect of fertiliser type on hybrid aspen increment and seed yield of perennial grass cultivated in the agroforestry system. *Agronomy Research*, Vol.11, p. 13–25.
14. Barlóg B., Hlisnikovský L., Kunzová E. (2020). Yield, content and nutrient uptake by winter wheat and spring barley in response to applications of digestate, cattle slurry and NPK mineral fertilizers. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66, p. 1476-3567. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03650340.2019.1676890> [skatīts 8.10.2021].
15. Battini, F., Agostini, A., Boulamanti, A. K., Giuntoli, J. & Amaducci, S. 2014. Mitigating the environmental impacts of milk production via anaerobic digestion of manure: case study of a dairy farm in the Po Valley. *Science of the Total Environment* 481, 196–208.
16. Bhatt A.H., Tao L. (2020). Economic perspectives of biogas production via anaerobic digestion. *Bioengineerin*, 7(3) <https://www.mdpi.com/2306-5354/7/3/74> [skatīts 8.10.2021].
17. Borjesson P., Berglund M. (2007). Environmental system analysis of biogas systems. Part II: the environmental impact of replacing various reference systems. *Biomass Bioenergy*, 31, p. 326–344.
18. Botheju D., Svalheim O., Bakke R. (2010) Digestate Nitrification for Nutrient Recovery. *The Open Waste Management Journal*, 3, p. 1–12.

19. Bowszys T., Sadej W., Wierzbowska J (2007). Use of agricultural and communal waste products in fertilization of oilseed rape grown for biofuel. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, 7, p. 43–50.
20. Bueno Piaz Barbosa, D., Nabel, M. & Jablonowski, N. D. 2014. Biogas-digestate as nutrient source for biomass production of *Sida hermaphrodita*, *Zea mays* L. and *Medicago sativa* L. *Energy Procedia*, **59**, 120–126.
21. Burvall J. (1997). Influence of harvest time and soil type on fuel quality in reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.), *Biomass Bioenerg.* 12 (3), p. 149-154.
22. Caruso, C., Maucieri, C., Barco, A., Barbera, A. C. & Borin, M. 2018. Effects of mycorrhizal inoculation and digestate fertilisation on triticale biomass production using fungicide-coated seeds. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* **57**, 42–51. doi: 0.1515/ijaf-2018-0005
23. Chantigny M. H., MacDonald J. D., Beaupré C., Rochetter P., Angers D. A., Massé D., et al. (2009). Ammonia volatilization following surface application of raw and treated liquid swine manure. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 85, p. 275–286.
24. Comparetti A., Febo P., Greco C., Orlando S. (2013) Current state and future of biogas and digestate production. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19, p. 1–14.
25. Corden C., Bougas K., Cunningham E., Tyrer D., Kreißig J., Crookes M. (2019) Digestate and Compost as Fertilisers: Risk Assessment and Risk Management Options. Wood Environment & Infrastructure Solutions UK Limited; Aberdeen, UK: https://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/pdf/40039_Digestate_and_Compost_RMOA—Final_report_i2_20190208.pdf. [skatīts 8.10.2021].
26. Corden, C., Bougas, K., Cunningham, E., Tyrer, E., Kreißig, J., Zetti, I., Gamero, E., Wildey, R. & Crookes, M. 2019. *Digestate and compost as fertilisers: risk assessment and risk management options. Final report for European Commission*. Available at: <https://www.circularonline.co.uk/wp-content/uploads/2019/11/EN-ReportDigestateandcompostasfertilisers-Feb-2019.pdf>
27. Dąbrowska, M., Świętochowski, A. & Lisowski, A. (2019). Physicochemical properties and agglomeration parameters of biogas digestate with addition of calcium carbonate. *Agronomy Research*, **17**(4), 1568–1576.
28. De Notaris, C., Sørensen, P., Møller, H. B., Wahid R. & Eriksen J. 2018. Nitrogen fertilizer replacement value of digestates from three green manures. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **112**, 355–368. doi: 10.1007/s10705-018-9951-5(0123456789).
29. Demeyer A., Nkana J.C.V., Verloo M.G. (2001). Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresour Technol*, 77, p. 287–295.
30. Dimambro, M. E. 2015. Novel uses for digestates: protected horticulture. In: *20th European Biosolids & Organic Resources: conference & exhibition*. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/284169259>.
31. Doyeni M.O., Stulpinaite U., Baksinskaite A., Suproniene S., Tilvikiene V. (2021). The Effectiveness of Digestate Use for Fertilization in an Agricultural Cropping System. *Plants (Basel, Switzerland)*, 10(8). <https://europemc.org/article/MED/34451779> [skatīts 15.10.2021].
32. Dubrovskis, V. & Adamovičs, A. 2012. Bioenerģētikas horizonti. Monograph. LLU, Latvia, 352 p.
33. Dubrovskis, V. & Kotelenec, V. 2014. Biogas yield from aerobic hydrolysis using biogas plant digestate. In: *Proc. 13th International scientific conference "Engineering for rural development" 2014*, **13**, 455–458.
34. Ehmann A., Thumm U., Lewandowski I. (2018) Fertilizing Potential of Separated Biogas Digestates in Annual and Perennial Biomass Production Systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2:12. doi: 10.3389/fsufs.2018.00012 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2018.00012/full> [skatīts 2.07.2021].
35. Eickenscheidt T., Freibauer A., Heinichen J., Augustin J., Drösler M. (2014). Short-term effects of biogas digestate and cattle slurry application on greenhouse gas emissions affected by N availability from grasslands on drained fen peatlands and associated organic soils. *Biogeosciences*, 11, p. 6187–6207.

36. Etiegni, L., Campbell, A. G. & Mahler, R. H. 2008. Evaluation of wood ash disposal on agricultural land. I. Potential as a soil additive and liming agent. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **22**(3-4), 243–256.
37. Fangueiro D., Fernandes A., Coutinho J., Moreira N., Trindade H. (2009). Influence of two nitrification inhibitors (DCD and DMPP) on annual ryegrass yield and soil mineral N dynamics after incorporation with cattle slurry. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **40**, p. 3387–3398.
38. Fangueiro D., Hjorth M., Gioelli F. (2015). Acidification of animal slurry: a review. *Journal of Environmental Management*, **149**, p. 46–56.
39. Flachowsky G., Hennig, A. (1990) Composition and digestibility of untreated and chemically treated animal excreta for ruminants-A Review. *Biol. Wastes*, **31**, pp. 17-36.
40. Fritze H., Smolander A., Levula T., Kitunen V., Mälkönen E. (1994). Wood-ash fertilization and fire treatments in a Scots pine forest stand: effects on the organic layer, microbial biomass, and microbial activity. *Biol. Fert. Soils*, **17**, p. 57–63.
41. Fuchs J., Berner A., Mayer J., Schleiss K., Kupper, T. (2008). Effects of compost and digestate on environment and plant production – Results of two research project. *In: Proceedings of the Internationale Conference ORBIT 2008*, Wageningen, 13-16 October, 2008. <https://orgprints.org/id/eprint/17982/1/fuchs-et-al-2008-orbit.pdf>, [skatīts 21.05.2021].
42. Fuzesi I., Heil B., Kovacs G. (2015). Effects of wood ash on the chemical properties of soil and crop vitality. *Acta Silv. Lign. Hung.*, Vol. 11, No. 1, p. 55–64.
43. Galloway J. N., Aber J. D., Erisman J. W., Seitzinger S. P., Howarth R. W., Cowling E. B., et al. (2003). The nitrogen cascade. *Bioscience*, **53**, p. 341–356.
44. Garfí M., Gelman P., Comas J., Carrasco W., Ferrer I. (2011) Agricultural reuse of the digestate from low-cost tubular digesters in rural Andean communities. *Waste Management*, **31**(12), pp. 2584-2589.
45. Garg R.N., Pathak H., Das D.K., Tomar R.K. (2005). Use of flyash and biogas slurry for improving wheat yield and physical properties of soil. *Environ. Monit. Assess.*, **107**, p. 1–9.
46. Govasmark E., Ståb J., Holen B., Hoornstra D., Nesbakk T., Salkinoja-Salonen M. (2011). Chemical and microbiological hazards associated with recycling of anaerobic digested residue intended for agricultural use. *Waste Manage.*, **31**, p. 2577–2583.
47. Guido V., Finzi A., Ferrari O., Riva E., Quílez D., Herrero E., Provolo G. (2020). Fertigation of Maize with Digestate Using Drip Irrigation and Pivot Systems. *Agronomy*, **10**(10), 1453. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101453> [skatīts 16.07.2021].
48. Gutser R., Ebertseder T., Weber A., Schraml M., Schmidhalter U. (2005). Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, **168**, p. 439–446.
49. Häfner F., Ruser R., Claß-Mahler I., Möller K. Field Application of Organic Fertilizers Triggers N₂O Emissions From the Soil N Pool as Indicated by 15N-Labeled Digestates (2021). *Frontiers in Sustainable Food Systems*, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2020.614349/full> [skatīts 15.10.2021].
50. Haraldsen T. K., Andersen U., Krogstad T., Sørheim R. (2011). Liquid digestate from anaerobic treatment of source-separated household waste as fertilizer to barley. *Waste Management & Research*, **29**, 1271–1276.
51. Herrmann A. (2013). Biogas production from maize: current state, challenges and prospects. 2. agronomic and environmental aspects. *BioEnergy Research*, **6**, p. 372–387.
52. Herrmann A., Sieling K., Wienforth B., Taube F. Kage H. (2013). Short-term effects of biogas residue application on yield performance and N balance parameters of maize in different cropping systems. *Journal of Agricultural Science*, **151**, p. 449–462.
53. Hjorth M., Christensen K. V., Christensen M. L., Sommer S. G. (2010). Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. *Agronomy for Sustainable Development*, **30**, p.153–180.

54. Hoefnagels R., Smeets E., Faaij A. (2010). Greenhouse gas footprints of different biofuel production systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 14(7), p. 1661-1694.
55. Holm-Nielsen J.B., Al Seadi T., Oleskowicz-Popiel P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresour. Technol.*, 100, p. 5478–5484.
56. Yin G., Wang X., Du H., Shen S., Liu C., Zhang K., Li W. (2019). N₂O and CO₂ emissions, nitrogen use efficiency under biogas slurry irrigation: A field study of two consecutive wheat-maize rotation cycles in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 212, p. 232–240.
57. Jacob A., Uexkull V. (1968) *Fertilization*. Edicion revolucionaria. Instituto del Libro. La Havana, Cuba. Jakobsen S.T. (1995). Aerobic decomposition of organic wastes 2. Value of compost as a fertilizer. *Resour. Conserv. Recycl.*, 13 (1995), p. 57–71.
58. Jamison J., Khanal S.K., Nguyen N.H., Deenik J.L. (2021). Assessing the Effects of Digestates and Combinations of Digestates and Fertilizer on Yield and Nutrient Use of *Brassica juncea* (Kai Choy). *Agronomy*, 11(3), p. 509.
59. Johansen A., Carter M. S., Jensen E. S., Hauggaard-Nielsen H., Ambus P. (2013). Effects of digestate from anaerobically digested cattle slurry and plant materials on soil microbial community and emission of CO₂ and N₂O. *Applied Soil Ecology*, 63, p. 36-44.
60. Jones S.K., Rees R.M., Skiba U.M., Ball B.C. (2007). Influence of organic and mineral N fertiliser on N₂O fluxes from a temperate grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121, p.74–83.
61. Kall, K., Roosmaa, Ü., Viiralt, R. 2016. Assessment of the economic value of cattle slurry and biogas digestate used on grassland. *Agronomy Research*, **14**(1), 54–66.
62. Kalnina I., Rugele K. & Rubuls J. 2018. Digestate management practices in Latvia from nitrogen perspective. *Energy Procedia*, **147**, 68–373.
63. Karlton E., Saarsalmi A., Ingerslev M., Mandre M., Andersson S., Gaitnieks T., Ozolinčius R., Varnagirytė-Kabasinskiene I. (2008). Wood ash recycling – possibilities and risks. *In*: Röser D, Asikainen A, Raulund-Rasmussen K, Stupak I. (eds) Sustainable use of forest biomass for energy. A synthesis with focus on the Baltic and Nordic region. Springer, Heidelberg, p. 79–108.
64. Kathijotes, N., Petrova, V., Zlatareva, E., Kolchakov, V., Marinova, S. & Ivanov, P. 2015. Impacts of biogas digestate on crop production and the environment: a Bulgarian case study. *American Journal of Environmental Sciences* **11**(2), 81–89.
65. Kesenheimer K., Augustin J., Hegewald H., Kobke S., Dittert K., Rabiger T., Quinones T.S., Prochnow A., Hartung J., Fuß R., Stichnothe H., Flessa H., Ruser R. (2021) Nitrification inhibitors reduce N₂O emissions induced by application of biogas digestate to oilseed rape. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 120, p. 99–118.
66. Koszel M., Kocira A., Lorenkowicz E. (2016). The evaluation of the use of biogas plant digestate as fertilizer in alfalfa and spring wheat cultivation. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25, p. 3258–3264.
67. Koszel M., Lorenkowicz E. (2015). Agricultural use of biogas digestate as a replacement fertilizers. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 7, p. 119–124.
68. Koszel M., Parafiniuk S., Szparaga A., Bochniak A., Kocira S., Atanasov A.Z., Kovalyshyn S. (2020) Impact of digestate application as a fertilizer on the yield and quality of winter rape seed. *Agronomy*, 10, 878. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060878> [skatits 19.06.2021].
69. Koszel M., Przywara A., Santoro F., Anifantis A., (2018) Evaluation of use of biogas plant digestate as fertilizer in alfalfa and winter wheat. *In: Proceedings 17th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development", 23-25 May 2018*, p. 1413–1418.
70. Koszel, M. & Lorenkowicz, E. 2015. Agricultural use of biogas digestate as a replacement fertilizers. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, **7**, 119–124.
71. Koszel, M., Lorenkowicz, E. & Kocira, A. 2016. The evaluation of the use of biogas plant digestate as a fertilizer in alfalfa and spring wheat cultivation. *Fresenius Environmental Bulletin*, **25**(8), 3258–3264.

72. Koszel, M., Przywara, A., Kachel-Jakubowska, M. & Kraszkiewicz, A. 2017. Evaluation of the use of biogas plant digestate as a fertilizer in field cultivation plants. In: Proc. IX International Scientific Symposium "Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture", Poland, pp. 181–186.
73. Koszel, M., Przywara, A., Santoro, F. & Sotirios Anifantis, A. 2018. Evaluation of use of biogas plant digestate as fertilizer in alfalfa and winter wheat. In: Proc. 17th International scientific conference "Engineering for rural development", 17, 1413–1418.
74. Kreismane D., Naglis-Liepa K., Popluga D. Lēnerts A. & Rivža P. 2016. Liming effect on nitrogen use efficiency and nitrogen oxide emissions in crop farming. In: Proc. 22th International scientific conference "Research for rural development", 1, 30–36.
75. Kupper T., Bürge D., Bachmann H.J, Güsewell S., Mayer J. (2014). Heavy metals in source-separated compost and digestates. *Waste Management*, 34, p. 867–874.
76. Kuusik, A., Pachel, K., Kuusik, A. & Loigu, E. 2017. Possible agricultural use of digestate. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences* 66(1), 64–74.
77. Kvasoviene – Petraityte, D., Ceseviciene, J., Arlauskienė, A. & Slepėtienė, A. 2019. The effect of mineral and liquid organic fertilisers on soil mineral nitrogen and chlorophyll content in winter wheat leaves. *Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources*, 6, 213–216.
78. Lazdiņa D., Bebre I., Dūmiņš K., Skrandā I., Lazdins A., Jansons J., Celma S. (2017). Wood ash – green energy production side product as fertilizer for vigorous forest plantations. *Agronomy Research*, 15 (2), p. 468–477.
79. Lazdiņa D., Bebre I., Dūmiņš K. & Lazdiņš A. 2017. Wood ash – green energy production side product as fertilizer for vigorous forest plantations. *Agronomy Research*, 15(2), 468–477.
80. Li X., Yun S., Zhang C., Fang W., Huang X., Du T. (2018). Application of nano-scale transition metal carbides as accelerants in anaerobic digestion. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43, p.1926–1936.
81. Libiete, Z., Bardule, A. & Lupikis, A. 2016. Long-term effect of spruce bark ash fertilization on soil properties and tree biomass increment in a mixed scots pine-Norway spruce stand on drained organic soil. *Agronomy Research*, 14(2), 495–512.
82. Lindvall R., Gustavsson A.-M., Samuelsson R., Magnusson T., Palmborg C. (2015). Ash as a phosphorus fertilizer to reed canary grass: effects of nutrient and heavy metal composition on plant and soil. *GCB Bioenergy*, 7 (3), p. 553–564.
83. Litiņa I. (2013). Digestāta kā mēslošanas līdzekļa efektivitātes novērtējums kukurūzas sējumā. **No:** *Zinātniski praktiskā konference "Lauksaimniecības Zinātne Veiksmīgai Saimniekošanai"*, Jelgava, LLU, 206-209. lpp.
84. Liu C., Wang K., Zheng N. (2013). Effects of nitrification inhibitors (DCD and DMPP) on nitrous oxide emissions, crop yield and nitrogen uptake in a wheat-maize cropping system. *Biogeosciences*, 10, p. 711–737.
85. Ljung A., Nordin A. (1997). Theoretical feasibility for ecological biomass ash recirculation: chemical equilibrium and heavy metals during combustion. *Environ. Sci. Technol.*, 31, p. 2499 -2503.
86. Longhurst, P., Chambers, B., Gale, P., Litterick, A., Taylor, M., Tompkins, D. & Tyrrel, S. 2012. Risk assessment of the use of source-segregated anaerobic digestates in GB agriculture. In: Proc. 17th European Biosolids and Organic Resources Conference. Available at: https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/handle/1826/8174/Risk_assessment_of_the_use_of_source-segregated_anaerobic_digestates-2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y
87. Lošak, T., Zatloukalova, A., Szostkova, M., Hlušek, Fryč, J. & Vitěz, T. 2011. Comparison of the effectiveness of digestate and mineral fertilisers on yields and quality of kohlrabi (*Brassica oleracea*, L.). *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, LIX, 117–122.
88. Makadi M., Tomocsik A., Orosz V. (2012). Digestate: A new nutrient source – a review. **In:** Kumar S. (Ed.). *Biogas*. InTech,, 2012, p. 295-312.

89. Makádi, M., Tomócsik, A., Lengyel, J., Márton, Á (2008). Problems and successess of digestate utilization on crops. *In: Proceedings of the Internationale Conference ORBIT 2008*, Wageningen, 13-16 October, 2008., <https://www.jstor.org/stable/90003077> [skatīts 21.05.2021].
90. Makovskis K., Lazdiņa D. 2015. Potential areas of low productivity agriculture lands for SRC energy wood production in Vidzeme region. In: Proc. 14th International scientific conference "Research for rural development", 2, 288–292.
91. Maucieri C., Barbera A., Borin M, (2016) Effect of injection depth of digestate liquid fraction on soil carbon dioxide emission and maize biomass production. *Italian Journal of Agronomy*, 11(1): 657. <https://DOI:10.4081/ija.2016.657> [skatīts 16.07.2021].
92. Michel, J., Weiske, A. & Möller K. 2010. The effect of biogas digestion on the environmental impact and energy balances in organic cropping systems using the life-cycle assessment methodology. *Renewable Agriculture and Food System,s* 25, 204–218.
93. Mikled C., Jiraporncharoen S., Potikanond N. (2002). Utilization of fermented slurry as bio-fertilizer. In: *Research and Development on Use of Biodigesters in SE Asia Biodigester Workshop*, March 2002, www.mekarn.org/procbiod/choke.htm. [skatīts 06.08.2021].
94. Möller K, Schulz R, Müller T (2010) Substrate inputs, nutrient flows and nitrogen loss of two centralized biogas plants in southern Germany. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 87, p. 307–325.
95. Möller K, Stinner W, Deuker A, Leithold G. (2008). Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on nitrogen cycle and crop yield in mixed organic dairy farming systems. *Nutr. Cycl. Agroecosystems*, 82, p. 209–232.
96. Möller K. (2015). Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 35, p.1021–1041.
97. Möller K., Müller T. (2012). Effect of anaerobic digestion on digestate nutriet availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*, 12, p. 242–257.
98. Möller K., Stinner W. (2009). Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxide). *European Journal of Agronomy*, 30, p. 1–16.
99. Möller, K. 2015. Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 1021–1041.
100. Morales E. (1994) The Guinea Pig in the Andean Economy: From Household Animal to Market Commodity. *Latin American Research Review*, 29(3), pp. 129–142.
101. Muck R. E., Steenhuis T. S. (1982). Nitrogen losses from manure storages. *Agricultural Wastes*, 4, p. 41–54.
102. Nicholson F., Bhogal A., Cardenas L., Chadwick D., Misselbrook T., Rollet A., et al. (2017). Nitrogen losses to the environment following food-based digestate and compost applications to agricultural land. *Environmental Pollution*, 228, p. 504–516.
103. Nicoletto C., Dalla Costa L., Sambo P., Zanin G. (2019) Distillery Anaerobic Digestion Residues as Fertilizers for Field Vegetable Crops: Performance and Efficiency in Mid-term Successions. *Agronomy*, 9(8):463. <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/8/463#cite> [skatīts 17.12.2021].
104. Nyord T., Søgaaard H.T., Hansen M.N., Jensen L.S. (2008). Injection methods to reduce ammonia emission from volatile liquidertiliser applied to growing crops. *Biosystem Engineering*, Vol. 100 (2), p. 235–244.
105. Nkoa R. (2014). Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. *Agron. Sustain. Dev.*, 34, pp. 473–492.
106. Odlare M., Pell M., Svensson K. (2008). Changes in soil chemical and microbial properties during 4 years of application of various organic residues. *Waste Manage.*, 28 (2008), p. 1246-1253.
107. Okmanis M., Lazdiņa D. & Lazdiņš A. 2015. The Composition and Use Value of Tree Biomass Ash. *Rural Sustainability Research*, 34(329), 32–37.

108. Okmanis M., Skranda I., Lazdiņš A. & Lazdiņa D. (2016). Impact of wood ash and potassium sulphate fertilization on growth of Norway spruce stand on organic soil. In: Proc. 22nd International scientific conference "Research for Rural Development", 2, 62–68.
109. Orzi V., Scaglia B., Lonati S., Riva C., Boccasile G., Alborali G. L., et al. (2015). The role of biological processes in reducing both odour impact and pathogen content during mesophilic anaerobic digestion. *The Science of the Total Environment*, 526, p. 116–126.
110. Owusu-Twum M. Y., Loick N., Cardenas L. M., Coutinho J., Trindade H., Fanguero D. (2017). Nitrogen dynamics in soil amended with slurry treated by acid or DMPP addition. *Biology and Fertility of Soils*, 53, p.339–347.
111. Ozolincius R., Buozyte R., Varnagiryte-Kabasinskiene (2007). Wood ash and nitrogen influence on ground vegetation cover and chemical composition. *Biomass and Bioenergy*, 31, p. 710–716.
112. Panuccio M.R., Papalia T., Attina E., Giuffre A., Muscolo A. (2018). Use of digestate as an alternative to mineral fertilizer: effects on growth and crop quality. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65, p. 700–711.
113. Park B.B., Yanai R.D., Sahm J.M., Lee D.K., Abrahamson L.P. (2005). Wood ash effects on plant and soil in a willow bioenergy plantation. *Biomass and Bioenergy*, 28, p. 355–365.
114. Patterson S.J., Acharya S.N., Thomas J.E. et al (2004). Integrated soil and crop management: Barley biomass and grain yield and canola seed yield response to land application of wood ash. *Agron Journal*, 96 (4), p. 971–977.
115. Perucci P., Monaci E., Onofri A., Vischetti C., Casucci C. (2008). Changes in physicochemical and biochemical parameters of soil following addition of wood ash: A field experiment. *European Journal of Agronomy*, 28, p. 155–161.
116. Pinto Gomes, D., Fonseca de Carvalho, D., Ferreira Pinto, M., Da Cunha Valença, D. & Medici, L. O. 2017. Growth and production of tomato fertilized with ash and castor cake and under varying water depths, cultivated in organic potponics *Acta Scientiarum. Agronomy*, 39(2), 201–209. doi: 10.4025/actasciagron.v39i2.32547
117. Pires M.V., Da Cunha D.A., De Matos Carlos S., Costa M.H. (2015). Nitrogen-use efficiency, nitrous oxide emissions, and cereal production in Brazil: Current trends and forecasts. *Plos one*, 10(8). <https://europepmc.org/article/PMC/4529221> [skatīts 15.10.2021].
118. Pomares F., Canet R. (2001) Residuos orgánicos utilizables en agricultura: origen, composición y características. *In:* Boixadera J., Rosa-Teira M. ed. Aplicación Agrícola de Residuos Orgánicos. Universidad de Lleida, pp. 195–213.
119. Priekulis J., Aplocina E. & Laurs A. 2016. Chemical composition of digestate. In Proc. 15th International scientific conference "Engineering for rural development", 15, 381–386.
120. Provenzano M.R., Iannuzzi G., Fabbri C., Senesi N. (2011). Qualitative characterization and differentiation of digestates from different biowastes using FTIR and fluorescence spectroscopies. *Journal of Environmental Protection*, 2, p. 83–89.
121. Przygocka-Cyna K., Grzebisz W. (2018). Biogas digestate – benefits and risks for soil fertility and crop quality – an evaluation of grain maize response. *Open Chemistry*, 16 (1), p. 258–271. <https://doi.org/10.1515/chem-2018-002> [skatīts 9.07.2021].
122. Przygocka-Cyna, K., Grzebisz, W., Łukowiak, R. & Biber, M. 2017. Biomass ash and biogas digestate bio-fertilizers as a source of nutrients for light acid soil – an exhaustion lettuce test. *Journal of Elementology*, 23(2), 413–428.
123. Przywara, A., Kachel, M., Koszel, M. & Leszczynski, N. 2019. The influence of digestate on the static strength of spring rapeseeds (*Brassica napus* var. *arvensis*. *Sustainability*, 11, 1–10.
124. Quakernack, R., Pacholski, A., Techow, A., Herrmann, A., Taube, F. & Kage, H. 2012. Ammonia volatilization and yield response of energy crops after fertilization with biogas residues in a coastal marsh of Northern Germany. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 160, 66–74.

125. Rayns, F., Udall, D. & Charlesworth, S. 2017. The potential of biochar and anaerobic digestate use in a temperate conventional wheat production system. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*, **4**(10), 44–49.
126. Rancane S., Gutmane I., Berzins P., Stesele V., Dzene I. 2014 Evaluation of biomass yield of energy crops using waste products as fertilizers. *In: The Future of European Grasslands: Grassland Science in Europe*, Vol.19, p. 486–488.
127. Rancane S., Bērziņš P., Lazdiņa D., Gūtmane I., Stesele V. & Dzene I. 2014. The efficiency of fertilisation on perennial grasses productivity in agroforestry system. In: Proc. Scientific practical conference "Harmonius Agriculture". Latvia, pp. 110–181. (in Latvian).
128. Rancane S., Karklins A., Lazdina D. & Berzins P. 2015. Biomass yield and chemical composition of perennial grasses for energy production. In Proc. 14th International scientific conference "Engineering for rural development", **14**, 546–551.
129. Rancane S., Karklins A., Lazdina D., Berzins P., Bardule A., Butlers A & Lazdins A. (2016). The evaluation of biomass yield and quality of *Phalaris arundinacea* and *Festulolium* fertilised with bio-energy waste products. *Agronomy Research*, **14**(1), 198–210.
130. Risberg K., Cederlund H., Pell M., Arthurson V., Schnürer A. (2017). Comparative characterization of digestate versus pig slurry and cow manure - chemical composition and effects on soil microbial activity. *Waste Management*, **61** (2017), p. 529–538.
131. Riva C., Orzi V., Carozzi M., Acutis M., Boccasile G., Lonati S., Tambone F, D'Imporzano G., Adani F. (2016). Short-term experiments in using digestate products as substitutes for mineral (N) fertilizer: agronomic performance, odours, and ammonia emission impacts. *Science of The Total Environment*, **547**, p. 206–214.
132. Ronga, D., Setti, L., Salvarani, C., De Leo, R., Bedin, E., Pulvirenti, A., Milc, J., Pecchioni, P. & Franci, E. 2019. Effects of solid and liquid digestate for hydroponic baby leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivation. *Scientia Horticulturae*, **244**, 172–181.
133. Różyło K., Andruszczak S., Kwiecińska-Poppe E., Różyło R., Kraska P. (2019) Effect of threeyears' application of biogas digestate and mineral waste to soil on phytochemical quality of rapeseed. *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 28, No. 2, p. 833–843.
134. Różyło K., Gawlik-Dziki U., Swieca M., Różyło R., Pałys E. (2015). Winter wheat fertilized with biogas residue and mining waste - yielding and the quality of grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **96** (10), p. 3454–3461.
135. Sánchez-Rodríguez A.R., Carswell A. M., Shaw R., Hunt J., Saunders K., Cotton J., Chadwick D.R., Jones D. L., Misselbrook T.H. (2018) Advanced Processing of Food Waste Based Digestate for Mitigating Nitrogen Losses in a Winter Wheat Crop. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, **2**(35), p. 1-14. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00035> [skatīts 10.09.2021].
136. Sängler A., Geisseler D., Ludwig B. (2014). C and N dynamics of a range of biogas slurries as a function of application rate and soil texture: a laboratory experiment. *Archives of Agronomy and Soil Science*, **60**, p.1779–1794. <https://doi.org/10.1080/03650340.2014.907491> [skatīts 6.08.2021].
137. Schiemenz, K. & Eichler-Löbermann, B. 2010. Biomass ashes and their phosphorus fertilizing effect on different crops. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **87**, 471–482 doi: 10.1007/s10705-010-9353-9
138. Schröder J., Jansen A.G., Hilhorst G.J. 2005. Long-term nitrogen supply from cattle slurry. *Soil Use Manage*, **2**, p. 196–204.
139. Schröder J., Uenk D., Hilhorst G.J. 2007. Long-term nitrogen fertilizer replacement value of cattle manures applied to cut grassland. *Plant Soil*, **299**, p. 83–99.
140. Severin M., Fuß R., Well R., Hahndel R., Van den Weghe H. 2016. Greenhouse gas emissions after application of digestate: short-term effects of nitrification inhibitor and application technique effects. *Archives of Agronomy and Soil Science*, **62**, p.1007–1020.
141. Shormin, T. & Kibria, M. G. 2019. Growth and yield of leafy radish (*Raphanus sativus* L.) CV. Saisai as affected by nitrogen from organic and inorganic fertilizers. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, **13**(7), 45–50.

142. Siebielec G., Siebielec S., Lipski D. 2018. Long-term impact of sewage sludge, digestate and mineral fertilizers on plant yield and soil biological activity. *Journal of Cleaner Production*, 187, p. 372–379.
143. Slepeliene, A., Slepetyš, J., Tilvikiene, V., Amaleviciute, K., Liaudanskiene, I., Ceseviciene, J., Kadziuliene, Z., Dabkevicius, Z. & Buliauskaite, R. 2016. Evaluation of chemical composition and biogas production from legumes and perennial grasses in anaerobic digestion using the oxitop system. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(5), 1342–1347.
144. Sørensen P. (2004). Immobilisation, remineralisation and residual effects in subsequent crops of dairy cattle slurry nitrogen compared to mineral fertiliser nitrogen. *Plant Soil*, 267, p. 285–296.
145. Standards and Guidelines for the Use of Wood Ash as a Liming Material for Agricultural Soils 2002. Available at: <https://open.alberta.ca/dataset/632e9321-0d49-493e-ad3f-f2c166d07fd0/resource/f9f24d3d-2f9c-4031-b8cf-1ce98ba59aa5/download/guidewoodashlimingagriculturalsoil-2002.pdf>.
146. Steenari B.M., Karlsson L.G., Lindqvist O. (1999). Evaluation of the leaching characteristics of wood ash and the influence of ash agglomeration. *Biomass Bioenergy*, 16, p. 119–136.
147. Stinner W., Möller K. Leithold G. (2008). Effect of biogas digestion of clover/grassleys, cover crops and crop residues on nitrogen cycle and crop yield in organic stockless farming system. *European Journal of Agronomy*, Vol. 29, No. 2-3, p. 125–134.
148. Subbarao G. V., Ito O., Sahrawat K. L., Berry W. L., Nakahara K., Ishikawa T., et al. (2006). Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems – challenges and opportunities. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25, p. 1–33.
149. Svoboda N., Taube F., Kluß C., Wienforth B., Kage H., Ohl S., et al. (2013). Crop production for biogas and water protection—A trade-off? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 177, p. 36–47.
150. Szűcs B., Simon M., Füleky G. (2006). Anaerobic pre-treatment effects on the aerobic degradability of waste water sludge. *In: Proceedings of the Internationale Conference ORBIT 2006*, Weimar, 13-15 September, 2006. Part 2, p. 425–434.
151. Šimon, T., Kunzová, E. & Friedlová, M. 2015. The effect of digestate, cattle slurry and mineral fertilization on the winter wheat yield and soil quality parameters. *Plant, Soil and Environment* 61(11), 522–527.
152. Tambone F., Genevini P., Adani P. (2007). The effect of short-term compost application on soil chemical properties and on nutritional status of maize plant. *Compost Science & Utilization*, Vol. 15, No. 3, p. 176–183.
153. Tambone F., Scaglia B., D'Imporzano G., Schievano A., Orzi V., Salati S., Adani F. (2010) Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost. *Chemosphere*, 81, p. 577–583.
154. Tampere, M. & Viiralt, R. 2014. The efficiency of biogas digestate on grassland compared to mineral fertilizer and cattle slurry. In: Proc. 20th International scientific conference "Research for rural development", 1, pp. 89–91.
155. Taube F., Herrmann A. (2009). Relative benefit of maize and grass under conditions of climatic change. *Landbauforschung Applied Agricultural and Forestry Research Landbauforsch*, 331, p. 115–126.
156. Teglia C., Tremier A., Martel J.L. (2011). Characterization of solid digestates: part 1, Review of existing indicators to assess solid digestates agricultural use. *Waste Biomass Valor*, 2, p. 43–58.
157. Tiwari T.N., Tiwari K.N., Upadhyay R.M. (2000). Effect of crop residues and biogas slurry incorporation in wheat on yield and soil fertility. *J Ind Soc Soil Sci*, 48, p. 515–520.
158. Tiwary A., Williams I. D., Pant D. C., Kishore V. N. (2015). Assessment and mitigation of the environmental burdens to air from land applied food-based digestate. *Environmental Pollution*, 203, p. 262–270.

159. Turley, D., Hopwood, L., Burns, C. & Di Maio, D. 2016. *Assessment of digestate drying as an eligible heat use in the Renewable Heat Incentive. A report for DECC Heat Team*. Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/577039/Annex_D_-_Report_on_digestate_drying.pdf
160. Udall D., Rayns F., Charlesworth S. (2017). The Potential of Biochar and Anaerobic Digestate use in a Temperate Conventional Wheat Production System. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*, 4(10), p. 44-49.
161. Velthof, G., Barot, S., Bloem, J., Butterbach-Bahl, K., de Vries, W., Kros, J., Lavelle, P., Olesen, J.E., & Oenema, O. (2011). Nitrogen as a threat to European soil quality. *The European Nitrogen Assessment*. Retrieved February 28, 2016. Available at: http://www.nine-esf.org/sites/nine-esf.org/files/ena_doc/ENA_pdfs/ENA_c21.pdf
162. Verdi L., Kuikman P.J., Orlandini S., Mancini M., Napoli M., Dalla Marta A. (2019) Does the use of digestate to replace mineral fertilizers have less emissions of N₂O and NH₃? *Agricultural and Forest Meteorology*, 269(270), p. 112–118.
163. Wang Y., Dong H., Zhu Z., Liu C., Xin H. (2014). Comparison of air emissions from raw liquid pig manure and biogas digester effluent storages. *Transactions of the ASABE*, 57(2), 635-645. <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=44359> [skatīts 10.09.2021].
164. Wang, Y., Dong, H., Zhu, Z., Liu, C. & Xin, H. 2014. Comparison of air emissions from raw liquid pig manure and biogas digester effluent storages. *Transactions of the ASABE* 5, 635–645.
165. Wysocka-Czubaszek, A., Czubaszek, R., Roj-Rojewski, S. & Banaszuk, P. 2018. Comparative study on effects of digestate and cattle slurry application on dynamics in fertilized soil. In: Proc. 17th International scientific conference "Engineering for rural development". 17, 1804–1809.
166. Wolf U., Fuß R., Hoppner F., Flessa H. (2014) Contribution of N₂O and NH₃ to total greenhouse gas emission from fertilization. Results from a sandy soil fertilized with nitrate and biogas digestate with and without nitrification inhibitor. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 100, p. 121–134.
167. Wulf, S., Jäger, P., Döhler, H. (2006). Balancing of greenhouse gas emissions and economic efficiency for biogas-production through anaerobic co-fermentation of slurry with organic waste. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 112, No. 2-3, pp. 178–185.

3. PĒTĪJUMA REZULTĀTI

3.1. Projekta izpildes etapi un gaita

Projekta realizācija norisinājās noteiktā secībā. Tā realizācijas gaita parādīta 1. un 2. attēlā.

I etaps	II etaps
1. LBTU TF Bioenerģijas laboratorijā (BZL) tika iegūti biomasu anaerobās pārstrādes produkti (digestāti) no dažādām biomasām, kuras izmanto projekta partneri (AS "Ziedi JP", SIA "Pampāļi" un SIA "Latvi Dan Agro"), un analizēti digestātu sastāvi, kuri iegūti no šo partneru izejvielām. Pārbaudīti nefrakcionēti, frakcionēti un žāvēti līdz dažādam mitruma saturam šo partneru digestāti. 2. Izmantojot liellopu un cūku kūtsmēslu digestātu, bija pārbaudītas iespējas veidot to maisījumus ar pelniem (piegāde no SIA "Gren Latvija" un SIA "Dobeles Eko"). 3. Izmantojot laboratorijas (BZL) jauču, nelielās partijās tika sagatavoti jauni produkti – digestāta (D) un pelnu (P) maisījumi ar atšķirīgām komponentu proporcijām D:P (1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 2:1, 3:1, 4:1) dažādu demo eksperimentu veikšanai. Tika veiktas šo jaukto mēslojumu veidu fizikālo īpašību pārbaudes un ķīmiskās analīzes.	1. Digestāta un pelnu maisījumu neitralizācijas spēju analīze un eksperimentāla pārbaude kūdras un minerālaugsnes ar dažādu augsnes reakciju (pH). 2. Digestātu un koksnes pelnu maisījumu variantu mēslošanas efektivitātes pārbaude LBTU LF siltumnīcās uz ātraudzīgiem kultūraugiem: salātiem, bazilikam, koriandram, piparmētrām, gurķiem. 3. Jauna augsnes auglības uzlabošanas līdzekļa sagatavošanas tehnoloģiskās shēmas izstrāde un pārbaude lielražošanas apstākļos, izmantojot projekta partneru AS "Ziedi JP" un AS "Pampāļi" tehniskos resursus.

1. att. Projekta realizācijas etapi.

III etaps	IV etaps	Rezultātu popularizēšana
1. Lauka izmēģinājumu shēmu sastādīšana inovatīva mēslošanas līdzekļa pārbaudei kultūraugu sējumos un kokaugu stādījumos. 2. Digestātu un koksnes pelnu maisījumu variantu un normu mēslošanas efektivitātes pārbaude lauka izmēģinājumos LBTU MPS "Pēterlauki" (ziemas kvieši, ziemas rapsis, vasaras mieži, kartupeļi, hibrīdā lucerna) un izmēģinājumu lielražošanas apstākļos AS "Ziedi JP" un AS "Pampāļi" (ziemas kvieši, ziemas rapsis, vasaras mieži, auzas, kukurūza). 3. Veģetācijas eksperimentu (papeles un priedes) ierīkošanai izmantot koksnes pelnu/digestāta maisījumus proporcijās 1:1, 2:1 un 3:1. Maisījumu sagatavošanai izmantoti liellopu un cūku kūtsmēslu digestāti (attiecīgi no AS "Ziedi JP" un SIA "Latvi Dan Agro") un pelni (no SIA "Gren Latvija" un SIA "Dobeles Eko").	1. Izmēģinājumos iegūto kultūraugu ražas ķīmiskās analīzes. 2. Izmēģinājumu ražas un ražas kvalitātes datu matemātiska apstrāde un analīze. 3. Zinātnisko publikāciju un to prezentāciju sagatavošana ziņojumiem konferencēs. 4. Dalība semināros, simpozijos un konferencēs. 5. Jauna augsnes auglības uzlabošanas līdzekļa granulēšanas iespēju pārbaude.	1. Preses relīzes, informācija mājaslapās, sabiedriskajos medijos. 2. Zinātniskas un populārzinātniskas publikācijas. 3. Ziņojumi semināros, simpozijos un konferencēs Latvijā un ārzemēs. 4. Lauku dienu organizēšana speciālistiem.

2. att. Projekta realizācijas etapi.

3.2. Pētījumi sadarbības partnerinstitūcijās un struktūrvienībās

Pētījumi LBTU struktūrvienībās

A. Tehniskās fakultātes Enerģētikas institūts

Šajā struktūrvienībā tika izvērsti plaši pētījumi ar dažāda veida digestātiem un veikta digestātu un koksnes pelnu maisījumu sastādīšana laboratorijas apstākļos to kvalitātes analīzēm, kā arī eksperimentiem ar dārzeņiem.

1. Pētījumu metodes

Projekta vajadzībām tika iegūti trīs digestātu veidi no galvenajām Latvijā izmantojamām izejvielām: sastāvā pārsvarā liellopu kūtsmēsli; sastāvā pārsvarā cūku kūtsmēsli; sastāvā pārsvarā siltumnīcas augu atliekas. Praksē katrā biogāzes ražotnē izmanto dažādu izejvielu kofermentāciju, iegūstot atšķirīgus digestātus. Digestāts ir anaerobās fermentācijas blakusprodukts, un tā kvalitāte ir atkarīga no saražotā biogāzes un metāna daudzuma. Atlikušās organiskās vielas daudzums digestātā būs mazāks, ja iegūtā gāzu raža ir bijusi lielāka.

Digestāti tika iegūti laboratorijas apstākļos no partneru piegādātajām izejvielām, un tiem veica nepieciešamās analīzes. Tad digestāti tika dalīti frakcijās un žāvēti. Tika pārbaudīti divi žāvēšanas varianti: (1) dabīgi uz sietiem un (2) ar siltu gaisu no kalorifieriem uz paštaisītām iekārtām.

Agronomiskajiem pētījumiem tika gatavoti maisījumi ar koksnes pelniem septiņos dažādos variantos. Tika pētītas arī maisījumu granulēšanas iespējas un veiksmīgai granulēšanai vajadzīgais mitruma saturs. Tika pārbaudīta arī dažādo maisījumu granulū stiprība.

Projekta pētījumu realizēšanai tika izmantotas gan standarta, praksē plaši pielietotas metodes, gan arī tādas, kuras tika radītas konkrētajam pētījumam. Tā kā pētījumi ir atšķirīgi, tad nav iespējams izstrādāt visiem vienotas metodes. Tās ir aprakstītas katra konkrētā pētījuma sadaļā.

Ražotņu izejvielu analīzes

Katrai biogāzes ražotnei bija jāizvērtē savas izejvielas un jāsastāda ikdienā visvairāk izmantoto izejvielu saraksts un receptūra. Tas bija jāsaskaņo ar Bioenerģijas zinātnisko laboratoriju (BZL), lai konkretizētu iespējas izmantot izejvielas pētījumā un veiktu tām analīzes. Pirmo divu biogāzes ražotņu izejvielu analīžu rezultāti ir parādīti 1. un 2. tabulā. Analīzes tika veiktas BZL.

1. tabula

Biogāzes ražotnes AS “Pampāļi” izejvielu analīze

Izejviela	pH	PS, %	P, %	SOV, %
Liellopu kūtsmēsli	7.88	7.02	16.94	83.06
Digestāts	7.85	6.60	21.34	78.66

Kukurūzas skābbarība		29.59	4.11	95.89
Zāles skābbarība		27.8	8.53	91.47
Milti		89.32	6.15	93.85

2. tabula

Biogāzes ražotnes SIA “Latvi Dan Agro” izejvielu analīze

Izejvielas	pH	PS, %	P, %	SOV, %	pH	PS, %	P, %	SOV, %
Cūku kūtsmēsli	7.5	2.58	28.23	71.77	7.5	2.58	28.23	71.77
Digestāts, šķidrāis	8.01	3.84	31.64	68.36	8.0	5.53	10.48	89.52
Digestāts, biežais		24.25	10.3	89.7		24.24	9.63	80.37
Kukurūzas skābbarība		43.64	11.47	88.53		43.64	11.47	88.53
Dūņas		14.38	15.69	84.31		14.38	15.69	84.31

Apzīmējumi: PS – pilnā sausna; P – pelni; SOV – sausā organiskā viela (% rēķināts no pilnās sausnas).

Kad pētījums bija jau iesākts, SIA “Latvi Dan Agro” mainīja digestāta veidu, tādēļ 2. tabulā redzami abi digestāta veidi.

2. Digestāta, kura galvenā izejviela ir liellopu mēsli, sagatavošana

AS “Pampāļi” biogāzes ražotnes izejvielu receptūra

Diennaktī biogāzes ražotnes bioreaktoros tiek iepildītas šādas izejvielas: liellopu šķīdramēsli – 120–130 t, sausnas saturs – 5,5%; kukurūzas skābbarība – 30–32 t, sausnas saturs – 32%; zāles skābbarība – 8–10 t, sausnas saturs – 32–36%; milti no nekvalitatīviem graudiem – 0.2–0,5 t, sausnas saturs – 95%; recirkulāts (digestāts) – 150–160 t, sausnas saturs – 6–7%.

Biogāzes ražotne izmanto firmas “EnviTec Biogas” tehnoloģiju; bioreaktoru darba tilpums – $2 \times 3090 = 6180 \text{ m}^3$; darba temperatūra – 40–42 °C.

Saimniecībā netiek veikta saražotās biogāzes uzskaitē; pēc teorētiskā aprēķina varētu būt ap 12 000 m^3 biogāzes diennaktī. Vidējais metāna saturs % – 51–52%; vidējais sausnas saturs pēc frakcionēšanas %: biežai frakcijai – 35–40, šķidrai frakcijai – 5–8.

Sausnas saturs pēc žāvēšanas iekārtas bija 70–90% atkarībā no uzstādītās žāvēšanas intensitātes.

Digestāta sagatavošana laboratorijā

Laboratorijā digestātu ieguva divos 110 litru bioreaktoros, un katrai izejvielai digestātu ieguva 16 bioreaktoros, katrs ar 0,75 L ietilpību. Vispirms noteica katras izejvielas bioķīmisko metāna potenciālu, un tad no tās ieguva digestātu. Laboratorijas pētījumiem tika atvestas izejvielas atbilstoši izstrādātajai receptūrai – kopā aptuveni 240 kg.

Praksē daudzu Latvijas biogāzes ražotņu digestāta paraugu analīzes liecina par lielu organiskās sausas saturu.

Metāna bioķīmiskā potenciāla noteikšana, digestāta iegūšana

Materiāli, metodes un darbu apraksts

Pētījumos tika izmantotas izejvielas no paraugiem (1.–5. attēls), kurus piegādāja projekta partneri.



1. attēls. **Ieraugs.**



2. attēls. **Kukurūzas skābbarība.**



3. attēls. **Zāles skābbarība.**



4. attēls. **Liellopu mēsli.**



5. attēls. **Barības atlikumi (milti).**

No katra piegādātā izejvielu saiņa tika paņemts vidējais paraugs, un LBTU laboratorijā noteikts tā ķīmiskais sastāvs pēc standartizētām metodēm ISO 6496:1999. Katram vidējam paraugam un ieraugam noteica pilnās sausas, organiskās sausas, pelnu un galveno elementu saturu. Pilno sausnu noteica 120 °C temperatūrā, izmantojot iekārtu “Shimadzu”. Katras grupas izejvielu rūpīgi nosvēra; nosvēra arī ieraugu, un rūpīgi to samaisīja. Visiem paraugiem izmantoja vienu ieraugu – digestātu no Auniņu fermas nepārtrauktas darbības bioreaktora.

Bioreaktoros ar tilpumu 0,75 L iepildīja izejvielu un 500 g ierauga (5. attēls), un tā svaru reģistrēja līdz 0,2 g precizitātei. Visus datus ierakstīja eksperimentu žurnālā un datorā. Bioreaktoros R2–R4 iepildīja katrā 20,2 g liellopu mēslu, bioreaktoros R5–R7 – katrā pa 4,96 g kukurūzas skābbarības, bioreaktoros R8–R10 – katrā pa 1,44 g zāles skābbarības un bioreaktoros R11–R15 – katrā pa 20,2 g LM, 4,96 g KS, 1,44 g ZS un 0,056 g miltu. Visus bioreaktoros savienoja ar gāzes uzkrāšanas maisiņiem ar krāniem, ievietoja žāvēskapī un uzstādīja $38 \pm 0,5$ °C darba temperatūru. Katru dienu izmērīja izdalītās gāzes daudzumu un sastāvu. Katru dienu bioreaktoros arī sakratīja, lai samazinātu peldošo slāni. Raudzēšana notika vienreizējas iepildīšanas režīmā un ilga, kamēr biogāze vairs neizdalījās. Digestātu nosvēra, un noteica tā sausnas, pelnu un organiskās sausnas saturu. Mērījumu precizitāte bija ± 0.02 pH, ± 0.025 L gāzes tilpumam un ± 0.1 °C temperatūrai. Periodiski tika mērīts saražotās biogāzes sastāvs – noteica CH₄, ogļskābās gāzes CO₂, skābekļa O₂ un sērūdeņraža H₂S saturu.

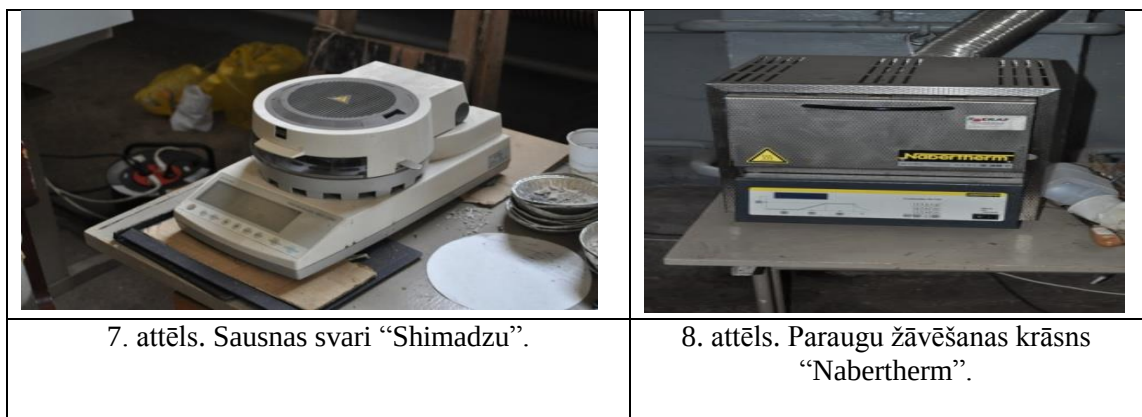
Iekārtas

Biogāzes ieguves daudzums tika pētīts, izmantojot laboratorijas iekārtu, kas sastāvēja no 16 bioreaktoriem, ar 0,75 L ietilpību katrs. Par bioreaktoriem bija pārtaisīti standarta trauki. Pastāvīgu darba temperatūru nodrošināja universālais žāvēšanas skapis “SNOL” (6. attēls) – 2 gab. (temperatūra – līdz 300 °C; tilpums – 300 L; elektroniska kontrole; nerūsošā tērauda apdare).



6. attēls. Žāvēšanas skapis biogāzes potenciāla pētīšanai.

Pilno sausnu noteica ar sausnas svariem “Shimadzu” (7. attēls) 120 °C temperatūrā; organiskās vielas sastāvu noteica, izmantojot žāvēšanas krāsni “Nabertherm” (8. attēls) un žāvējot paraugus pēc īpašas programmas 550 °C temperatūrā.



Gāzes sastāvu mērija ar gāzes analizatoru "GA-2000" (9. attēls). Tika izmērīts metāna, skābekļa, ogleņskābās gāzes un sērūdeņraža saturs biogāzē, kā arī spiediens un gāzes normāltilpums. Svēršanai tika izmantoti svāri ("Kern FKB 16KO2"), pH mērišanai – stacionārais pH metrs ar piederumiem ("PP-50") (10. attēls).



9. attēls. Gāzes analizators "GA-2000".

10. attēls. pH metrs "PP-50".

Rezultāti

Aprēķinot iegūtās biogāzes un metāna daudzumu, tika ievērtēts no visiem 16 bioreaktoriem iegūtais biogāzes un metāna daudzums. Tika aprēķināti vidējie rezultāti, kas ir apkopoti tabulās un atveidoti attēlos. Izejvielu analīžu rezultāti parādīti 8. tabulā.

No katra bioreaktora iegūtā digestāta analīžu rezultāti parādīti 9. tabulā.

8. tabula

Izejvielu analīžu rezultāti

Bioreaktors	Izejviela	PS, %	PS, g	P, %	SOV, %	SOV, g	Svars, g
R1, R16	Ie 500	6.6	33.0	21.34	78.66	25.96	500
R2-4	GM	7.02	1.42	16.94	83.06	1.18	20.2
R2-4	Ie+GM	6.62	34.42	21.16	78.84	27.14	520.2
R5-7	KS	29.59	1.47	4.11	95.89	1.41	4.96
R5-7	Ie+KS	6.82	34.47	20.61	79.39	27.36	504.96
R8-10	ZS	27.8	0.40	8.53	91.47	0.367	1.44

R8-10	Ie+ZS	6.66	33.40	21.19	78.81	26.32	501.44
R11-15	M	89.32	0.05	6.15	93.85	0.05	0.06
R11-15	CoF	12.51	3.34	10.13	89.87	3.00	26.67
R11-15	Ie+CoF	7.22	36.34	20.31	79.69	28.97	503.34

Apzīmējumi: Ie – ieraugs (kontrolē); GM – govju mēsli; KS – kukurūzas skābbarība; ZS – zāles skābbarība; M – miltu saslaukas; CoF – kofermentācija visai biomasai+milti; PS – pilnā sausna; SOV – sausā organiskā viela; P – pelni; R1–16 – bioreaktori.

9. tabula

Digestāta analīžu rezultāti

Bioreaktors, izejviela	pH substr.	PS, %	PS, g	P, %	SOV, %	SOV, g	Svars, g
R1 ieraugs	7.64	6.1	28.32	25.9	74.1	20.99	464.3
R16 ieraugs	7.65	5.73	28.13	25.63	74.37	20.92	491.1
R2 LM+Ie 500g	7.74	5.61	28.88	26.89	73.11	21.11	514.8
R3 LM+Ie 500g	7.72	6.04	31.08	25.56	74.44	23.13	514.6
R4 LM+Ie 500g	7.70	5.74	29.52	27.09	72.91	21.52	514.3
R5 KS+Ie 500g	7.71	5.95	29.51	26.71	73.29	21.63	496.0
R6 KS+Ie 500g	7.68	5.75	28.51	26.14	73.86	21.06	495.8
R7 KS+Ie 500g	7.71	5.86	29.03	26.21	73.79	21.42	495.4
R8 ZS+Ie 500g	7.36	5.53	27.47	26.03	73.97	20.32	496.8
R9 ZS+Ie 500g	7.69	5.60	27.83	26.18	73.82	20.55	497.0
R10 ZS+Ie 500g	7.72	5.65	28.07	25.17	74.83	21.01	496.9
R11 visas+Ie 500g	7.71	5.80	28.79	26.69	73.31	21.10	496.3
R12 visas+Ie 500g	7.69	5.64	27.99	27.02	72.98	20.43	496.4
R13 visas+Ie 500g	7.70	5.79	28.73	26.78	73.22	21.04	496.2
R14 visas+Ie 500g	7.63	5.79	28.74	27.17	72.83	20.93	496.3
R15 visas+Ie 500g	7.69	5.93	29.44	25.56	74.44	21.92	496.5
Vidēji R11- R15	7.68	5.79	28.74	26.64	73.36	21.08	496.3

Apzīmējumi: PS – pilnā sausna; P – pelni; SOV – sausā organiskā viela; KS – kukurūzas skābbarība; ZS – zāles skābbarība; LM – liellopu mēsli; visas+Ie – visas izejvielas, ieskaitot miltus un ieraugu; Ie – ieraugs.

Biogāzes un metāna ieguve no dažādām izejvielām parādīta 10. tabulā.

10. tabula

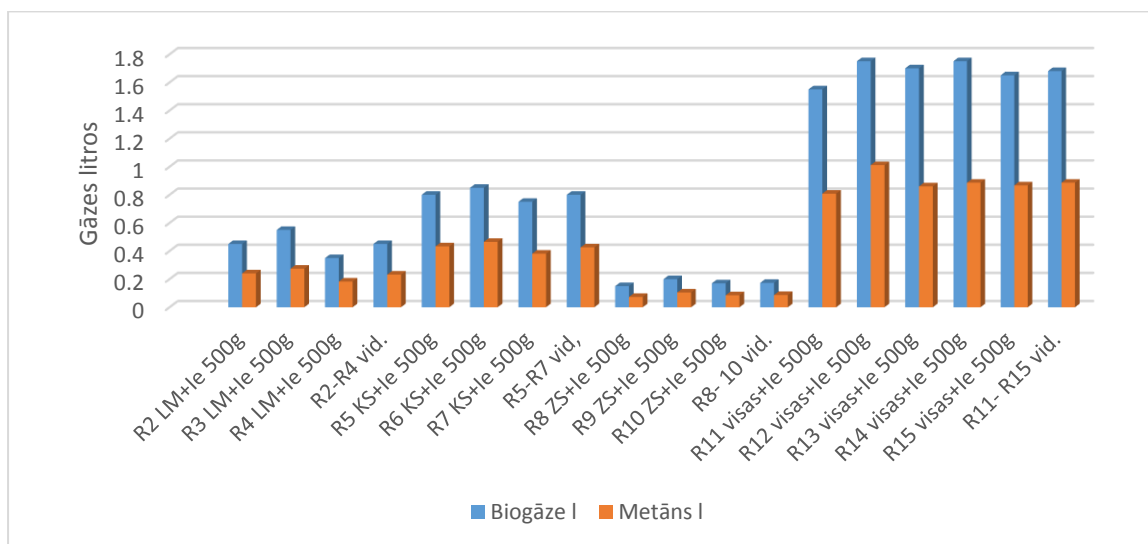
Biogāzes un metāna ieguve no dažādām izejvielām

Bioreaktors, izejviela	Biogāze, L	Biogāze, L/gsov iel.	Metāns, vidēji %	Metāns, L	Metāns, L/gsov iel.
R1 500 g ierauga	5.7	0.22	50.02	2.85	0.11
R16 500 g ierauga	5.4	0.21	38.92	2.10	0.08
R1, R16 vidēji	5.55	0.21	44.61	2.48	0.095
R2 LM+Ie 500 g	(6.0) 0.45	0.38	53.65	(3.29) 0.24	0.21
R3 LM+Ie 500 g	(6.1) 0.55	0.47	49.83	(3.04) 0.27	0.23

R4 LM+Ie 500 g	(5.9) 0.35	0.30	52.39	(3.09) 0.18	0.16
R2-R4 vidēji	(6.0) 0.45	0.38	51.62	(3.10) 0.23	0.20
R5 KS+Ie 500 g	(6.35) 0.8	0.57	54.17	(3.44) 0.43	0.31
R6 KS+Ie 500 g	(6.4) 0.85	0.60	54.72	(3.50) 0.46	0.33
R7 KS+Ie 500 g	(6.3) 0.75	0.53	50.74	(3.20) 0.38	0.27
R5-R7 vidēji	(6.35) 0.8	0.57	53.23	(3.44) 0.43	0.30
R8 ZS+Ie 500 g	(5.7) 0.15	0.41	48.54	(2.79) 0.07	0.20
R9 ZS+Ie 500 g	(5.75) 0.2	0.55	52.27	(3.01) 0.10	0.29
R10 ZS+Ie 500 g	(5.72) 0.17	0.46	50.15	(2.87) 0.08	0.23
R8-10 vid.	(5.72) 0.17	0.47	50.32	(2.88) 0.09	0.24
R11 visas+Ie 500 g	(7.1) 1.55	0.52	52.15	(3.703) 0.81	0.270
R12 visas+Ie 500 g	(7.3) 1.75	0.58	57.15	(4.21) 1.01	0.34
R13 visas+Ie 500 g	(7.25) 1.70	0.57	50.56	(3.67) 0.86	0.29
R14 visas+Ie 500 g	(7.3) 1.75	0.58	50.61	(3.69) 0.87	0.29
R15 visas+Ie 500 g	(7.2) 1.65	0.55	52.53	(3.78) 0.87	0.29
R11-R15 vid.	(7.23) 1.68	0.56	52.72	(3.81) 0.89	0.30

Piezīme: iekavās dots kopējais no izejvielām un ierauga iegūtais biogāzes (metāna) daudzums, bez iekavām – tikai no izejvielām iegūtais biogāzes daudzums.

Katrā bioreaktorā saražotais biogāzes un metāna daudzums redzams 11. attēlā. Iegūtie rezultāti liecina, ka tie ir vidēji, salīdzinot ar citiem literatūrā aprakstītajiem un Latvijā biogāzes ražotnēs iegūtajiem rādītājiem. No kukurūzas skābbarības iegūto ražu pat varētu saukt par labu, bet no zāles skābbarības iegūto – par diezgan viduvēju. Apmierina tas, ka visu izejvielu kofermentācijā ir izdevies tās pareizi sabalansēt un ka kopējā raža ir laba.



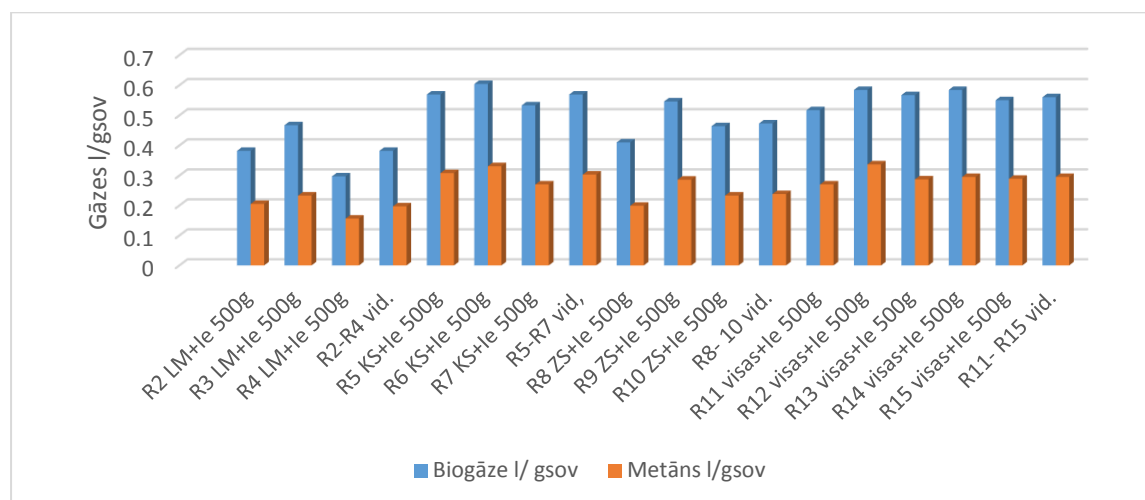
11. attēls. Katrā bioreaktorā saražotais biogāzes un metāna daudzums litros.

Pēc 12. attēla var secināt, kādu īpatsvaru kopējā izdalītajā gāzes daudzumā dod katra izejviela. Redzams, ka liellopu mēsli, kaut arī to īpatnējā raža L/gsov ir mazāka, izdala lielāku gāzes daudzumu nekā zāles skābbarība.

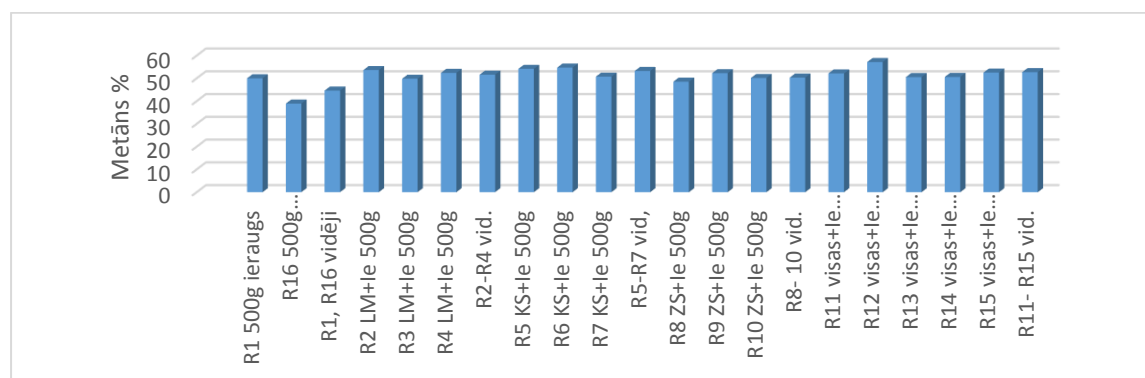
Katrā bioreaktorā saražotais biogāzes un metāna daudzums redzams 12. attēlā. Vislabāko ražu, protams, dod bojātie milti, bet, tā kā to piedeva bija proporcionāli neliela,

tad to atsevišķi nebija iespējams grafiski parādīt. Milti uzlaboja iegūto gāzu ražu visu izejvielu kofermentācijā.

Vidējais, no katra bioreaktora iegūtais metāna daudzums dots 13. attēlā.



12. attēls. Katrā bioreaktorā saražotais biogāzes un metāna daudzums.



13. attēls. Katrā bioreaktorā iegūtais vidējais metāna daudzums.

13. attēls ir ļoti neparasts. Redzams, ka bioreaktori R1 un R16, kuros bija tikai ieraugs, deva lielu metāna daudzumu. To izskaidro apstākļi, ka par ieraugu tika izmantots no biogāzes ražotnes atvests digestāts. Acīmredzot tajā bija vēl ļoti daudz nesadalījušās izejvielas. Parasti laboratorijā par ieraugu tiek izmantots labi pārstrādāts digestāts.

Secinājumi

1. Recirkulātā, kurš tika izmantots par ieraugu, ir vēl ļoti daudz (ap 35%) nesadalījušās sausās organiskās vielas. Ja tādu izmanto kā digestātu lauku mēslošanai, tad tas daļēji ir arī organiskais mēslojums, ko izmantos augsnes mikroorganismi.
2. Kukurūzas skābbarība dod vislielāko metāna ražu, tādēļ to ir lietderīgi izmantot. Zāles skābbarība šajā pētījumā deva ievērojami sliktāku rezultātu, kas arī bija sagaidāms, jo tās kvalitāte nebija augsta.
3. Liellopu kūtsmēsliem bija laba kvalitāte, un tie deva labu metāna ražu. Tomēr, ņemot vērā zemo sausas saturu liellopu mēslās, ar tiem vien nav iespējams nodrošināt normālu biogāzes ražotnes darbību. Ir nepieciešama skābbarības izmantošana.

4. Digestāta atšķirība no dažādajām šajā pētījumā iekļautajām izejvielām nebija liela, jo galvenais īpatsvars tā sastāvā bija ieraugam.

4. Digestāta, biogāzes un metāna ieguve no biogāzes ražotņu izejvielām 110 litru bioreaktoros (A un B)

Darbam tika sagatavoti divi 110 litru bioreaktori (14.–18. attēls). A bioreaktors bija aprīkots ar lāpstiņu maisīšanas sistēmu un ar propellera maisīšanas sistēmu pie izplūdes atveres, savukārt B bioreaktoram bija trīs sekcijas ar propelleriem katrā sekcijā.

Bioreaktori bija paštaisīti un iepriekš jau lietoti.



14. attēls. **A bioreaktors.**



15. attēls. **B bioreaktors**



16. attēls. **A bioreaktors bez vāka.**



17. attēls. **A bioreaktors darba procesā.**



18. attēls. **B bioreaktors darba procesā.**

No AS “Pampāļi” Auniņu fermas tika atvestas tās pašas izejvielas, kuras ikdienā tiek pildītas fermas biogāzes ražotnē.

2019. gada 15. novembrī abos bioreaktoros tika iepildīti pa 50 L šīs ražotnes recirkulāta, kas bija ieraugs anaerobās fermentācijas procesu uzsākšanai šajos bioreaktoros.

Bioreaktoros tika ieslēgta sildīšanas sistēma, un pamazām temperatūra sasniedza paredzēto režīmu – 39±1 °C. Baktērijām, lai tās atkoptos pēc iepriekšējās zemās temperatūras un adaptētos jaunajos apstākļos, ir vajadzīgs zināms laiks. Kā parādīja recirkulāta analīzes, tajā bija vēl daudz nesadalījušos organisko vielu, tādēļ būtu vēlams, lai šis ieraugs būtu pēc iespējas liesāks. Ja pārāk strauji tiktu uzsākta svaigo izejvielu pildīšana, pastāvētu liels ieskābšanas procesa risks. Tādēļ svaigo izejvielu pildīšana tika uzsākta 2019. gada 2. decembrī. Izejvielu pildīšanas datumi un analīžu vidējie rādītāji ir doti 11. tabulā.

Lai iepildīšanas deva atbilstu optimālai organiskai slodzei, tika aprēķināts katras izejvielas daudzums: liellopu mēsli – 2,02 kg; kukurūzas skābbarība – 0.496 kg; zāles skābbarība – 0.144 kg; miltu saslaucas – 0.056 kg; digestāts (recirkulāts) – 2.48 kg; kopā – 5.20 kg.

No katra bioreaktora iegūtā digestāta analīžu rezultāti redzami 12. tabulā.

11. tabula

Izejvielu analīzes un pildīšana bioreaktoros

Datums, bioreaktors	pH	PS,%	PS, kg	P, %	SOV, %	SOV, kg	Svars, kg
02.12 A	7.55	7.86	0.41	17.45	82.55	0.34	5.20
02.12 B	7.70	8.41	0.44	10.68	89.32	0.39	5.20
04.12 A	7.54	7.64	0.40	18.66	81.34	0.32	5.20
04.12 B	7.70	8.77	0.46	16.10	83.90	0.38	5.20
06.12 A	7.66	7.79	0.41	17.52	82.48	0.33	5.20
06.12 B	7.71	7.77	0.40	18.40	81.60	0.33	5.20
09.12 A	7.54	7.82	0.41	17.52	82.48	0.34	5.20
09.12 B	7.71	8.24	0.43	16.85	83.15	0.36	5.20
10.12 A	7.55	7.91	0.41	18.05	81.95	0.34	5.20
10.12 B	7.72	8.28	0.43	17.28	82.72	0.36	5.20
11.12 A	7.53	7.85	0.41	18.01	81.99	0.33	5.20
11.12 B	7.72	8.53	0.44	17.39	82.61	0.37	5.20
12.12 A	7.56	7.80	0.41	17.95	82.05	0.33	5.20
12.12 B	7.74	8.47	0.44	18.12	81.88	0.36	5.20
13.12 A	7.56	7.75	0.40	18.03	81.97	0.33	5.20
13.12 B	7.75	8.22	0.43	17.98	82.02	0.35	5.20
16.12 A	7.58	7.77	0.40	18.07	81.93	0.33	5.20
16.12 B	7.75	8.36	0.43	17.15	82.85	0.36	5.20
18.12 A	7.59	7.86	0.41	17.83	82.17	0.34	5.20
18.12 B	7.76	8.15	0.42	18.14	81.86	0.35	5.20
19.12 A	7.61	7.9	0.41	17.95	82.05	0.34	5.20
19.12 B	7.76	8.22	0.43	18.16	81.84	0.35	5.20
20.12 A	7.61	7.88	0.41	17.99	82.01	0.34	5.20
20.12 B	7.77	8.36	0.43	17.86	82.14	0.36	5.20

12. tabula

Digestāta analīzes

Bio-reaktors	pH	PS, %	PS, kg	P, %	SOV, %	SOV, kg	Svars 25%, kg	Svars, kg
A	7.65	5.84	6.135	25.85	74.15	4.55	24.54	105.05
B	7.82	5.86	6.15	26.52	73.48	4.52	24.60	104.95

Kopā katrā bioreaktorā tika iepildīti 62,352 kg svaigas izejvielas. Pirms svaigo izejvielu iepildīšanas 2019. gada 19. un 20. decembrī no bioreaktoriem tika izņemts šķidrās digestāts – 7,3 kg no katra. Iegūtais biogāzes un metāna daudzums pēc pildīšanas beigām dots 13. tabulā.

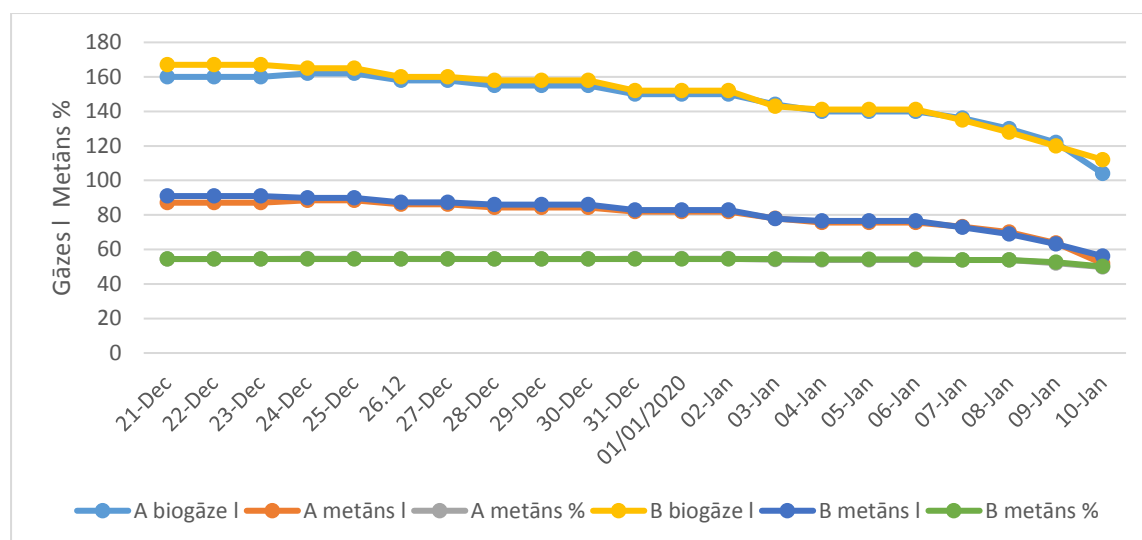
13. tabula

Iegūtais biogāzes un metāna daudzums pēc pildīšanas beigām

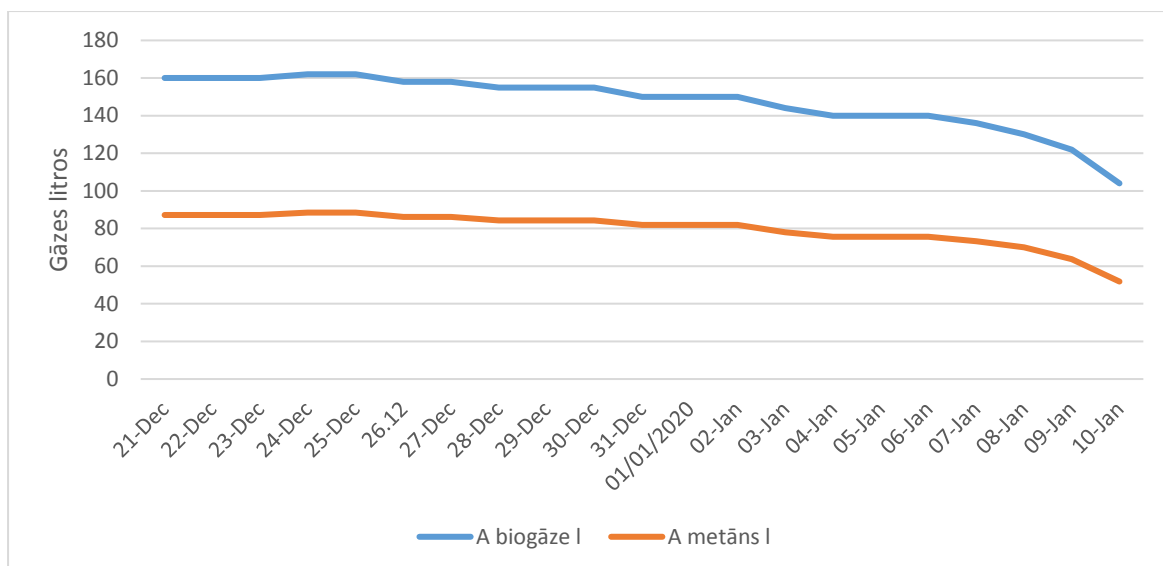
Datums	A biogāze, L	A metāns, L	A metāns, %	B biogāze, L	B metāns, L	B metāns, %
21.12	160	87.17	54.48	167	90.95	54.46
22.12	160	87.17	54.48	167	90.95	54.46
23.12	160	87.17	54.48	167	90.95	54.46
24.12	162	88.48	54.62	165	89.89	54.48
25.12	162	88.48	54.62	165	89.89	54.48
26.12	158	86.11	54.50	160	87.23	54.52
27.12	158	86.11	54.50	160	87.23	54.52
28.12	155	84.29	54.38	158	85.98	54.42
29.12	155	84.29	54.38	158	85.98	54.42
30.12	155	84.29	54.38	158	85.98	54.42
31.12	150	81.93	54.62	152	82.86	54.51
1.01.20	150	81.93	54.62	152	82.86	54.51
2.01	150	81.93	54.62	152	82.86	54.51
3.01	144	77.93	54.12	143	77.83	54.43
4.01	140	75.57	53.98	141	76.59	54.32
5.01	140	75.57	53.98	141	76.59	54.32
6.01	140	75.57	53.98	141	76.59	54.32
7.01	136	73.24	53.85	135	72.79	53.92
8.01	130	70.01	53.85	128	68.86	53.80
9.01	122	63.64	52.10	120	63.14	52.62
10.01	104	51.82	49.83	112	56.13	50.12
Vidēji	140.5 ± 14.929	76.03 ± 9.312	51.58 ± 1.109	142.82 ± 15.911	77.37 ± 9.587	51.64 ± 1.006

Piezīme: vidēji no katra pildījuma iegūtās biogāzes (metāna) daudzums: A bioreaktorā – 411,76 L/kgsov (223,6 L/kgsov), B bioreaktorā – 420,06 L/kgsov (227,56 L/kgsov).

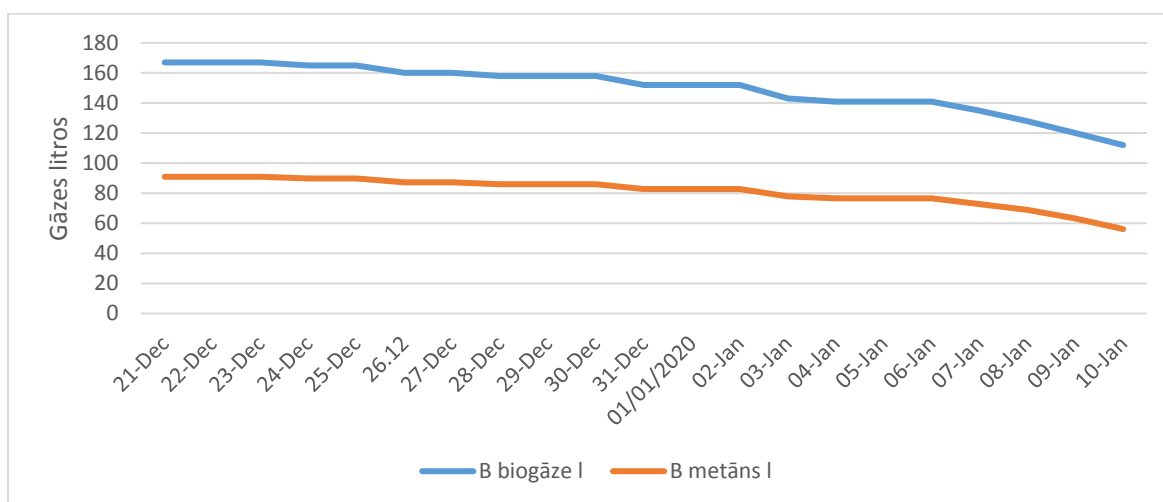
Biogāzes un metāna ieguve secīgi pa dienām grafiski parādīta 19. attēlā. Gāzu samazināšanās A bioreaktorā sākās ātrāk, bet bija vienmērīga un lēna. B reaktorā straujāka iegūto gāzu samazināšanās sākās 2020. gada 6. janvārī.



19. attēls. Biogāze, metāns un metāna % no katra bioreaktora.



20. attēls. **Biogāzes un metāna ieguve katru dienu no A bioreaktora, litros.**



21. attēls. **Biogāzes un metāna ieguve katru dienu no B bioreaktora, litros.**

20.–21. attēlā redzams, ka abos bioreaktoros izdalīto gāzu daudzums samazinājās lēni, bet stabili.

Secinājumi

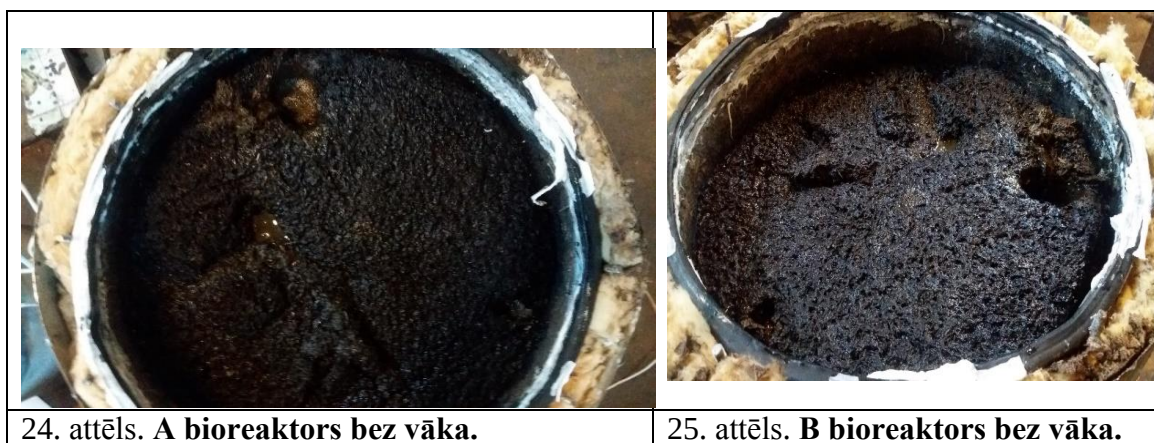
1. No A un B bioreaktoriem iegūtā digestāta analīžu rezultāti bija līdzīgi.
2. Būtiskas atšķirības starp A un B bioreaktoros un laboratorijas R11–R15 bioreaktoros iegūtā digestāta analīžu rezultātiem netika konstatētas (PS=5,79%, SOV=73,34%).

5. Digestāta frakcionēšana un žāvēšana

No bioreaktoriem tika noņemti visi mērinstrumenti (22. attēls). Pēc tam tika noņemts vāks (23. attēls).



Pēc abu bioreaktoru atvēršanas tajos, neskatoties uz šķietami efektīvo maisīšanu, bija izveidojies biezs virsējais digestāta slānis (24.–25. attēls).



26. attēls. **A bioreaktors pēc biomasas izņemšanas.**

Biezā masa tika pārvietota uz žāvēšanas iekārtu, bet šķidrums caur sietiem pildīts spaiņos, lai atdalītu biezo frakciju no šķidrās (27.–28. attēls).

Žāvēšanai tika izmantotas dažādas iekārtas, gan ar pasīvo žāvēšanu, gan ar elektriski uzsildīta gaisa plūsmu (29.–33. attēls).



27. attēls. Spaiņi ar sietiem.



28. attēls. Spaiņi ar sietiem un biezo frakciju.



29. attēls. Žāvēšanas iekārta.



30. attēls. Žāvēšanas iekārta.



31. attēls. Žāvēšanas iekārta.



32. attēls. Izžāvētā biomasa.

Pēc tam biezo frakciju pārvietoja uz kādu no pašu izveidotām žāvēšanas iekārtām (attēli), bet šķidro sapildīja tvertnē.



33. attēls. Žāvēšanas iekārta.

	
34. attēls. Izžāvētais digestāts.	35. attēls. Izžāvētais digestāts.

Izžāvētais digestāts redzams 34.–35. attēlā.



36. attēls. **Izžāvētais digestāts noņemts no sietiem.**



37. attēls. **Smalcināšanas iekārta.**

Izžāvēto digestātu varēja tālāk izmantot maisījumos tikai pēc sasmalcināšanas, ko paveica, izmantojot 37. attēlā redzamo iekārtu.

Secinājumi

1. No bioreaktoriem izņemtais digestāts bija ļoti homogēns, un to bija ļoti grūti sadalīt frakcijās. Sietu spraugas ātri aizlipa, un tās bija nepārtraukti jātīra.
2. Visās žāvēšanas iekārtās tika izmantoti sieti, un arī to spraugas aizlipa.
3. Izžāvētais digestāts bija plēkšņains un gabalains un nebija tālāk izmantojams. Tā sasmalcināšanai tika izmantots laboratorijas smalcinātājs.
4. Bija novērojams, ka maisījumos labāk izmantot nedaudz mitru (PS=20–30%) biomasu, jo tad pelni mazāk put.

6. Digestāta ar lielu cūku mēslu saturu iegūšana

Digestāta iegūšana no SIA “Latvi Dan Agro” izejvielām 16 bioreaktoros

No SIA “Latvi Dan Agro” tika piegādātas tādas pašas izejvielas kā ikdienā kompānijas bioreaktoros pildītās. Biogāzes (metāna) potenciāla noteikšanai tika izmantota tāda pati metodika kā iepriekš aprakstītā par pētījumu ar AS “Pampāļi” izejvielām.

Sešpadsmit 0,75 L bioreaktoros iepildīja izejvielu un 500 g ierauga (tā svaru reģistrēja līdz 0,2 g precizitātei). Visus datus ierakstīja eksperimentu žurnālā un datorā. Bioreaktoros R2–R4 iepildīja katrā pa 40 g cūku mēslu, bioreaktoros R5–R7 – katrā pa 20 g biežā digestāta, bioreaktoros R8–R10 – katrā pa 20 g kukurūzas skābbarības, bioreaktoros R11–R13 – katrā pa 20 g dūņu un bioreaktoros R14–R15 – šķidro recirkulātu pēc pirmā reaktora. Izejvielas parādītas 38.–42. attēlos.



38. attēls. Biezais digestāts.



39. attēls. Šķidrās recirkulāts.



40. attēls. Cūku mēsli.



41. attēls. Kukurūzas skābbarība.



42. attēls. **Dūņas.**

Izejvielu analīžu rezultāti doti 14. tabulā.

14. tabula

Izejvielu analīžu rezultāti

Bioreaktors	Izejviela	PS, %	PS, g	P, %	SOV, %	SOV, g	Svars, g
R1,R16	Ie 500	3.84	19.2	31.64	68.36	13.12	500
R2-4	CM	2.58	1.03	28.23	71.77	0.741	40
R2-4	Ie+CM	3.75	20.23	31.47	68.53	13.87	540
R5-7	BD	24.25	4.85	10.3	89.7	4.35	20
R5-7	Ie+BD	4.62	24.05	27.34	72.66	17.48	520
R8-10	KS	43.64	8.73	11.47	88.53	7.73	20
R8-10	Ie+KS	5.37	27.93	25.34	74.66	20.85	520
R11-13	D	14.38	2.876	15.69	84.31	2.42	20
R11-13	Ie + D	4.25	22.08	29.56	70.44	15.55	520
R14-15	Ie+ŠR	3.91	20.31	30.49	69.51	14.12	520
R14- 15	ŠR	5.53	1.11	10.48	89.52	0.99	20

Apzīmējumi: CM – cūku kūtsmēsli; BD – biežais digestāts; KS – kukurūzas skābbarība; D – dūņas; ŠR – šķidrās recirkulāts; Ie – ieraugs; R – bioreaktors.

Visvairāk sausnas saturēja kukurūzas skābbarība. No fermas to piegādāja neparasti sausu. Parasti normālas kukurūzas skābbarības sausna ir robežās no 30% līdz 35%.

Digestāta analīžu rezultāti doti 15. tabulā.

15. tabula

Digestāta analīžu rezultāti

Izejviela/bioreaktors	pH substr.	PS, %	PS, g	P, %	SOV, %	SOV, g	Svars, g
R1 ieraugs	8.05	3.34	16.35	31.61	68.39	11.18	489.6
R16 ieraugs	7.92	3.49	17.12	33.78	66.22	11.34	490.6
R1, R16 vid.	7.99	3.42	16.74	32.70	67.31	11.26	490.1
R2 CM + Ie	7.96	3.32	16.86	35.41	64.59	10.89	507.8
R3 CM + Ie	7.93	4.46	22.42	25.62	74.38	16.68	502.8
R4 CM + Ie	8.08	3.19	16.04	35.53	64.47	10.34	503.0

R2–R4 vid.	7.99	3.66	18.44	32.19	67.81	12.64	504.5
R5 BD + Ie	7.88	4.17	21.33	31.01	68.99	14.72	511.6
R6 BD + Ie	7.80	4.67	23.81	26.54	73.46	17.49	509.8
R7 BD + Ie	7.87	4.13	21.16	28.41	71.59	15.15	512.4
R5–R7 vid.	7.85	4.32	22.10	28.65	71.35	15.79	511.3
R8 KS + Ie	7.82	3.78	19.11	32.36	67.64	12.93	505.6
R9 KS + Ie	7.78	3.82	19.27	29.52	70.48	13.58	504.4
R10 KS + Ie	7.71	3.74	19.10	32.21	67.79	12.94	510.6
R8–10 vid.	7.77	3.78	19.16	31.36	68.64	13.15	506.9
R11 D + Ie	8.06	3.72	18.91	33.59	66.05	12.49	508.4
R12 D + Ie	7.88	3.08	15.62	38.80	61.20	9.56	507.2
R13 D + Ie	7.90	3.76	19.01	31.59	68.41	13.01	505.6
R11–13 vid.	7.95	3.52	17.85	34.78	65.22	11.68	507.1
R14 ŠR + Ie	7.96	3.43	17.46	28.57	71.43	12.47	509.0
R15 ŠR + Ie	7.93	3.45	17.50	33.90	66.10	11.57	507.2
Vidēji R11-R15	7.95	3.44	17.48	31.24	68.77	12.02	508.1

Apzīmējumi: CM – cūku kūstmēsli; BD – biežais digestāts; KS – kukurūzas skābbarība; D – dūņas; ŠR – šķidrās recirkulāts; Ie – ieraugs; R – bioreaktors.

Agronomiskajā vērtējumā ir svarīgi, cik daudz sausās organiskās vielas (SOV) digestāts vēl satur pēc anaerobās pārstrādes. Rēķinot pēc tabulu datiem, galvenajai izejvielai – kukurūzas skābbarībai – digestātā bija vēl 75,5% SOV no sākotnējā daudzuma, ko var izskaidrot ar kukurūzas slikto kvalitāti.

Biogāzes un metāna ieguve parādīta 16. tabulā.

16. tabula

Biogāzes un metāna ieguve

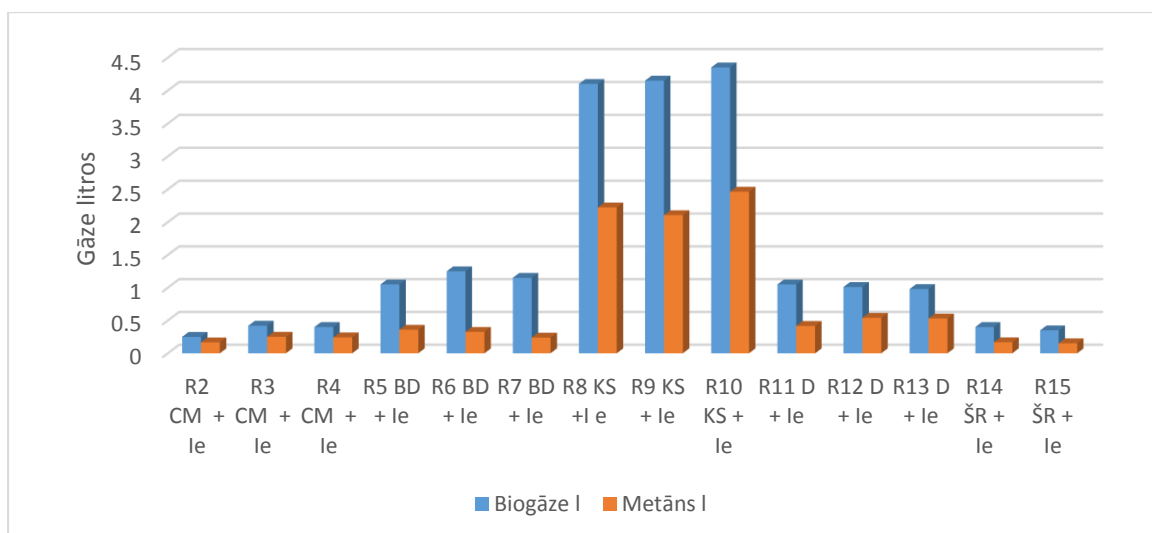
Bioreaktors, izejviela	Biogāze, L	Biogāze, L/gsov iel.	Metāns, vid. %	Metāns, L	Metāns, L/gsov iel.
R1 ieraugs	0.70	0.05	10.71	0.08	0.006
R16 ieraugs	0.60	0.05	10.17	0.06	0.005
R1, R16 vidēji	0.65	0.05	10.44	0.07	0.0055
R2 CM + Ie	0.25	0.34	66.4	0.17	0.224
R3 CM + Ie	0.42	0.57	59.76	0.251	0.339
R4 CM + Ie	0.40	0.54	60.5	0.24	0.326
R2-R4 vid.	0.357	0.48	62.22	0.22	0.296
R5 BD + Ie	1.05	0.241	34.19	0.36	0.082
R6 BD + Ie	1.25	0.29	26.08	0.33	0.075
R7 BD + Ie	1.15	0.26	20.78	0.24	0.054
R5-R7 vid.	1.15	0.26	27.01	0.31	0.070
R8 KS + Ie	4.10	0.531	54.24	2.22	0.289
R9 KS + Ie	4.15	0.54	50.74	2.11	0.272
R10 KS + Ie	4.35	0.56	56.62	2.46	0.318

R8- 10 vid.	4.20	0.54	53.87	2.26	0.293
R11 D + Ie	1.05	0.43	39.71	0.42	0.171
R12 D + Ie	1.01	0.42	53.46	0.54	0.222
R13 D + Ie	0.98	0.40	54.08	0.53	0.219
R11 – R13 vid.	1.01	0.42	49.08	0.50	0.204
R14 ŠR + Ie	0.4	0.40	42.0	0.17	0.170
R15 ŠR + Ie	0.35	0.35	43.43	0.15	0.154
R11 – R15 vid.	0.38	0.38	42.72	0.16	0.162

Apzīmējumi: CM – cūku kūtsmēsli; BD – biežais digestāts; KS – kukurūzas skābbarība; D – dūņas; ŠR – šķidrāis recirkulāts; Ie – ieraugs; R – bioreaktors.

Analizējot iegūto biogāzes un metāna ražu, redzams, ka no cūku mēsliem, dūņām un kukurūzas skābbarības tās ir normālā līmenī. Tas, ka no šķidrā recirkulāta vēl iegūts tik liels biogāzes daudzums, liecina par to, ka no bioreaktora izplūst vēl daudz nepilnīgi pārstrādātas biomasas. Nav īsti saprotama biežā digestāta otrreizējās izmantošanas jēga, ja no tā iegūst tik maz metāna.

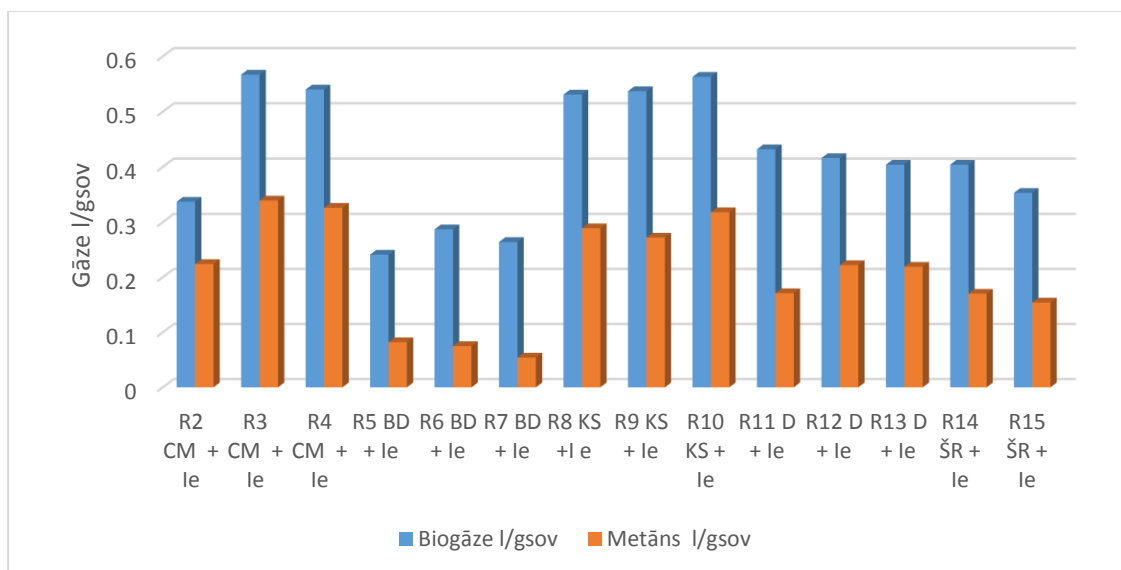
Biogāzes un metāna ražas no katra bioreaktora litros parādītas 43. attēlā.



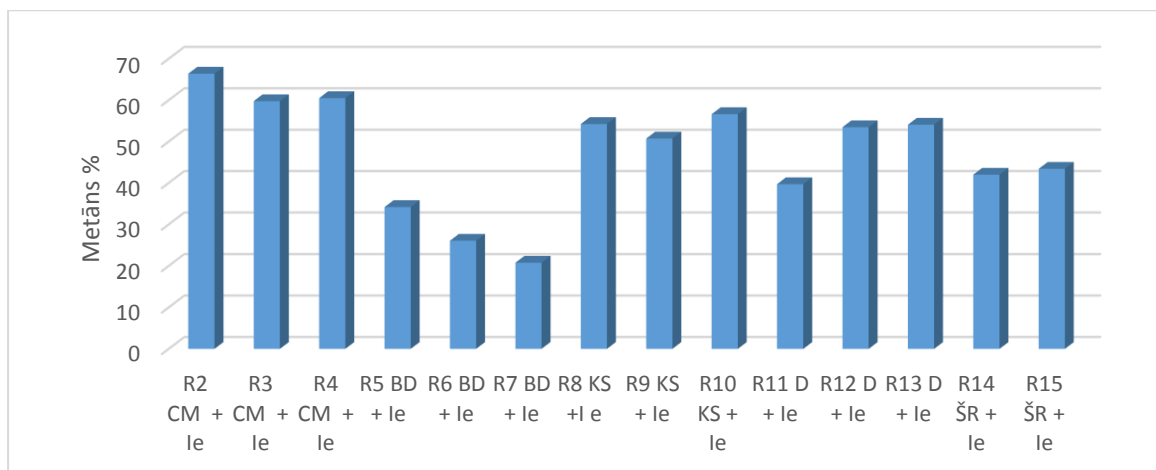
43. attēls. Biogāzes un metāna ražas litros.

Katrā bioreaktorā saražotais biogāzes un metāna daudzums, L/gsov, parādītas 44. attēlā. Pēc 44. attēla var labi spriest, kā no katras izejvielas tika ražota biogāze (metāns). Baktērijas vislabāk izmantoja cūku mēslus un kukurūzas skābbarību. Arī digestāta šķidrā frakcija deva salīdzinoši ievērojamu gāzes daudzumu.

Vidējais metāna saturs % katrā bioreaktorā parādīts 45. attēlā. Redzams, ka visaugstākais tas bija cūku mēslu fermentēšanas bioreaktors.



44. attēls. Katrā bioreaktorā saražotais biogāzes un metāna daudzums, L/gsoV.



45. attēls. Metāna saturs katrā bioreaktorā, vidēji %.

110 litru biorektoru izmantošana, lai iegūtu digestātu ar lielu cūku kūtsmēsļu saturu

Iepildīšana notika, ņemot vērā organisko slodzi. Izejvielu analīžu rezultāti redzami 17. tabulā. Kā ieraugs tika izmantots no “Lat Dan Agro” biogāzes ražotnes atvestais recirkulāts – tas pats, kuru pildīja 16 laboratorijas bioreaktorus. Izejvielu pildīšanas devas:

kukurūzas skābbarība	0,374 kg	0,771 kg
dūņas	0,047 kg	0,096 kg
biezais digestāts	0,032 kg	0,065 kg
šķidrie cūku mēsli	1,11 kg	2,29 kg
recirkulāts	2,34 kg	4,82 kg
Kopā	3,903 kg, PS = 7,58%	8,042 kg, PS = 8,45%
Kopējā OLR	= 2,726	5,617

Bioreaktoru pildīšana un izejvielu analīzes

Datums, bioreaktors	pH	PS, %	PS, kg	P, %	SOV, %	SOV, kg	Svars, kg
17.02 A	8.05	7.58	0.296	16.45	83.55	0.247	3.903
17.02 B	7.93	7.59	0.297	16.68	83.32	0.247	3.903
19.02 A	8.04	7.64	0.298	16.66	83.34	0.249	3.904
19.02 B	7.91	7.57	0.295	16.10	83.90	0.248	3.903
21.02 A	7.96	7.58	0.296	16.52	83.48	0.247	3.903
21.02 B	7.91	7.60	0.297	16.40	83.60	0.248	3.903
24.02 A	7.94	7.52	0.294	16.52	83.48	0.245	3.903
24.02 B	7.91	7.54	0.294	16.85	83.15	0.245	3.903
26.02 A	7.92	7.61	0.297	17.05	82.95	0.246	3.903
26.02 B	7.90	7.58	0.296	17.28	82.72	0.245	3.903
28.02 A	7.83	7.55	0.295	17.01	82.99	0.245	3.903
28.02 B	7.82	7.53	0.294	17.39	82.61	0.243	3.903
2.03 A	7.86	8.51	0.685	16.95	83.05	0.569	8.042
2.03 B	7.84	8.50	0.684	16.12	83.88	0.574	8.042
4.03 A	7.86	8.43	0.678	17.03	82.97	0.562	8.042
4.03 B	7.75	8.45	0.680	16.98	83.02	0.564	8.042
6.03 A	7.78	8.43	0.678	17.07	82.93	0.562	8.042
6.03 B	7.75	8.49	0.683	17.15	82.85	0.566	8.042
9.03 A	7.79	8.50	0.684	16.83	83.17	0.569	8.042
9.03 B	7.76	8.45	0.680	17.14	82.86	0.563	8.042
10.03 A	7.71	8.51	0.685	16.95	83.05	0.569	8.042
10.03 B	7.76	8.49	0.683	17.16	82.84	0.566	8.042
13.03 A	7.71	8.43	0.678	16.99	83.01	0.563	8.042
13.03 B	7.77	8.42	0.677	16.86	83.14	0.563	8.042
16.03 A	7.69	8.45	0.680	16.56	83.44	0.567	8.042
16.03 B	7.75	8.41	0.676	16.78	83.22	0.562	8.042
18.03 A	7.65	8.41	0.676	16.64	83.36	0.563	8.042
18.03 B	7.70	8.35	0.672	16.86	83.14	0.559	8.042
20.03 A	7.64	8.39	0.675	16.89	83.11	0.561	8.042
20.03 B	7.68	8.41	0.676	17.02	82.98	0.561	8.042
23.03 A	7.65	8.43	0.678	16.91	83.09	0.563	8.042
23.03 B	7.68	8.39	0.675	16.83	83.17	0.561	8.042
25.03 A	7.65	8.41	0.676	16.75	83.25	0.563	8.042
25.03 B	7.69	8.39	0.675	17.05	82.95	0.560	8.042
27.03 A	7.66	8.43	0.678	16.34	83.66	0.567	8.042
27.03 B	7.69	8.41	0.676	16.79	83.21	0.558	8.042

Digestāta analīzes

Bioreaktors	pH	PS, %	PS, kg	P, %	SOV, %	SOV, kg	Svars, 25%kg	Svars, kg
A	7.70	5.69	5.88	22.8	77.16	4.54	23.51	103.28
B	7.78	5.73	5.97	23.1	76.88	4.59	23.87	104.16

Abos bioreaktoros iegūto vidējo rezultātu līdzība pārsteidza (18. tabula), jo, kaut arī pildīšanas režīmi bija vienādi, tomēr pašas izejvielas nedaudz atšķīrās. Turklāt abos bioreaktoros bija atšķirīgas maisīšanas sistēmas, kam teorētiski vajadzēja ietekmēt rezultātus. Tomēr prakse parādīja, ka maisīšanai nav izšķirošas nozīmes.

Iegūtie biogāzes un metāna daudzuma rādītāji no pildīšanas sākuma līdz fermentācijas beigām doti 19. tabulā.

19. tabula

Iegūtais biogāzes un metāna daudzums (ražā)

Datums	A biogāze, L	A metāns, L	A metāns, %	B biogāze, L	B metāns, L	B metāns, %
17.02	68	23.45	34.48	67	23.09	34.46
18.02	57	19.65	34.48	67	23.09	34.46
19.02	55	18.96	34.48	67	23.09	34.46
20.02	62	25.18	40.62	65	27.61	42.48
21.02	62	25.18	40.62	65	27.61	42.48
22.02	73	31.03	42.50	60	26.71	44.52
23.02	73	31.03	42.50	60	26.71	44.52
24.02	73	32.40	44.38	69	30.65	44.42
25.02	85	37.72	44.38	69	30.65	44.42
26.02	95	42.16	44.38	69	30.65	44.42
27.02	100	44.30	44.30	82	41.42	50.51
28.02	102	46.55	45.64	96	48.49	50.51
29.02	102	46.55	45.64	96	52.42	54.60
1.03	144	77.93	54.12	103	56.06	54.43
2.03	140	75.57	53.98	141	76.59	54.32
3.03	140	75.57	53.98	141	76.59	54.32
4.03	144	81.22	56.40	141	76.59	54.32
5.03	146	81.47	55.80	145	82.36	56.80
6.03	146	81.47	55.80	148	82.36	56.80
7.03	145	80.77	55.70	150	83.43	55.62
8.03	144	80.25	55.73	152	83.78	55.12
9.03	150	84.89	56.59	155	87.92	56.72
10.03	152	85.67	56.36	154	87.46	56.75
11.03	154	86.83	56.38	156	88.42	56.68
12.03	151	85.27	56.47	158	89.71	56.78
13.03	151	85.27	56.47	158	89.71	56.78
14.03	154	87.58	56.87	160	91.02	56.89
15.03	154	87.58	56.87	160	91.02	56.89
16.03	154	87.58	56.87	160	91.02	56.89
17.03	159	90.25	56.76	162	92.21	56.92
18.03	153	86.38	56.46	153	86.99	56.86
19.03	152	86.47	56.89	154	87.98	57.13
20.03	153	87.10	56.93	155	88.87	57.34
21.03	151	87.41	57.89	152	87.83	57.78
22.03	151	87.41	57.89	152	87.83	57.78
23.03	151	87.41	57.89	152	87.83	57.78
24.03	150	86.73	57.82	151	87.61	58.02
25.03	150	86.18	57.45	150	87.18	58.12
26.03	150	85.68	57.12	150	86.96	57.97
27.03	151	86.43	57.24	150	86.31	57.54
28.03	149	84.62	56.79	149	85.24	57.21
29.03	149	84.62	56.79	149	85.24	57.21
30.03	149	84.62	56.79	149	85.24	57.21

31.03	148	85.56	57.81	148	83.38	56.34
1.04	143	80.28	56.14	146	82.10	56.23
2.04	147	81.35	55.34	146	81.41	55.76
3.04	135	73.67	54.57	145	79.91	55.11
4.04	126	66.94	53.13	141	76.46	54.23
5.04	126	66.94	53.13	141	76.46	54.23
6.04	126	66.94	53.13	141	76.46	54.23
7.04	122	63.82	52.31	130	69.86	53.74
8.04	114	59.55	52.24	126	66.23	52.56
9.04	100	51.13	51.13	112	57.64	51.46
10.04	102	50.9	49.91	107	53.72	50.21
11.04	102	50.9	49.91	107	53.72	50.21
12.04	102	50.9	49.91	107	53.72	50.21
13.04	102	50.9	49.91	107	53.72	50.21
14.04	95	46.3	48.74	98	48.14	49.12
15.04	90	42.2	46.89	91	43.81	48.14
16.04	84	38.27	45.56	85	39.30	46.24
17.04	80	33.70	42.12	79	33.62	42.56
18.04	67	25.97	38.76	65	26.22	40.34
19.04	67	25.97	38.76	65	26.22	40.34
20.04	67	25.97	38.76	65	25.51	39.25
21.04	55	17.79	32.35	54	18.05	33.43
Vidēji	120.53	62.23	51.63	120.15	62.92	52.37

Piezīme: atsevišķu dienu vienādie rezultāti izskaidrojami ar to, ka analīzes nebija iespējams veikt katru dienu, tādēļ tabulā parādīti konkrētās dienas vidējie rādītāji.

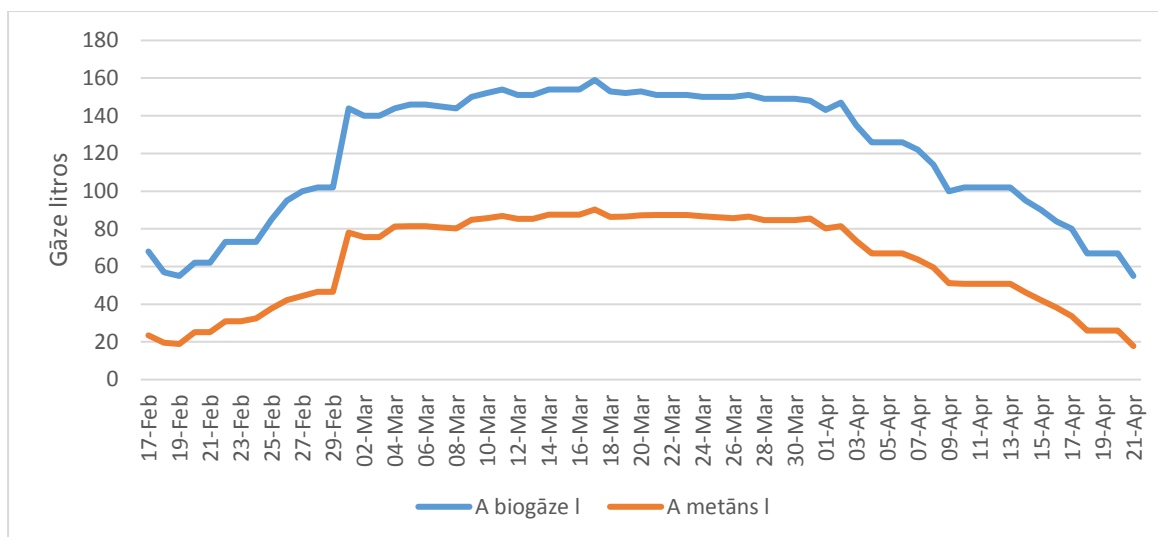
Iegūtie vidējie rezultāti 1,2 L/L bioreaktora darba tilpuma mezofilajā režīmā (38°C) ir pieņemami, bet ne ļoti labi. Tam iemesls ir acīm redzams – kukurūzas skābbarības zemā kvalitāte, kas neļāva notikt optimālai anaerobai fermentācijai. Taču attiecībā uz digestātu tas ir ieguvums, jo palika vairāk organiskās vielas, kuru var izmantot augsnes baktērijas.

Biogāzes un metāna izdalīšanās secīgi katru dienu parādīta 46.–47. attēlā.

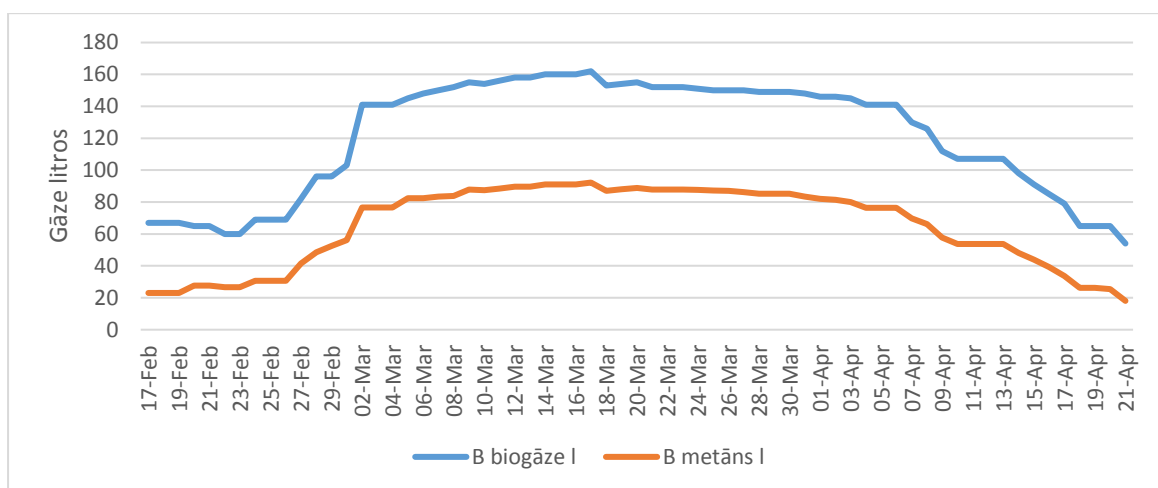
Abos bioreaktos anaerobās fermentācijas procesi attīstījās diezgan līdzīgi. Vispirms 10–12 dienu laikā strauji auga gāzes izdalīšanās, tad apmēram mēnesi tās raža saglabājās samērā stabila. Bija sasniegta augsta organiskā slodze (OLR) – 5,617 gsov/L bioreaktora darba tilpuma. Gāzes ražas sāka samazināties pakāpeniski, kad svaigo izejvielu pildīšana tika pārtraukta. Gāzes izdalīšanās turpinājās vēl 22 dienas. A bioreaktorā tā notika nedaudz straujāk. Lielāko vienā diennaktī iegūto biogāzes ražu – 162 L/dn – deva B bioreaktors.

Salīdzināt iegūtos rezultātus ar citu pētnieku datiem nebūtu korekti, jo nav ne tieši tādas pašas izejvielas, ne arī apstākļi.

A un B bioreaktos ar cūku mēsliem iegūtais digestāts arī tika frakcionēts un žāvēts uz tām pašām iekārtām, uz kurām žāvēja govju kūtsmēsliu digestātu, un tika iegūti līdzīgi žāvējumi (skat. iepriekšējos attēlus). Žāvējumus pirms izmantošanas tāpat vajadzēja smalcināt.



46. attēls. Biogāzes un metāna ieguve no A bioreaktora.



47. attēls. Biogāzes un metāna ieguve no B bioreaktora.

Secinājumi

1. Atvestā kukurūzas skābbarība bija sliktas kvalitātes. Tajā bija pat līdz 10 cm garu nesasmalcinātu kukurūzas stiebru, kas traucēja normālu iepildīšanu un maisīšanu un arī sliktāk sadalījās. Tomēr iegūtais digestāts bija diezgan homogēns.
2. Iepildot svaigo izejvielu beigu periodā, no bioreaktoriem izņemt varēja pārsvarā tikai šķidro frakciju, jo izplūdes atvere nosprostojās un to bieži vajadzēja atbrīvot.
3. Mazajos bioreaktoros un 110 litru bioreaktoros iegūtie digestāti maz atšķīrās.

7. Digestāta bez kūtsmēsļu piejaukuma iegūšana

Pētījuma mērķis bija novērtēt biogāzes un metāna daudzumu, ko var iegūt no dažādām biomasām, bez kūtsmēsļu piejaukuma anaerobās fermentācijas procesā un šīs biomasas kofermentācijā. Šādas izejvielas izmanto projekta partneris ZS "Līgo". = No katras izejvielas iegūstamā digestāta daudzuma noteikšanai tika izmantota tā pati metodika, kas aprakstīta iepriekš pētījumos 16 laboratorijas bioreaktoros, kas aprakstīta iepriekš.

Izejvielu (ieskaitot ieraugus) paraugu analīžu rezultāti pirms anaerobās fermentācijas ir parādīti 20. tabulā.

20. tabula

Izejvielu paraugu analīžu rezultāti pirms anaerobās fermentācijas

Bioreaktors	Izejviela	PS, %	PS, g	SOV, %	SOV, g	Svars, g
R1, R16	In 500	15.8	33.0	78.23	12.36	500
R2-4	MS	36.57	7.31	96.35	7.05	20
R2-4	In+MS	4.45	23.11	83.96	19.41	520
R5-7	BG	23.56	4.712	89.71	4.23	20
R5-7	In+BG	3.94	20.51	80.86	16.59	520
R8-11	CL	10.40	2.08	85.79	1.78	20
R8-11	In+CL	3.44	17.88	79.11	14.14	520
R12-15	CoF	31.36	6.27	94.99	5.96	13+6+1
R12-15	In+CoF	4.24	22.07	82.99	18.31	520

Apzīmējumi: In – ieraugs; MS – kukurūzas skābbarība; BG – bietes ‘Gerty’; CL – gurķu lapas un laksti; CoF – visu izejvielu kofermentācija.

Kukurūzas skābbarībai un enerģijas bietēm ir vidējs sausnas un organiskās sausnas saturs (20. tabula). Gurķu lapas un laksti ir mitrāki – šāda biomasa ir laba hidrolītisko un skābi veidojošo baktēriju straujai attīstībai. Tas ir risks stabilai attīstībai anaerobās fermentācijas procesā, jo metānu veidojošās baktērijas vairojas lēnāk un var nespēt izmantot saražoto etiķskābi. Katra bioreaktora gatavā digestāta analīzes rezultāti ir doti 21. tabulā.

21. tabula

Katra bioreaktora gatavā digestāta analīzes rezultāti

Bio-reaktors	pH	PS, %	PS, g	SOV, %	SOV, g	Svars, g
R1 In	7.34	2.52	14.51	76.29	11.07	
R16 In	7.44	2.97	14.91	76.92	11.47	
R2 MS+In	7.25	3.20	16.43	74.62	12.26	513.55
R3 MS+In	7.29	2.48	12.76	75.79	9.67	514.45
R4 MS+In	7.22	2.97	15.26	73.26	11.18	513.67
R2-R4	7.25±0.04	2.88±0.37	14.81±1.88	74.56±1.27	11.05±1.3	513.87±0.49
R5 BG+In	7.30	2.41	12.42	72.51	9.00	515.23
R6 BG+In	7.32	2.44	12.58	80.27	10.10	515.53
R5-R7	7.25±0.10	2.54±0.21	13.11±1.06	75.04±4.53	9.82±0.73	515.45±0.19
R8 CL+In	7.44	3.22	16.68	70.02	11.68	517.98
R9 CL+In	7.41	3.16	16.36	70.42	11.52	517.81
R10 CL+In	7.44	2.85	14.76	72.14	10.65	518.01
R11 CL+In	7.46	2.75	14.24	75.19	10.71	517.94
R8-R11	7.44±0.02	2.92±0.23	15.51±1.19	71.94±2.35	11.14±0.54	517.94±0.09
R12 CoF+In	7.31	3.19	16.38	72.23	11.83	513.52
R13 CoF+In	7.23	3.07	15.77	72.75	11.47	513.17
R14 CoF+In	7.28	2.80	14.38	67.32	9.68	513.62
R15 CoF+In	7.26	3.43	17.63	77.56	13.67	513.93
R12- R15	7.27±0.034	3.12±0.262	16.04±1.351	72.47±4.186	11.66±1.64	513.56±0.313

Apzīmējumi: In – ieraugs; MS – kukurūzas skābbarība; BG – bietes ‘Gerty’; CL – gurķu lapas un laksti; CoF – visu izejvielu kofermentācija.

No tabulā apkopotajiem analīžu rezultātiem var secināt, ka biokonversija nebija laba un visu biomasu digestātos vēl bija palicis daudz organiskās vielas. Tas nav slikti, jo šo organisko vielu var izmantot augsnes baktērijas. Vislabākā biokonversija bija bioreaktoros ar gurķu lapām un lakstiem un bioreaktoros ar visām biomasām (kofermentācija).

Četru dažādu biogāzes ražotnes digestāta biezo frakciju analīzes paraugi ir redzami 22. tabulā. Šāds digestāts ir vērtīgs maisījumu ar pelniem veidošanai un granulēšanai.

22. tabula

Biogāzes ražotnē iegūtā digestāta biezs frakcijas sastāvs

	PS, %	Pelni, % no PS	SOV, % no PS
1.	24.43	10.12	89.88
2.	25.68	9.89	90.11
3.	27.32	11.04	88.96
4.	26.12	10.56	89.44

8. Maisījumu sagatavošana, jaunu produktu veidošana

Lai veidotu jaunus produktus un digestāta un pelnu (D/P) maisījumus, ir svarīgi noskaidrot, kādam jābūt optimālajam digestāta mitruma saturam un maisījuma D/P proporcijām. Vispirms dabīgi AF procesā iegūtajam digestātam pievienoja SIA “Gren Latvija” pelnus piecās dažādās attiecībās. Četrās burciņās no piecām veidojās produkts, kurš sacementējās (49.–54. attēli). Lai novērstu varbūtību, ka sacementēšanos izraisījuši īpašie SIA “Gren Latvija” pelni, tika izveidoti tādu pašu proporciju maisījumi ar pelniem, kas iegūti tikai no bērza malkas. Taču rezultāts bija līdzīgs iepriekšējam. Tas pārliecināja, ka maisījumi jāveido ar sausāku digestātu.

Tika eksperimentēts tālāk, un jau ar 20% mitruma saturu digestāta un pelnu maisījums vairs nesacementējās. Jo sausāks bija digestāts, jo graudaināks palika maisījums, un jau pēc aptuveni 23–24% mitruma satura digestāts ar pelniem izteiktu salipumu neveidoja. Tādēļ, pārbaudot digestāta biezo frakciju pēc separēšanas, tā izrādījās derīga maisījumu veidošanai.

Tika pārbaudīts arī pilnīgi izžāvētais digestāts gan no mūsu laboratorijas iekārtas, gan no SIA “Pampāļi” žāvēšanas iekārtas. Abus digestātus pirms maisījumu veidošanas vajadzēja vēl papildus smalcināt, jo tie bija kunkuļaini. Smalcināšanu paveica uz laboratorijas iekārtas. Maisījums iznāca ļoti birstošs, bet pelni ļoti put. Tas bija viegls, bet jāpārvadā slēgtā tarā. Mēģinājām šo maisījumu granulēt, bet neizdevās, veidojās pelnu mākonis. Ja slapinājām, tad atkal nevienmērīgi sacementējās. Maisījumiem ar 20–30% mitruma saturu granulēšana izdevās. Tika secināts, ka maisījumu veidošanai vislabāk izmantot digestāta biezo frakciju pēc separēšanas, un to vairāk žāvēt nav nepieciešams. Dažādo maisījumu stāvoklis parādīts 23. tabulā.

No 48. attēla līdz 54. attēlam redzami dažādu proporciju digestāta un pelnu maisījumi.

Dažādu maisījumu fiziskais stāvoklis

Digestāta avots	PS, %	P, %	SOV, %	Maisījuma stāvoklis
A bioreaktors	3.44	31.24	68.76	cementējas
B bioreaktors	3.52	25.14	74.86	cementējas
AS "Pampāļi" recirkulāts	5.4	24.1	75.9	cementējas
SIA "Latvi Dan Agro" recirkulāts	5.53	10.48	89.52	cementējas
A bioreaktors	5.68	22.88	77.12	cementējas
A apžāvētais	11.92	24.52	75.48	cementējas
A+B apžāvētais	18.44	7.91	92.09	nedaudz cementējas
SIA "Bio Ziedi" biežā frakcija	22.75	10.04	89.96	necementējas, neput
SIA "Latvi Dan Agro" biežā frakcija	24.24	9.63	90.37	necementējas, neput
SIA "Latvi Dan Agro" biežā frakcija	24.25	10.3	89.7	necementējas, neput
A+B pusžāvēts	25.23	8.21	91.79	necementējas, neput
AS "Pampāļi" biežā frakcija	26.52	10.90	89.10	necementējas, neput
AS "Pampāļi" biežā frakcija	28.43	7.35	92.65	necementējas, neput
SIA "Mežacīruļi" biežā frakcija	28.58	12.74	87.26	necementējas, neput
A pusžāvēts	47.38	5.31	94.69	put
B pusžāvēts	49.33	12.32	87.68	put
AS "Pampāļi" žāvētais	85.87	8.90	91.1	ļoti put
A+B pilnīgi izžāvētais	97.14	13.38	86.62	ļoti put



48. attēls. Pelnu maisījumi ar šķidro digestātu.

	
49. attēls. Maisījums D/P 1:1, nebirst.	50. attēls. Maisījums D/P 1:2, sacementējas saskares vietās.
	
51. attēls. Maisījums D/P 1:3, nedaudz sacementējas tikai saskares vietā.	52. attēls. Maisījums D/P 2:1, nebirst, nolīst nedaudz digestāta.
	
53. attēls. Maisījums D/P 3:1, nebirst, nolīst nedaudz digestāta, kas nav paspējis sacementēties.	54. attēls. Maisījums D/P 1:3, apgriežot trauku otrādi, nobirst.

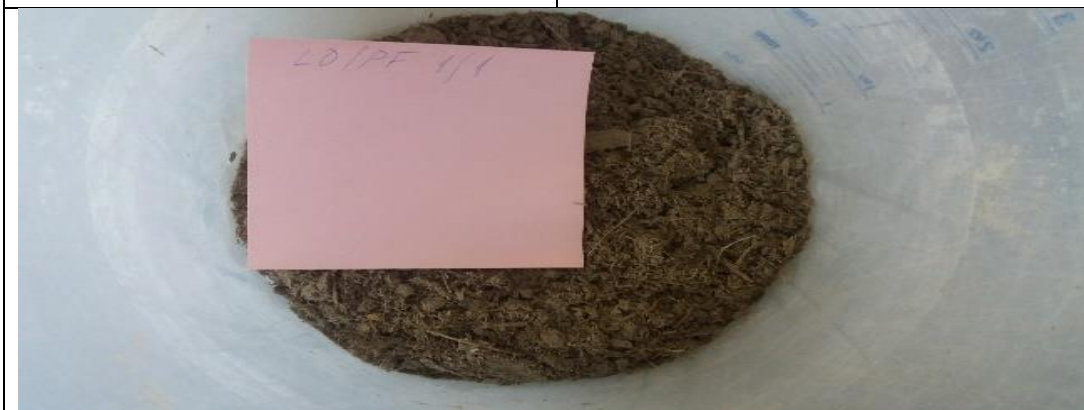
Pētījumiem ar dārzaugiem maisījumi tika gatavoti, izmantojot digestātu, kura sausna pārsniedza 22% mitruma, tādēļ maisījumā ar pelniem cementēšanās nenotika (55. un 56. attēls).



55. attēls. Digestāta biezā frakcija.



56. attēls. Digestāts derīgs maisījumam ar pelniem.



57. attēls. No liellopu fermas biogāzes iekārtas ņemts digestāts, samaisīts ar pelniem attiecībā 1:1.

Digestāts un pelni tika svērti uz elektroniskajiem svariem ar pieļaujamo kļūdu 0,2 g (58. attēls).



58. attēls. Digestāta un pelnu svēršana. maisījumā.



59. attēls. Digestāta iepildīšana

Maisījumu iepildīja maisīnos, kam pievienoja maisījuma recepti (60. attēls).



60. attēls. Maisījuma iepildīšana maisiņā.



61. attēls. Maisiņa aizsīšana.

Sagatavotie maisījumi

Vispirms tika sagatavoti 27 maisījumi “pelni:digestāts 1:1” ar labi izžāvētu digestātu pa 2 kg katrā maisījumā. Taču maisījums ļoti putēja, tādu rūpnieciski būtu grūti iestrādāt augsnē. Tad tika sagatavoti maisījumi laboratorijai dažādās attiecībās (24. tabula).

24.tabula

Digestāta un koksnes pelnu attiecība maisījumos

Nr. p.k.	Liellopu kūstmēslu digestāts	Pelni	Cūku kūstmēslu digestāts	Pelni
1	1	1	1	1
2	2	1	2	1
3	1	2	1	2
4	1	3	1	3
5	3	1	3	1
6	1	4	1	4
7	4	1	4	1

No projekta partneriem AS “Ziedi JP”, AS ”Pampāļi” un SIA “Latvi Dan Agro” atvestus liellopu kūstmēslu un cūku kūstmēslu digestātus sajauc ar koksnes pelniem no SIA “Gren Latvija”. Pavisam kopā bija 14 mēslojuma varianti, katrā pa 500 g maisījuma, lai varētu veikt ķīmiskās analīzes.

Visiem variantiem tika pārbaudīta maisījuma birstamība.





62. attēls. Dažāda sastāva maisījumi sagatavoti birstamības pārbaudei un ķīmiskajām analīzēm.

Kad bija veiktas visu paraugu ķīmiskās analīzes, no katra mēslojuma veida izvēlējās 3–4 variantus skābas kūdras un minerālaugsnes neitralizēšanas spēju pārbaudei, izmēģinājumiem siltumnīcā un lauku izmēģinājumiem ar dažādiem kultūraugiem. Pētījumu veikšanai ar maisījumiem tie tika sagatavoti laboratorijā – noteiktā sastāvā un daudzumā atbilstoši izmēģinājumu shēmai ar konkrēto kultūraugu. Ar partnera AS “Ziedi JP” biogāzes ražotnes digestātu, kura sastāvā pārsvarā bija liellopu mēsli, tika gatavoti maisījumi, katrs pa 5 kg dažādās proporcijās (25. tabula). Maisījumus sapakoja polietilēna maisiņos (63.–64. attēls).



63. attēls. Maisījumu iepakojšana.



64. attēls. Maisījumi iepakojumā.

9. Granulēšana

Sākumā tika veikti eksperimenti, granulējot digestāta un pelnu maisījumus ar granulatoru, ko uz laiku bija aizdevusi cita laboratorija. 65. attēlā redzams aizdots granulators, un 76. attēlā redzams par projekta naudu pirktais granulators.

Svaigi izgatavotās granulas bija mīkstas un viegli drupa. Pēc granulēšanas tās uzreiz bija jāžāvē.



65. attēls. Granulatorā put pelni, ja maisījums ir sauss.



66. attēls. Digestāta un pelnu maisījums pirms granulēšanas.

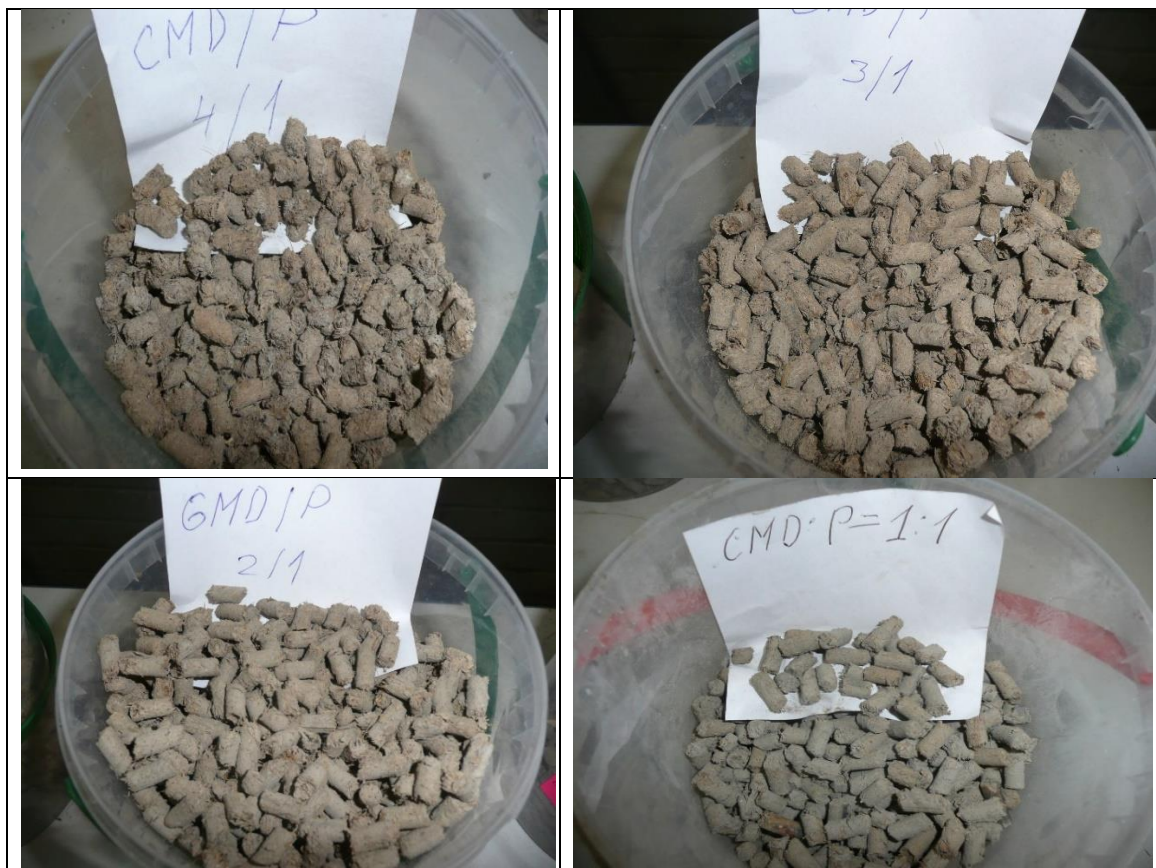


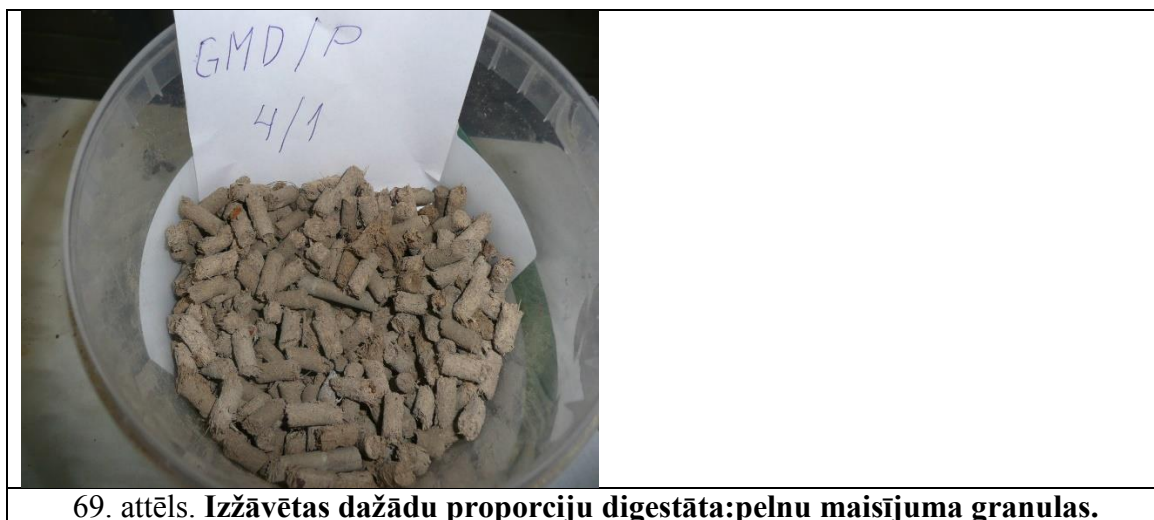
67. attēls. Maisījuma pildīšana granulatorā.





68. attēls. Svaigi izgatavotas granulas ir mīkstas un viegli drūp.



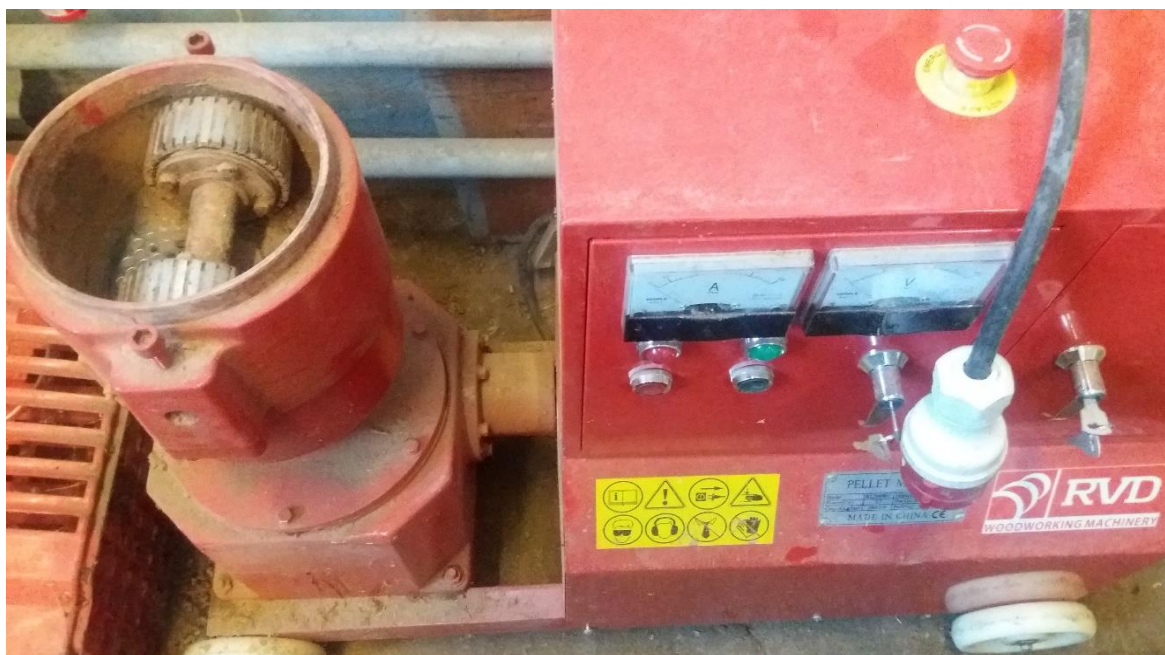


69. attēls. Izzāvētas dažādu proporciju digestāta:pelnu maisījuma granulas.



71. attēls. Granulu žāvēšana uz īpaša sieta.

Mēģinājām iegūto maisījumu ar labi izzāvētu digestātu granulēt, bet neizdevās, veidojās pelnu mākonis. Ja slapinājām, tad atkal nevienmērīgi cementējās. Granulēšana izdevās maisījumiem ar 25–30% mitruma saturu. Pēc ķīmiskajām analīzēm un agronomu vērtējuma kļuva skaidrs, ka nav lietderīgi veidot granulas ar augstu pelnu saturu, jo tās būs pārāk sārmainas un nepiemērotas lielākajai daļai Latvijas augšņu. Tāpēc tika veidotas granulas tikai četrās maisījumu proporcijās. Granulēšanai tika izmantots jaunais granulators (71. attēls).



71. attēls. Jaunais granulators.

Biogāzes ražotņu digestāta biežā frakcija tika sajaukta ar koksnes pelniem četrās dažādās proporcijās, ko pēc tam granulēja. Pirms žāvēšanas maisījumiem un granulām tika veiktas analīzes. Cūku kūtsmēsļu digestāta un koksnes pelnu maisījumu un granulu ķīmiskās īpašības pirms žāvēšanas ir dotas 26. tabulā.

26. tabula

Cūku kūtsmēsļu digestāta un koksnes pelnu maisījumu un granulu īpašības

Izejviela	PS, %	Pelni, %	SOV, %
Digestāts, biežais	24.43	10.12	89.88
Mix D/A 1/1	63.74	75.57	24.43
Mix D/A 2/1	58.43	69.55	30.45
Mix D/A 3/1	53.62	63.79	36.21
Mix D/A 4/1	50.82	53.98	46.02
Gran. D/A 1/1	64.53	74.33	25.67
Gran. D/A 2/1	61.68	63.97	36.03
Gran. D/A 3/1	60.92	59.88	40.12
Gran. D/A 4/1	60.07	53.15	46.85

Piezīme: D – digestāts; A – pelni; Mix – digestāta un pelnu maisījumi; Gran. – granulas no digestāta un pelnu maisījumiem; PS – pilnā sausna; SOV – sausā organiskā viela no PS.

Uz liellopu kūtsmēsliem balstītas digestāta biežās frakcijas un koksnes pelnu maisījumu un granulu ķīmiskās īpašības dotas 27. tabulā. Pirms žāvēšanas granulas tika analizētas.

27. tabula

Liellopu kūtsmēsļu digestāta un koksnes pelnu maisījumu un granulu īpašības

Izejviela	PS, %	Pelni, %	SOV, %
Biežais digestāts	28.42	8.51	91.49

Mix D/A 1/1	62.38	76.88	23.12
Mix D/A 2/1	55.23	72.51	27.49
Mix D/A 3/1	50.10	61.43	38.57
Mix D/A 4/1	44.56	55.27	44.73
Gran. D/A 1/1	63.52	74.91	25.09
Gran. D/A 2/1	61.38	71.18	28.82
Gran. D/A 3/1	60.85	60.22	39.78
Gran. D/A 4/1	60.16	52.22	47.78

Augu biomasas digestāta biežās frakcijas un granulu, kas izgatavotas no koksnes pelnu un augu biomasas digestāta maisījumiem, sastāvs parādīts 28. tabulā. Granulas tika analizētas pirms un pēc žāvēšanas procesa.

28. tabula

Augu biomasas digestāta un koksnes pelnu maisījumu un granulu īpašības

Izejviela	PS, %	Pelni, %	SOV,%
Digestāts, biežais	25.78	8.59	91.41
Granulas, svaigas mix 1/1	62.32	78.70	21.30
Granulas, svaigas mix 2/1	50.64	67.15	32.85
Granulas, svaigas mix 3/1	46.26	58.49	41.51
Granulas, svaigas mix 4/1	43.40	53.63	46.37
Granulas, žāvētas 1/1	88.27	77.29	22.71
Granulas, žāvētas 2/1	72.75	66.30	33.70
Granulas, žāvētas 3/1	72.52	53.50	46.50
Granulas, žāvētas 4/1	73.45	48.50	51.50

Jo vairāk pelnu tika pievienots maisījumam, jo augstāks bija sausnas (PS) procentuālais daudzums un jo mazāks bija sausās organiskās vielas (SOV) procentuālais daudzums kopējā granulu sausnā. Žāvēšana palielināja kopējo sausnas saturu granulās par 25–30%.

Secinājumi

1. Digestāta un pelnu maisījuma granulas nevar izveidot D:P attiecībā 1:1, ja digestāta sausnas saturs >40%.
2. Granulas izdevās izgatavot, ja digestāta mitruma saturs aptuveni bija 20–30%.
3. Ja digestāts sausāks par 30%, pelni put, veidojas pelnu mākonis un rodas lieli pelnu zudumi, mainās maisījuma proporcija.
4. Izgatavotās sausās granulas bija diezgan nestabilas un izjuka, palielinoties slodzei.
5. Pēc žāvēšanas granulas nedrupa un bija piemērotas iepakojšanai un transportēšanai.

10. Granulu stiprības pārbaude

Granulu stiprības pārbaudēm tika izmantotas izžuvušas granulas (72. attēls). Pārbaudes tika veiktas granulu garenvirzienā un šķērsvirzienā.



72. attēls. Pārbaudei sagatavotās maisījumu granulas.

Stiprības noteikšanai spiedē stateniski (uz granulas gala) novietotām granulām tika izmantota kompānijas “Instron” materiālu testēšanas iekārta, precizitātes klase – 0.5. Tika pārbaudīti astoņi maisījumi (29. tabula). Granulu izvietojums parādīts 73. attēlā.



73. attēls. Granulu izvietojums.

No cūku fermas biogāzes ražotnes digestāta un liellopu fermas biogāzes ražotnes digestāta ražotām granulām, kas dažādās attiecībās sajauktas ar pelniem, tika pārbaudīta plīšanas izturība. Testēšanas process tika automatizēts, un rezultāti tika reģistrēti iekārtas atmiņā. Lai palielinātu mērījumu precizitāti, tika pārbaudītas piecas partijas; katra partija sastāvēja no 10 granulām (diametrs – 6 mm, garums – 10 mm). Vidējais plīšanas spēks uz

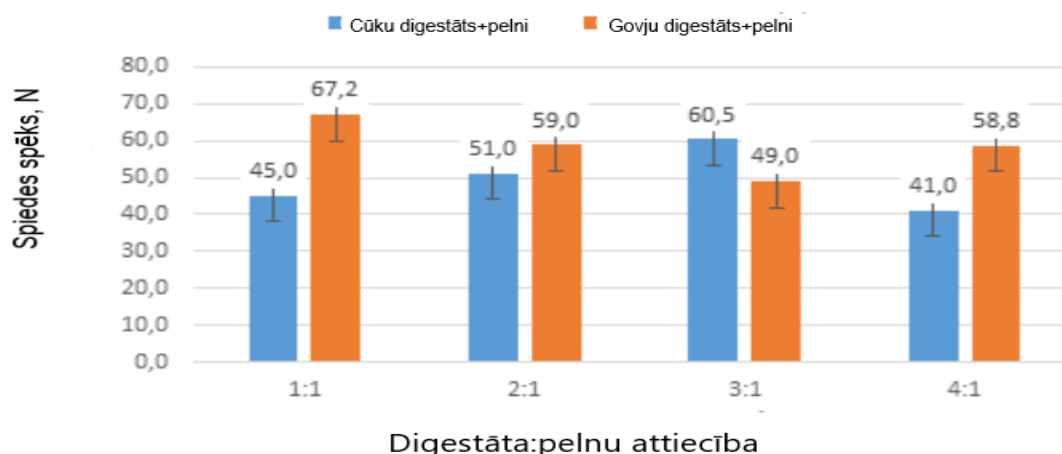
vienu granulu tika aprēķināts, dalot mērījuma vērtību ar 10. Vislielāko stiprību garenvirzienā, 67,2 N, konstatēja granulām no govju fermas biogāzes ražotnes digestāta un pelniem attiecībā 1:1, bet no govju fermas biogāzes ražotnes digestāta un pelnu maisījuma ražotās granulas attiecībā 3:1 spēja izturēt 49,0 N saspiešanas spēku jeb mazāku par 27%. Augsta stiprība garenvirzienā, 60,5 N, noteikta arī granulām no cūku fermas biogāzes ražotnes digestāta un pelniem attiecībā 3:1, kas bija par 32% lielāka nekā granulām no cūku fermas biogāzes ražotnes digestāta un pelniem attiecībā 4:1.

29. tabula

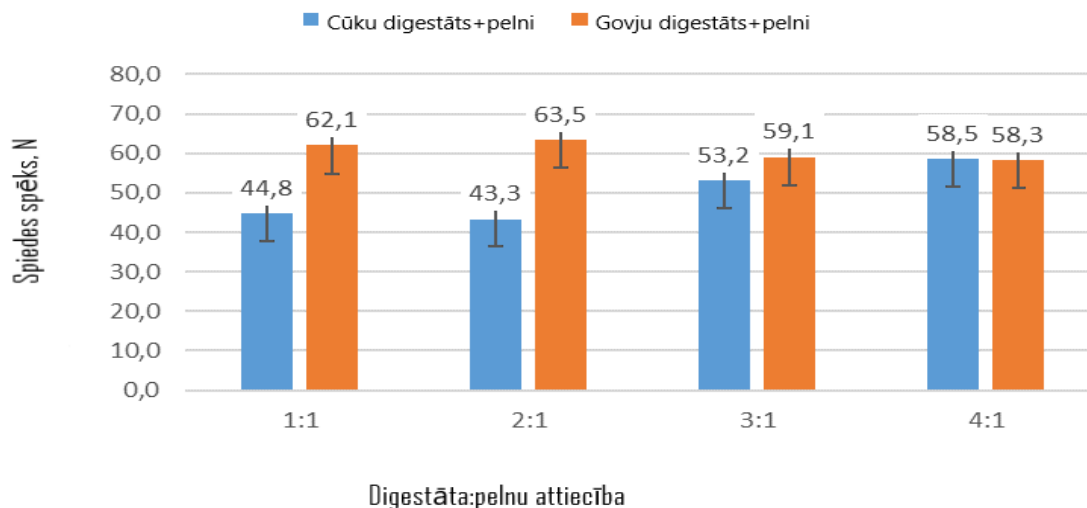
Aptuvenas sagraušanas spēka vērtības vienai granulai aksiālā virzienā

Nr. p.k.	Sastāvs	Pieliktais spēks, N	
		deformācija, 1 mm	deformācija, 2 mm
1.	CD:P 1:1	320	450
2.	CD:P 2:1	380	510
3.	CD:P 3:1	520	605
4.	CD:P 4:1	250	410
5.	GMD:P 2:1		672
6.	GMD:P 2:1	450	590
7.	GDM:P 3:1	320	490
8.	GMD:P 4:1	540	588

Šķērsvirzienā visizturīgākās, 63,5 N, bija granulas, kas izgatavotas no govju fermas biogāzes ražotnes digestāta un pelniem attiecībā 2:1, bet granulas, kas izgatavotas no govju fermas biogāzes ražotnes digestāta un pelniem attiecībā 4:1, izturēja 58,3 N saspiešanas spēku jeb mazāku par 8%. Lielāko izturību šķērsvirzienā, 58,5 N, noteica arī granulām no cūku fermas biogāzes ražotnes digestāta un pelniem attiecībā 4:1. No cūku fermas biogāzes ražotnes digestāta un pelniem attiecībā 3:1 ražotajām granulām stiprība bija par 10,0% mazāka nekā liellopu fermas biogāzes ražotnē ražotajām digestāta un pelnu tādas pašas proporcijas maisījuma granulām, bet proporcijā 4:1 granulu stiprības spēki bija gandrīz vienādi. Granulu vidējie sagraušanas spēki atkarībā no “digestāts:pelni” attiecības parādīti 74. un 75. attēlā.



74. attēls. Vidējais sagraušanas spēks garenvirzienā.



75. attēls. Vidējais sagraušanas spēks atkarībā no digestāta:pelnu attiecības šķērsvirzienā.

Secinājums

Granulas, kas veidotas no maisījuma, kurā pārsvarā bija liellopu kūtsmēslu digestāts, vidēji ir nedaudz izturīgākas par granulām, kas veidotas no maisījuma, kurā pārsvarā ir cūku kūtsmēslu digestāts.

11. Secinājumi par galaproduktiem

1. Liellopu, cūku kūtsmēslu vai augu biomasas bāzes digestāta biežās frakcijas maisījumi ar koksnes pelniem uzrādīja galveno augu barības vielu (N, P_2O_5 , K_2O , Mg), izņemot kalciju (Ca), samazināšanos sausnā, ja pelnu daudzums maisījumos palielinājās no 20%, līdz 80%.

2. Ja liellopu vai cūku kūtsmēslu digestāta īpatsvars maisījumā samazinājās no 80% līdz 20%, tad kopējā slāpekļa (N_{tot}) saturs maisījuma sausnā samazinājās attiecīgi 7,1 vai 8,5 reizes. Tas izskaidrojams ar zemo slāpekļa saturu pelnos un iespējamu gāzveida amonija slāpekļa emisiju maisījumu augstās sārmainības dēļ.

3. Visiem “digestāts:pelni” maisījumiem bija augsts pH līmenis, kas svārstījās no 11,9 līdz 13,1, kas liecina, ka šie biomēsli ir vispiemērotākie izmantošanai skābās augsnēs.

4. Ja digestāta cietās frakcijas sausnas saturs bija 24–29%, tad no maisījumiem bija iespējams izveidot pietiekami stipras granulas digestāta un pelnu attiecības diapazonā no 1:1 līdz 4:1.

5. Gan dabiski, gan mākslīgi žāvētas granulas nebija drupanas un bija piemērotas iepakojšanai un transportēšanai.

Kūdras skābuma neitralizēšana, izmantojot digestāta un pelnu mēslošanas līdzekļus

Kūdras skābuma neitralizēšanai tika izmantota likumsakarība, ka ir vajadzīgi 3 kg $CaCO_3$ uz m^3 kūdras, lai samazinātu kūdras skābumu par vienību (pH_{KCl}), ja kūdras tilpummasa ir 0.1 t m^{-3} (Kārkliņš, Līpenīte, 2018). Izmantojot minēto likumsakarību, tika

aprēķināts kūdras skābuma neitralizēšanai nepieciešamais CaCO_3 daudzums, lai samazinātu kūdras skābumu līdz $\text{pH}_{\text{KCl}} 6.5$ kūdrai ar dažādu skābumu: $\text{pH}_{\text{KCl}} 4.1$, $\text{pH}_{\text{KCl}} 4.5$, $\text{pH}_{\text{KCl}} 4.9$, $\text{pH}_{\text{KCl}} 5.1$, $\text{pH}_{\text{KCl}} 5.5$ un $\text{pH}_{\text{KCl}} 5.9$. Izmēģinājumos izmantoja kūdru ar tilpummasu $140\text{--}160 \text{ kg m}^{-3}$. Ņemot vērā, ka izmēģinājumos izmantotai kūdrai izejas skābums bija atšķirīgs, līdz ar to kūdras skābums bija jāsamazina attiecīgi par 0.6, 1.0, 1.4, 1.6, 2.0 un 2.4 pH vienībām. Atkarībā no kūdras skābuma nepieciešamais CaCO_3 variēja no 2.88 līdz 11.52 kg uz m^3 kūdras.

Izmēģinājumos tika veidoti mēslojumi, jaucot cūku vai liellopu šķīdzmēslu digestātu ar pelniem dažādās attiecībās. Konkrētā izveidoto mēslojumu kā kaļķošanas materiāla deva, lai neitralizētu kūdras skābumu, tika rēķināta, ņemot vērā katra mēslojuma neitralizēšanas spēju, kas izteikta CaCO_3 veidā.

Mēslošanas līdzekļu neitralizēšanas spēja ir atkarīga no kalcija (Ca) un magnija (Mg) satura mēslošanas līdzeklī, ko galvenokārt nosaka šo abu elementu (Ca un Mg) saturs pelnos, jo digestātā kalcija un magnija saturs ir zems: 1.53% Ca un 0.67% Mg sausnā. Izveidoto mēslošanas līdzekļu neitralizēšanas spēja ir diapazonā no 9.94 līdz 39.49%, izteikta CaCO_3 veidā. Rēķinot katra izveidotā mēslošanas līdzekļa nepieciešamību kūdras skābuma neitralizēšanai, tika ņemta vērā noteiktā kaļķošanas norma CaCO_3 veidā un neitralizēšanas spēja.

Tika konstatēts, ka skābai kūdrai ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4.1$) vajadzīgais digestāta un pelnu maisījuma mēslošanas līdzekļa daudzums ir $29.17\text{--}115.92 \text{ g uz L}$ kūdras, bet kūdrai ar $\text{pH}_{\text{KCl}} 5.9$ izveidoto mēslošanas līdzekļu nepieciešamība skābuma neitralizēšanai ir $7.29\text{--}28.98 \text{ g uz L}$ kūdras. CaCO_3 daudzums kūdras skābuma neitralizēšanai ir atkarīgs no kūdras skābuma.

Pelniem un digestātam ir bāziska reakcija: attiecīgi $\text{pH}_{\text{KCl}} 12.58$ un $\text{pH}_{\text{KCl}} 9.28$. Visiem iegūtajiem mēslošanas līdzekļiem bija raksturīga bāziska reakcija, $\text{pH}_{\text{KCl}} 11.85\text{--}13.12$, kas bija kļuvusi vēl bāziskāka, apvienojot šos abus komponentus vienā mēslošanas līdzeklī.

Meža kūdraugsnēm raksturīga skāba reakcija ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4.4$); tilpummasa – 150 kg m^{-3} . Aprēķināts, ka kūdras skābuma neitralizācijai līdz $\text{pH}_{\text{KCl}} 5.5$ nepieciešamais CaCO_3 daudzums ir $4.95 \text{ kg CaCO}_3 \text{ uz m}^3$ kūdras. Kūdraugsnis skābums bija jāsamazina par 1.1 vienību.

Lai varētu salīdzināt aprēķinātās CaCO_3 devas kūdras skābuma neitralizēšanai, tās pārrēķināja uz platības vienībām t ha^{-1} , kas sastādītas no 5.76 t ha^{-1} līdz 23.04 t ha^{-1} atkarībā no kūdras skābuma. Izmēģinājumos lietoto izveidoto mēslošanas līdzekļu devas tika aprēķinātas, ņemot vērā katra mēslošanas līdzekļa neitralizēšanas spējas un kūdras skābumu, līdz ar to aprēķinātā deva variēja ļoti plašā diapazonā. Jāuzsver, ka šis aprēķins veikts tikai pēc viena rādītāja, t.i., materiāla neitralizēšanas spējas, neņemot vērā barības elementu saturu mēslošanas līdzeklī.

Nosakot izveidoto mēslošanas līdzekļu devas (15 un 30 t ha^{-1}), lai tos izmantotu kā organisko mēslojumu, tika aprēķināts iestrādāto barības elementu (slāpekļa, fosfora, kālija, kalcija un magnija) daudzums ar katru mēslojumu.

Iestrādājot 15 t ha^{-1} mēslošanas līdzekļa devu, tika iestrādāti $57\text{--}98 \text{ kg ha}^{-1}$ slāpekļa tīrvielā, un lielākais slāpekļa daudzums tika iedots ar digestātu bez pelnu pievienošanas. Ar slāpekli bagātāki bija mēslošanas līdzekļi, kuriem digestāta daļa bija lielāka. Pelnos

slāpekļa saturs ir zems – 0.11% N, līdz ar to slāpekļa saturu izveidotajos mēslošanas līdzekļos nodrošina digestātā esošais slāpekļlis.

Kālija saturs pelnos bija augstāks, salīdzinot ar digestātu, līdz ar to, atkarībā no digestāta un pelnu attiecības mēslošanas līdzeklī, iestrādātais kālija (K_2O) daudzums variēja plašā diapazonā – no 35 līdz 219 kg ha⁻¹ K_2O . Mazāko kālija daudzumu iestrādāja, lietojot tikai cūku šķidrmēslu digestātu.

Iestrādātais fosfora daudzums svārstījās no 85 līdz 154 kg ha⁻¹ P_2O_5 , magnija daudzums – 25–143 kg ha⁻¹ Mg. Vislielākās svārstības ar iestrādātajiem barības elementiem bija kalcija daudzumam. Ar mēslošanas līdzekļiem iedotais Ca daudzums bija atkarīgs no digestāta un pelnu attiecības mēslošanas līdzekli. Ņemot vērā, ka digestāts saturēja kalciju nelielā koncentrācijā, 0.16% Ca, tad, palielinot pievienoto pelnu daudzumu, palielinās arī kalcija koncentrācija un attiecīgi iestrādātais Ca daudzums. Ar 15 t ha⁻¹ devu tika iestrādāti 56–821 kg ha⁻¹ Ca.

Palielinot mēslošanas līdzekļu devu līdz 30 t ha⁻¹, attiecīgi palielinājās visu iestrādāto barības elementu daudzums. Iestrādātais slāpekļa daudzums tīrvielā bija 114–195 kg ha⁻¹, kas saskaņā ar normatīvo aktu prasībām pārsniedz pieļaujamo slāpekļa daudzumu ar organisko mēslojumu.

B. PĒTĪJUMI AR DĀRZEŅAUGIEM LAUKSAIMNIECĪBAS FAKULTĀTES SILTUMNĪCĀS

3. PĒTĪJUMA REZULTĀTI

3.1. Substrāta pH_{KCL} izmaiņas sagatavošanās periodā (pirms augu audzēšanas)

Pēc vispārpieņemtās informācijas, dārzeņu prasības pēc augsnes reakcijas ir: pH_{KCL} 4.5–5.0 (rabarberi, skābenes, rutki), pH_{KCL} 5.0–5.8 (kāpostaugi, redīsi, tomāti, mārrutki, rāceņi), pH_{KCL} 5.8–6.5 (gurķi, bietes, burkāni, pētersīļi, pupiņas, puravi, kāļi, salāti), un pH_{KCL} 6.5–7.0 (sīpoli, ķiploki, ķirbji, kabači, patisoni, spināti, selerijas, dilles).

Tā kā mēslošanas līdzekli, laistāmā ūdens skābums, kā arī sakņu izdalījumi izmaina kopējo pH_{KCL} reakciju, tad audzēšanas periodā jāapzinās riski saistībā ar traucējumiem augu augšanā un attīstībā, kā arī ražas formēšanā un tās rādītājos, ja reakcija nav atbilstoša.

3.1. tabulā apkopoti laikā no 2020. gada 10. marta līdz 25. martam iegūtie rādītāji par substrātu pH_{KCL} vērtību izmaiņām atkarībā no pētījuma variantā. Aptuveni 15 dienu laikā pēc substrāta sagatavošanas viskrasākās izmaiņas konstatēja variantam ar digestātu, kas iegūts no cūku mēsliem (CD), – pH_{KCL} izmainījās no 7 līdz 5.2. Arī variantā ar digestātu, kas iegūts no govju mēsliem (GD), pH_{KCL} nokritās zem 6 (līdz 5.8), turklāt šim variantam 20. martā substrāts bija paskābinājies līdz 5.5. Pēc tam, 23. martā, skābuma vērtība bija paaugstinājusies līdz 6.0, bet 25. martā atkal bija pazeminājusies (5.8). Visos pārējos variantos, neskatoties uz pH_{KCL} svārstībām, skābuma vērtība nenokritās zem 6.5.

3.1. tabula

pH_{KCL} rādītāji 15 dienu periodā pēc substrāta sagatavošanas

Variants	10.03.	13.03.	18.03.	20.03.	23.03.	25.03.
CD	7.0	7.0	6.5	6	6.5	5.2
CDP 1:1	7.0	7.0	6.5	6.5	7.0	6.6
CDP 1:2	7.0	7.0	6.5	6.5	6.7	6.5
CDP 1:3	7.0	6.9	6.8	6.6	7.0	6.6
CPD 1:4	7.0	7.0	6.9	6.8	6.5	6.5
CDP 2:1	7.0	6.8	6.8	6.5	6.3	6.3
CDP 3:1	7.0	7.0	6.8	6.7	6.7	6.5
CDP 4:1	7.0	7.3	6.9	6.8	7.0	6.6
GD	6.0	6.5	5.9	5.5	6.0	5.8
GDP 1:1	7.0	7.0	6.5	6.5	7.0	6.8
GDP 1:2	7.0	7.1	6.8	6.8	6.6	7.0
GDP 1:3	7.0	7.2	7.0	6.9	7.0	6.7
GDP 1:4	7.0	7.1	6.6	6.5	6.5	6.5
GDP 2:1	6.6	6.8	6.5	6.5	6.7	6.4
GDP 3:1	7.0	7.0	6.5	6.5	6.8	6.5
GDP 4:1	6.5	6.8	6.5	6.5	6.8	6.6
Pelni + kūdra 5.5	-	7.4	7.2	7.2	7.0	7.0
Pelni + kūdra 4.5	-	7.3	7.4	7.4	7.0	7.3

3.2. Pētījuma rezultāti izmēģinājumā ar baziliku

Bazilika dēsti tika izstādīti vienā dienā ar salātu dēstiem, t.i., 25. martā. 3.2. tabulā redzamas substrāta pH_{KCL} vērtības izmaiņas no 30. marta līdz 27. aprīlim atkarībā no pētījuma varianta. Piemēram, variantā ar cūku kūtsmēslu digestātu pH_{KCL} neuzrāda tik zemu reakciju kā govju kūtsmēslu digestāta variantā, bet līdz 27. aprīlim substrāta skābuma reakcijai saglabājās līdzīga tendence palielināties. Tā kā bazilikam rekomendējama pH_{KCL} ir 6.5–7.0, tad kopumā izmēģinājumā konstatētie skābuma rādītāji bija optimāli; izņēmums bija varianti ar cūku kūtsmēslu digestātu (līdz 27. aprīlim), govju kūtsmēslu digestātu (3.–27. aprīlis) un, iespējams, govju kūtsmēslu digestāta un kosnes pelnu maisījumu attiecībā 2:1 (27. aprīlī).

3.2. tabula

Substrāta pH_{KCL} rādītāji bazilika audzēšanas periodā

Variants	30.03.	3.04.	9.04.	15.04.	27.04.
CD	5.5	5.3	5.3	5.4	6.0
CDP 1:1	6.6	6.3	6.7	7.1	6.4
CDP 1:2	6.8	6.5	6.6	6.5	6.5
CDP 1:3	6.3	6.6	6.9	6.5	6.8
CPD 1:4	7.0	7.0	7.0	6.7	6.4
CDP 2:1	7.0	6.6	6.7	6.5	6.7
CDP 3:1	6.5	6.8	6.7	6.6	7.0

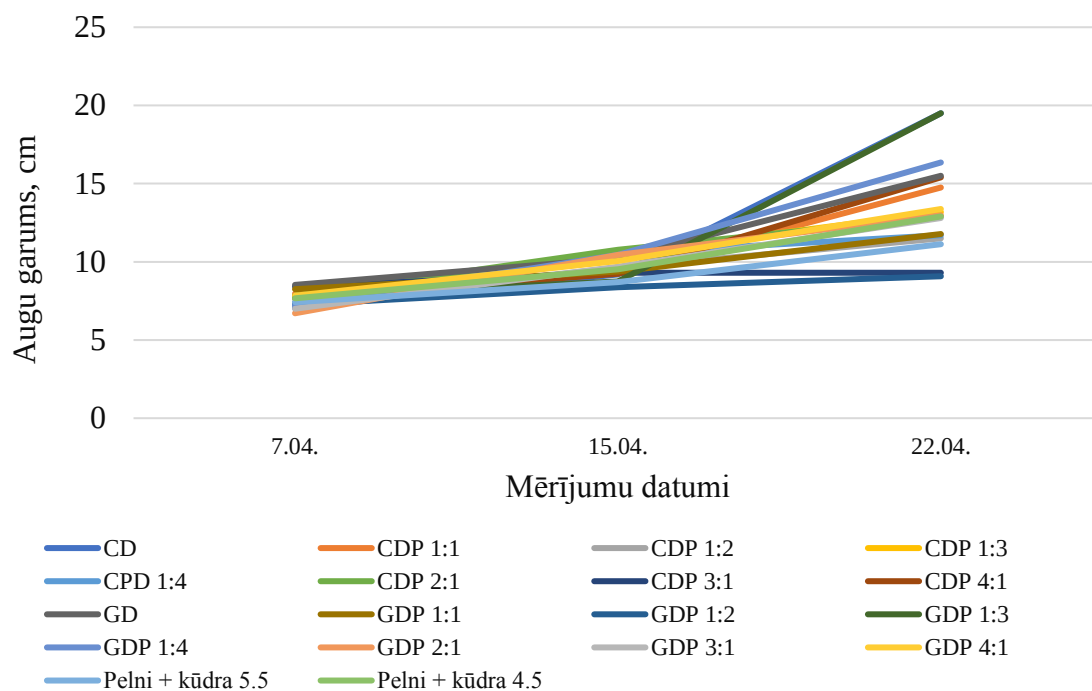
CDP 4:1	6.5	6.6	6.7	6.5	6.5
GD	6.9	5.6	5.9	6.6	5.8
GDP 1:1	6.8	6.9	6.8	6.6	6.8
GDP 1:2	7.0	7.0	6.6	7.0	6.4
GDP 1:3	6.8	7.0	7.0	6.8	5.7
GDP 1:4	7.0	7.0	6.5	6.6	6.5
GDP 2:1	6.8	6.5	6.7	6.5	5.8
GDP 3:1	6.6	6.9	7.0	6.5	6.4
GDP 4:1	6.7	6.7	6.7	6.7	6.5
Pelni + kūdra 5.5	6.7	6.6	6.6	7.0	7.1
Pelni + kūdra 4.5	7.0	7.2	7.3	7.1	6.8



3.1. att. Izmēģinājumi ar baziliku.

Baziliks tika audzēts pēc ražošanas tehnoloģijas (četri augi podiņā), un mērījumus veica katram augam. Jāsecina, ka šajā gadījumā rezultāti pa atkārtojumiem katrā variantā būtiski neatšķīrās, – augi podiņos attīstījās gandrīz vienādi.

Bazilika audzēšanas procesā tika pētīts auga garums (3.2. att.) un platums (3.3. att.).

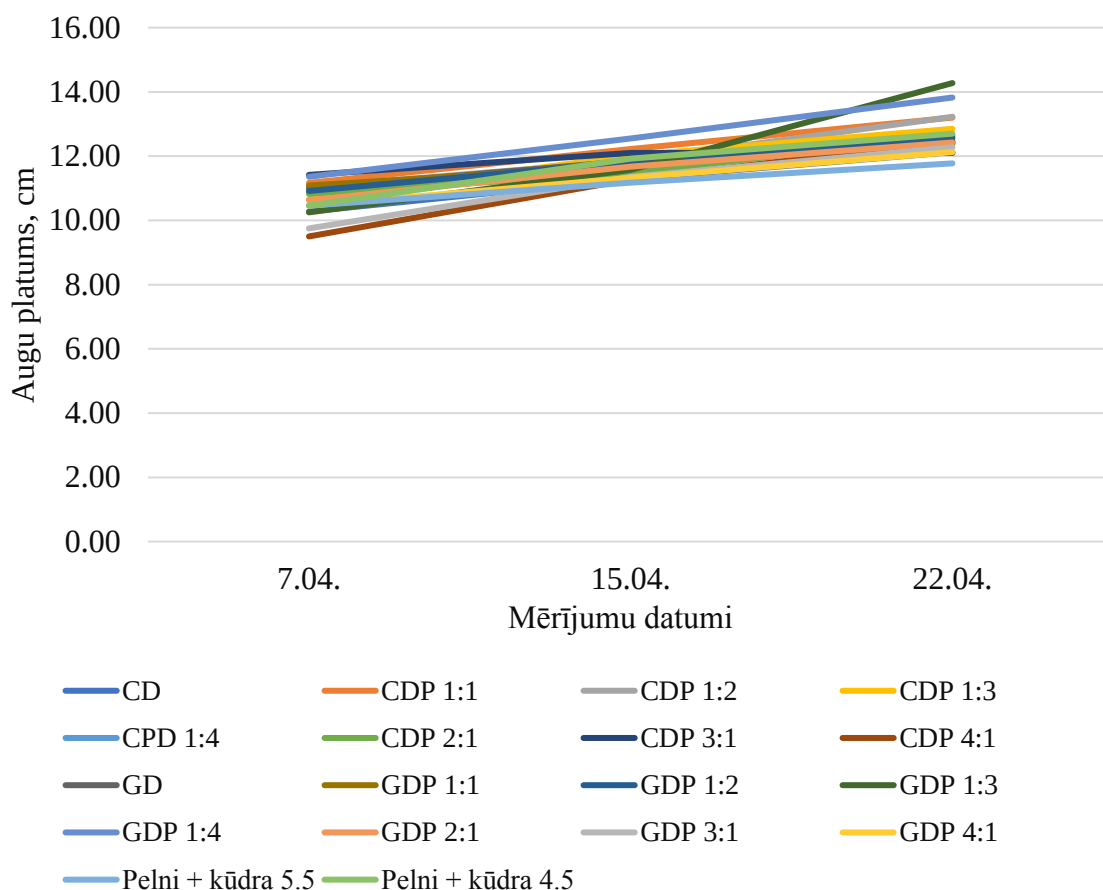


3.2. att. Bazilika garuma dinamika, cm.

Pirmajās septiņās dienās visos variantos bazilikam bija novērojama pozitīva augšanas dinamika, kas turpinājās arī no 15. aprīļa līdz 22. aprīlim, izņemot variantus ar govju kūtsmēsļu digestāta un koksnes pelnu maisījumu attiecībā 1:2 un cūku kūtsmēsļu digestāta un koksnes pelnu maisījumu attiecībā 3:1. Abiem variantiem augšana 22. aprīlī noslēdzās ar minimālo vidējo garumu 9 cm. Garuma ziņā labāki rezultāti bija augiem variantos ar cūku kūtsmēsļu digestātu un govju kūtsmēsļu digestāta un koksnes pelnu maisījumu attiecībā 1:3–19.5 cm abos variantos.

Baziliku 22. aprīlī galotņoja ar mērķi apturēt galvenā dzinuma augšanu un stimulēt sāndzinumu attīstību, lai augus padarītu kuplākus. Šādu ražas novākšanas paņēmieni sauc par pakāpenisku. Dažreiz tiek novērots, ka, pakāpeniski novācot ražu, kopējā bazilika ražība ir daudz augstāka, nekā novācot augus masveidā. Bet jāsecina, ka dažiem variantiem 18. maijā jau bija iesākusies ziedkopu formēšanās. Līdz ar to provizorisks varēja secināt, ka mēslošanas līdzekļi ietekmēja paātrinātu fenoloģisko fāžu iestāšanos un attīstības cikla iziešanu.

Bazilika platums (3.3. att.) augiem visos variantos attīstījās vienmērīgi un 22. aprīlī bija diapazonā no 11.78 cm (variantā ar pelniem un kūdru ar pH_{KCl} 5.5) līdz 14 cm (variantā ar govju kūtsmēsļu digestātu un koksnes pelniem attiecībā 1:3).



3.3. att. Bazilika platuma dinamika, cm.

Apskatot ražas rādītājus, kopumā baziliku var raksturot kā kultūraugu, kas ir atsaucīgs uz organiskās vielas klātbūtni substrātā.

Aprēķināts, ka 1. vākumā mēslošanas variantiem nebija būtiskas ietekmes uz bazilika ražu ($p < 0.05$). Vislielāko augu garumu konstatēja variantā ar cūku kūtsmēsli digestāta un pelnu maisījumu proporcijā 1:4 (11 cm), savukārt vislielākais vidējais svars bija variantā ar govju kūtsmēsli digestāta un pelnu maisījumu proporcijā 3:1 (17.47 g no podiņa).

Aprīļa beigās un maija sākumā, atsākoties karstam laikam, novēroja, ka bazilika lapām, bet ne visos variantos, bija izteikta dzeltena nokrāsa. Tika pieņemts lēmums izpētīt hlorofila saturu, izmantojot "at LEAF" aparātu. Konstatēja, ka hlorofila saturs bija no $0.0143 \text{ mg cm}^{-2}$ līdz $0.0295 \text{ mg cm}^{-2}$; vidējā vērtība – $0.0212 \text{ mg cm}^{-2}$. Rādītāji nebija augsti. Bija redzams, ka izteiktāks dzeltenais tonis bija variantam ar govju kūtsmēsli digestātu (GD), taču pēc hlorofila satura šis variants neuzrādīja minimālo rezultātu.

3.3. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz bazilika produktivitāti

Mēslojuma veids, digestāta un pelnu attiecība maisījumā	Bazilika produktivitātes rādītāji					
				Vidējā augu masa, g no podiņa		
	1. vākums, 22.04.20	2. vākums, 21.05.20	3. vākums, 25.06.20.	1. vākums, 22.04.20	2. vākums, 21.05.20	3. vākums, 25.06.20
CD	5.50	22.50	6.61	13.98	42.22	20.04
CDP 1:1	7.50	19.25	10.51	11.65	41.76	11.84
CDP 1:2	7.50	17.63	7.75	13.35	41.56	7.89
CDP 1:3	9.50	17.63	8.01	14.80	41.67	8.69
CPD 1:4	11.00	13.38	9.15	13.14	42.50	9.79
CDP 2:1	9.25	17.00	12.25	14.27	43.08	12.99
CDP 3:1	10.25	19.63	13.11	15.41	42.50	16.07
CDP 4:1	9.75	18.88	12.50	14.81	42.73	16.16
GD	7.25	13.75	13.01	9.48	40.50	17.16
GDP 1:1	10.00	18.75	12.51	13.98	43.89	12.12
GDP 1:2	8.50	16.50	7.75	9.70	42.50	12.28
GDP 1:3	10.25	16.88	13.25	15.67	44.29	12.36
GDP 1:4	8.75	13.88	8.25	14.31	45.83	9.68
GDP 2:1	8.88	18.00	11.75	15.61	44.00	13.92
GDP 3:1	9.13	19.25	14.75	17.47	42.50	12.58
GDP 4:1	7.25	14.88	12.25	11.14	36.67	12.57
Pelni + kūdra pH _{KCL} 5.5	6.00	25.38	7.51	13.54	37.50	7.68
Pelni + kūdra pH _{KCL} 4.5	8.75	14.63	11.50	8.89	35.00	12.87

Kārtējā raža (2. vākums) bazilikam tika nogriezta 21. maijā. Viszemākais vidējais garums tika konstatēts variantos ar cūku kūtsmēslu digestātu un pelniem (CDP) attiecībā 1:4 (13.38 cm), ar govju kūtsmēslu digestātu (GD) (13.75 cm), ar govju kūtsmēslu digestātu un pelniem (GDP) attiecībā 1:4 (13.88 cm) un ar pelnu un kūdras (pH_{KCL} 4.5) maisījumu (14.63 cm), t.i., augi bija zemāki par 15 cm. Vidējais svars no podiņa bija 41.70 g; maksimālais svars, 45.83 g no podiņa, tika iegūts variantā ar govju kūtsmēslu digestāta un pelnu maisījumu proporcijā 1:4. Tika izdarīts secinājums, ka 2. vākumā mēslošanas variantiem nebija būtiskas ietekmes uz bazilika ražu ($p > 0.05$).

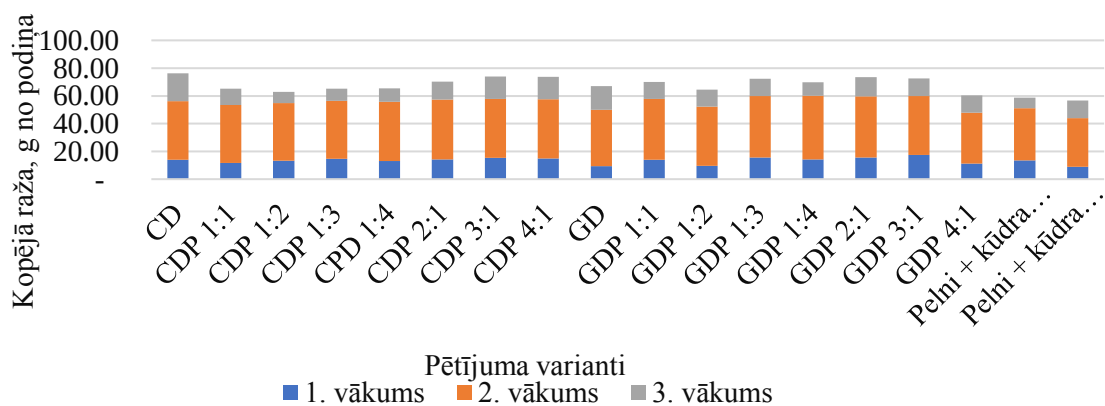


3.5. att. Bazilika ataugšana pēc ražas novākšanas.

Pēc ražas novākšanas, 21. maijā, augus atstāja siltumnīcās, lai izpētītu, vai tie ataug. Bija redzams, ka ataugšana notika lēni (3.5. att.). Pēdējo bazilika ražu (3. vākums) noņēma 25. maijā. Tā bija pēdējā, jo tika novērota stublāju tumšošanās, tādēļ turpmāka audzēšana vairs nebija lietderīga.

Arī 3. vākumā netika konstatēts, ka mēslošanas variantiem būtu būtiska ietekme uz bazilika ražu ($p > 0.05$). Vislielākais augu garums bija variantā ar govju kūtsmēsli digestāta un pelnu maisījumu proporcijā 3:1 (14.75 cm), savukārt vislielāko vidējo augu svaru no podiņa (20.04 g) ieguva ar cūku kūtsmēsli digestātu mēslotajā variantā.

Katram mēslošanas variantam kopējās ražas rādītāji izmēģinājuma periodā parādīti 3.6. attēlā.



3.6. att. Bazilika kopējās ražas sadalījums.

Visos variantos, izņemot pelnu un kūdras maisījumu substrātus, kopējā raža pārsniedza 60 g no podiņa. Vislielākā kopējā raža tika konstatēta variantā ar cūku kūtsmēsļu digestātu (76.24 g no podiņa). Tika aprēķināts, ka mēslošanas variantiem nebija būtiskas ietekmes uz bazilika ražu ($p>0.05$). Kaut gan lielāku augu masu konstatēja 2. vākumā, statistiskā apstrāde nepierādīja ražas svārstības pa vākšanas reizēm ($p>0.05$) (t.sk. arī sakarā ar to, ka 3. vākums skaitliski bija līdzīgs 1. vākuma rezultātiem).

Kopumā pētījuma periodā bazilika kvalitāte bija teicama un augi vizuāli un arī aromāta un garšas ziņā atbilda tirdzniecības standartiem.

Kopsavilkums. Visos jaunā mēslojuma variantos nebija novērojamas būtiskas atšķirības starp viena podiņa augiem – tie attīstījās gandrīz vienādi un atbilda tirdzniecības standartiem. Baziliks ir atsaucīgs uz organiska mēslojuma pievienošanu substrātam, bet šajā pētījumā mēslojuma variants nebija būtiski ietekmējis ražas iznākumu. Vācot ražu pakāpeniski, kopumā siltumnīcā varēja nodrošināt trīs vākumus. Maksimālo ražu uzrādīja šādi varianti: govju kūtsmēsļu digestāta un pelnu maisījums ar proporciju 3:1 (17.47 g no podiņa) – 1. vākumā, govju kūtsmēsļu digestāta un pelnu maisījums ar proporciju 1:4 – 2. vākumā, un cūku kūtsmēsļu digestāts – 3. vākumā. Visos trīs vākumos lielākā kopējā bazilika masa tika iegūta no varianta ar cūku kūtsmēsļu digestāta mēslojuma izmantošanu.

3.3. Pētījuma rezultāti izmēģinājumā ar koriandru

Izmēģinājums ar koriandru iekārtoja, lai izprastu mēslošanas variantu ietekmi uz sēklu sadīgšanu, dīgstu attīstību un zaļās masas veidošanos. Sēklu iesēja 13. aprīlī, un dīgsti masveidā parādījās ap 20. aprīli.



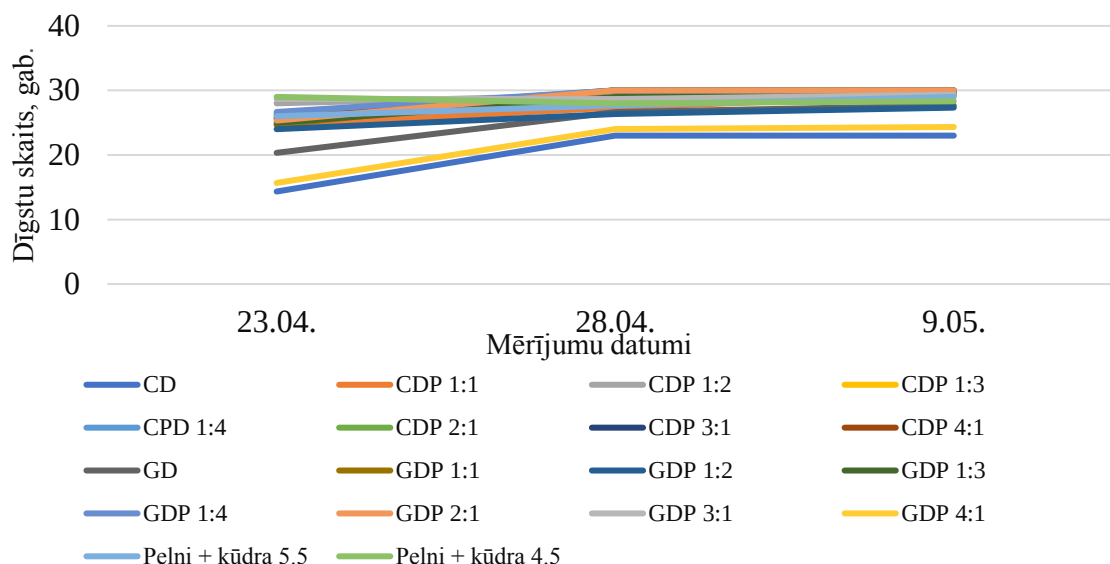
A

B

3.7. att. Koriandra sējumi izmēģinājumā 2020. gada 21. aprīlī:

A – masveida sadīgšanas laikā; B – sējumi 9. maijā.

3.8. attēlā ir atveidota dīgstu skaita dinamika no 23. aprīļa līdz 9. maijam. Tā kā katrā podiņā bija iesēts 30 sēklu, tad maksimālais dīgstu skaits bija 30. Zemākie rādītāji tiek iegūti variantos ar cūku kūtsmēsļu digestātu, govju kūtsmēsļu digestātu un govju kūtsmēsļu digestāta un koksnes pelnu maisījumu proporcijā 4:1.



3.8. att. Koriandra sadīgšanas dinamika.

Augsnes reakcijas vērtības apkopotas 3.6. tabulā. Redzams, ka variantā ar pelniem un kūdru ar pH_{KCL} 4.5 substrāta skābuma vērtība bija lielāka par 7, bet variantā ar cūku kūtsmēsļu digestātu – no 5 līdz 5.3. Koriandra īpašība bāziskajās augsnēs augt grūtāk nekā skābajās izskaidro lapu vizuāli zaļāko un veselīgāko izskatu variantā ar cūku kūtsmēsļu digestāta mēslojuma lietošanu.

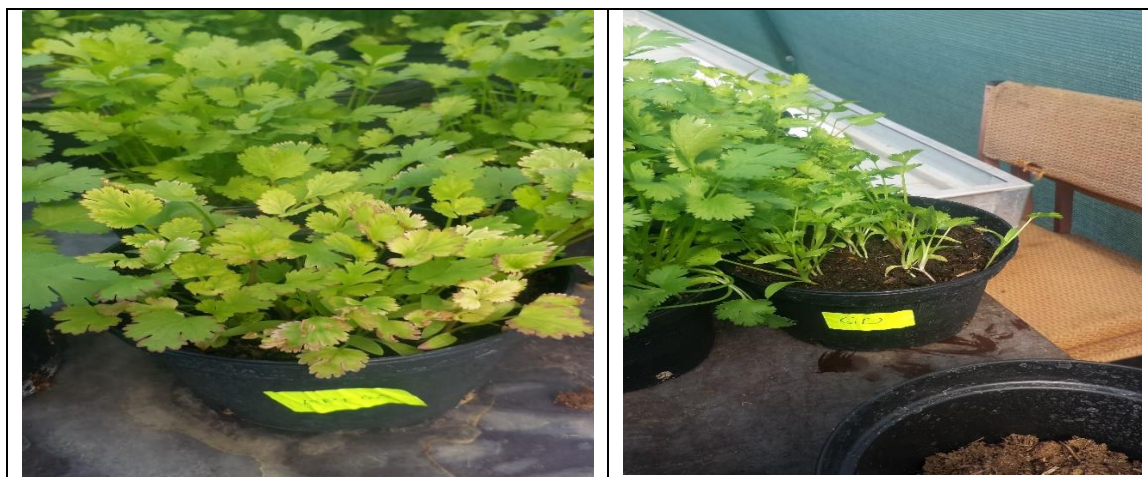
3.6. tabula

Substrāta pH_{KCL} rādītāji koriandra audzēšanas periodā

Mēslojuma veids, digestāta un pelnu attiecība maisījumā	9.04.	15.04.	23.04.	9.05.
CD	5.3	5.3	5.3	5
CDP 1:1	6.4	6.4	6.4	6.5
CDP 1:2	6.4	6.4	6.5	6.5
CDP 1:3	6.5	6.4	6.7	7
CPD 1:4	6.2	6.2	6.5	7
CDP 2:1	6.4	6.5	7	6.5
CDP 3:1	6.5	6.4	7	6.5
CDP 4:1	6.5	6.4	6.8	6.5
GD	5.9	6.6	6.5	7.3
GDP 1:1	6.5	6.5	7.1	7
GDP 1:2	6.8	6.3	6.4	7.5
GDP 1:3	6.6	7.1	6.5	6.8

GDP 1:4	6.5	6.5	6.7	6.8
GDP 2:1	6.5	6.5	6.8	7
GDP 3:1	6.5	6.2	6.4	6
GDP 4:1	6.5	6.4	6.5	7
Pelni + kūdra 5.5	6.5	6.9	6.2	7.3
Pelni + kūdra 4.5	7.4	7.4	7.3	7.3

Attiecībā uz variantu ar govju kūtsmēslu digestāta mēslojumu, var ieteikt pievērst lielāku uzmanību slāpekļa saturam paraugos un tā pieejamībai augos.



A

B

3.9. att. Koriandrs variantos ar:

A – koksnes pelnu un kūdras ar pH_{KCl} 4.5 maisījumu; B – govju kūtsmēslu digestātu (Sivicka, 2020).

Koriandra raža tika novākta 21. maijā, kad augi sasniedza vidēji 21 cm garumu, kas atbilst tirdzniecības standarta precei. Neskatoties uz iepriekšminēto variantu ražas vizuālo nepievilcīgumu, pārējos variantos augu izskatu varēja novērtēt kā izcilu (3.10. att.). Vidējais augu virszemes daļas svars bija 38 g no podiņa (3.4. tabula). Tā kā tirdzniecības vietās iegādātā koriandra svars nereti sasniedz 20 g, tad ražas rezultātus var novērtēt par ļoti labiem.

3.7. tabula

Koriandra virszemes daļas ražas rādītāji

Mēslojuma veids, digestāta un pelnu attiecība maisījumā	Garums, cm	Masa, g no podiņa
CD	24	43
CDP 1:1	21	110
CDP 1:2	22	42
CDP 1:3	22	43
CPD 1:4	25	40

CDP 2:1	24	42
CDP 3:1	20	42
CDP 4:1	21	27
GD	12	10
GDP 1:1	23	33
GDP 1:2	23	38
GDP 1:3	22	40
GDP 1:4	24	38
GDP 2:1	22	42
GDP 3:1	15	25
GDP 4:1	17	25
Pelni + kūdra pH _{KCL} 5.5	14	30
Pelni + kūdra pH _{KCL} 4.5	18	15

Pēc 3.7. tabulas var secināt, ka viszemākie augi (līdz 20 cm) bija variantos, kuros lietots govju kūtsmēslu digestāts (GD), govju kūtsmēslu digestāts kopā ar pelniem (GDP) attiecībās 3:1 un 4:1, kā arī abos variantos ar kūdru. Savukārt ražas rādītājus var vērtēt kā ļoti atšķirīgus. Vislielākā raža konstatēta variantā ar cūku kūtsmēslu digestātu un pelniem proporcijā 1:1 (110 g). Šis rezultāts nebūtu uztverams kā pozitīvs, ja koriandrs būtu jārealizē podiņos ar vienveidīgu masu. Vidējā novāktā bazilika masa bija 38 g, ja augu garums bija 21 cm. Datu statistiskā apstrāde liecināja, ka ne mēslošanas variantam, ne digestāta veidam uz koriandra ražu nebija nekādas būtiskas ietekmes ($p > 0.05$).



3.10. att. Koriandrs izmēģinājumā.

Mēslojuma variantu ietekme uz tādu organoleptisko īpašību maiņu kā aromāts, garša un pēcgarša netika konstatēta; augi atbilda standartam. Koriandrs bija ar izteiktu raksturīgu aromātu.

Kopsavilkums. Koriandra audzēšanā mēslojuma variantam un digestāta veidam nebija būtiskas ietekmes uz augu augumu un ražu, bet dažos variantos (neoptimāla pH_{KCl} dēļ) augiem bija novērojama dzeltenīga nokrāsa (variants ar pelniem un kūdru ar pH_{KCl} 4.5,) vai atpalikšana augšanā (govju kūtsmēslu digestāts). Kopumā koriandrs attīstījās vienmērīgi.

3.4. Pētījuma rezultāti izmēģinājumā ar piparmētrām

Ar sakņu gabaliņiem februārī pavairoto piparmētru 23. martā izstādīja podiņos ar mēslojuma variantiem, katrā podā pa vienam augam un katru variantu trīs atkārtojumos (3.11. att.).



3.11. att. Izmēģinājums ar piparmētrām – augi pēc pārstādīšanas.

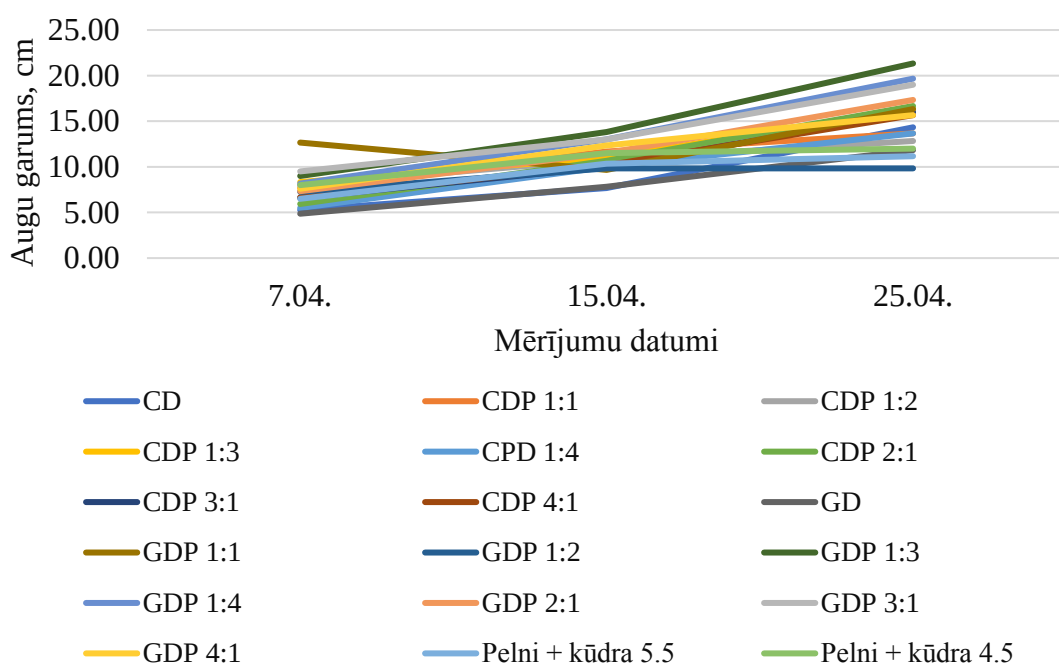
Substrāta pH_{KCL} izmaiņas no 30. marta līdz 27. aprīlim atkarībā no pētījuma varianta var redzēt 3.8. tabulā. Var izdarīt secinājumu, ka tikai cūku kūtsmēslu digestāta variantā substrāta pH_{KCl} vērtība bija mazāka par 6 (5.2–5.6).

3.8. tabula

Substrāta pH_{KCL} rādītāji piparmētru audzēšanas periodā

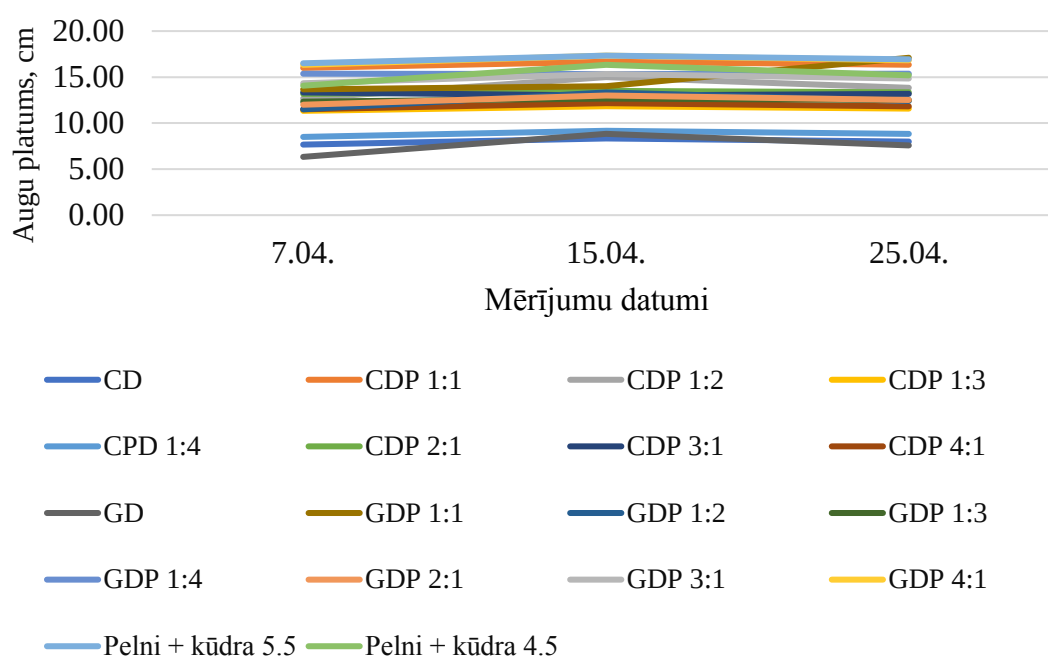
Mēslojuma veids, digestāta un pelnu attiecība maisījumā	30.03.	3.04.	9.04.	15.04.	27.04.
CD	5.3	5.2	5.3	5.3	5.6
CDP 1:1	6.7	6.7	7.0	6.8	7.0

CDP 1:2	6.5	6.6	6.5	6.7	6.2
CDP 1:3	6.7	6.5	6.7	6.9	6.8
CPD 1:4	7.0	6.5	6.7	6.5	6.4
CDP 2:1	6.8	6.7	6.7	6.6	6.7
CDP 3:1	7.0	6.5	6.8	6.5	6.5
CDP 4:1	7.0	6.4	6.7	7.0	6.8
GD	6.5	6.3	6.7	7.0	6.8
GDP 1:1	6.7	6.5	6.7	6.5	6.5
GDP 1:2	6.8	7.0	6.7	6.6	6.9
GDP 1:3	7.0	7.1	7.0	7.1	7.0
GDP 1:4	7.0	6.7	6.6	6.7	6.8
GDP 2:1	6.5	6.5	6.4	6.7	6.5
GDP 3:1	6.8	6.3	6.6	6.3	6.8
GDP 4:1	6.5	6.5	6.6	6.6	7.0
Pelni + kūdra 5.5	6.7	7.0	6.6	7.0	7.0
Pelni + kūdra 4.5	7.5	7.0	7.2	7.3	6.8



3.11. att. Piparmētru garuma dinamika, cm.

Kā redzams 3.11. attēlā, lielākā daļa augu visā izmēģinājuma periodā uzrādīja pozitīvu augšanas dinamiku garumā, kaut gan variantos ar cūku un govju kūtsmēsļu digestātu augšanas temps nav bijis straujš. Garuma samazināšanos variantā ar govju kūtsmēsļu digestātu un koksnes pelniem proporcijā 1:1 var skaidrot ar to, ka pēc stādu izstādīšanas podiņos tieši šajā variantā augi attīstījās visstraujāk. Jāsaprot, ka piparmētras līdz konkrētam brīdim attīstās vertikāli, pēc tam – horizontāli. Tieši šajā variantā dzinumi attīstījās visspēcīgāk.



3.12. att. Piparmētru platuma dinamika, cm.

Augi variantos attīstījās vienmērīgi, izņemot trīs variantus, kas atšķīrās no kopējā datu masīva ar zemākiem rezultātiem: govju kūtsmēsļu digestāts, cūku kūtsmēsļu digestāts un cūku kūtsmēsļu digestāts maisījumā ar pelniem attiecībā 1:4.

Salīdzinot ar baziliku, piparmētru lapām nebija izteikta dzeltenā toņa, izņemot variantu ar govju kūtsmēsļu digestātu. Hlorofila mērījumi svārstījās no $0.0088 \text{ mg cm}^{-2}$ līdz $0.0274 \text{ mg cm}^{-2}$. Tieši variantam ar govju kūtsmēsļu digestātu bija zemākais rādītājs, bet augstākais rādītājs bija variantam ar cūku kūtsmēsļu digestātu; vidējais rādītājs bija optimāls – $0.0174 \text{ mg cm}^{-2}$.



3.13. att. Piparmētras izmēģinājumā – maija sākums.

Dzinumu skaits variēja no 1 līdz 4; gandrīz visiem variantiem – vismaz divi dzinumi. Šajā izmēģinājuma periodā krāsas organoleptiskās atšķirības starp variantiem netika konstatētas.

Jāsecina, ka piparmētras kopumā attīstījās ļoti strauji (izņemot variantu ar govju kūtsmēslu digestātu).

Pirmā raža piparmētrām tika nogriezta 15. jūnijā, bet otra – 21. jūlijā (3.9. tabula).

3.9. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz piparmētru produktivitāti

Mēslojuma veids, digestāta un pelnu attiecība maisījumā	Piparmētru produktivitātes rādītāji			
	1. vākums, 15.06.20		2. vākums, 21.07.20.	
	Garums, cm	Masa, g no podiņa	Garums, cm	Masa, g no podiņa
CD	7.24	42.22	15.33	20.88
CDP 1:1	7.90	41.76	12.93	12.20
CDP 1:2	7.62	41.56	6.67	12.72
CDP 1:3	5.05	41.67	9.33	12.52
CPD 1:4	7.67	42.50	9.33	9.53
CDP 2:1	7.26	43.08	9.83	10.28
CDP 3:1	7.86	42.50	8.83	13.93
CDP 4:1	8.59	42.73	10.50	10.45
GD	2.17	40.50	16.00	18.95
GDP 1:1	8.25	43.89	12.47	15.01
GDP 1:2	7.42	42.50	13.00	13.19
GDP 1:3	6.47	44.29	10.00	11.26
GDP 1:4	7.23	45.83	12.67	13.90
GDP 2:1	8.20	44.00	10.43	16.56
GDP 3:1	9.35	42.50	8.50	6.52
GDP 4:1	6.58	36.67	10.33	11.74
Pelni + kūdra pH _{KCL} 5.5	9.03	37.50	11.67	13.55
Pelni + kūdra pH _{KCL} 4.5	5.32	35.00	8.00	7.88

Var secināt, ka visiem augiem dzinumi nerasniedza 10 cm augstumu, bet ražu vajadzēja nogriezt, jo masveidā bija atsākusies sāndzinumu augšana. Turklāt vidējā raža jāvērtē kā laba gan kvantitātes, gan kvalitātes (izskats, krāsas tonis, aromāts) ziņā. No ekonomiskā viedokļa piparmētru audzēšana noteikti atmaksātos, jo līdzīgā veidā augi jau tiek realizēti podiņos ar svaru 10–20 g, tātad ar daudz mazāku virszemes daļas masu. Rādītāji pa variantiem būtiski neatšķīrās ($p>0.05$).

Interesanti, ka piparmētrai variantā ar govju kūtsmēslu digestātu (GD) bija augstāki rādītāji nekā pirmajā ražas novākšanas reizē, turklāt 2. vākumam šis variants uzrādīja vienu no augstākajiem rādītājiem. Rādītāji pa variantiem būtiski neatšķīrās ($p>0.05$).



A

B

3.15. att. Piparmētru vizuālais izskats:
A – augi gandrīz visos pētījuma variantos;
B – variants ar govju kūstmēslu digestātu (GD).

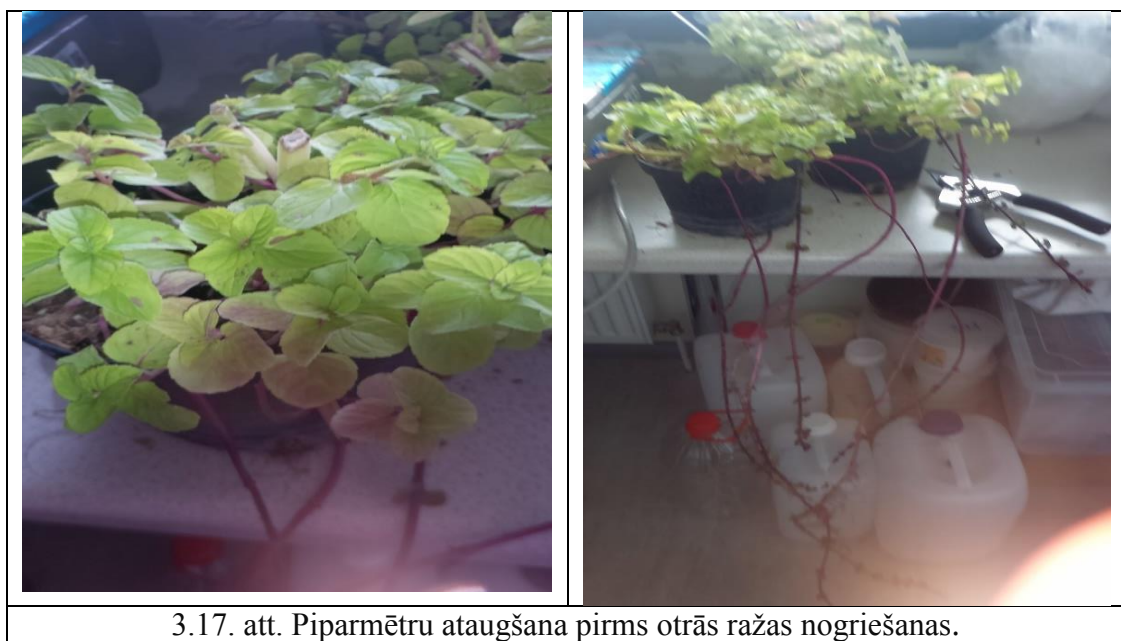
Govju kūstmēslu digestāta (GD) lietošana deva viszemāko augu augstumu, taču, neskatoties uz to, vidējā raža bija augstāka nekā dažos citos variantos, ko var izskaidrot ar blīvākiem un smagākiem dzinumiem šajā variantā.

Pēc ražas nogriešanas (3.16. att.) tika pētīta piparmētru ataugšana.



3.16. att. Piparmētras pēc pirmās ražas nogriešanas.

Tika secināts, ka piparmētras ļoti spēcīgi attīstīja sāndzinumus (ūsas), jo sakņu kamols bija pilnībā aizņēmis visu substrāta tilpumu podiņā. Virszemes daļa tika nogriezta un nosvērta.



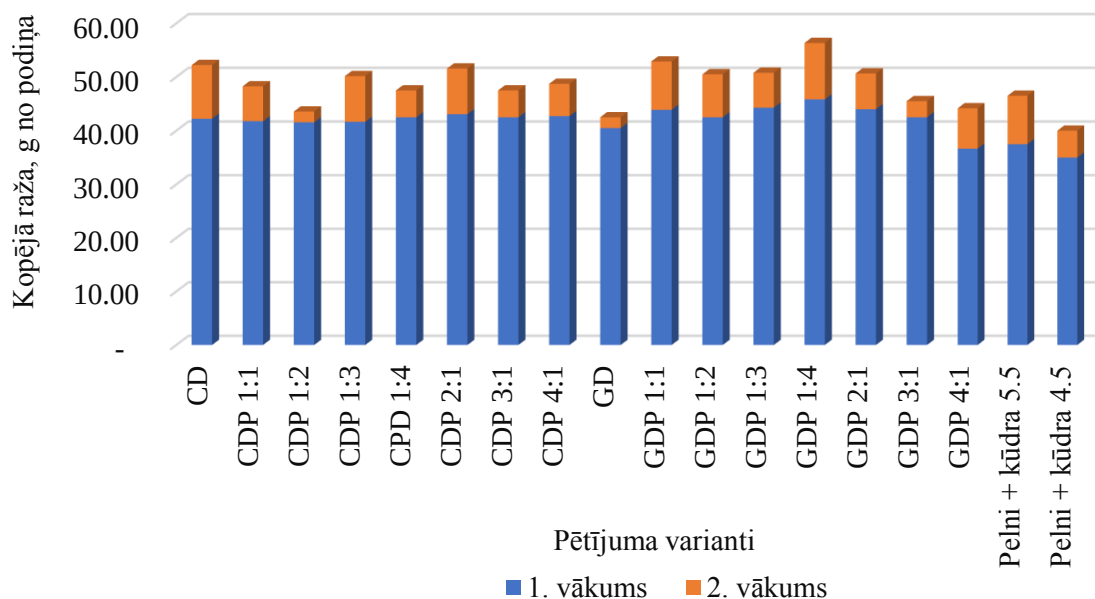
3.17. att. Piparmētru ataugšana pirms otrās ražas nogriešanas.

3.10. tabula

Sāndzinumu attīstība piparmētru otrajai ražai

Mēslojuma veids, digestāta un pelnu attiecība maisījumā	Sāndzinumu skaits, gab.	Sāndzinumu garums, cm
CD	3.33	30.00
CDP 1:1	2.33	36.67
CDP 1:2	2.00	39.00
CDP 1:3	1.33	35.00
CPD 1:4	3.00	25.92
CDP 2:1	2.67	33.00
CDP 3:1	3.00	52.00
CDP 4:1	3.00	45.00
GD	1.50	65.00
GDP 1:1	3.33	101.67
GDP 1:2	3.33	43.33
GDP 1:3	1.00	62.50
GDP 1:4	3.33	38.33
GDP 2:1	3.00	61.67
GDP 3:1	3.00	57.50
GDP 4:1	3.00	55.10
Pelni + kūdra pH _{KCL} 5.5	4.33	30.00
Pelni + kūdra pH _{KCL} 4.5	3.00	15.00

Kopējā raža izmēģinājuma periodā katram mēslošanas variantam atspoguļota 3.13. attēlā.



3.18. att. Piparmētru kopējā raža, g no podiņa.

Kā redzams 3.18. attēlā, piparmētru kopējo ražu lielākoties veidoja 1. vākuma raža, turklāt otrā raža bija mazāka par $\frac{1}{4}$ no kopējās ražas. Rādītāji pa variantiem būtiski neatšķīrās ($p > 0.05$).

Kopsavilkums. Piparmētras bija atsaucīgas uz audzēšanu podiņos ar mēslojuma variantiem. Komercijai šis audzēšanas veids atmaksātos, bet jāpārdomā augu audzēšana 2. vākumam, jo augiem bija tendence dzīt sādzinumus un izplatīties / veģetatīvi vairoties.

3.5. Pētījuma rezultāti izmēģinājumā ar salātiem

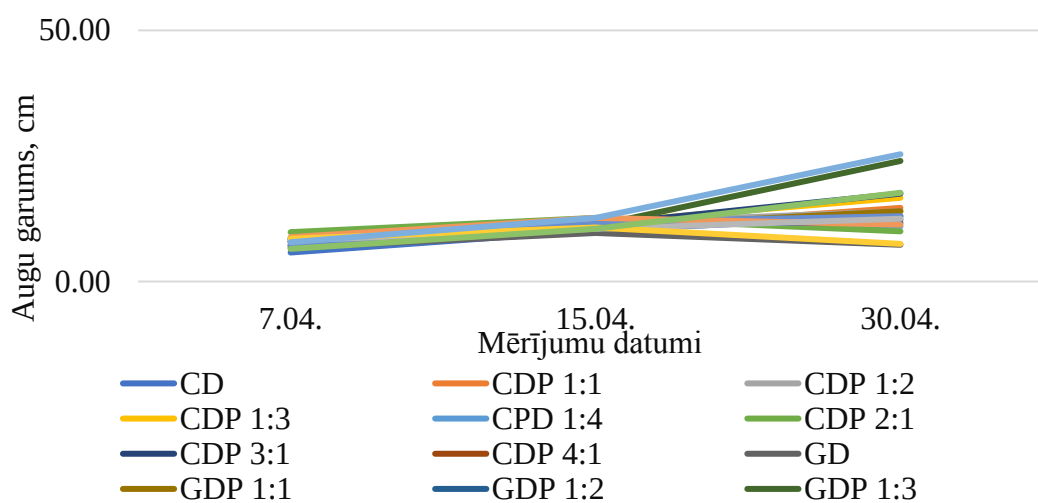
Salātu dēsti tika izstādīti 25. martā. 3.11. tabulā apkopotas substrāta pH_{KCL} vērtību izmaiņas no 30. marta līdz 27. aprīlim atkarībā no pētījuma variantā. Interesanti, ka variantā ar cūku kūtsmēslu digestātu pH_{KCL} pazeminājās pat līdz 5.1 (9. aprīlī), bet pēc tam paaugstinājās līdz 5.7 (27. aprīlī). Visstabilākie rādītāji tika konstatēti variantā ar cūku kūtsmēslu digestātu un koksnes pelnu maisījumu proporcijā 1:1, jo visā periodā pH 6.5 vērtība palika nemainīga. Tā kā salātiem vidējais rekomendējamais pH_{KCL} ir 6.15, tad var uzskatīt, ka izmēģinājumā iegūtie skābuma rādītāji nebija optimāli.

Tā kā salāti tika audzēti pēc klasiskās ražošanas tehnoloģijas (divi augi podiņā), tad tika mērīts katrs augs. Jāsecina, ka ne visos variantos augi podiņā attīstījās vienādi, jo starp tiem pastāvēja konkurence par apgaismojumu, barības šķīdumu, audzēšanas telpu u.tml., bet šī metode ļauj palielināt zaļo masu un ātrāk iegūt ražu.

Substrāta pH_{KCL} rādītāji salātu audzēšanas periodā

Mēslojuma veids, digestāta un pelnu attiecība maisījumā	30.03.	3.04.	9.04.	15.04.	27.04.
CD	5.3	5.2	5.1	5.4	5.7
CDP 1:1	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
CDP 1:2	7.0	6.4	6.5	6.5	7.0
CDP 1:3	6.6	6.7	6.7	6.5	6.3
CPD 1:4	6.8	6.5	6.8	6.5	7.2
CDP 2:1	6.5	6.5	6.4	6.6	6.9
CDP 3:1	6.7	6.5	6.4	6.6	6.7
CDP 4:1	6.8	7.0	6.6	6.5	6.9
GD	6.6	6.2	6.5	6.6	6.5
GDP 1:1	6.8	6.9	6.7	6.6	7.0
GDP 1:2	6.9	6.6	7.2	7.0	7.2
GDP 1:3	7.0	6.6	6.5	6.8	6.8
GDP 1:4	6.5	6.7	6.5	6.6	7.1
GDP 2:1	6.8	6.8	6.4	6.5	6.5
GDP 3:1	6.6	6.5	6.5	6.5	6.3
GDP 4:1	6.5	6.6	6.6	6.7	6.5
Pelni + kūdra 5.5	7.0	6.9	6.6	7.0	7.1
Pelni + kūdra 4.5	7.3	7.4	7.5	7.1	7.0

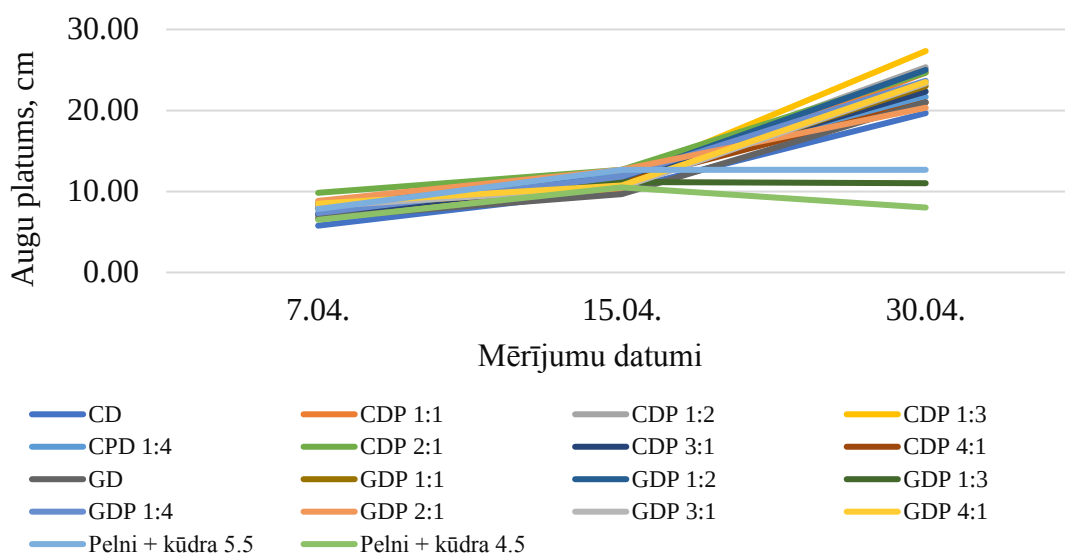
Audzēšanas periodā salātiem veica auga platumu (3.19. att.) un garuma (3.20. att.) mērījumus (vidējās vērtības). Maksimālo vidējo garumu (25.33 cm) novēroja variantā “koksnes pelni + kūdra ar pH_{KCl} 5.5”, bet minimālo vidējo garumu (7.33 cm) – variantā ar govju kūtsmēsli digestātu.



3.19. att. Salātu garuma dinamika, cm.

Pēc 15. aprīļa daļai salātu bija tendence samazināt augumu, jo, palielinoties augšanas parametriem, salātu lapas noliecās uz leju, tātad augi palika kuplāki. 30. aprīlī tikai divos variantos – “pelni + kūdra ar pH_{KCl} 4.5” un “govju kūtsmēsļu digestāts ar koksnes pelniem 1:3” – salātiem konstatēja pastiprinātu garumu (ap 25 cm).

Savukārt 3.20. attēlā redzams, ka gandrīz visos variantos augiem bija tendence palielināt platumu. 30. aprīlī maksimālais vidējais platums (27.33 cm) tika konstatēts variantā ar cūku kūtsmēsļu digestātu un koksnes pelniem proporcijā 1:3, bet minimālais vidējais platums (8 cm) bija variantā “pelni + kūdra ar pH_{KCl} 4.5”.



3.20. att. Salātu platuma dinamika, cm.

Tā kā salāti bija izstādīti dēstu stadijā, tad ražu novāca 30. aprīlī, t.i., 37 dienas pēc izstādīšanas. Ražas novākšanas brīdī, salīdzinot visus variantus, vidējais augu garums bija sasniedzis 14.08 cm, bet platums – 21 cm.

3.12. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz salātu ražu

Mēslojuma veids, digestāta un pelnu attiecība maisījumā	Salātu raža, g no podiņa	
	1. vākums, 30.04.20	2. vākums, 21.06.20
CD	48.37	11.00
CDP 1:1	50.57	9.67
CDP 1:2	50.55	10.33
CDP 1:3	68.31	10.67
CPD 1:4	36.58	6.67
CDP 2:1	53.41	8.33
CDP 3:1	68.31	14.00
CDP 4:1	56.67	10.67

	GD	17.75	13.56
	GDP 1:1	40.60	8.33
	GDP 1:2	48.08	9.00
	GDP 1:3	50.53	8.67
	GDP 1:4	29.20	9.33
	GDP 2:1	34.41	8.67
	GDP 3:1	44.26	9.67
	GDP 4:1	48.72	7.00
5.5	Pelni + kūdra pH _{KCL}	60.87	9.33
4.5	Pelni + kūdra pH _{KCL}	14.67	6.00

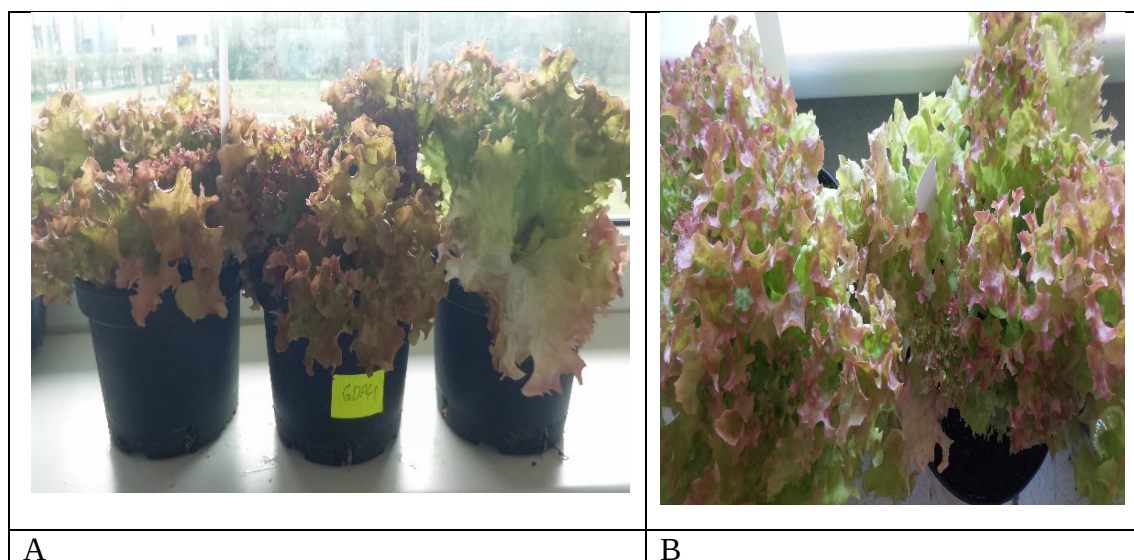
Pēc 3.12. tabulā apkopotajiem rādītājiem var secināt, ka maksimālā vidējā raža (68.31 g) bija divos variantos – abos ar cūku kūtsmēslu digestātu un koksnes pelniem proporcijās 1:3 un 3:1. Viszemāko ražu (14.67 g no podiņa) uzrādīja variants ar koksnes pelniem un kūdru ar pH_{KCl} 4.5. Ražu, kas lielāka par 50 g no podiņa, konstatēja astoņiem no pētījumā iekļautajiem variantiem.

Datu statistiskā apstrāde pierādīja, ka variantam nebija būtiskas ietekmes uz salātu garumu un platumu ($p > 0.05$), taču bija būtiska ietekme uz ražu ($p < 0.05$).

Kopumā jāsecina, ka siltumnīcas mikroklimats bija optimāls salātu audzēšanai. Kaitēkļi un slimības nebija novēroti, neviens augs nebija izkritis. Turpmākai audzēšanai, sakarā ar pārāk mazo ražu un ilgāku augu attīstības periodu (kas sadārdzina produkcijas ražošanu), nebūtu ieteicams salātus audzēt substrātu variantos (raža nepārsniedza 41 g no podiņa):

- koksnes pelni un kūdra ar pH_{KCl} 4.5;
- govju kūtsmēslu digestāts;
- govju kūtsmēslu digestāts un koksnes pelni attiecībā 1:4;
- govju kūtsmēslu digestāts un koksnes pelni attiecībā 2:1;
- cūku kūtsmēslu digestāts un koksnes pelni attiecībā 1:4;
- govju kūtsmēslu digestāts un koksnes pelni attiecībā 1:1;
- govju kūtsmēslu digestāts un koksnes pelni attiecībā 3:1.

Savukārt audzēšana pārējos variantos prasa sīkāku kopsakarību meklēšanu, līdz ar to pētījumi būtu jāturpina. Jāsecina, ka augiem krāsas ziņā bija izteiktas atšķirības: sarkanīgais tonis bija vairāk izteikts variantiem ar govju kūtsmēslu digestātu (3.21. att.).



3.21. att. Salātu atšķirības pēc lapu toņa (piemērs):

A – variants ar govju kūtsmēsļu digestātu un koksnes pelniem attiecībā 4:1;

B – variants ar cūku kūtsmēsļu digestātu un koksnes pelniem attiecībā 1:4 .

Arī izteikti gara sakņu sistēma bija vērojama variantā ar govju kūtsmēsļu digestātu un koksnes pelniem proporcijā 1:2 – sakņu sistēma bija divreiz garāka par virszemes daļu (3.22. att.).



3.22. att. Salātu sakņu sistēma variantā ar govju kūtsmēsļu digestātu un koksnes pelniem attiecībā 1:2.

Pārbaudot hlorofila saturu, jāsecina, ka salātiem kopumā tas bija zems – ap 20 “atLEAF” mērvienību, kas ir tikai 0.033 mg cm^{-2} . Tomēr izmēģinājumā pielietotai šķirnei bija izteikti rozā līdz sarkanīgi violeta apmale, līdz ar to tās pigmentu saturs nav līdzīgs šķirnēm ar tīri zaļajām lapām. Kopumā pētījuma varianti hlorofila saturu salātu lapās nebija būtiski ietekmējuši. Vēl jāpiebilst, ka digestāta pielietojums salātu audzēšanā var būt risks *E. coli* baktēriju izplatības iespējamībai.

Pēc ražas novākšanas salāti tika atstāti ataudzēšanai, kas atsākās dažu dienu laikā pēc augu nogriešanas. Pēc ražas novākšanas 30. aprīlī podiņi ar nogrieztu salātu virszemes daļu tika atstāti siltumnīcā, lai redzētu, vai augi ataug, kā arī – vai būs iespējams dažādos mēslojuma variantos augošajiem augiem novākt otro ražu. Augi vidēji izauga tikai līdz 10.28 cm, bet augšanas temps bija ļoti lēns – salātu raža tika novākta 21. jūnijā. Jāsecina, ka otrajā ciklā augi nebija izskatīgi, lapojuma krāsa bija rozīgi sarkana un no vizuālā viedokļa augi neatbilda standarta produkcijai, jo lapu tonis šķirnei ‘Lolo Rossa’ nebija raksturīgs (3.23a. att.).

	
3.23.. att. Salātu izskats pirms pirmās ražas novākšanas.	3.23a. att. Ataugušo salātu izskats pēc pirmās ražas novākšanas.

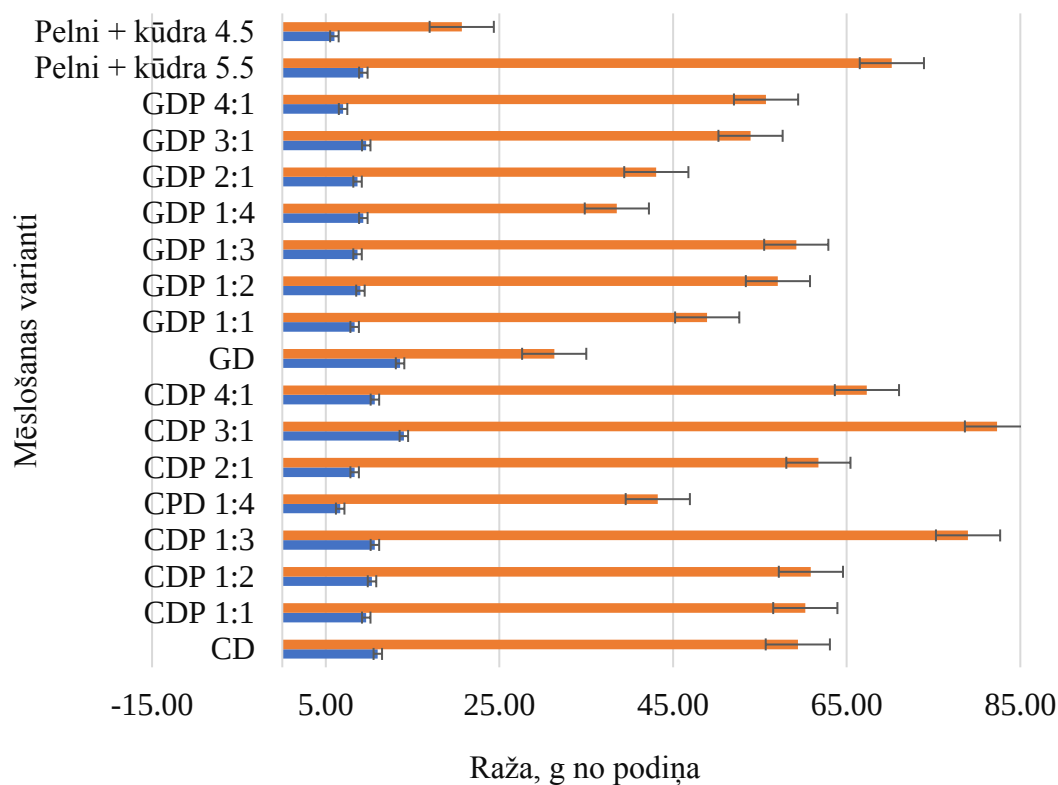
Vidējā raža no viena podiņa otrajā ražošanas ciklā bija tikai 9.49 g (3.8. att.). Tas nozīmē, ka, no ekonomiskā viedokļa, salātu audzēšana otrās ražas ieguvei neatmaksājās.

Otrajā salātu novākšanas reizē netika konstatēta būtiska mēslošanas variantu ietekme uz ražu ($p > 0.05$).

Izmēģinājuma periodā iegūtās kopējās ražas rādītāji katram mēslošanas variantam apkopoti 3.24. attēlā.

Visā salātu audzēšanas ciklā mēslošanas variantiem netika konstatēta būtiski atšķirīga ietekme uz salātu ražas veidošanos ($p > 0.05$). Taču, jāsecina, ka otrajā ciklā viena no lielākajām ražām tika iegūta variantos ar tīru govju kūtsmēsli digestātu, neskatoties uz to, ka pirmajā izmēģinājuma periodā variantam ar govju kūtsmēsli digestātu tika konstatēta viena no zemākajām ražām.

Visos variantos salātu garšas īpašības būtiski neatšķīrās, lapām nebija raksturīgs rūgtums.



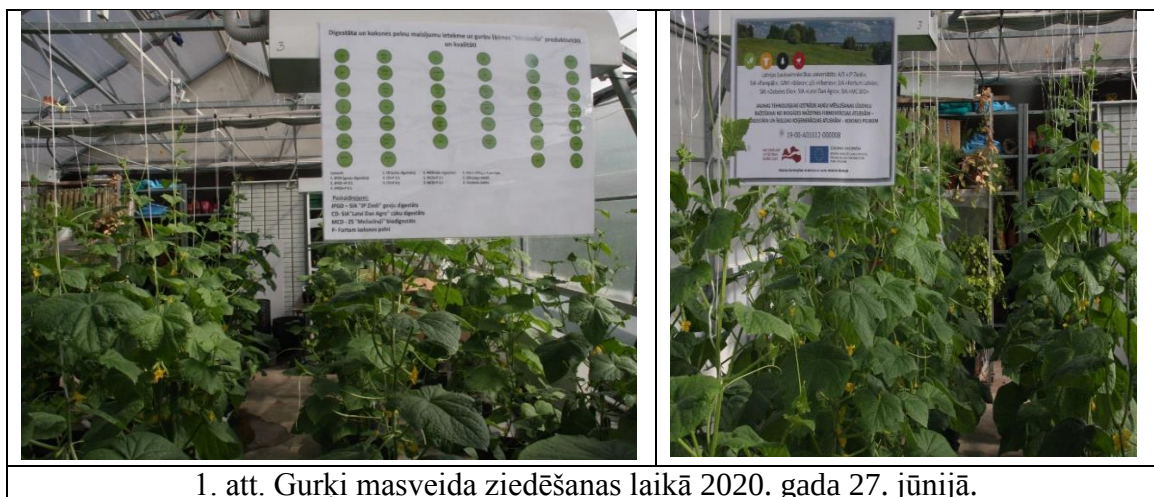
3.24. att. Salātu raža otrajā vākšanas reizē, un kopējā raža abos audzēšanas ciklos, g no podiņa.

Kopsavilkums. Pielietojot substrāta sastāvā pētījumā iekļautos mēslošanas variantus, var secināt, ka 2. vākums neatmaksājās. Pirmās ražas dati ir optimāli, realizējot salātus podiņos. Turpmākajos pētījumos lielāka uzmanība jāpievērš pH_{KCl} vērtību svārstību izpētei, kas ietekmē ražu. No mēslošanas variantiem nav rekomendējama kūdra ar pH_{KCl} 4.5 kopā ar pelniem, jo šajā variantā augiem bija viszemākā raža abos vākumos.

3.6. Pētījuma rezultāti izmēģinājumā ar gurķiem

Substrāta pH_{KCl} svārstību un gurķu augšanas dinamikas izpēte

Gurķu dēsti tika izstādīti divas nedēļas pēc mēslojuma iestrādes. Visos variantos pH vērtību svārstības nebija būtiskas – 5.8–6.2. Savukārt veģetācijas beigās (2020. gada 28. jūlijā) substrātu skābuma pH_{KCl} rādītāji bija: 7.5 – MCD; 7.2 – pelni; 7.0 – CD+P 3:1, JPGD, JPGD+P 3:1, JPGD+P 4:1, MCD+P 3:1, MCD+P 4:1, ZM; 6.8 – CD, kontrole, CD+P 4:1. Tā kā gurķiem optimālā pH_{KCl} vērtība ir 5.8–6.5, tad jāsecina, ka izmēģinājuma visos variantos substrāta reakcija nav bijusi optimāla, bet gan pat pārāk bāziska.

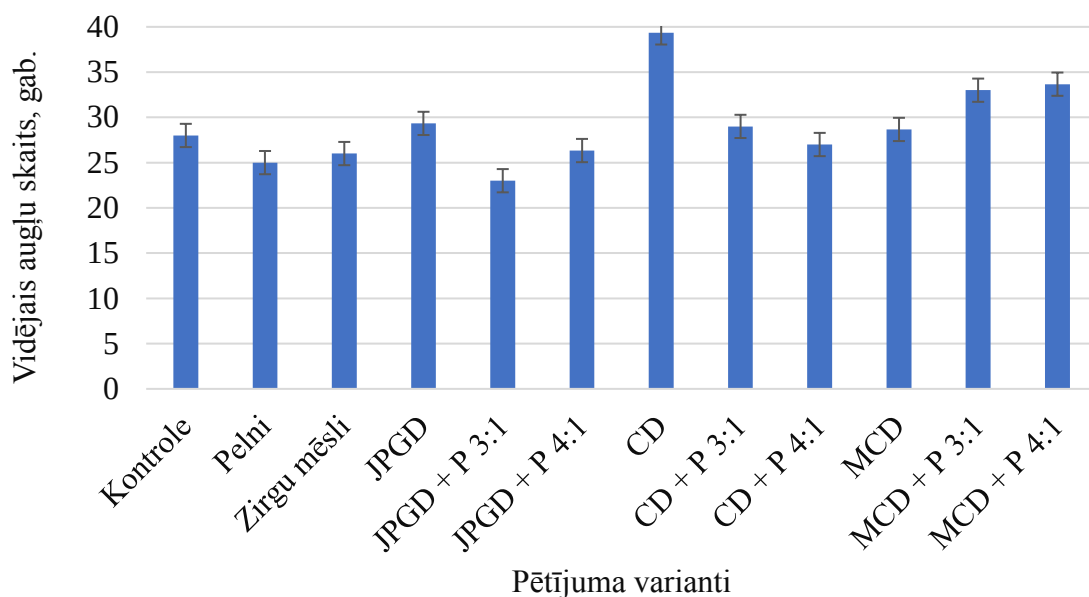


1. att. Gurķi masveida ziedēšanas laikā 2020. gada 27. jūnijā.

Apkopojot datus par gurķu augšanas dinamiku, jāsecina, ka visos variantos augi attīstījās vienmērīgi un 11. jūnijā sasniedza vidējo garumu, ap 45.35 cm, bet pirmo augļu ienākšanās fāzē (26. jūnijā) – vidēji ap 1.25 m. Veģetācijas beigās augu kopējais garums pa variantiem būtiski neatšķīrās ($p < 0.05$) un sasniedza apmēram 2.58 m.

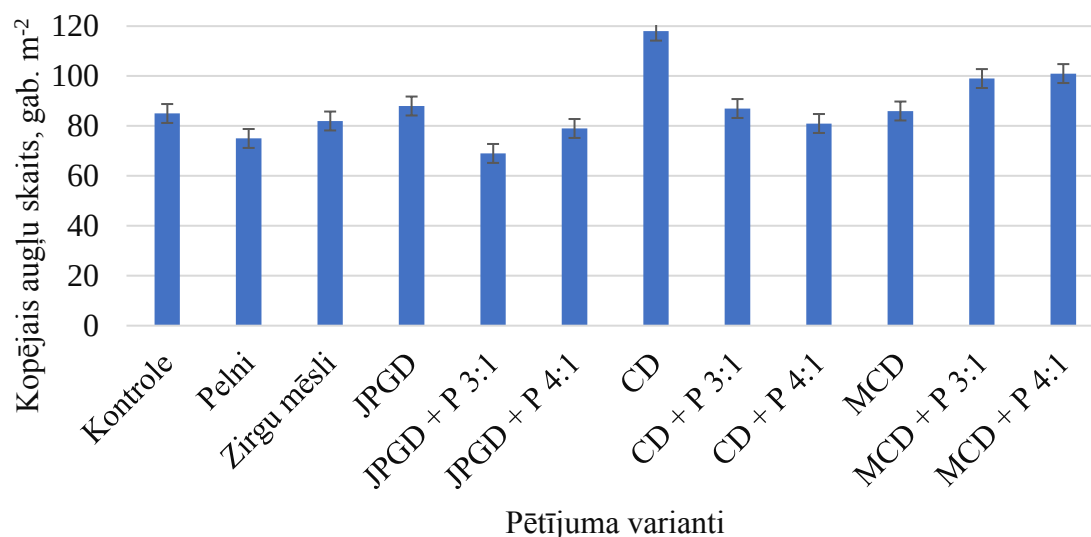
Ražas datu analīze

Pirmo ražu novāca 25. jūnijā, pēdējo ražu – 31. jūlijā, tātad ražas laiks bija nedaudz ilgāks par mēnesi, kas ir salīdzinoši īss periods. Gurķi tika lasīti pēc nogatavošanās pakāpes vai nu katru dienu, vai reizi 2–3 dienās, kopā pavisam 23 vākšanas reizes. Jāpiebilst, ka līdzīgos izmēģinājumos ar gurķiem veģetācijas traukos LF AAZI DAL gurķi vidēji tiek lasīti vismaz 33 reizes. Novāktais augļu skaits katrā vākšanas reizē variēja no viena līdz deviņiem gurķiem (CD un ZM variantos) no viena auga, vidēji – 1.3 augļi no auga.



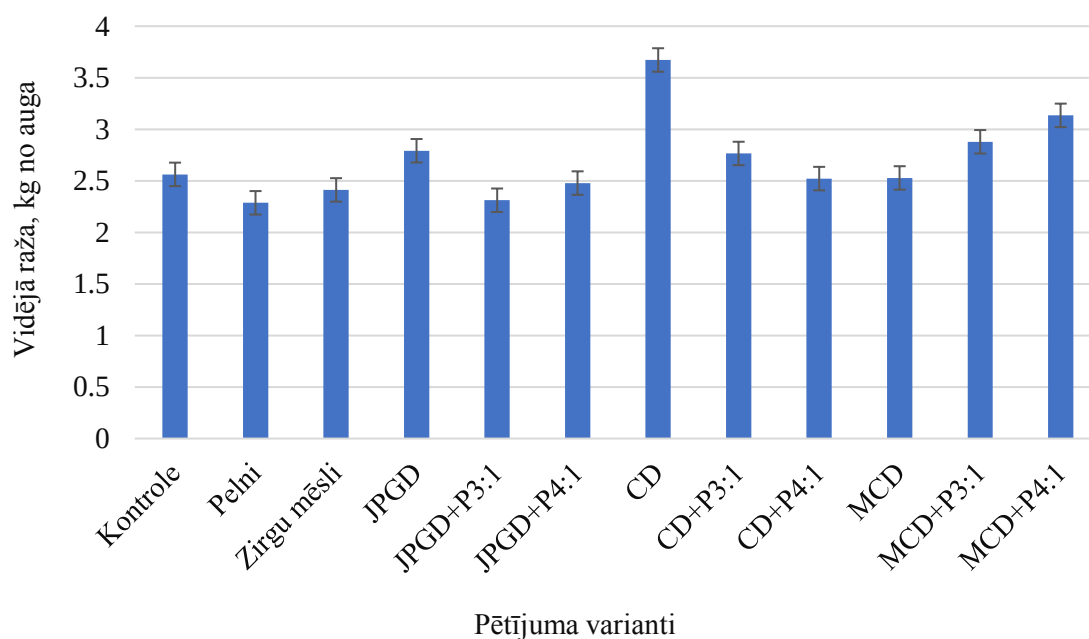
2. att. Vidējais augļu skaits, gab. no auga.

Pēc 2. attēla redzams, ka lielākais vidējais augļu skaits tika konstatēts variantos ar cūku kūtsmēslu digestātu (CD), savukārt varianti ar biodigestātu kopā ar pelniem (MCD+P proporcijās 3:1 un 4:1) un biodigestātu (MCD) deva nedaudz zemākus, bet vienmērīgus rezultātus. Līdzīgi statistiskie rādītāji bija kopējam augļu skaitam no platības vienības (3. att.).



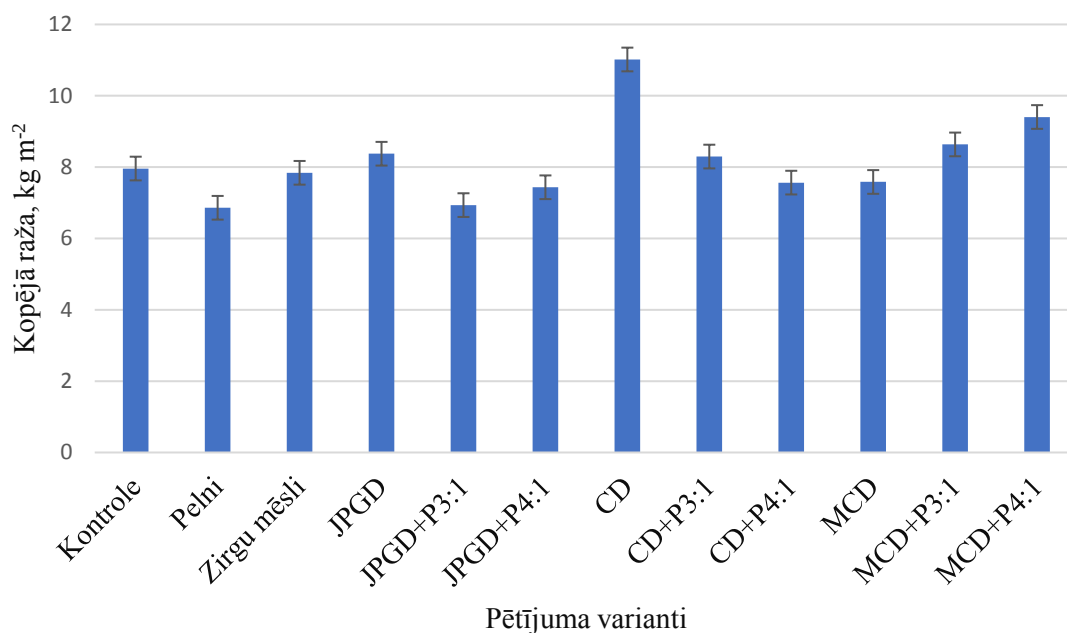
3.. att. Kopējais augļu skaits, gab. no m⁻².

Vidējais viena augļa svars bija 50.79 g, un izmēģinājuma laikā tas variēja no 37.5 g (kontrolē) līdz 153.3 g (MCD). Kopumā izmēģinājuma platībā novāca 1213 gurķu augļu un 97.91 kg gurķu ražu.



4. att. Vidējā raža, kg no auga.

Pēc 4. attēla var secināt, ka labākus rezultātus deva varianti, kas bija līdzīgi aprakstā par gurķu augļu skaitu (jo lielāks augļu skaits, jo lielāka raža) minētajiem variantiem.



5. att. Kopējā raža, kg m⁻².

Ražošanas periodā visos variantos gurķu raža bija lielāka par 6 kg m⁻² (5. att.). Visaugstākos rādītājus uzrādīja varianti ar CD, MCD+P 4:1 un MCD + P 3:1. Gurķu ražības rezultāti būtiski atšķīrās ($p < 0.05$) gan pa variantiem, gan pa novākšanas reizēm. Jāpiebilst, ka iepriekšminētajos līdzīgos pētījumos par gurķu ražu DAL siltumnīcā sakarā ar ilgāku veģetācijas un ražas periodu kopējā raža no platības vienības sasniedza 12.81 kg m⁻².

Nestandarta gurķi tika konstatēti gandrīz visos variantos, izņemot variantus ar pelniem, govju kūtsmēslu digestātu (JPGD), biodigestātu (MCD) un biodigestātu ar pelniem (MCD+P) attiecībā 4:1 (šajos variantos nestandarta gurķu nebija vispār). Katrā vākšanas reizē dažādos izmēģinājuma variantos bija 1–2 nestandarta gurķi, kam statistiski netika konstatēta kāda sakarība ar mēslošanas variantu.

Kopējais nestandarta produkcijas iznākums izmēģinājuma periodā bija 1.81% no visas iegūtās ražas, kas ir zems rādītājs. Nestandarta produkcija parasti veidojas mikroklimata ietekmē, kad karstā laikā apgāde ar ūdeni un barības elementiem ir nepietiekama un siltajās naktīs bieži novēro strauju augļu piebriešanu un augļizmetņu saaugšanos, kā arī kropļi gurķi var veidoties, ja notiek partenokarpu hibrīdu apputeksnēšana (izmēģinājuma periodā siltumnīcā varēja nokļūt laboratorijas dravas novietnē esošās bites).



A



B

6. att. Novākto gurķu vizuālais izskats:
A – 27. jūnijā; B – 20. jūlijā.

Organoleptiskie parametri visā audzēšanas periodā būtiski neatšķīrās, izņemot krāsu, kas augļiem veģetācijas beigās bija kļuvusi daudz blāvāka. Vidējais organoleptiskais vērtējums bija 4.3 balles.

3.7. Pētījuma rezultāti izmēģinājumā ar kartupeļiem

Izmēģinājuma vietas un pētāmo variantu raksturojums

Lauka izmēģinājumi ierīkoti velēnu gleja augsnē (56°66' N, 23°75' E) 2021. gadā. Augsnes agroķīmiskie rādītāji: pH_{KCl} 6.7, organiskās vielas saturs augsnē – 23 g kg^{-1} , fosfora saturs – 149 mg kg^{-1} P_2O_5 , un kālija saturs – 200 mg kg^{-1} K_2O .

Iekārtots četru faktoru izmēģinājums:

1. faktors (A) – šķirnes ietekme uz kartupeļu ražu un kvalitāti;
2. faktors (B) – mēslojuma veida ietekme uz kartupeļu ražu un kvalitāti;
3. faktors (C) – mēslojuma normas ietekme uz kartupeļu ražu un kvalitāti;
4. faktors (D) – digestāta un pelnu attiecības ietekme uz kartupeļu ražu un kvalitāti.

Faktors A – šķirne. Izmēģinājumam izmantotas divas kartupeļu šķirnes: ‘Rigonda’, kas izvēlēta sava agrinuma dēļ (vidēji agra – veģetācijas periods 110 dienas), un ‘Jogla’ (vidēji vēla – veģetācijas periods aptuveni 120 dienas), kas izvēlēta sava augstā cietes satura dēļ. Abas šķirnes ir salīdzinoši jaunas, bet, pateicoties savām īpašībām, jau pierādījušas savu konkurētspēju Latvijas tirgū.

Faktors B – mēslojuma veids. Izmēģinājumā izmantoti divi mēslojuma veidi – cūku kūtsmēsļu digestāts (no SIA “Latvi Dan Agro”) un liellopu kūtsmēsļu digestāts (no SIA “Ziedi JP”) –, kurus dažādās attiecībās sajauc ar koksnes pelniem (no SIA “Fortum”, tagad – “Gren Jelgava”). Abiem kūtsmēsļu digestātiem, kā arī pelniem veica ķīmiskās analīzes, lai noskaidrotu slāpekļa, fosfora un kālija saturu tajos. Augsnē iestrādātie NPK daudzuma rādītāji ar tonnu attiecīgā mēslojuma apkopoti 1. tabulā.

1. tabula

Augsnē iestrādātais barības vielu daudzums

Mēslojuma veids	Ar tonnu kūtsmēsļu augsnē iestrādātais elementa daudzums, kg ha ⁻¹		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Cūku kūtsmēsļu digestāts	6.5	6.2	2.3
Liellopu kūtsmēsļu digestāts	5.4	3.6	5.7
Koksnes pelni	–	16.3	30.1

Faktors C – mēslojuma norma. Izmēģinājumā izmantotas divas cūku un liellopu kūtsmēsļu digestātu jauktā mēslojuma normas: 15 un 30 t ha⁻¹.

Faktors D – digestāta un pelnu attiecība. Izmēģinājumā izmantotas divas kūtsmēsļu digestāta un koksnes pelnu attiecības: 3:1 un 4:1. Iekārtots arī kontroles variants, kurā izmantots tikai kūtsmēsļu digestāts un pelni nav pievienoti.

Izmēģinājumā ierīkotie varianti. Kopumā izmēģinājumā ierīkoja 24 variantus, katrai kartupeļu šķirnei – 12 atšķirīgi mēslojuma varianti. Visi izmēģinājumā ierīkotie varianti apkopoti, 2. tabulā, kā arī uz ha iestrādātais barības elementu daudzums.

2. tabula

Izmēģinājuma varianti, to raksturojums

Varianta Nr. p.k.	Mēslojuma veids	Mēslojuma norma, t ha ⁻¹	Digestāta un pelnu attiecība maisījumā	Uz ha augsnē iestrādātā elementa daudzums, kg ha ⁻¹		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1.	Cūku kūtsmēsļu digestāts	15	1:0	98	93	35
2.			3:1	75	131	139
3.			4:1	80	128	125
4.		30	1:0	196	186	70
5.			3:1	150	262	278

6.			4:1	160	256	250
7.	Liellopu kūstmēslu digestāts	15	1:0	81	54	86
8.			3:1	61	101	177
9.			4:1	66	85	150
10.		30	1:0	162	108	172
11.			3:1	122	202	354
12.			4:1	132	170	300

Apskatot 2. tabulu, var redzēt, ka pelnu piejaukšana mēslojumam izmaina barības elementu devumu – kartupeļiem pievadītais slāpekļa daudzums samazinās, bet kālija un fosfora daudzums palielinās. Redzama arī diezgan loģiska likumsakarība, ka, divkāršojoties mēslojuma devai, divkāršojas arī pievadīto barības vielu daudzums.



1. att. Izmēģinājums ar kartupeļu šķirnēm ‘Jogla’ un ‘Rigonda’ 2021. gadā.

Kartupeļu raža

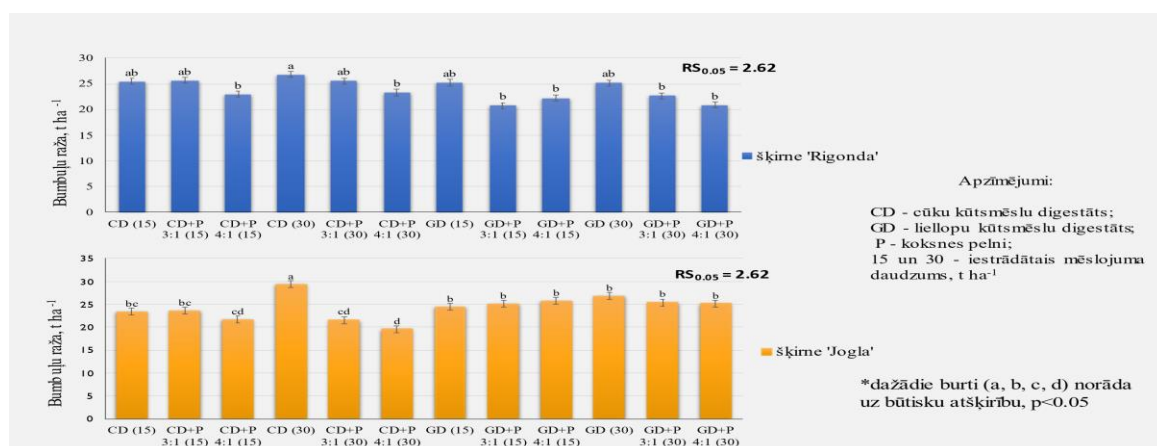
Raža izmēģinājumam novākta dalīti, ar nedēļas starpību. Tā kā šķirnei ‘Rigonda’ ir agrāks veģetācijas periods, tad tā gatavību sasniedza nedēļu ātrāk. Raža novākta un uzskaitē veikta 30. augustā un 6. septembrī.

Vidējā bumbuļu raža izmēģinājumā bija 24.07 t ha⁻¹. Starp šķirnēm izmēģinājumā būtiska atšķirība netika novērota ($p < 0.05$, $RS_{0.05} = 1.96$). Augstāko vidējo ražu ieguva no šķirnes ‘Jogla’ – 24.27 t ha⁻¹, bet vidējā bumbuļu raža šķirnei ‘Rigonda’ bija 23.86 t ha⁻¹ (3. tab.).

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz kartupeļu bumbuļu ražu

Šķirne (F _A)	Mēslojuma veids (F _B)	Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _C)	Digestāta un pelnu attiecība maisījumā (F _D)	Vidējā bumbuļu raža, t ha ⁻¹			
				(F _D) RS _{0.05} =2.62	(F _C) RS _{0.05} =2.70	(F _B) RS _{0.05} =2.38	(F _A) RS _{0.05} =1.96
‘Rigonda’	Cūku kūtsmēsļu digestāts	15	1:0	25.43bc	24.66	24.93	23.86
			3:1	25.63bc			
			4:1	22.92c			
		30	1:0	26.76b	25.19		
			3:1	25.54bc			
			4:1	23.28c			
	Lielopu kūtsmēsļu digestāts	15	1:0	25.20bc	22.71	22.78	
			3:1	20.73cd			
			4:1	22.19cd			
		30	1:0	25.11bc	22.85		
			3:1	22.64c			
			4:1	20.81cd			
‘Jogla’	Cūku kūtsmēsļu digestāts	15	1:0	23.38bc	22.85	23.16	24.27
			3:1	23.58bc			
			4:1	21.58cd			
		30	1:0	29.33a	23.48		
			3:1	21.53cd			
			4:1	19.58d			
	Lielopu kūtsmēsļu digestāts	15	1:0	24.38bc	25.02	25.38	
			3:1	25.03bc			
			4:1	25.65bc			
		30	1:0	26.72b	25.74		
			3:1	25.38bc			
			4:1	25.12bc			

Piezīme: dažādie burti (a, b, c, d) norāda uz būtisku atšķirību starp izmēģinājuma variantiem.



2. att. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz kartupeļu šķirņu bumbuļu ražu

Abām šķirnēm iegūtās ražas iekļaujas Latvijā veiktajos bioloģiskās sistēmas izmēģinājumos (izmantoji kūtsmēsli) noskaidrotajos ražības līmeņos, lai gan tās nebija

sasniegušas augstāko novēroto ražu līmeni (Piliksere, Jansone, Morozova, 2020; Skrabule, Mežaka, Venta, 2018).

Būtiska atšķirība starp mēslojuma veidiem izmēģinājumā nav novērota ($p < 0.05$, $RS_{0.05} = 2.38$). Izmantojot cūku kūtsmēsļu digestātu un koksnes pelnu maisījumus dažādās proporcijās, vidējā raža izmēģinājumā bija 24.04 t ha^{-1} , bet, izmantojot liellopu kūtsmēsļu digestātu un koksnes pelnu maisījumus, vidējā bumbuļu raža bija 24.08 t ha^{-1} . Liellopu kūtsmēsļu digestātu un koksnes pelnu maisījumu variantā konstatēja vērā ņemamu atšķirību starp abām izmēģinājuma šķirnēm: šķirnei 'Rigonda' bumbuļu raža bija 22.78 t ha^{-1} , bet šķirnei 'Jogla' – 25.38 t ha^{-1} (2. att.).

Būtiska atšķirība starp mēslojuma normām izmēģinājumā nav novērota ($p < 0.05$, $RS_{0.05} = 2.70$). Lielāka bumbuļu raža vidēji izmēģinājumā iegūta mēslojuma normai 30 t ha^{-1} , kas bija 24.32 t ha^{-1} , bet bumbuļu raža, lietojot 15 t ha^{-1} mēslojuma normu, bija 23.81 t ha^{-1} (ražas starpība 0.51 t ha^{-1}). Lielākā ražas atšķirība starp mēslojuma normām bija šķirnei 'Jogla' liellopu kūtsmēsļu digestātu un pelnu maisījumu variantos; starpība starp abām normām bija 0.72 t ha^{-1} .

Veicot dispersijas analīzi, noskaidrojās, ka starp digestātu un pelnu attiecību vidējām ražām ir būtiska atšķirība ($p < 0.001$, $RS_{0.05} = 2.62$). Robežstarpība pārsniegta un būtiska atšķirība novērota starp variantu, kur izmantots tikai kūtsmēsļu digestāts (izmēģinājumā vidējā bumbuļu raža bija 25.78 t ha^{-1} , un variantu, kur digestāts un pelni izmantoti attiecībā 4:1 (22.64 t ha^{-1}). Variantam, kur digestātu un pelnu attiecība bija 3:1, vidējā raža izmēģinājumā bija 23.76 t ha^{-1} . Pievienojot mēslojumam pelnus, raža samazinājās. To varētu skaidrot ar iestrādātā slāpekļa daudzuma samazinājumu, jo, veidojot maisījumus, pelni palielina pievadītā fosfora un kālija daudzumu, bet slāpekļa daudzums samazinās.

Būtiskākās atšķirības tika konstatētas, salīdzinot visus izmēģinājuma variantus, ņemot vērā visus četrus faktorus. 3. tabulā pie ražas vērtībām pievienotie burti norāda, kuras vērtības atšķiras būtiski un kuras – nebūtiski.



3. att. Novākta kartupeļu raža pa izmēģinājuma variantiem.

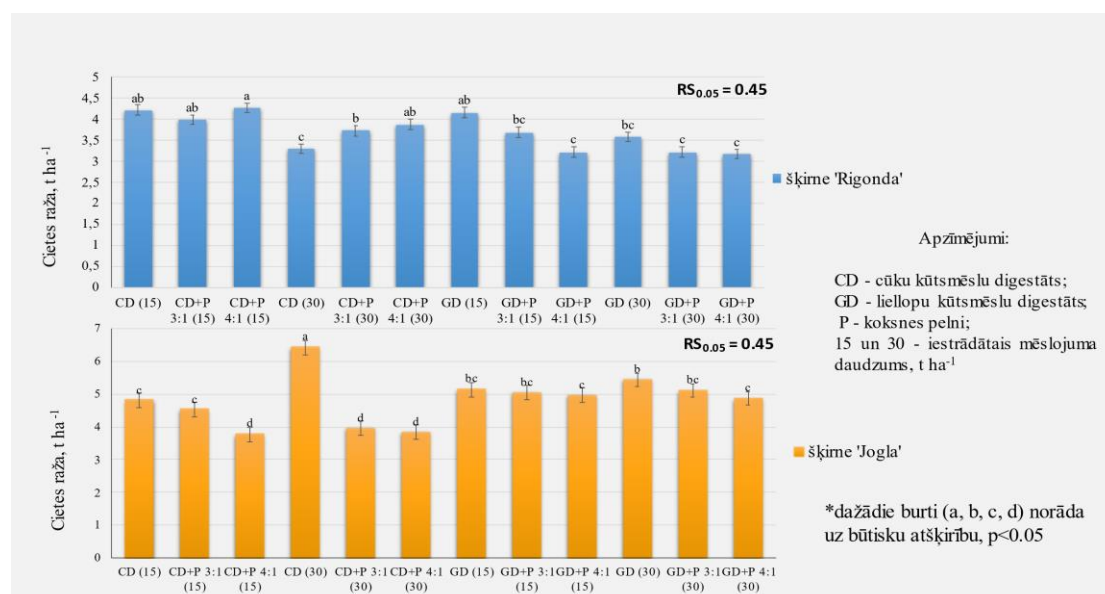
Lielāko ražas starpību (9.75 t ha^{-1}) konstatēja starp šķirnes 'Jogla' cūku kūtsmēsļu digestātā un pelnu maisījuma (attiecībā 4:1, norma 30 t ha^{-1}) mēslojumu, kas vienlaikus bija uzrādījis zemāko ražu izmēģinājumā (19.58 t ha^{-1}), un tās pašas šķirnes, veida un normas mēslojumu, tikai bez pelnu piejaukuma, kas vienlaicīgi bija uzrādījis augstāko ražu izmēģinājumā (29.33 t ha^{-1}). Lielākās bumbuļu ražas bija visiem mēslojuma variantiem, kuros netika izmantoti pelni.

Veicot uzskaiti bumbuļu sadalījumam pa frakcijām, netika novērota statistiski būtiska ($p < 0.05$) izmantotā mēslojuma vai šķirnes ietekme. Taču, novērtējot iegūtos skaitliskos rādītājus, redzams, ka lielo bumbuļu īpatsvars ir lielāks šķirnei 'Jogla' variantos, kur mēslojumam pievienoti pelni (lielo bumbuļu īpatsvars variē no 51.7% līdz 67.1%). Savukārt vislielākais mazo bumbuļu īpatsvars konstatēts šķirnei 'Rigonda' variantos, kur mēslošanai izmantots liellopu kūtsmēsļu digestāts (mazo kartupeļu īpatsvars variē no 14.5% līdz 20.7%).

Ciete ir kartupeļu galvenā sastāvdaļa. Kā otrs nozīmīgākais rādītājs tika analizēts cietes ievākums no ha. Diezgan kopsakarīgi, ka vislielāko cietes ražu nodrošināja mēslojuma varianti ar lielāku bumbuļu ražu vai augstāku cietes saturu.

Vidējā cietes raža izmēģinājumā bija 4.26 t ha^{-1} . Starp šķirnēm novēroja būtisku atšķirību ($p < 0.05$, $RS_{0.05} = 0.62$), jo bija pārsniegta robežstarpība. Augstāko vidējo cietes ražu ieguva no šķirnes 'Jogla' – 4.82 t ha^{-1} , bet vidējā cietes raža šķirnei 'Rigonda' bija 3.70 t ha^{-1} (3. att.), ko loģiski var izskaidrot ar katras šķirnes pamata izmantošanas veidu, t.i., 'Jogla' ir speciāli selekcionēta cietes ieguvei, tādēļ skaidrs, ka iegūtā cietes raža ir būtiski lielāka.

Būtiska atšķirība starp mēslojuma veidiem izmēģinājumā netika novērota ($p < 0.05$, $RS_{0.05} = 0.71$). Izmantojot cūku kūtsmēsļu digestātā un koksnes pelnu maisījumus dažādās proporcijās, vidējā cietes raža izmēģinājumā bija 4.22 t ha^{-1} , bet, izmantojot liellopu kūtsmēsļu digestātā un koksnes pelnu maisījumus, vidējā bumbuļu raža bija 4.30 t ha^{-1} .



Piezīme: dažādie burti (a, b, c, d, e, f) norāda uz būtisku atšķirību starp izmēģinājuma variantiem.

4. att. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz cietes ieguvei, t ha^{-1} .

Vērā ņemama atšķirība novērota liellopu kūtsmēslu digestāta un koksnes pelnu maisījuma variantā starp abām izmēģinājuma šķirnēm: šķirnei 'Rigonda' iegūta 3.50 t ha⁻¹ cietes raža un šķirnei 'Jogla' – 5.09 t ha⁻¹ cietes (4.att.).

Cietes ražai nenovēroja būtisku atšķirību starp mēslojuma normām ($p < 0.05$, $RS_{0.05} = 0.63$). Augstāko cietes ražu, 4.31 t ha⁻¹, izmēģinājumā deva mēslojuma norma 30 t ha⁻¹, bet 15 t ha⁻¹ mēslojuma norma deva 4.20 t ha⁻¹ cietes ražu (ražas starpība 0.11 t ha⁻¹). Lielākā cietes ražas atšķirība starp mēslojuma normām bija šķirnei 'Rigonda' cūku kūtsmēslu digestāta un pelnu maisījuma variantos, kur starpība starp abām normām bija 0.53 t ha⁻¹.

Veicot dispersijas analīzi, noskaidrojās, ka starp digestāta un pelnu attiecību vidējām ražām pastāv būtiska atšķirība ($p < 0.05$, $RS_{0.05} = 0.45$). Robežstarpību pārsniedza un būtisku atšķirību novēroja starp variantu, kur izmantots tikai kūtsmēslu digestāts (vidējā cietes raža 4.62 t ha⁻¹), un variantu, kur digestāts un pelni izmantoti proporcijā 4:1 (3.97 t ha⁻¹). Variantam, kur digestāta un pelnu attiecība bija 3:1, vidējā cietes raža izmēģinājumā bija 4.06 t ha⁻¹. Šeit novērojama tāda pati tendence kā bumbuļu ražai – pievienojot mēslojumam pelnus, iegūtā cietes raža samazinās.

Būtiskākās atšķirības novēroja, salīdzinot katru izmēģinājuma variantu, ņemot vērā visus četrus faktoros. 3.2. tabulā pie ražas vērtībām pievienotie burti norāda, kuras vērtības atšķiras būtiski un kuras – nebūtiski. Lielākā cietes ražas starpība (3.25 t ha⁻¹) bija starp šķirnes 'Jogla' cūku kūtsmēslu digestāta un pelnu maisījuma (attiecībā 1:0, norma 30 t ha⁻¹) mēslojumu, kas vienlaikus uzrādīja augstāko cietes ražu izmēģinājumā (6.42 t ha⁻¹), un šķirnes 'Rigonda' liellopu kūtsmēslu digestātu (attiecībā 4:1, norma 30 t ha⁻¹), kas vienlaicīgi uzrādīj zemāko cietes ražu izmēģinājumā (3.17 t ha⁻¹).

3. Kartupeļu ražas kvalitāte

Tika analizēti ražas kvalitātes rādītāji: sausas saturs, cietes saturs (dabīgi mitrā produktā un sausnā), kā arī kopproteīna, tauku, koppelnu, fosfora un kālija saturš.

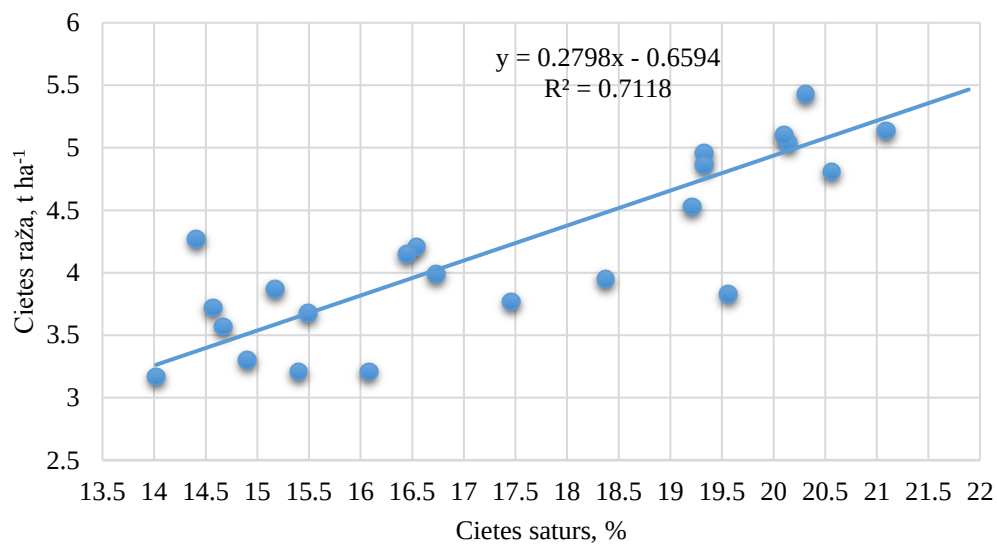
Sausas saturš ir ekoloģiski noturīgākais rādītājs kartupeļu bumbuļos. Sausas daudzums ietekmē bumbuļu kulinārās īpašības – bumbuļi ar zemu (<20%) sausas saturu ātrāk izšķīst vārīšanas laikā, savukārt bumbuļi ar augstāku sausas saturu ir blīvāki, mazāk pakļauti mehāniskiem bojājumiem, un tos ir ērtāk izmantot pārstrādei.

Šķirnei 'Jogla' labākie rezultāti bija kontroles variantā, kur tika izmantots cūku un liellopu kūtsmēslu digestāts (bez pelniem), sasniedzot 26.0–27.5% sausas saturu/

Mēslojuma maisījumu pielietošana samazināja sausas saturu par 1.0–3.0%, sasniedzot vidēji 25.0%. Šķirnei 'Rigonda' novēroja pretēju tendenci – pelnu pievienošana mēslojuma maisījumam palielināja sausas saturu vidēji par 1.4–2.0%. Izmēģinājumā lielākie sausas saturi tika konstatēti šķirnei 'Jogla' cūku kūtsmēslu digestāta (norma 30 t ha⁻¹) un liellopu kūtsmēslu digestāta (norma 15 t ha⁻¹) variantos: attiecīgi 27.52% un 26.75%.

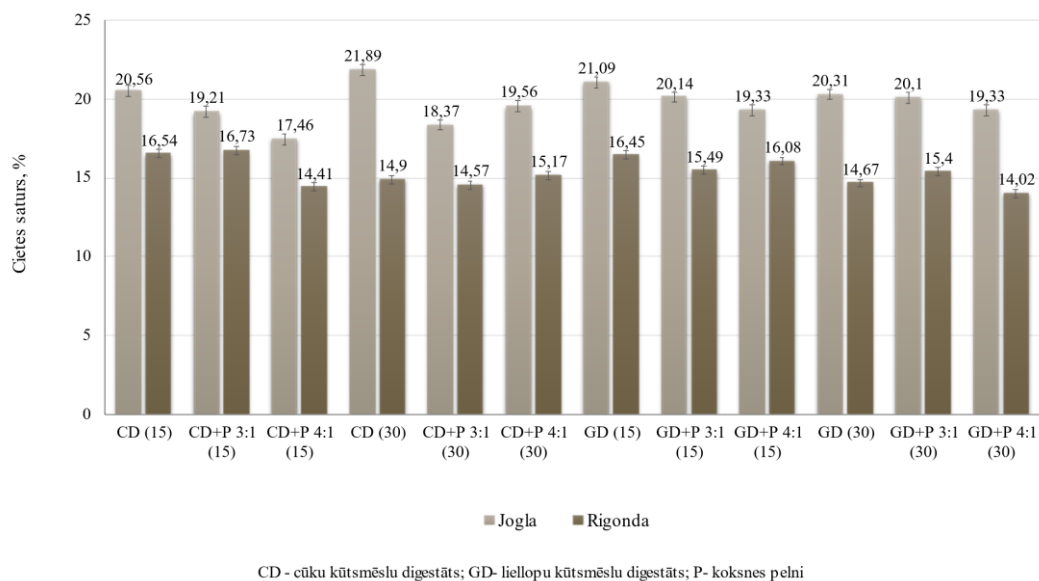
Veicot datu matemātisko apstrādi (dispersijas analīzi), noskaidrojās, ka mēslojuma variantiem nav būtiskas ($p < 0.05$) ietekmes uz kartupeļu bumbuļu sausas saturu, bet izmantotajai kartupeļu šķirnei ir būtiska ietekme ($p < 0.05$) uz sausas saturu.

Bumbuļu cietes saturš tieši ietekmē cietes ražu. Izmēģinājumā iegūtai cietes ražai un bumbuļu cietes saturam veica regresijas un korelācijas analīzi (5. att.).



5. att. Sakarība starp cietes saturu kartupeļu bumbuļos un iegūto cietes ražu ($p < 0.05$).

Cietes ražai novēroja būtisku, ciešu korelāciju ar bumbuļu ražu ($r = 0.843$, $n = 24$). Tika iegūta lineāra sakarība – kartupeļu bumbuļu cietes saturam palielinoties par 1%, iegūtā cietes raža palielinājās par 0.28 t ha^{-1} . Determinācijas koeficients 0.71 rāda, ka šī sakarība novērotu 71% gadījumu.



6. att. Cietes saturs kartupeļu bumbuļos atkarībā no šķirnes un pielietotā mēslojuma varianta, %.

Augstākais cietes saturs bija šķirnei 'Jogla' (tā paredzēta cietes ieguvei) – starp izmēģinājuma variantiem tas svārstījās no 17.46% līdz pat 21.89% (augsts cietes saturs). Šķirnei 'Rigonda' bumbuļu cietes saturs bija būtiski ($p < 0.05$) zemāks un svārstījās no 14.02% līdz 16.73%, kas atbilst vidējam cietes satura līmenim. Izmēģinājumā netika novērota būtiska mēslojuma ietekme uz bumbuļu cietes saturu (6. att).

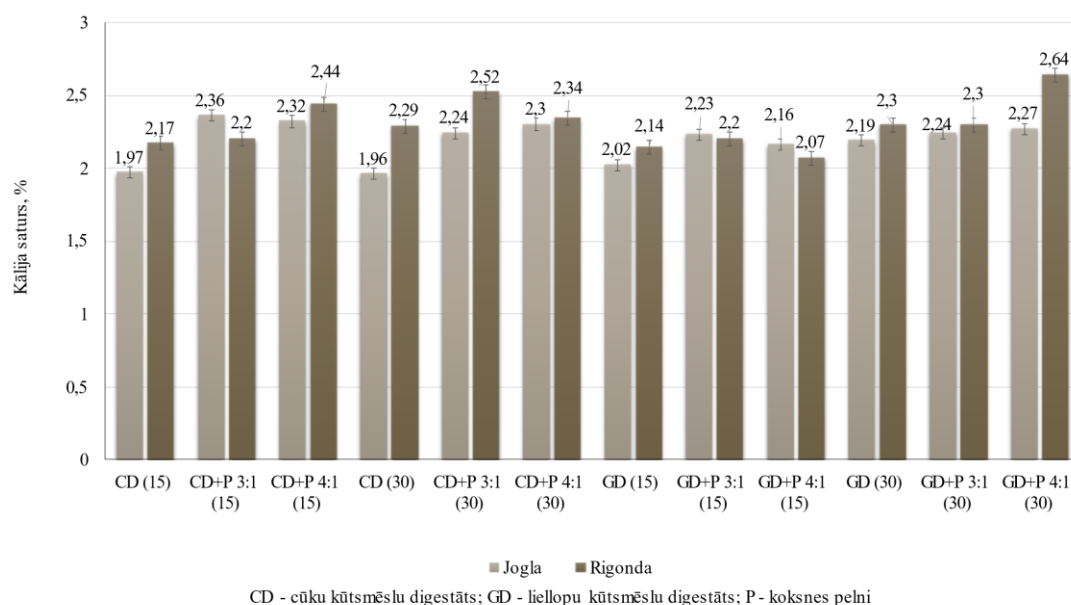
Olbaltumvielas ir otrā galvenā sausnas sastāvdaļa kartupeļu bumbuļos. Kopproteīna saturs, līdzīgi sausnas saturam, ir ekoloģiski noturīgs rādītājs kartupeļu bumbuļos, jo nosaka kartupeļu uzturvērtību. Pētāmajos variantos kopproteīna saturs kartupeļu sausnā bija 6.71–10.91%

Līdzīgi kā pārējiem kvalitātes rādītājiem, arī kopproteīna saturu būtiski neietekmēja ($p < 0.05$) mēslojuma variants, veids, norma un digestāta un pelnu attiecība; būtiska ietekme uz kopproteīna saturu bija izvēlētajai šķirnei. Augstāks kopproteīna saturs bija raksturīgs šķirnei ‘Rigonda’ (2.6. att.), un vidēji izmēģinājumā tas sasniedza 9.88%, kamēr šķirnei ‘Jogla’ tas vidēji bija 8.86%. Salīdzinot visus mēslojuma variantus, netika konstatēta kāda noteikta mēslojuma ietekme uz kopproteīna izmaiņām kartupeļu bumbuļos.

Būtisks kvalitātes rādītājs ir koppelnu saturs, kas norāda uz kopējo minerālvielu daudzumu kartupeļu bumbuļos. Parasti pelnu vērtība ir diapazonā no 0.03% līdz 0.07% no kopējās masas. Vidēji izmēģinājumā iegūtais koppelnu saturs kartupeļu bumbuļu sausnā bija 5.9%. Visos pētāmajos variantos tā saturs kartupeļu sausnā izmainījās 4.45–8.5% robežās (3.6. att.).

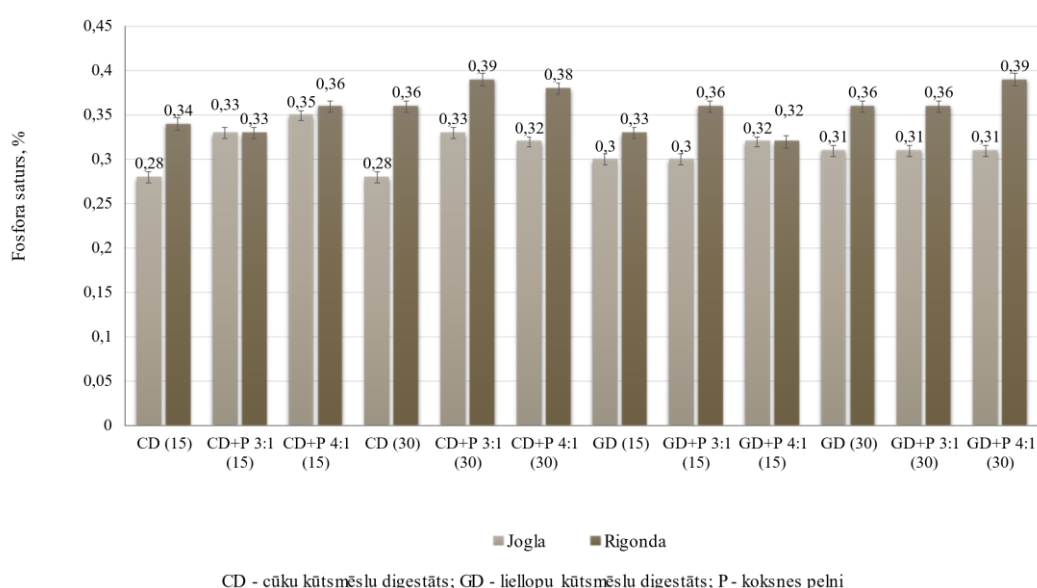
Līdzīgi kā pārējiem kvalitātes rādītājiem, arī koppelnu saturu būtiski neietekmēja ($p < 0.05$) izmantotais mēslojuma variants, veids, norma un digestāta un pelnu attiecība; būtiska ietekme uz koppelnu saturu bija kartupeļu šķirnei. Augstāks koppelnu saturs bija raksturīgs šķirnei ‘Rigonda’, vidēji izmēģinājumā sasniedzot 6.64%, kamēr šķirnei ‘Jogla’ koppelnu saturs kartupeļos vidēji bija 5.15%. Salīdzinot visus mēslojuma variantus, netika novērota kāda noteikta mēslojuma ietekme uz kopproteīna izmaiņām kartupeļu bumbuļos. Šķirnei ‘Jogla’ augstāko koppelnu saturu konstatēja variantos, kuros mēslojumam izmantoja maisījumus ar pelniem. Pievienojot mēslojumam pelnus, palielinās pievadītā fosfora daudzums, kas tieši ietekmē koppelnu saturu.

Koppelni sevī ietver tādus elementus kā kālijs un fosfors. Šajā pētījumā kartupeļu bumbuļos lielākos daudzumos tika konstatēts kālijs (7. att.).



7. att. Kālija saturs kartupeļu bumbuļos atkarībā no šķirnes un pielietotā mēslojuma variantā, %.

Vidējais kālija saturs bumbuļos izmēģinājumā bija 2.24%, bet vidējais fosfora saturs – 0.33%. Veicot dispersijas analīzi, tika noskaidrots, ka mēslojuma variantiem nav būtiskas ($p < 0.05$) ietekmes uz fosfora un kālija saturu kartupeļu bumbuļos. Bet, datus vērtējot vizuāli, redzams, ka fosfora un kālija saturs ir lielāks variantos, kur izmantoti mēslojuma maisījumi ar pelniem. To var izskaidrot ar lielāku iestrādāto fosfora un kālija daudzumu šajos variantos. Labākos rezultātus uzrādīja varianti, kur digestāta un pelnu maisījuma attiecība bija 3:1, jo tajos bija iestrādāts lielāks daudzums, koksnes pelnu. Kālija saturs izmēģinājumā svārstījās no 1.96% līdz 2.64% (2.8. att.): šķirnei ‘Rigonda’ – vidēji 2.3%, un šķirnei ‘Jogla’ – vidēji 2.18%. Kontroles variantos kālija saturs bija robežās no 1.96% līdz 2.13%, savukārt mēslojumu maisījumu variantos, kur izmantoti pelni, tas svārstījās no 2.07% līdz 2.64%.



8. att. Fosfora saturs kartupeļu bumbuļos atkarībā no šķirnes un pielietotā mēslojuma varianta, %.

Fosfora saturs, līdzīgi kālija saturam, šķirnei ‘Rigonda’ bija 0.36%, bet šķirnei ‘Jogla’ – 0.31%. Kontroles variantos fosfora vērtības svārstījās 0.28–0.36% robežās, bet mēslojumu maisījumu variantos ar pelniem tas bija robežās no 0.3% līdz 0.39% (8. att.).

Šī izmēģinājuma rezultāti apstiprināja vairākos citu autoru digestāta un pelnu izmēģinājumos izdarītos secinājumus, ka digestātam un pelniem ir labvēlīga ietekme uz kultūraugu ķīmisko sastāvu (Van Geel, Haan, Versteegen, 2010; Koszel, Lorencowicz, 2015; Rahman, Kader, Moslehuddin, 2016). Izmantojot mēslojuma maisījumus ar pelniem, kālija un fosfora saturs sausnā palielinājās par 0.02–0.08%.

SECINĀJUMI

1. Izmantojot cūku kūtsmēslu digestāta un koksnes pelnu maisījumus dažādās attiecībās, vidējā bumbuļu raža izmēģinājumā bija 24.08 t ha⁻¹, bet, izmantojot liellopu kūtsmēslu

- digestāta un koksnes pelnu maisījumus, vidējā raža bija 24.04 t ha⁻¹. Šķirne 'Jogla' izmēģinājumā deva vidēji 24.27 t ha⁻¹ bumbuļu ražu, bet šķirnes 'Rigonda' vidējā bumbuļu raža bija 23.86 t ha⁻¹.
2. Vidējā cietes raža izmēģinājumā šķirnei 'Jogla' bija 4.82 t ha⁻¹ un šķirnei 'Rigonda' – 3.70 t ha⁻¹. Cūku kūtsmēslu digestāta un koksnes pelnu mēslojuma variantos vidējā cietes raža bija 4.22 t ha⁻¹; izmantojot liellopu kūtsmēslu digestāta un koksnes pelnu maisījumus, vidējā bumbuļu raža bija 4.30 t ha⁻¹.
 3. Lielāko cietes ražu, 6.42 t ha⁻¹, nodrošināja cūku kūtsmēslu digestāta variants, kur mēslojuma norma bija 30 t ha⁻¹. Izmantojot cūku kūtsmēslu digestāta un koksnes pelnu maisījumus dažādās attiecībās, cietes ievākums vidēji bija 4.55 t ha⁻¹, bet, izmantojot liellopu kūtsmēslu digestāta un koksnes pelnu maisījumus, vidējā cietes raža sasniedza 5.09 t ha⁻¹.
 4. Pēc iegūtajiem ražas rādītājiem var secināt, ka, salīdzinot ar variantiem, kur mēslojumam izmantots tikai digestāts, pelnu pievienošana samazināja gan iegūto bumbuļu, gan cietes ražu.
 5. Atšķirības tika novērotas arī kartupeļu bumbuļu ķīmiskajā sastāvā, taču tām nebija vienas noteiktas tendences, katrs mēslojuma variants izmainīja ķīmisko sastāvu citādāk. Augstāko kopproteīna saturu uzrādīja šķirne 'Jogla' variantā, kur izmantots cūku kūtsmēslu digestāta un pelnu maisījums attiecībā 4:1 ar normu 15 t ha⁻¹, kas veido 10.91%. Šajā variantā arī kālija un fosfora saturs bija augstāks.
 6. Šķirnei 'Jogla', izmantojot tikai kūtsmēslu digestātu (bez pelniem), sausas saturs bija robežās no 26.0% līdz 27.5%. Mēslojuma maisījumam pievienojot pelnus, sausas saturs samazinājās par 1.0–3.0% un sasniedza vidēji 25.0%. Šķirnei 'Rigonda' pelnu pievienošana mēslojuma maisījumam palielināja sausas saturu vidēji par 1.4–2.0%.

3.8. Pētījuma rezultāti izmēģinājumā ar ziemas ķiplokiem

Ķiploki (*Allium sativum* L.) ir plaši izplatīts kultūraugs un viens no senākiem kultivētajiem dārzeņiem. Ķiploku auga ēdamā daļa ir ķiploka daiviņas. Galvenā ķiploku kvalitātes īpašība ir tā daiviņu specifiskā smarža un garša. Ķiploki satur antibiotikas, fermentus, aminoskābes un mikroelementus. Tos ēd svaigā veidā vai pievieno ēdienam kā garšas uzlabotāju.

Pētījuma mērķis bija noteikt dažādu digestātu un koksnes pelnu maisījumu mēslojuma normu ietekmi uz ziemas ķiploku produktivitāti un ražas kvalitāti.

Materiāli un metodes

Lauka izmēģinājumus ar ziemas ķiploku šķirni 'Lubaša' ierīkoja divās veģetācijas sezonās – 2020./2021. gadā un 2021./2022. gadā – virsēji velēnglejtā, smilšmāla augsnē (56°66' N, 23°75' A) LBTU LF Dārzkopības un biškopības laboratorijas izmēģinājumu laukā. Augsnes agroķīmiskie rādītāji: pH_{KCl} 6.7, organiskās vielas saturs – 3.8 %, fosfora (P₂O₅) saturs – 199 mg kg⁻¹, kālija (K₂O) saturs – 97 mg kg⁻¹ augsnēs. Stādījumā tika izmantoti dažādu maisījumu mēslojuma varianti ar cūku kūtsmēslu (no SIA "Latvi Dan Agro"), liellopu kūtsmēslu (no SIA "Ziedi JP") un augu atlieku (no ZS "Līgo") digestātiem un koksnes pelniem (no SIA "Gren Jelgava"). Izmantojot šīs sastāvdaļas, tika sagatavoti

attiecīgo variantu maisījumi LBTU Biogāzes zinātniskajā laboratorijā. Digestāta un koksnes pelnu attiecība maisījumos bija 3:1; mēslojuma normas ziemas ķiplokiem bija 15 un 30 t ha⁻¹. Mēslojuma varianti parādīti 1. tabulā. Par kontroles variantu tika izmantoti nemēsloti ziemas ķiploku stādījumi. Priekšaugi – melna papuve; ziemas ķiploku daivu stādīšanas norma – 16 gab. uz m² jeb 1.6 t ha⁻¹. Mēslojuma iestrādi augsnē un ķiploku stādīšanu un kopšanu pēc vajadzības veica ar rokām.



1. att. Izmēģinājumu ierīkošana LBTU LF Dārzkopības un biškopības laboratorijas izmēģinājumu laukā.

Ražas uzskaitē lauciņu platība atkārtojumā bija 2 m². Variantu izvietojums izmēģinājumā bija randomizēts, trīs atkārtojumos.



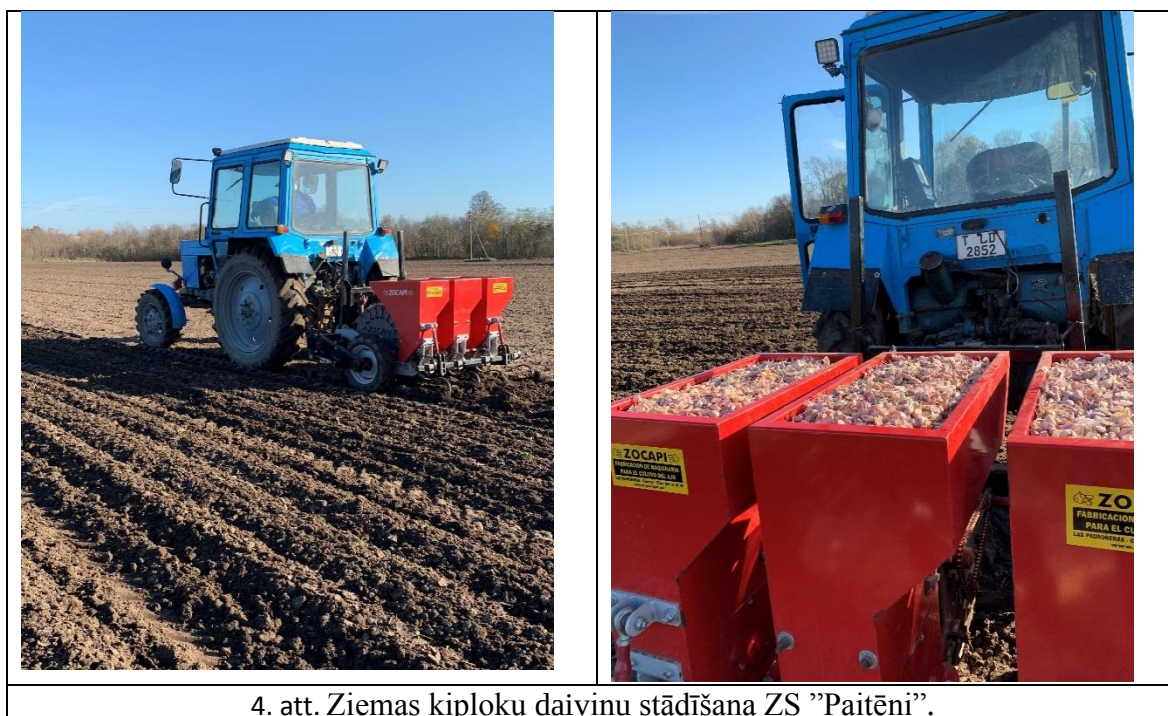
2. att. Eksperimentā novāktās ražas sagatavošana analīzēm.

Lauka izmēģinājumus ar ziemas ķiploku šķirni 'Lubaša' ierīkoja smilts augsnē ZS "Paitēni" 2021./2022. gadā. Augsnes agroķīmiskie rādītāji: pH_{KCl} 7.6, organiskās vielas saturs – 3.0 %, fosfora (P_2O_5) saturs – 184 mg kg^{-1} , kālija (K_2O) saturs – 162 mg kg^{-1} augsnes.



3. att. Izmēģinājumu lauciņu sagatavošana ziemas ķiploku stādīšanai ZS "Paitēni".

Pētījuma varianti tie paši; priekšsugs – vasaras kvieši. Ziemas ķiploku daiviņu stādīšanas norma bija 1.0 t ha^{-1} . Stādīšanu veica mehānizēti ar "Zocapi PMZ3" mehānisko ķiploku stādītāju trīsriindu dobēs 7–9 cm dziļumā ar 45 cm rindu atstarpi. Ražas uzskaitē lauciņu platība atkārtojumā bija 7 m^2 . Variantu izvietojums izmēģinājumā bija randomizēts, trīs atkārtojumos.



4. att. Ziemas ķiploku daiviņu stādīšana ZS "Paitēni".

Ziemas ķiplokiem veģetācijas periodā reģistrēja attīstības dinamiku, veica ražas uzskaiti, kā arī novērtēja ķiploku sīpolu kvalitāti: sausas, kopproteīna, sēra, fosfora, kālija un reducējošo cukuru saturu sausos ķiploku sīpolos.

Ražas kvalitātes noteikšanai no katra varianta atkārtojuma tika atlasīti trīs vidēji lieli ķiploku sīpoli, kurus salika kopā, visam variantam veidojot kopēju paraugu. Kvalitatīvos rādītājus noteica Latvijas Biozinātņu un tehnoloģijas universitātes Biotehnoloģiju zinātniskajā laboratorijā. Paraugus sagatavoja ķīmiskām analīzēm saskaņā ar LVS EN ISO 6498:2012 metodi.

Sausas saturu noteica, izmantojot gravimetrisko ISO 6496:1999 analīzi, kopproteīna daudzumu – ar Kjeldāla metodi (LVS EN ISO 5983-2:2009), fosfora saturu paraugos – ar hinolīna fosfomolibdāta gravimetrisko ISO 6491:1998 analīzi, kālija saturu – ar liesmas emisijas spektrometriju (LVS EN ISO 6869:2002), un sēra saturu – ar “CS-500” analizatora metodi.

Datu apstrāde veikta ar “Microsoft Excel” datorprogrammu, izmantojot divfaktoru dispersijas analīzi (ANOVA).

Meteoroloģiskie apstākļi salīdzinājumā ar ilggadējiem rādītājiem pētījuma gados daudz neatšķīrās no normas. Tie bija labvēlīgi kultūraugu, tajā skaitā arī ķiploku, audzēšanai. 2021. gadā netipiski silts bija jūnijs un jūlijs, kad vidējā diennakts temperatūra bija augstāka, nekā ierasts. Nokrišņu daudzums visos ziemas ķiploku veģetācijas periodos, izņemot maiju, bija ievērojami mazāks par normu, kas daļēji ietekmēja ražas apjomu un kvalitāti.

Rezultāti

Pētījumā mēslojuma veidi atšķirīgi ietekmēja ziemas ķiploku ražu, un atkarībā no mēslojuma veida tā svārstījās no 8.92 līdz 9.15 t ha⁻¹ (1. tab.). Dažādu digestātu veidu, kā arī to maisījumu ar koksnes pelniem izmantošana nodrošināja būtisku (p<0.05) ziemas ķiploku sīpolu ražas pieaugumu – vidēji par 0.71– 0.94 t ha⁻¹ salīdzinājumā ar kontroli.

1. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas ķiploku šķirnes ‘Ļubaša’ sīpolu ražu (vidēji divos gados, 2021.–2022. g.)

Mēslojuma veids (F _A)	Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _B)	Digestāta un pelnu attiecība maisījumā, (F _C)	Vidējā ziemas ķiploku sīpolu raža, t ha ⁻¹		
			(F _C)	(F _B)	(F _A)
			RS _{0.05} =0.30	RS _{0.05} =0.30	RS _{0.05} =0.36
Kontrole			8.21	-	-
Zirgu mēslu komposts – 30 t ha ⁻¹			9.35	-	-
Minerālmēslojums “Classic” 12-8-16 (+3+TE) – 500 kg ha ⁻¹			8.58	-	-
Liellopu	15	1 : 0	9.10	9.20	9.08
		3 : 1	9.29		
	30	1 : 0	9.31	8.96	

kūtsmēslu digestāts		3 : 1	8.62		
Cūku kūtsmēslu digestāts	15	1 : 0	8.98	8.82	8.92
		3 : 1	8.66		
	30	1 : 0	9.18	9.02	
		3 : 1	8.87		
Augu atlieku digestāts	15	1 : 0	9.35	9.23	9.15
		3 : 1	9.11		
	30	1 : 0	9.00	9.07	
		3 : 1	9.13		

Daļēji nebūtiski augstāku ražu ieguvī nodrošināja augu atlieku digestāta un koksnes pelnu maisījumu, kā arī zirgu mēslu komposta izmantošana.

Visu digestātu veidi un to maisījumi ar koksnes pelniem, kā arī mēslojuma normas būtiski neietekmēja ķiploku ražu starpību starp variantiem. Iegūtās ķiploku ražas bija pietiekami augstas. Varēja novērot tikai nelielas izmaiņu tendences starp pētījumu variantiem. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu lietošana neitrālās augsnes dažreiz var arī negatīvi ietekmēt ražas lielumu, jo augsne var kļūt sārmaina. Mūsu pētījumi ar tīrumu kultūraugiem parādīja, ka šo maisījumu pielietošana skābās un vidēji skābās augsnes nodrošina ievērojami labāku ietekmi uz ražu.

Zirgu kūtsmēslu komposta izmantošana nodrošināja vidēji divos gados augstākās ražas – 9.35 t ha⁻¹ – ieguvī. Mēslošanas režīms un augsnes īpašības var būtiski ietekmēt kvalitātes rādītājus, piemēram, minerālvielu sastāvu, sausnu, olbaltumvielu saturu un sastāvu. Ķiploku minerālvielu analīzes rādītāji apkopoti 2. tabulā. Rezultāti liecina par augstām sausnas, kopproteīna, sēra, fosfora, kālija un reducējošo cukuru vērtībām.

2. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas ķiploku šķirnes ‘Ļubaša’ sīpolu ražas kvalitāti (vidēji divos gados, 2021.–2022. g.)

Mēslojuma veids (F _A)	Mēslojuma norma(F _B), digestāta un pelnu attiecība maisījumā, t ha ⁻¹ (F _C)	Vidējais saturs dabīgā produktā, %				
		kopproteīns	sērs	fosfors	kālijs	reducējošie cukuri
Kontrole		8.84	0.98	0.51	1.17	0.40
Zirgu mēslu komposts – 30 t ha ⁻¹		9.35	0.98	0.54	1.28	0.55
Minerālmēslojums “NovaTec Classic” 12-8-16 (+3+TE) – 500 kg ha ⁻¹		8.90	0.87	0.51	1.23	0.57
Liellopu mēslu digestāts	15; D/P* 1:0	9.11	0.99	0.50	1.21	0.53
	15; D/P 3:1	9.05	0.89	0.50	1.19	0.67
	30; D/P 1:0	9.49	0.90	0.51	1.19	0.56

	30; D/P 3:1	9.09	0.90	0.56	1.30	0.66
	Vidēji	9.19	0.92	0.52	1.22	0.61
Cūku mēslu digestāts	15 ; D/P 1:0	9.21	0.90	0.51	1.25	0.65
	15; D/P 3:1	9.01	0.94	0.52	1.35	0.64
	30; D/P 1:0	9.56	0.89	0.53	1.22	0.64
	30; D/P 3:1	8.93	0.84	0.50	1.39	0.67
	Vidēji	9.18	0.89	0.52	1.30	0.65
Augu atlieku digestāts	15; D/P 1:0	9.97	0.98	0.55	1.33	0.57
	15; D/P 3:1	9.08	0.98	0.50	1.23	0.65
	30; D/P 1:0	9.49	1.01	0.55	1.23	0.61
	30; D/P 3:1	9.85	1.01	0.57	1.30	0.70
	Vidēji	9.60	1.00	0.54	1.27	0.63

D/P* – digestāta un pelnu attiecība maisījumā.

Sausnas saturs ziemas ķiploku sīpolos bija 35.4–39.1% robežās. Sausna ir arī svarīgs kvalitātes rādītājs – jo augstāks tās saturs, jo ķiploki mazāk pakļauti mehāniskiem bojājumiem un labāk uzglabājas ziemas periodā.

Mēslojuma maisījumu normas būtiski neietekmēja kopproteīna satura izmaiņas ķiplokos – pētāmo variantu kopsausnā tas svārstījās 6.1–7.8% robežās (2. tab.). Kopproteīna saturam kopsausnā bija būtiska ($p < 0.05$) korelācija ar ražu ($r = 0.63$) un fosfora saturu sausnā ($r = 0.68$).

Mūsu pētījumā sēra saturs kopsausnā veidoja 0.28–0.70% atkarībā no mēslojuma normas un veida. Veselībai vērtīgās ķiploku īpašības ir saistītas ar to ķīmisko sastāvu. Ķiploku ķīmisko sastāvu būtiski ietekmē šķirne, augšanas apstākļi un agrotehnoloģija. Garšas un diētisko īpašību ziņā ķiploki ir viens no vērtīgākajiem dārzeņu kultūraugiem. Ķiplokiem ir augstāka uzturvērtība salīdzinājumā ar citām sīpolu sugām – tie satur lielu daudzumu ogļhidrātu, olbaltumvielu, vitamīnu, īpaši C, B1, B2, B6, PP, ķiploku antibiotikas (Block, 2009; Koshevaro et al., 2012).

Ziemas ķiplokiem ir vajadzīgas augsnes ar pieejamām barības vielu formām, tie pozitīvi reaģē uz viegli šķīstošiem mēslošanas līdzekļiem. Pareiza mēslošanas līdzekļu lietošana paaugstina produktu komerciālo kvalitāti, agrīnu nogatavošanos, kā arī veicina sausnas, vitamīnu, cukuru un barības vielu uzkrāšanos.

Ķiplokiem ir augsts cukura saturs salīdzinājumā ar citiem dārzeņu kultūraugiem un liela cukura daudzuma klātbūtne garšā nav jūtama, jo sīpolos ir ēteriskās eļļas. Cukura daudzums ķiploku eksperimentālajos paraugos bija 0.53–0.70% robežās. Lietojot dažādos mēslojuma veidus, cukuru daudzums ķiploku sīpolos ievērojami palielinājās – par 0.13–0.3% salīdzinājumā ar kontroli.

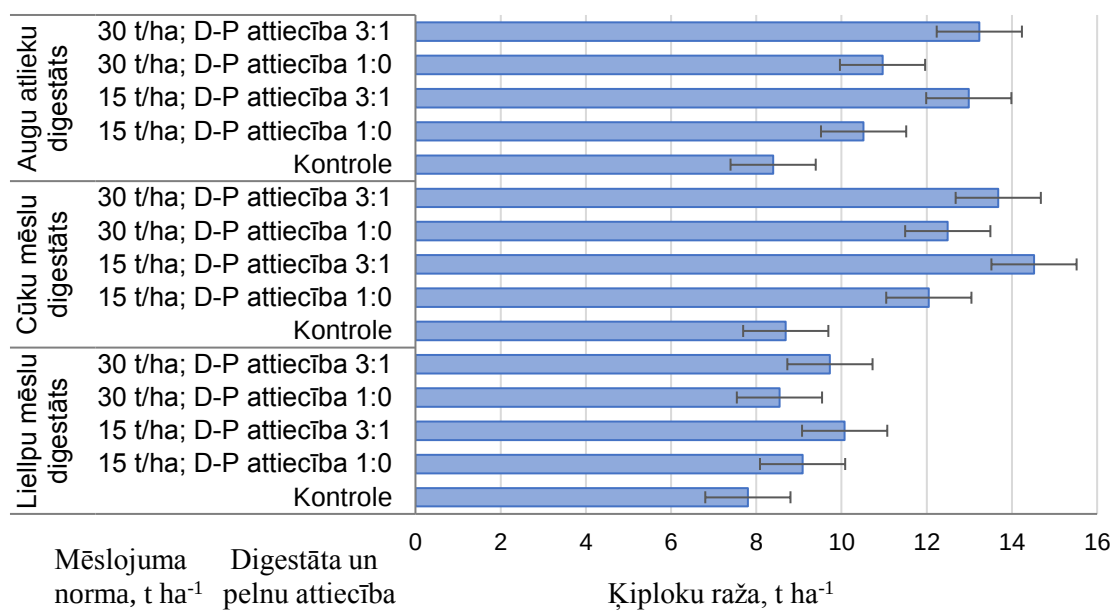


5. att. Lauka izmēģinājumi ar ziemas ķiplokiem LF 2020./2021. un 2021./2022. gadā.

Plašos lauka izmēģinājumos, kas tika veikti ZS “Paitēni”, lietojot jauno inovatīvo mēslojumu, visiem mēslojuma veidiem, normām un proporciju variantiem ieguva būtiski augstākas ziemas ķiploku sīpolu ražas salīdzinājumā ar kontroles variantiem. Tika konstatēts, ka digestāta un pelnu attiecībai mēslojumā ir būtiska ($p < 0.05$) ietekme uz ķiploku ražu; tās faktora ietekmes īpatsvars (21.3%) bija augsts. Visiem digestāta veidiem – liellopu kūtsmēsli, cūku kūtsmēsli un augu atlieku –, kā arī abām lietotajām mēslojuma normām (15 un 30 t ha⁻¹) augstākās ķiploku ražas ieguva variantos, kur tika izmantots digestāta-pelnu maisījums proporcijā 3:1.

Visaugstākais faktora ietekmes īpatsvars uz ķiploku ražu tika konstatēts mēslojuma veida faktoram (69.7%). Analizējot digestāta veida ietekmi uz ķiploku ražu, konstatēts, ka augstāku ķiploku sīpolu ražu (vidēji 13.19 t ha⁻¹) ieguvi nodrošināja visi cūku kūtsmēsli digestāta un pelnu maisījumu varianti, bet zemākās ražas (vidēji 9.36 t ha⁻¹) bija liellopu kūtsmēsli digestātu variantos (6. att.). Iespējams, ka šos rezultātus ietekmēja arī kādi citi, nepētīti faktori.

Lietotā mēslojuma normas palielināšanas ietekme nebija viennozīmīga. Lietojot liellopu un cūku kūtsmēsli digestātu, tika novērota tendence iegūt augstāku ķiploku ražu ar mazākām (15 t ha⁻¹) mēslojuma normām. Tomēr ražas starpība bija būtiska tikai liellopu kūtsmēsli digestātam. Lietojot augu atlieku digestātu, novēroja pretēju tendenci, t.i., augstākas ķiploku ražas ieguva, izmantojot lielāku (30 t ha⁻¹) mēslojuma normu. Šis eksperiments ļoti pārliecinoši parādīja jaunā augsnes auglības uzlabošanas līdzekļa efektivitāti vieglās augsnēs.



6. att. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas ķiploku sīpolu ražu, t ha⁻¹ (ZS “Paitēni”).



7. att. Lauka izmēģinājumi ar ziemas ķiplokiem ZS “Paitēni” 2021./2022. gadā.

Secinājumi

Pētījuma rezultāti parādīja, ka, izmantojot digestāta un koksnes pelnu maisījumus, var iegūt pietiekami augstas un kvalitatīvas ziemas ķiploku sīpolu ražas bez minerālmēslojuma pielietošanas.

Visi maisījumu veidi un normas nodrošināja augstu ziemas ķiploku ražas ieguvi.

Barības elementu saturs digestāta un koksnes pelnu maisījumos

Barības elementi	Saturs sausnā, %				
	GD	GD+P 1:1	GD+P 2:1	GD+P 3:1	GD+P 4:1
Slāpeklis dabīgā produkta (N)	0.29	0.27	0.30	0.51	0.34
Amonija slāpeklis (N/NH ₄), g kg ⁻¹	1.20	0.43	0.40	0.76	0.37
Fosfors (P)	0.74	0.90	0.89	0.83	0.83
Kālijs (K)	1.70	2.90	2.92	2.73	2.64
Kalcijs (Ca)	2.41	13.44	13.55	10.48	10.86
pH	9.27	12.19	11.84	11.22	10.91

GD – liellopu kūtsmēslu digestāts; P – koksnes pelni.

Ziemas kviešu un vasaras miežu priekšaugi – papuve; ziemas rapša priekšaugi – ziemas kvieši.

Izmēģinājumos tika lietota tradicionālā augsnes apstrādes tehnoloģija, augsni vispirms uzarot aptuveni 22 cm dziļumā. Sagatavotajos laucīņos pirms sējas izkļiedēja visus iepriekš sagatavotos liellopu kūtsmēslu digestāta un koksnes pelnu maisījumus. Maisījumus augsnē iestrādāja ar kombinēto augsnes frēzi “Farnet Kompaktomat K400”, kas vienlaikus ar mēslojuma iestrādi augsni arī sadrupina un pielīdzina. Sējai izmantoja:

- ziemas rapša šķirni ‘Visby’; izsējas norma – 80 dīgstošu sēklu uz m². Ziemas rapsi sēja 1.5–2 cm dziļumā. Pavasarī, atjaunojoties veģetācijai, B6 izmēģinājuma varianta laucīņos tika iestrādāti N 68.8 kg ha⁻¹ amonija nitrāta;
- ziemas kviešu šķirni ‘Skagen’; izsējas norma – 500 dīgstošu sēklu uz m². Sējas dziļums – 3–4 cm; rindstarpa – 12.5 cm. Sējas termiņš: 2020. gadā 25. septembris un 2021. gadā 5. oktobris;
- vasaras miežu šķirni ‘Selene’; izsējas norma – 450 dīgstošu sēklu uz m². Sējas dziļums – 3–4 cm; rindstarpa – 12.5 cm. Sējas termiņš: 2021. gadā 26. aprīlis un 2022. gadā 5. maijs.

Izmēģinājumā noskaidrota digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz visu trīs šķirņu ražu veidojošiem struktūrelementiem (produktīvo stiebru garumu, vārpu garumu un graudu skaitu tajās). Ražas novākšanu veica ar mazgabarītu kombainu “Sampo”.

Pēc izmēģinājuma lauciņu nokulšanas katra lauciņa raža tika nosvērta un attīrīta, izmantojot “Pfeuffer SLN3” paraugu tīrāmo iekārtu. Pēc tam, izmantojot ekspresanalizatoru “Infratec NOVA – Foss”, noteica paraugu mitrumu, kopslāpekļa un cietes saturu graudos (%) un tilpummasu (kg hL⁻¹). Pamatojoties uz iegūtajiem rezultātiem, tika aprēķināta iegūtā raža (t ha⁻¹) un iegūtais eļļas daudzums (t ha⁻¹), pastāvot standartmitrumam (14%) un pilnīgai (100%) paraugu tīrībai. Paraugiem ar standartmetodi (LVS EN ISO 520) noteica arī 1000 sēklu masu gramos.

Datu apstrādi veica ar “Microsoft Excel” datorprogrammu, izmantojot divfaktoru dispersijas analīzi (ANOVA).

2. DIGESTĀTA UN KOKSNES PELNU MAISIJUMU IETEKME UZ ZIEMAS RAPŠA RAŽU UN RAŽAS KVALITĀTI

Latvijā plaši tiek audzēts ziemas rapsis (*Brassica napus* L), turklāt pēdējās dekādes laikā ziemas rapša vidējā ražība ir palielinājusies no 2.5 t ha⁻¹ 2010. gadā līdz 3.3 t ha⁻¹ 2020. gadā, kā arī sējumu platības ir palielinājušās – no 67.6 tūkst. ha 2010. gadā līdz 127.7 tūkst. ha 2020. gadā. Audzējot ziemas rapsi, īpaši liela uzmanība tiek pievērsta agronomiski un ekonomiski pamatotai mēslošanas līdzekļu izmantošanai, jo tādā veidā ir iespējams samazināt produkcijas izmaksas un apkārtējās vides piesārņojuma risku (Litke, Gaile, Ruža, 2019).

Pētījuma mērķis bija noskaidrot digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekmi uz ziemas rapša ražu un ražas kvalitāti.

Rezultāti

2020./2021. gada veģetācijas sezonā ziemas rapša sēklu raža visos izmēģinājuma variantos bija salīdzinoši zema – vidēji 1.97–2.48 t ha⁻¹. Tas izskaidrojams ar sausajiem un karstajiem laikapstākļiem gan ziemas rapša dīgšanas periodā, gan atsākoties veģetācijas sezonai.

2.1. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas rapša sēklu ražu, t ha⁻¹

Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)									
	2021. gads					2022. gads				
	20 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	5 t ha ⁻¹	vidēji	kontrole	20 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	5 t ha ⁻¹	vidēji	kontrole
GD	2.26	2.76	1.85	2.29	1.97	3.08	3.71	2.38	3.06	2.25
GD + P 1:1	2.67	2.47	2.21	2.45		3.06	3.54	2.54	3.05	
GD + P 2:1	2.13	2.45	1.94	2.17		3.49	3.48	2.66	3.21	
GD + P 3:1	2.03	2.24	2.24	2.17		3.57	3.69	2.63	3.30	
GD + P 3:1 + NPK	2.11	2.53	2.12	2.26		3.40	3.61	3.13	3.38	
GD + P 3:1 + N	2.25	2.06	1.77	2.03		3.54	3.69	2.83	3.35	
GD + P 4:1	2.50	2.66	2.30	2.48		3.42	3.54	2.97	3.31	
Vidēji	2.28	2.45	2.05	X		3.37	3.42	2.73	X	
RS _{0.05} A = RS _{0.05} B (maisījums) = RS _{0.05} AB =	0.15 0.23 0.39					0.21 0.24 0.42				

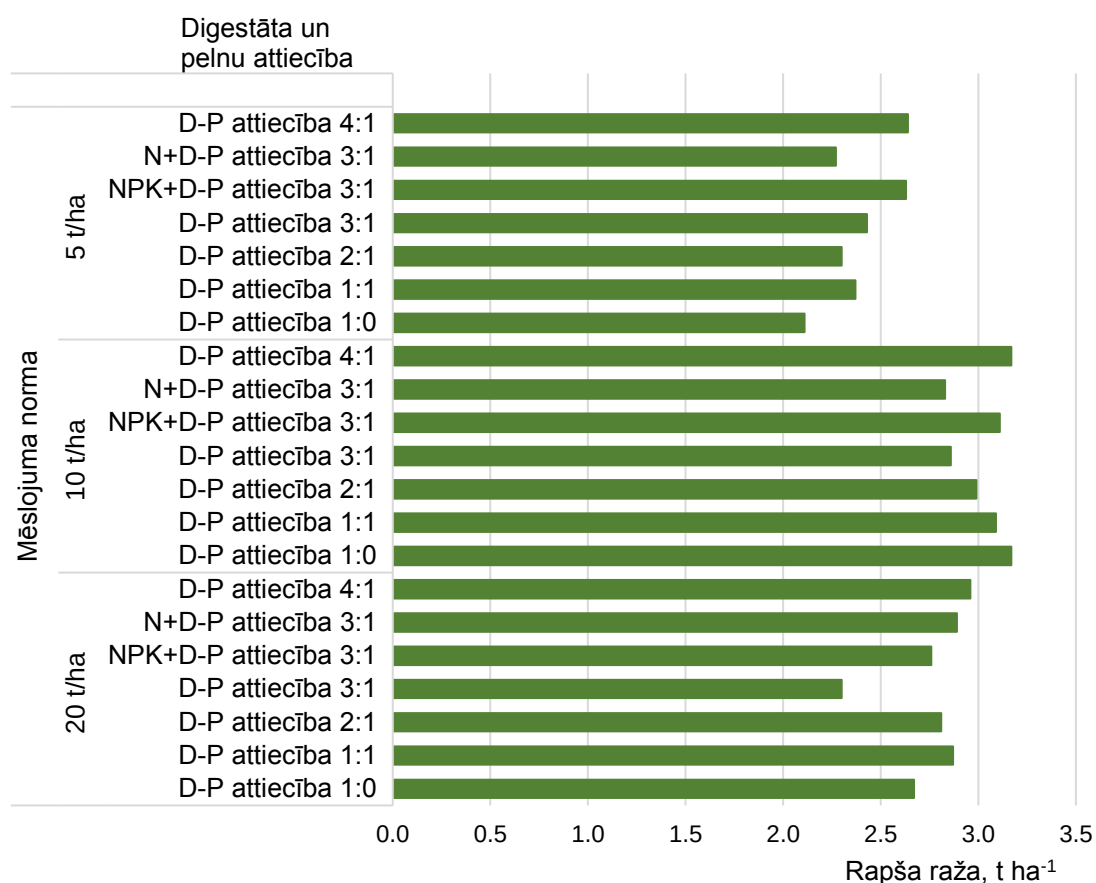
GD – liellopu kūtsmēslu digestāts; P – koksnes pelni.

Tas izskaidrojams ar sausajiem un karstajiem laikapstākļiem gan ziemas rapša dīgšanas periodā, gan atsākoties veģetācijas sezonai.

Sausuma stresa ietekmē rapsim samazinājās stublāja diametrs un garums, kā arī pazeminājās sēklu raža. Otrajā izmēģinājuma gadā sēklu raža bija ievērojami augstāka un veidoja vidēji 3.05–3.38 t ha⁻¹ (2.1. tab.).

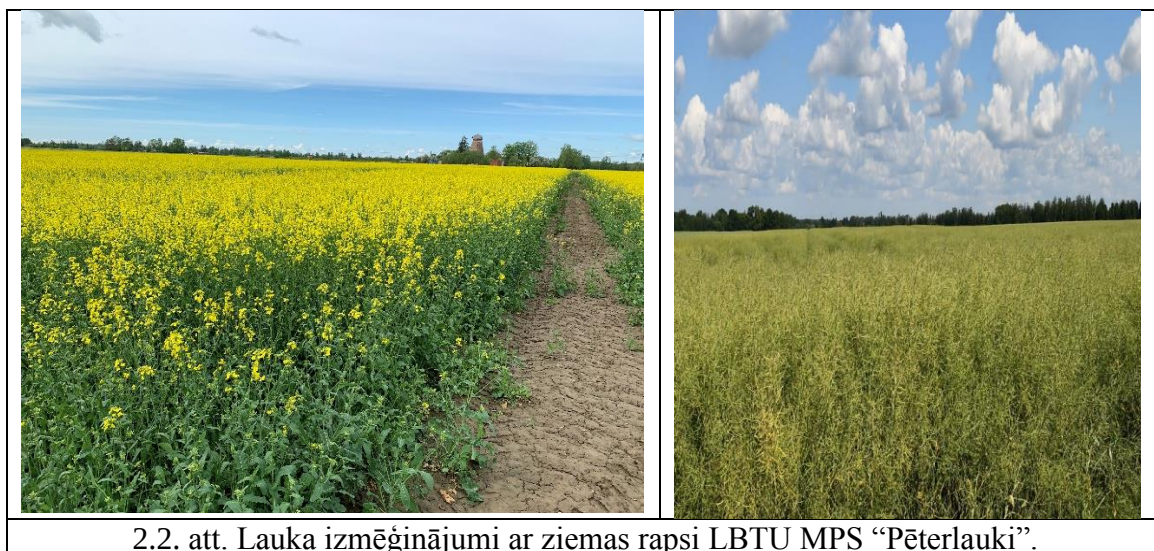
Ziemas rapša raža vidēji divos gados pētāmajos variantos izmainījās no 2.27 līdz 3.17 t ha⁻¹ (2.1. att.). Viszemākā ziemas rapša sēklu raža, 1.97 un 2.25 t ha⁻¹, tika iegūta tieši no kontroles variantu lauciņiem (2.1. tab., 2.2. att.).

Būtiski augstākas ($p < 0.05$) vidējās ziemas rapša sēklu ražas izmēģinājumu gados tika iegūtas, ja mēslojuma variantiem izmantoja 10 un 20 t ha⁻¹ mēslojuma normas. Izmantojot mazāko mēslojuma normu, 5 t ha⁻¹, variantos D, D+P 2:1 un D+P 3:1+N 2020./2021. gadā ieguva mazākas ražas nekā kontroles variantā, bet atšķirības nebija būtiskas ($p > 0.05$). Būtiski augstāka ($p < 0.05$) ziemas rapša vidējā sēklu raža tika iegūta variantos D, D+P 1:1, D+P 3:1+NPK un D+P 4:1, un no visiem variantiem augstākās vidējās ziemas rapša sēklu ražas ieguva tieši mēslojuma variantos D+P 1:1 un D+P 4:1 (2.1. tab.).



2.1. att. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas rapša sēklu ražu vidēji divos gados, t ha⁻¹.

Šajā izmēģinājumā, izmantojot tikai digestātu, būtiski augstāka vidējā ziemas rapša sēklu raža salīdzinājumā ar kontroli tika konstatēta, lietojot 10 t ha⁻¹ mēslojuma normu visos jauktā mēslojuma variantos. Iegūtais rezultāts liecina, ka konkrētajā izmēģinājuma gadā ražu limitējošais faktors nav bijis barības elementu deficīts.



2.2. att. Lauka izmēģinājumi ar ziemas rapsi LBTU MPS “Pēterlauki”.

Par to liecina arī tas, ka digestāta un koksnes pelnu maisījumu variantā, kas tika papildināts ar N minerālmēslojumu, vidējais sēklu ražas pieaugums bija neliels, lai gan literatūrā atrodami dati, ka, palielinot N mēslojumu līdz 60 kg ha^{-1} , ziemas rapša sēklu ražas pieaugums neatkarīgi no izmēģinājuma gada ir bijis būtisks (Litke, Gaile, Ruža, 2019).

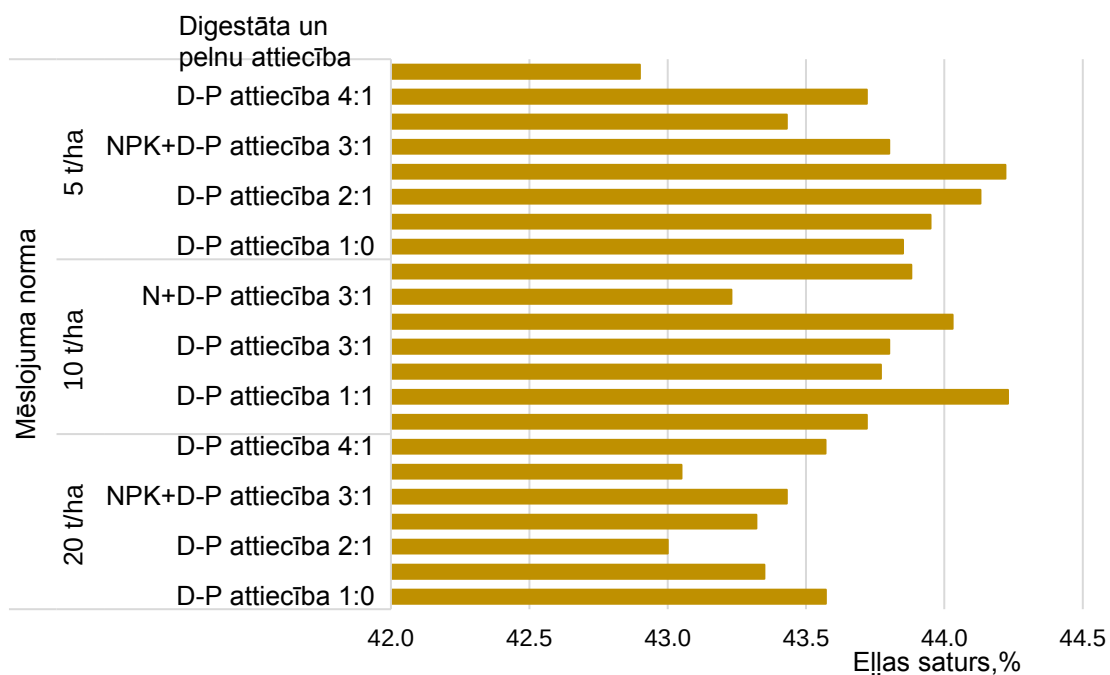
Viens no galvenajiem ziemas rapša kvalitātes rādītājiem ir eļļas saturs sēklās. Izvērtējot iegūtos rezultātus, redzams, ka būtiski augstāks ($p=0.07$) vidējais eļļas saturs ziemas rapša sēklās iegūts, izmantojot 5 t ha^{-1} digestāta un koksnes pelnu maisījumu normu (2.2/ tab.).

2.2. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz eļļas saturu ziemas rapša sēklās, %

Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā	Mēslojuma norma, t ha^{-1}							
	2021. gads				2022. gads			
	5 t ha^{-1}	10 t ha^{-1}	20 t ha^{-1}	Kontrole	5 t ha^{-1}	10 t ha^{-1}	20 t ha^{-1}	Kontrole
D-P attiecība 1:0	47.70	47.23	47.43	47.30	40.00	40.20	39.70	38.50
D-P attiecība 1:1	48.03	47.50	47.73		39.87	40.97	38.97	
D-P attiecība 2:1	48.07	47.70	47.77		40.20	39.83	38.23	
D-P attiecība 3:1	48.07	47.63	47.93		40.37	39.97	38.70	
D-P attiecība 3:1+NPK	48.03	47.57	47.87		39.57	40.50	39.00	
D-P attiecība 3:1+N	46.27	45.87	46.37		40.60	40.60	39.73	
D-P attiecība 4:1	48.07	47.40	47.27		39.37	40.37	39.87	

Starp maisījumu variantu vidējām vērtībām būtiski augstāks ($p=0.001$) eļļas saturs tika iegūts variantos D+P 1:1, D+P 2:1, D+P 3:1 un D+P 3:1+NPK. Savukārt būtiski zemāku ($p=0.001$) eļļas saturu ieguva variantos, kuru papildus mēslošanai izmantoja amonija nitrātu (2.2. tab., 2.3. att.).



D – liellopu kūstmēslu digestāts; P – koksnes pelni.

2.3. att. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz eļļas saturu ziemas rapša sēklās vidēji divos gados, %.

Izmantojamiem koksnes pelnu un digestāta maisījumu variantiem nebija būtiskas ietekmes ($p=0.334$) uz vidējiem ziemas rapša sēklu eļļas ieguves rādītājiem. Savukārt, palielinot maisījumu normas līdz 10 un 20 t ha⁻¹, redzams, ka iegūtais eļļas daudzums arī bijis būtiski augstāks ($p=0.004$).

Ziemas rapša sēklu tilpummasas rādītāju izmaiņu analīze parādīja, ka, palielinot koksnes pelnu un digestāta mēslojuma normas, būtiski samazinājās ($p=0.001$) sēklu tilpummasa, salīdzinot ar kontroli.

2. 3. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas rapša sēklu tilpummasu, kg hL⁻¹

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība maisījumā (F _B)							Vidēji (F _A)
	D	D + P 1:1	D + P 2:1	D + P 3:1	D + P 3:1 + NPK	D + P 3:1 + N	D + P 4:1	p=0.001 RS _{0.05} =0.162
Kontrole	67.93							
5 t ha ⁻¹	67.10	67.33	67.27	67.20	67.20	68.03	67.33	67.35
10 t ha ⁻¹	67.17	66.83	67.50	67.17	66.93	67.93	67.50	67.29
20 t ha ⁻¹	67.13	67.13	66.97	67.23	67.20	67.93	67.23	67.26
Vidēji p=0.001 RS _{0.05} (B)=0.210 RS _{0.05} (AB)=0.430	67.13	67.10	67.25	67.20	67.11	67.96	67.35	×

D – liellopu kūstmēslu digestāts; P – koksnes pelni.

Ja salīdzina maisījumu variantus, tad būtiski augstāka ($p=0.001$) tilpummasa bija variantā, kura mēslošanai tika papildus izmantots amonija nitrāts. Šajā variantā tilpummasa sasniedza vidēji 67.96 kg hL^{-1} , līdzīgi kontroles varianta tilpummasas vērtībai (2.3. tab.).

Izmēģinājuma gaitā tika vērtēti arī dati par koksnes pelnu un digestāta maisījumu ietekmi uz ziemas rapša 1000 sēklu masu. Kopumā vidēji 1000 sēklu masa konkrētajā sezonā ievāktajiem paraugiem veidoja 4.37–4.79 gramus. Mainoties mēslojuma maisījumu normām, starp ievāktajiem ziemas rapša sēklu paraugiem arī netika konstatētas būtiskas atšķirības ($p=0.095$). Kopumā izmēģinājumā iegūtos zemos 1000 sēklu masas rādījumus konkrētajā sezonā varētu izskaidrot ar sausajiem apstākļiem, kas kavēja augu attīstību pavasarī, kā arī radīja augiem paaugstinātu karstuma un sausuma stresu ziedēšanas beigās un pirms ziemas rapša pilngatavības.

Secinājumi

Izmantojot koksnes pelnu un digestāta maisījumus, var iegūt labas ziemas rapša sēklu ražas bez minerālmēsliem pielietošanas.

Augstāko ziemas rapša sēklu ražu izmēģinājuma gados ieguva variantos, kuru mēslošanai tika izmantota 10 t ha^{-1} mēslojuma norma.

Salīdzinoši augstāks eļļas saturs ziemas rapša sēklās bija variantos, kuru mēslošanai izmantoja 5 t ha^{-1} mēslošanas līdzekļa maisījuma.

Ziemas rapša sēklu tilpummasa pētāmajos variantos bija tikai nedaudz lielāka par 67.0 kg hL^{-1} .

3. DIGESTĀTA UN KOKSNES PELNU MAISĪJUMU IETEKME UZ ZIEMAS KVIEŠU RAŽU UN RAŽAS KVALITĀTI

Augstu un pārtikas kvalitātei atbilstošu ziemas kviešu (*Triticum aestivum* L.) graudu ražu ieguvei augi veģetācijas sezonā jānodrošina ar vajadzīgajiem barības elementiem un optimāliem augšanas apstākļiem. Lai pārbaudītu koksnes pelnu un digestāta maisījumu izmantošanu ziemas kviešu mēslošanā, 2020/21. un 2021/22. gada rudenī tika veikti pētījumi LBTU mācību pētījumu saimniecības “Pēterlauki” velēnu karbonātu augsnē.

Rezultāti

Apkopojot divu gadu rādītājus par ziemas kviešu graudu ražu, tika noskaidrots, ka kontroles variantā vidējā graudu raža bija 5.56 t ha^{-1} , kas ir būtiski ($p<0.05$) mazāk par jebkurā citā mēslošanas variantā iegūto graudu ražu. Būtiski augstāku ($p<0.05$) vidējo graudu ražu, 7.14 un 8.42 t ha^{-1} , ieguva B5 (GD+P 3:1+NPK) un B6 (GD+P 3:1+N) mēslojuma variantos (3.1. tab.), kas norāda uz nepietiekamu slāpekļa saturu sagatavotajos digestāta un pelnu maisījumos. Tādēļ, lai iegūtu augstas graudu ražas, slāpekļa deva ziemas kviešu sējumu mēslošanai ir jāpalielina.

Palielinot izmantotās mēslojuma normas, tika novērota tendence arī graudu ražai palielināties. Visos mēslojuma maisījumu variantos būtiski augstāku ($p < 0.05$) graudu ražu ieguva, izmantojot 10 t ha^{-1} un 20 t ha^{-1} mēslojuma maisījumu normas.

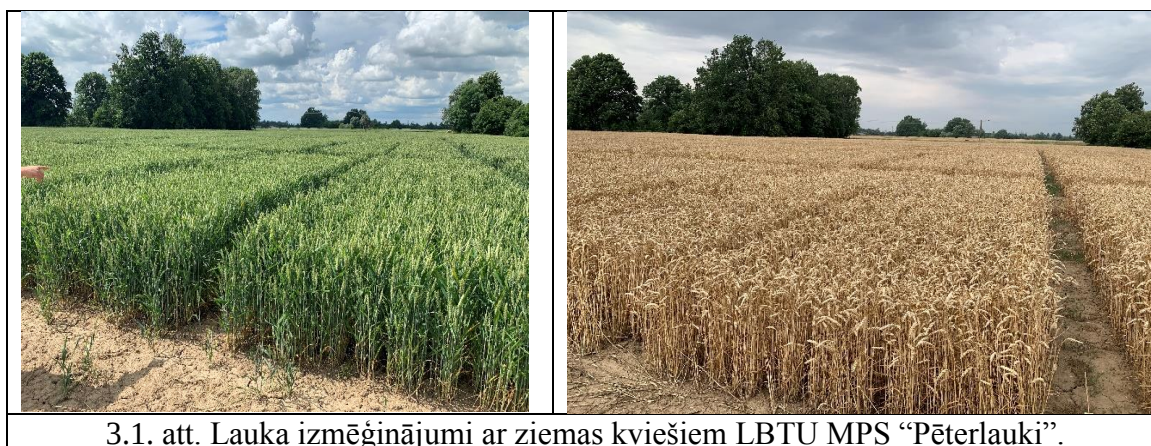
3.1. tabula

**Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas kviešu graudu ražu
2021. un 2022. gadā, t ha^{-1}**

Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F_B)	Mēslojuma norma, $t\ ha^{-1}$ (F_A)							
	2021. gads				2022. gads			
	$20\ t\ ha^{-1}$	$10\ t\ ha^{-1}$	$5\ t\ ha^{-1}$	Kontrole	$20\ t\ ha^{-1}$	$10\ t\ ha^{-1}$	$5\ t\ ha^{-1}$	Kontrole
GD	7.90	8.50	7.40	6.80	5.02	4.78	4.83	4.31
GD + P 1:1	8.00	8.30	7.30		5.76	5.00	5.33	
GD + P 2:1	7.90	8.50	7.40		6.63	5.15	5.92	
GD + P 3:1	7.90	8.60	7.20		6.89	5.28	5.05	
GD + P 3:1 + NPK	8.10	8.60	7.40		7.02	5.67	6.10	
GD + P 3:1 + N	9.40	9.20	8.50		8.31	7.29	7.88	
GD + P 4:1	7.80	7.90	7.40		8.33	5.16	5.36	
RS _{0.05} A (norma) =	0.24				0.53			
RS _{0.05} B (maisījums) =	0.39				0.86			
RS _{0.05} AB =	0.68				1.49			

GD – liellopu kūtsmēsli digestāts; P – koksnes pelni.

Pārsvārā visos mēslojuma variantos būtiski augstāks ($p < 0.05$) vidējais proteīna saturs tika iegūts, izmantojot mēslojuma maisījuma normu 10 t ha^{-1} . Kontroles variantā vidējais proteīna saturs bija 10.26%. Starp mēslojuma variantiem 2021. gadā būtiski augstāks ($p < 0.05$) proteīna saturs, vidēji 14.23%, tika iegūts B6 (GD+P 3:1+N) mēslojuma variants.



3.1. att. Lauka izmēģinājumi ar ziemas kviešiem LBTU MPS “Pēterlauki”.

3. 2. tabula

**Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz proteīna saturu ziemas kviešu
graudos 2021. un 2022. gada sezonā, %**

Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F_B)	Mēslojuma norma, $t\ ha^{-1}$ (F_A)							
	2021. gads				2022. gads			
	20 $t\ ha^{-1}$	10 $t\ ha^{-1}$	5 $t\ ha^{-1}$	Kontrole	20 $t\ ha^{-1}$	10 $t\ ha^{-1}$	5 $t\ ha^{-1}$	Kontrole
GD	10.50	12.10	11.00	10.40	10.67	10.17	11.07	10.13
GD + P 1:1	10.50	12.00	11.40		9.80	9.90	10.23	
GD + P 2:1	10.30	12.20	10.70		9.97	10.90	10.83	
GD + P 3:1	10.70	12.10	11.00		10.50	9.93	10.90	
GD + P 3:1 + NPK	11.10	12.80	10.70		10.17	9.97	10.67	
GD + P 3:1 + N	13.80	14.30	14.60		10.80	10.37	10.57	
GD + P 4:1	10.90	11.60	10.80		10.13	10.63	10.83	
RS _{0.05} A (norma) =	0.31				x			
RS _{0.05} B (maisījums) =	0.50				x			
RS _{0.05} AB =	0.87				x			

D – liellopu kūstmēslu digestāts; P – koksnes pelni.

Izmēģinājumā vidēji divos gados lipekļa saturs kontroles variantā bija 19.06%. Izmantojot dažādus digestāta un koksnes pelnu maisījumus, ieguva būtiski augstāku ($p < 0.05$) vidējo lipekļa saturu kviešu graudos. Būtiski augstākais ($p < 0.05$) lipekļa saturs, 31.57%, 2021. gadā tika konstatēts B6 mēslošanas variantā (3.3. tab.).

3.3. tabula

**Digestāta un koksnes pelnu maisījuma ietekme uz lipekļa saturu ziemas kviešu
graudos 2021. un 2022. gada sezonā, %**

Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)							
	2021. gads				2022. gads			
	20 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	5 t ha ⁻¹	Kontrole	20 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	5 t ha ⁻¹	Kontrole
GD	21.30	26.80	22.90	20.50	19.23	17.93	20.67	17.63
GD + P 1:1	21.20	25.60	24.10		16.80	17.13	18.13	
GD + P 2:1	20.40	27.00	22.10		17.33	20.00	20.17	
GD + P 3:1	21.60	25.60	22.90		18.70	17.00	20.00	
GD + P 3:1 + NPK	23.30	28.80	21.80		18.10	17.27	19.43	
GD + P 3:1 + N	30.50	32.00	32.20		19.93	18.47	19.03	
GD + P 4:1	22.50	24.50	22.10		17.83	19.20	19.60	
RS _{0.05} A (norma) =	1.01				1.07			
RS _{0.05} B (maisījums) =	1.65				x			
RS _{0.05} AB =	2.85				x			

GD – liellopu kūtsmēsļu digestāts; P – koksnes pelni.

3.4. tabula

**Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz cietes saturu ziemas kviešu
graudos 2021. un 2022. gada sezonā, %**

Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F_B)	Mēslojuma norma, $t\ ha^{-1}$ (F_A)							
	2021. gads				2022. gads			
	$20\ t\ ha^{-1}$	$10\ t\ ha^{-1}$	$5\ t\ ha^{-1}$	Kontrole	$20\ t\ ha^{-1}$	$10\ t\ ha^{-1}$	$5\ t\ ha^{-1}$	Kontrole
GD	71.53	70.33	70.97	71.60	67.90	68.47	67.53	68.10
GD + P 1:1	71.40	69.93	70.63		68.70	68.93	68.57	
GD + P 2:1	71.70	69.77	71.27		68.90	67.43	67.53	
GD + P 3:1	71.40	69.77	71.10		68.03	68.90	67.67	
GD + P 3:1 + NPK	71.10	69.10	71.07		68.10	68.73	68.20	
GD + P 3:1 + N	67.53	66.60	66.33		67.60	10.37	10.57	
GD + P 4:1	71.27	70.67	71.20		68.03	10.63	10.83	
RS _{0.05} A (norma) =	0.29				x			
RS _{0.05} B (maisījums) =	0.48				x			
RS _{0.05} AB =	0.83				x			

GD – liellopu kūtsmēsļu digestāts; P – koksnes pelni.

Kontroles varianta lauciņu graudiem vidējais cietes saturs bija 69.85%, bet būtiski zemāks ($p < 0.05$) vidējais cietes saturs tika iegūts B5 un B6 mēslojuma maisījumu variants (3.4. tab.).

3.5. tabula

**Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas kviešu graudu *Zeleny*
indeksu 2021. un 2022. gada sezonā, mL**

Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F_B)	Mēslojuma norma, $t\ ha^{-1}$ (F_A)							
	2021. gads				2022. gads			
	$20\ t\ ha^{-1}$	$10\ t\ ha^{-1}$	$5\ t\ ha^{-1}$	Kontrole	$20\ t\ ha^{-1}$	$10\ t\ ha^{-1}$	$5\ t\ ha^{-1}$	Kontrole
GD	31.10	39.30	33.30	29.60	22.15	19.88	26.15	19.04
GD + P 1:1	30.00	37.90	34.60		17.90	18.85	20.60	
GD + P 2:1	29.30	40.20	31.30		19.41	23.86	24.09	
GD + P 3:1	31.00	38.90	31.90		21.55	18.68	24.06	
GD + P 3:1 + NPK	32.60	43.70	31.40		19.91	19.38	23.36	
GD + P 3:1 + N	49.80	55.10	55.50		23.42	22.58	21.68	
GD + P 4:1	32.80	36.10	31.50		19.69	22.66	23.57	
RS _{0.05} A (norma) =	1.62				x			
RS _{0.05} B (maisījums) =	2.64				x			
RS _{0.05} AB =	4.57				x			

GD – liellopu kūtsmēslu digestāts; P – koksnes pelni.

Kontroles variantā iegūtais vidējais *Zeleny* indekss bija 24.32. Izmantojot sagatavotos mēslojuma maisījumus, tika iegūti būtiski augstāki ($p < 0.05$) *Zeleny* indeksa rādītāji. Salīdzinot ar pārējiem mēslojuma maisījumu variantiem, 2021. gadā būtiski augstāku ($p < 0.05$) vidējo *Zeleny* indeksa rādītāju, 33.19, deva B6 mēslojuma maisījuma variants. Vērtējot izmantotās mēslojuma normas, būtiski augstāks ($p < 0.05$) vidējais *Zeleny* indekss iegūts, izmantojot 5 t ha^{-1} mēslojuma maisījuma normu (3.5. tab.).

3.6. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījuma ietekme uz ziemas kviešu graudu tilpummasu 2021. un 2022. gada sezonā, kg hL^{-1}

Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)							
	2021. gads				2022. gads			
	20 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	5 t ha ⁻¹	Kontrole	20 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	5 t ha ⁻¹	Kontrole
GD	72.80	73.53	72.40	72.43	74.86	75.65	75.12	73.77
GD + P 1:1	72.30	73.37	72.47		74.31	76.18	76.38	
GD + P 2:1	72.57	73.10	72.00		74.75	74.08	72.27	
GD + P 3:1	72.47	72.47	72.00		73.68	74.43	76.21	
GD + P 3:1 + NPK	72.73	72.77	71.77		72.02	72.76	75.44	
GD + P 3:1 + N	72.87	72.43	71.60		73.36	72.78	75.20	
GD + P 4:1	72.70	72.93	72.23		71.43	72.02	74.20	
RS _{0.05} A (norma) =	0.29				x			
RS _{0.05} B (maisījums) =	x				x			
RS _{0.05} AB =	x				x			

GD – liellopu kūtsmēslu digestāts; P – koksnes pelni.

Būtiski augstākus ($p < 0.05$) vidējos kviešu graudu tilpummasas rādītājus ieguva GD un GD+P 1:1 maisījumu variantos: attiecīgi 72.71 un 72.56 kg hL^{-1} 2021. gadā un 75.21 un 75.62 kg hL^{-1} 2022. gadā. Tika konstatēts, ka izmantotajām mēslojumu normām nebija būtiskas ietekmes ($p > 0.05$) uz kviešu graudu tilpummasu (3. 6. tab.).

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas kviešu 1000 sēklu masu 2021. un 2022. gada sezonā, g

Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)							
	2021. gads				2022. gads			
	20 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	5 t ha ⁻¹	Kontrole	20 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	5 t ha ⁻¹	Kontrole
GD	42.63	42.36	42.34	39.89	33.57	33.43	33.36	31.42
GD + P 1:1	41.90	41.56	40.03		32.43	33.34	34.19	
GD + P 2:1	42.10	40.59	39.78		33.46	33.50	32.55	
GD + P 3:1	42.04	42.22	40.05		32.10	32.92	34.36	
GD + P 3:1 + NPK	43.12	42.43	41.12		31.95	33.55	34.10	
GD + P 3:1 + N	43.87	44.35	42.37		33.01	32.00	34.69	
GD + P 4:1	42.97	42.26	41.26		32.12	33.32	34.69	
RS _{0.05} A (norma) =	0.43				x			
RS _{0.05} B (maisījums) =	0.71				1.58			
RS _{0.05} AB =	1.23				x			

Pētāmajiem faktoriem nebija būtiskas ietekmes ($p > 0.05$) arī uz kviešu graudu krišanas skaitļa vidējiem rādītājiem.

Kontroles variantā iegūtā vidējā 1000 graudu masa bija 35.16 g, kas ir būtiski mazāk ($p < 0.05$) par mēslojumu maisījumu variantos iegūtajām šī rādītāja vērtībām (3.7. tab.). Salīdzinājumā ar pārējām mēslojumu maisījumu normām, būtiski augstāku ($p < 0.05$) vidējo 1000 graudu masu deva $5\ t\ ha^{-1}$ mēslojuma maisījuma normas lietošana.

Secinājumi

Abos izmēģinājuma gados gan mēslojuma normas, gan izmantotais mēslojuma variants būtiski ($p < 0.05$) pozitīvi ietekmēja ziemas kviešu graudu ražu. Salīdzinot abu gadu rezultātus, redzams, ka būtiski ($p < 0.05$) augstāka ziemas kviešu raža iegūta mēslojuma variantos GD+P 3:1+NPK, GD+P 3:1+N un GD+P 4:1. Abos izmēģinājuma gados tika konstatēts, ka būtiski ($p < 0.05$) augstāku ziemas kviešu ražu deva mēslojuma maisījumu daudzuma palielināšana.

Mēslojuma maisījumu un normu ietekme uz ziemas kviešu kvalitātes rādītājiem bija atkarīga no izmēģinājuma gada.

2021. gada sezonā gan mēslojuma maisījuma variantiem, gan izmantotajam mēslojuma daudzumam bija būtiska ($p < 0.05$) ietekme uz proteīna saturu ziemas kviešu graudos. Būtiski augstāku ($p < 0.05$) proteīna saturu graudos ieguva, izmantojot $10\ t\ ha^{-1}$ mēslojumu maisījumu normas.

Visi mēslojuma varianti uzrādīja būtiski ($p < 0.05$) augstāku proteīna saturu graudos salīdzinājumā ar kontroles variantā iegūtajiem rezultātiem. Starp visiem mēslojuma maisījumu variantiem būtiski ($p < 0.05$) augstāks proteīna saturs tika iegūts mēslojuma variantā GD+P 3:1+N. Analizējot rezultātus, tika noskaidrots, ka 2022. gadā tendences bija līdzīgas, bet atšķirības nebija būtiskas ($p > 0.05$).

Kopumā izmēģinājuma laikā konstatēts, ka starp variantiem būtiski augstāku ($p < 0.05$) gan lipekļa saturu, gan *Zeleny* indeksu 2021. gadā ieguva lauciņos, kuru mēslošanai bija izmantots mēslojuma maisījuma variants GD+P 3:1+N. Līdzīgas tendences novēroja arī 2022. gadā, taču faktoru ietekme tajā gadā nebija būtiska (> 0.05).

4. DIGESTĀTA UN KOKSNES PELNU MAISĪJUMU IETEKME UZ VASARAS MIEŽU RAŽU UN RAŽAS KVALITĀTI

Lai pārbaudītu koksnes pelnu un digestāta maisījumu izmantošanu vasaras miežu sējumu mēslošanā, 2020/21. un 2021/22. gada rudenī tika veikti pētījumi LBTU mācību pētījumu saimniecības “Pēterlauki”.

Rezultāti

Vidējo vasaras miežu graudu ražu būtiski ietekmēja agrometeoroloģiskie apstākļi attiecīgajā audzēšanas sezonā. 2021. gadā iegūtā vidējā raža atkarībā no variantu svārstījās no 4.03 līdz 5.30 t ha⁻¹, kas ir augstāka nekā 2021. gadā Latvijā iegūtā vidējā (2.40 t ha⁻¹) vasaras miežu raža. Savukārt 2022. gadā raža bija ievērojami zemāka, vidēji 0.89–2.14 t ha⁻¹, ko var raksturot kā ļoti zemu (salīdzinājumam Latvijā 2022. gadā ieguva vidēji 3.21 t ha⁻¹ vasaras miežu graudu) un skaidrot ar nelabvēlīgiem laikapstākļiem audzēšanas sezonā.

2021. gadā pēc miežu sējas nolija liels daudzums nokrišņu, kam sekoja ilgstošs sausums, augsne stipri iekalta, kas savukārt negatīvi ietekmēja sēklu dīģšanu un dīgstu turpmāko attīstību.

4.1. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz vasaras miežu graudu ražu, t ha⁻¹

Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F_B)	Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F_A)							
	2021. gads				2022. gads			
	20 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	5 t ha ⁻¹	Kontrole	20 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	5 t ha ⁻¹	Kontrole
GD	3.99	5.20	4.29	4.33	1.79	2.13	0.92	0.89
GD + P 1:1	3.97	5.26	4.48		1.98	1.61	1.44	
GD + P 2:1	3.96	4.96	4.96		2.44	2.02	1.64	
GD + P 3:1	3.81	5.12	4.23		2.49	1.47	1.68	
GD + P 3:1 + NPK	4.67	4.78	4.78		2.46	2.63	1.33	
GD + P 3:1 + N	3.93	5.62	4.34		1.41	1.54	1.77	
GD + P 4:1	3.85	5.01	4.22		1.68	1.27	1.23	
RS _{0.05} A (norma) =	0.26				0.27			
RS _{0.05} B (maisījums) =	0.43				0.44			
RS _{0.05} AB =	0.74				0.75			

GD – liellopu kūtsmēsli digestāts; P – koksnes pelni.

Lai arī vasaras mieži ir samērā izturīgi pret sausumu, tomēr mitruma trūkums kombinācijā ar augstām temperatūrām stiebrošanas un graudu aizmešanās fāzēs rada būtisku ražas samazinājumu. Pētījumā zemāko ražu (0.89 t ha^{-1}) ieguva kontroles variantā 2022. gadā (4.2. tab.).

Pirmajā pētījuma gadā būtiskāko ražas pieaugumu neatkarīgi no mēslojuma varianta deva 10 t ha^{-1} mēslojuma norma, savukārt lielākā mēslojuma norma negatīvi ietekmēja graudu ražību, kas vidēji bija zemāka nekā kontroles variantā.



4.1. att. Lauka izmēģinājumi ar vasaras miežiem LBTU MPS “Pēterlauki”.

Neliels un nebūtisks ražas pieaugums konstatēts, lietojot 5 t ha^{-1} mēslojuma normu. Būtiski augstāka vidējā graudu raža abos pētījuma gados iegūta variantos GD+P 2:1, GD+P 3:1+NPK un GD+P 3:1+N. Faktoru mijiedarbības rezultātā augstākā raža 2021. gadā bija maisījumu variantā GD+P 3:1+NPK ar normu 10 t ha^{-1} . Otrajā pētījuma gadā būtisks ražas pieaugums salīdzinājumā ar kontroles variantu iegūts, lietojot 10 un 20 t ha^{-1} mēslojuma normas. Līdzīgi kā 2021. gadā, arī 2022. gadā, lietojot 5 t ha^{-1} mēslojuma normu, ražai bija tendence palielināties, taču saskaņā ar statistikas analīzi šis pieaugums nebija būtisks. Starp mēslojuma variantiem būtiskākie ($p < 0.05$) vidējie ražas pieaugumi bija mēslojuma variantos GD+P 2:1, GD+P 3:1 un GD+P 3:1+NPK. Lielākā raža 2022. gadā iegūta, lietojot 10 t ha^{-1} mēslojuma normu GD+P 3:1+NPK variantā.

**Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz proteīna saturu vasaras miežu
graudos, %**

Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F_B)	Mēslojuma norma, $t\ ha^{-1}$ (F_A)							
	2021. gads				2022. gads			
	$20\ t\ ha^{-1}$	$10\ t\ ha^{-1}$	$5\ t\ ha^{-1}$	Kontrole	$20\ t\ ha^{-1}$	$10\ t\ ha^{-1}$	$5\ t\ ha^{-1}$	Kontrole
GD	10.20	10.37	10.17	10.53	8.83	8.80	9.00	8.87
GD + P 1:1	10.43	10.13	10.07		9.60	9.40	9.07	
GD + P 2:1	9.97	9.70	9.63		8.87	8.93	9.10	
GD + P 3:1	10.27	10.03	10.00		9.63	8.87	8.50	
GD + P 3:1 + NPK	10.43	9.77	10.33		9.53	9.73	9.53	
GD + P 3:1 + N	10.57	10.17	10.43		9.23	9.84	9.63	
GD + P 4:1	10.30	10.50	9.83		9.43	8.73	8.83	
RS _{0.05} A (norma) =	x				x			
RS _{0.05} B (maisījums) =	x				0.52			
RS _{0.05} AB =	x				x			

GD – liellopu kūtsmēslu digestāts; P – koksnes pelni.

Arī proteīna saturs pa gadiem bija atšķirīgs. 2021. gadā ne lietotās mēslojuma normas, ne mēslojuma varianti būtiski neietekmēja proteīna saturu graudos, kas bija gandrīz tāds pats kā kontroles variantā. Savukārt 2022. gadā būtiski augstāks ($p < 0.05$) proteīna saturs vasaras miežu graudos neatkarīgi no lietotās mēslojuma normas tika iegūts mēslojuma variantos GD+P 1:1, GD+P 3:1+NPK un GD+P 3:1+N (4.2. tab.).

Viens no svarīgākajiem vasaras miežu kvalitātes rādītājiem ir graudu tilpummasa. To netieši raksturo graudu briedums, gatavība un 1000 graudu masa. Ar graudu gatavību saprot to pildījuma un nogatavināšanās pakāpi. Gatavos graudus raksturo graudu veidojošo vielu sintēzes procesu pilnība. Graudu gatavībai ir liela tehnoloģiska nozīme, un tā raksturo graudu uzturvērtību. Gatavos graudos ir vairāk endospermas un līdz ar to cietes, cukuru un olbaltumvielu. Jo gatavāki graudi, jo augstāka to tilpummasa.

Kā redzams 4. 3. tabulā, 2021. gadā neviens no lietotajiem mēslošanas līdzekļiem būtiski neietekmēja vasaras miežu tilpummasu. Savukārt otrajā izmēģinājuma gadā būtiska ietekme bija gan lietotajām mēslojuma normām, gan mēslojuma variantiem, un augstākā graudu tilpummasa tika iegūta, lietojot 10 un 20 $t\ ha^{-1}$ mēslojuma normas. Arī 5 $t\ ha^{-1}$ mēslojuma norma deva graudu tilpummasas pieaugumu, taču tas būtiski neatšķīrās no attiecīgā rādītāja kontroles variantā. Salīdzinot mēslojuma variantus, lielākais graudu tilpummasas pieaugums iegūts variantos GD+P 3:1+NPK un GD+3:1+N. Turpretim, lietojot digestāta mēslojumu (GD), iegūtā graudu tilpummasa bija pat nedaudz zemāka nekā kontroles variantā (4.3. tab.).

4.3. tabula

**Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz vasaras miežu graudu
tūpumas, kg hL⁻¹**

Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)							
	2021. gads				2022. gads			
	20 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	5 t ha ⁻¹	Kontrole	20 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	5 t ha ⁻¹	Kontrole
GD	55.70	58.47	57.23	56.43	57.83	56.73	56.97	57.83
GD + P 1:1	55.83	56.97	58.03		60.20	60.23	58.23	
GD + P 2:1	57.67	56.47	54.10		59.30	59.70	59.73	
GD + P 3:1	56.40	59.07	57.53		61.77	59.90	58.03	
GD + P 3:1 + NPK	58.37	59.23	57.47		60.73	59.27	60.90	
GD + P 3:1 + N	56.30	58.03	58.83		60.03	60.63	60.50	
GD + P 4:1	57.53	57.80	56.63		59.50	58.63	57.50	
RS _{0.05} A (norma) =	x				0.77			
RS _{0.05} B (maisījums) =	x				1.25			
RS _{0.05} AB =	x				2.17			

GD – liellopu kūtsmēslu digestāts; P – koksnes pelni.

2021. gadā būtiski augstāku ($p < 0.05$) 1000 graudu masu ieguva, lietojot 10 t ha⁻¹ mēslojuma normu, savukārt 20 t ha⁻¹ un 5 t ha⁻¹ mēslojuma normas deva gandrīz tādu pašu 1000 graudu masas rādītāju kā kontroles variantā. Salīdzinot mēslojuma variantus, būtisks 1000 graudu masas pieaugums konstatēts variantos GD+P 3:1, GD+P 3:1+NPK un GD+P 3:1+N (4.4. tab.).

4.4. tabula

**Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz
vasaras miežu 1000 graudu masu, g**

Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)							
	2021. gads				2022. gads			
	20 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	5 t ha ⁻¹	Kontrole	20 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	5 t ha ⁻¹	Kontrole
GD	46.80	49.21	46.77	46.82	40.16	40.13	37.30	43.54
GD + P 1:1	46.10	48.52	46.75		45.80	48.05	44.00	
GD + P 2:1	46.84	47.15	45.86		48.57	45.35	45.35	
GD + P 3:1	46.76	48.36	48.09		51.20	47.83	41.25	
GD + P 3:1 + NPK	48.97	47.86	47.67		48.73	48.19	46.10	
GD + P 3:1 + N	47.23	47.86	47.96		47.90	46.61	44.38	
GD + P 4:1	47.47	48.66	46.75		44.42	41.51	40.07	
RS _{0.05} A (norma) =	0.71				1.45			
RS _{0.05} B (maisījums) =	1.17				2.37			
RS _{0.05} AB =	2.02				4.11			

GD – liellopu kūtsmēslu digestāts; P – koksnes pelni.

2021. gada izmēģinājumā starp mēslojuma normām būtiskāko cietes satura pieaugumu ieguva, lietojot 10 t ha⁻¹ maisījuma normu, savukārt no mēslojuma variantiem

lielāko cietes satura pieaugumu deva GD+P 2:1, GD+P 3:1, GD+P 3:1+N un GD+P 4:1 varianti. Lai arī 2022. gadā tika konstatēts cietes satura pieaugums salīdzinājumā ar kontroli, statistiskā analīze liecināja, ka tas nebija būtisks (4.5. tab.).

4.5. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz cietes saturu vasaras miežu graudos, %

Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F_B)	Mēslojuma norma, $t\ ha^{-1}$ (F_A)							
	2021. gads				2022. gads			
	$20\ t\ ha^{-1}$	$10\ t\ ha^{-1}$	$5\ t\ ha^{-1}$	Kontrole	$20\ t\ ha^{-1}$	$10\ t\ ha^{-1}$	$5\ t\ ha^{-1}$	Kontrole
GD	58.47	58.90	58.40	58.27	61.07	59.50	60.80	60.63
GD + P 1:1	58.17	58.73	59.17		61.73	62.67	60.10	
GD + P 2:1	58.80	59.77	57.83		62.37	61.60	62.07	
GD + P 3:1	57.80	60.37	58.33		62.87	61.87	60.90	
GD + P 3:1 + NPK	58.80	60.33	58.90		58.53	61.60	61.50	
GD + P 3:1 + N	58.80	58.93	58.70		61.87	61.03	61.70	
GD + P 4:1	58.40	58.90	59.10		61.27	60.90	60.90	
$RS_{0.05\ A}$ (norma) =	0.42				x			
$RS_{0.05\ B}$ (maisījums) =	0.69				x			
$RS_{0.05\ AB}$ =	1.20				x			

Secinājumi

Izmantojot koksnes pelnu un digestāta maisījumus, ir iespējams būtiski ($p<0.05$) paaugstināt vasaras miežu sēklu ražu. Apkopojot datus, tika noskaidrots, ka 2021. gadā būtiski ($p<0.05$) augstāku vasaras miežu sēklu ražu ieguva, izmantojot 10 $t\ ha^{-1}$ liellopu kūtsmēslu digestāta un koksnes pelnu maisījuma, savukārt 2022. gadā būtiski augstāka ($p<0.05$) vasaras miežu sēklu raža tika iegūta variantos, kuru mēslošanai izmantoja 10 un 20 $t\ ha^{-1}$ liellopu kūtsmēslu un digestāta maisījuma.

Starp mēslojuma maisījumu variantiem abos izmēģinājuma gados būtiski augstāku ($p<0.05$) vasaras miežu sēklu ražu ieguva, izmantojot mēslojuma variantu GD+P 3:1+NPK.

Rezultāti liecina, ka 2021. gadā ne izmantotajam mēslojuma daudzumam, ne normām nebija būtiskas ($p>0.05$) ietekmes uz proteīna saturu vasaras miežu graudos, savukārt 2022. gadā, vasaras miežu mēslošanai izmantojot GD+P 1:1, GD+P 3:1+NPK un GD+P 3:1+N mēslojuma maisījumus, tika iegūts būtiski augstāks ($p<0.05$) proteīna saturs vasaras miežu graudos.

Izmēģinājuma gaitā tika novērots, ka 2021. gadā visām izmantotajām mēslojuma normām bija būtiski augstāks ($p<0.05$) cietes saturs salīdzinājumā ar kontroles variantu. Starp mēslojuma variantiem būtiski augstāks ($p<0.05$) cietes saturs vasaras miežu graudos tika konstatēts mēslojuma variantos GD+P 1:1, GD P 2:1, GD+P 3:1 un GD+P 3:1+N. Savukārt 2022. gadā pētāmajiem faktoriem nebija būtiskas ietekmes uz cietes saturu vasaras miežu graudos.

Pētāmie faktori 2021. gadā nav būtiski ($p > 0.05$) ietekmējuši vasaras miežu graudu tilpummasu. Savukārt 2022. gadā būtiski augstāka ($p < 0.05$) vasaras miežu tilpummasa tika iegūta, izmantojot mēslošanas variantus ar normu 10 t ha^{-1} . Vērtējot mēslojuma maisījumu variantus, tika noskaidrots, ka otrajā izmēģinājuma gadā būtiski augstāku ($p < 0.05$) vasaras miežu graudu tilpummasu ieguva, izmantojot mēslojuma variantus GD+P 3:1, GD+P 3:1+NPK un GD+P 3:1+N.

Pētījumu rezultāti parādīja, ka, izmantojot digestāta un koksnes pelnu maisījumus, var iegūt pietiekami augstas un kvalitatīvas vasaras miežu ražas bez minerālmēslojuma pielietošanas.

Izmēģinājumu rezultāti par veiktiem pētījumiem LBTU MPS “Pēterlauki” 2023 gadā

Materiāli un metodes

Lauka izmēģinājumi tika ierīkoti 2022. gada rudenī LBTU mācību pētījumu saimniecības “Pēterlauki” velēnu karbonātu augsnē ar augsnes reakciju pH_{KCl} 6.7, fosfora (P_2O_5) saturu augsnē 170 mg kg^{-1} , kālija (K_2O) saturu augsnē 172 mg kg^{-1} un organiskās vielas (OV) saturu augsnē 2.8%. Izmēģinājumu lauciņu sagatavošanai tika veikta augsnes aršana līdz 22 cm dziļumam. Tika ierīkots divfaktoru izmēģinājums: 1) liellopu kūtsmēsļu digestāta (no AS “Ziedi JP”) (D) un koksnes pelnu (no SIA “Gren Jelgava”) (P) maisījumi ar dažādām komponentu proporcijām (A1 – D; A2 – D+P 1:1; A3 – D+P 2:1; A4 – D+P 3:1; A5 – D+P 3:1 + NPK 8-20-30 200 kg ha^{-1} ; A6 – D+P 3:1 + N 64 kg ha^{-1} ; A7 – D+P 4:1); 2) dažādas mēslošanai izmantotās maisījumu normas (B1 – 5 t ha^{-1} ; B2 – 10 t ha^{-1} ; B3 – 20 t ha^{-1}). Pavasarī, atjaunojoties veģetācijai, izmēģinājuma varianta A6 lauciņos tika iestrādāti 200 kg ha^{-1} amonija nitrāta (N 34.4%).

Pirms sējas sagatavotajos lauciņos izklidēti visi iepriekš sagatavotie liellopu kūtsmēsļu digestāta un koksnes pelnu maisījumi. Maisījumi augsnē iestrādāti ar kombinēto augsnes frēzi “Farmet Kompaktomat K400”. Visi varianti ierīkoti trīs atkārtojumos. Kopumā izmēģinājumos tika ierīkoti 66 lauciņi katrai sugai, kuru katra platums bija 3 m, bet garums 10 m jeb 30 m^2 . Kopēja ar izmēģinājumiem aizņemta platība, iekaitot izolācijas sastādīja 1.35 hektāri.

Ziemas kviešu un ziemas rapša priekšsējs bija papuve.

Ziemas kvieši. Sējai izmantota ziemas kviešu šķirne ‘Zeppelin’; izsējas norma – 500 dīgstošu sēklu uz m^2 . Sējas termiņš: 2022. gada 20. septembris.

Sējumu smidzinājumi: herbicīds-Biathlon -0.07 kg/ha un Dash-0.5 L/ha , 21.04.23; fungicīdi -Priaxor + Curbatur $0.4+0.4 \text{ L/ha}$, 20.05.23 un Priaxor + Curbatur $0.5+0.5 \text{ L/ha}$, 16.06.23. Augšanas regulatori – Cycocel- 1.0 L/ha 21.04.23. un Medax Max- 0.5 kg/ha 20.05.23.

Ziemas rapsis. Sējai tika izmantota ziemas rapša šķirne ‘SY Corteva’ ar izsējas normu 80 dīgstošas sēklas uz m^2 . Ziemas rapša sēja tika veikta 1.5 līdz 2 cm dziļumā 18.08.2023. Rudenī rapsis ļoti labi attīstījās un ziemošanas periodam bija izveidojušas 5-7 lapas. Tomēr pavasarī, atjaunojoties veģetācijai, tika konstatēts, ka šī šķirne slikti pārziemoja. Sējumu biežība bija tikai 6-8 augi uz 1 m^2 . Tāpēc tika pieņemts lēmums sējumu pārsēt ar vasaras rapsi. Pārsēšanai izmantoja vasaras rapša šķirni – ‘Performer’, izsējas norma – 55 dīgstošu sēklu uz m^2 , sējas laiks - 05.05. 2023. Sējumu smidzinājumi: herbicīds - Galera -0.3 L/ha , 27.06.23; insekticīdi - Evure -0.2 L/ha , 27.06.23.

Abu sugu veģetācijas perioda tika veikti novērojumi augu attīstības dinamikai. Pirms ražas novākšanas pētījumu variantiem tika noņemti paraugkūlīši ražas struktūrelementu noteikšanai.

Ziemas kviešu izmēģinājumu kulšana norisinājās 2023. gada 16 augusta, bet vasaras rapša 2. oktobrī.

Pēc izmēģinājuma lauciņu nokulšanas katra lauciņa raža tika nosvērta un attīrīta, izmantojot “PFEUFFER SLN3” paraugu tīrāmo iekārtu. Izmantojot ekspresanalizatoru “Infratec NOVA Foss”, abām sugām tika noteikts: paraugu mitrums, kopslāpekļa saturs, cietes, lipekļa saturs, *Zeleny* indekss ziemas kviešu graudos un eļļas saturs vasaras rapša sēklās, tilpummasa. Izmantojot iegūto rezultātu, tika aprēķināta iegūtā raža ($t\ ha^{-1}$) pie (100%) paraugu tīrības, pie 14% standartmitruma ziemas kviešiem un pie 8% standartmitruma vasaras rapsim. Paraugiem ar standartmetodi (LVS EN ISO 520) tika noteikta arī 1000 sēklu masa, gramos.

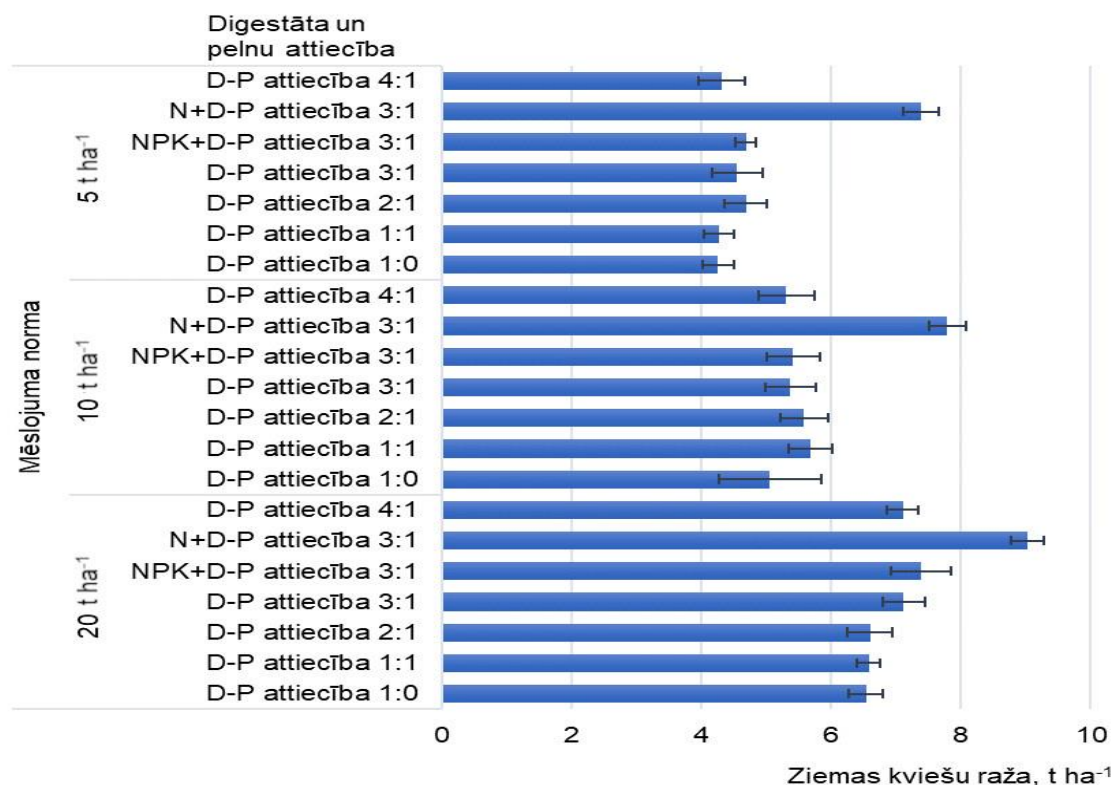
Datu apstrāde tika veikta, izmantojot “Microsoft Excel” un “R-Studio” datorprogrammas.

Rezultāti

Ziemas kvieši

Atkarībā no pētījuma varianta ziemas kviešu raža izmainījās no 4.26 līdz 9.03 $t\ ha^{-1}$ (att.). Izmantojot koksnes pelnu un digestāta maisījumus, ir iespējams būtiski ($p<0.05$) palielināt ziemas kviešu graudu ražu.

Ziemas kviešu ražu būtiski ($p<0.05$) ietekmēja izmantotā mēslojuma norma, kā arī digestāta un pelnu attiecība mēslojumā. Būtiski augstāku kviešu ražu ieguva, lietojot augstāku (20 $t\ ha^{-1}$) mēslojuma normu, bet zemākas ražas ieguva, lietojot zemākas (5 $t\ ha^{-1}$) mēslojuma normas.



Attēls. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas kviešu graudu ražu, $t\ ha^{-1}$

D – liellopu kūstmēslu digestāts; P – koksnes pelni.

Digestāta un pelnu attiecībai mēslojumā bija būtiska ($p<0.05$) ietekme uz ziemas kviešu ražu 2023. gadā. Visām lietotajām mēslojuma normām (5, 10 un 20 t ha⁻¹) būtiski augtākas kviešu ražas iegūtas variantā, kurā izmantots digestāta-pelnu maisījums attiecībā 3:1 + N, bet zemākās ražas iegūtas variantā ar digestāta-pelnu attiecību 1:0, kurā pelni netika izmantoti (att.).

1.tabula

Ziemas kviešu kvalitātes rādītāji 2023. gadā MPS Pēterlauki

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Proteīna saturs, %	Lipekļa saturs, %	Cietes saturs, %	Zeleny indekss, mL	Tilpummasa, kg hL ⁻¹	1000 graudu masa, g
5	D-P attiecība 1:0	9.40	16.10	71.40	26.00	73.75	44.23
	D-P attiecība 1:1	9.50	16.27	71.37	26.15	74.39	45.51
	D-P attiecība 2:1	9.40	16.07	71.47	26.08	74.05	44.93
	D-P attiecība 3:1	9.27	15.63	71.43	25.94	73.84	44.90
	D-P attiecība 3:1+NPK	9.13	15.73	71.50	25.74	74.14	44.81
	D-P attiecība 3:1+N	10.53	18.80	71.03	32.80	75.34	47.62
	D-P attiecība 4:1	9.40	15.93	71.63	26.39	74.44	45.71
	Vidēji	9.52	16.36	71.40	27.01	74.28	45.39
10	D-P attiecība 1:0	8.50	14.67	71.60	22.99	73.20	43.73
	D-P attiecība 1:1	9.07	15.77	71.23	25.04	73.64	44.38
	D-P attiecība 2:1	8.40	14.53	71.93	24.08	73.39	45.34
	D-P attiecība 3:1	9.17	15.47	71.30	24.41	73.47	43.85
	D-P attiecība 3:1+NPK	8.53	14.53	71.50	23.99	73.05	44.93
	D-P attiecība 3:1+N	10.77	19.53	70.87	35.29	75.52	47.62
	D-P attiecība 4:1	8.17	14.23	70.83	21.85	72.62	43.28
	Vidēji	8.94	15.53	71.32	25.38	73.56	44.73
20	D-P attiecība 1:0	9.63	16.73	71.07	28.75	74.11	45.91
	D-P attiecība 1:1	10.00	17.40	71.10	29.50	74.90	46.54
	D-P attiecība 2:1	9.80	16.97	71.20	28.04	74.03	45.55
	D-P attiecība 3:1	10.33	18.10	70.80	31.16	74.74	46.85
	D-P attiecība 3:1+NPK	9.87	16.97	70.87	28.06	73.88	44.70
	D-P attiecība 3:1+N	11.23	20.70	70.07	37.35	74.65	46.95
	D-P attiecība 4:1	10.07	17.50	70.70	29.94	73.54	45.63
	Vidēji	10.13	17.77	70.83	30.40	74.26	46.02
RS _{0.05} A (norma)		0.35	0.74	0.25	1.69	0.68	0.92
RS _{0.05} B (attiecība)		0.54	1.13	0.39	2.58	1.04	1.40
RS _{0.05} AB		0.94	1.97	0.67	4.47	1.80	2.43

D – liellopu kūtsmēslu digestāts; P – koksnes pelni.

Lietotai mēslojuma normai bija būtiska ($p<0.05$) ietekme uz šādiem kviešu kvalitātes rādītājiem: proteīna saturs, lipekļa saturs, cietes saturs sausnā, *Zeleny* indekss un 1000 graudu masa. Būtiski augstāku proteīna un lipekļa saturu sausnā ieguva, lietojot augstāku (20 t ha⁻¹) mēslojuma normu, bet zemākie rādītāji konstatēti, lietojot zemāko mēslojuma normu (5 t ha⁻¹). Arī būtiski augstākie *Zeleny* indeksa un 1000 graudu masas rādītāji iegūti,

lietojot lielāku (20 t ha^{-1}) mēslojuma normu, bet zemākie rādītāji konstatēti, lietojot mazāku (5 t ha^{-1}) mēslojuma normu. Savukārt augstāks cietes saturs saussnā konstatēts, lietojot zemākas (5 un 10 t ha^{-1}) mēslojuma normas, bet zemākie rādītāji konstatēti, lietojot 20 t ha^{-1} mēslojuma normu.

Digestāta un pelnu attiecībai mēslojumā bija būtiska ($p < 0.05$) ietekme uz šādiem kviešu kvalitātes rādītājiem: proteīna saturs, lipekļa saturs, cietes saturs saussnā, *Zeleny* indekss, tilpummasa un 1000 sēklu masa. Būtiski augstāks proteīna un lipekļa saturs saussnā iegūts variantā, kurā izmantoja digestāta-pelnu maisījumu attiecībā $3:1$ + slāpekļis. Proteīna un lipekļa satura atšķirības starp pārējiem digestāta un pelnu attiecību variantiem nebija būtiskas. Tendence veidot zemāku proteīna un lipekļa saturu saussnā novērota variantā ar digestāta-pelnu attiecību $3:1$ + NPK. Arī *Zeleny* indeksa, tilpummasas un 1000 graudu masas rādītāji bija būtiski augstāki variantā, kurā tika izmantots digestāta-pelnu maisījums attiecībā $3:1$ + slāpekļis.

Vasaras rapsis

Vidēja vasaras rapša sēklu raža ar digestātu un koksnes pelnu maisījumiem mēslos variantos pie 8% mitruma sastādīja 1.91 t ha^{-1} , bet kontroles varianta vidēja raža bija 0.87 t ha^{-1} . Atkarībā no pētījuma varianta rapša sēklu raža izmainījās no 1.28 līdz 2.38 t ha^{-1} (1.tab.)

1. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz vasaras rapša sēklu ražu 2023 g., t ha^{-1}

Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F_B)	Mēslojuma norma, t ha^{-1} (F_A)			Vidēji
	5 t ha^{-1}	10 t ha^{-1}	20 t ha^{-1}	
D+P attiecība $1:0$ (kontrolē)	0.81	0.89	0.92	0.87
D+P attiecība $1:1$	1.28	1.70	1.80	1.59
D+P attiecība $2:1$	1.57	1.79	1.88	1.75
D+P attiecība $3:1$	1.63	1.88	1.92	1.81
D+P attiecība $3:1$ +NPK	1.89	1.94	2.17	2.00
D+P attiecība $3:1$ +N	2.20	2.29	2.38	2.29
D+P attiecība $4:1$	1.91	2.01	2.10	2.01
Vidēji komponentu maisījumiem	1.75	1.94	2.04	1.91
RS _{0.05} A (norma)	0.09			
RS _{0.05} B (attiecība)	0.12			
RS _{0.05} AB	0.23			

D – liellopu kūstmēslu digestāts; P – koksnes pelni.

Palielinot izmantotās mēslošanas līdzekļa maisījumu normas, palielinājās arī vasaras rapša sēklu raža. Būtiski augstāka ($p < 0.05$) vidējā vasaras rapša sēklu raža tika iegūta variantos, kuru mēslošanai izmantoja 5 , 10 un 20 t ha^{-1} digestāta un koksnes pelnu maisījuma normas. Starp digestāta un koksnes pelnu maisījumu variantiem būtiski augstāka ($p < 0.05$) vasaras rapša sēklu vidējā raža tika iegūta, izmantojot maisījumu variantus D+P $3:1$ +N un D+P $4:1$.

Izvērtējot rezultātus, kas saistīti ar kvalitātes rādītājiem, noskaidrots, ka vidējais eļļas saturs ziemas rapša sēklās atkarībā no izmēģinājuma variantiem bijis robežās no 37.90% līdz

38.94 %. Mēlojum normu ietēmēs atšķirības nebija būtiskas. Tika novērota tikai tendence eļļas satura samazinājumam pie augstākām mēslojuma normām.

2.tabula

Eļļas ieguve vasaras rapša sējumos atkarībā no digestāta un koksne pelnu maisījumiem 2023 g., t ha⁻¹

Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)			Vidēji
	5 t ha ⁻¹	10 t ha ⁻¹	20 t ha ⁻¹	
D+P attiecība 1:0 (kontrolē)	0.32	0.34	0.35	0.34
D+P attiecība 1:1	0.50	0.65	0.68	0.61
D+P attiecība 2:1	0.61	0.68	0.71	0.67
D+P attiecība 3:1	0.63	0.72	0.73	0.69
D+P attiecība 3:1 +NPK	0.74	0.74	0.82	0.77
D+P attiecība 3:1 +N	0.86	0.88	0.90	0.88
D+P attiecība 4:1	0.74	0.77	0.80	0.77
Vidējkomponentu maisījumiem	0.68	0.74	0.77	0.73

D – liellopu kūstmēslu digestāts; P – koksnes pelni.

Savukārt, palielinot izmantotās maisījumu normas no 5 līdz 10 un 20 t ha⁻¹ ir redzams, ka iegūtais eļļas daudzums arī ir būtiski augstāks pie visām digestāta un pelnu attiecībām mēslojumā (2. tab.). Veicot korelācijas analīzi, tika pierādīts, ka vasaras rapša sēklu raža konkrētajā izmēģinājumā pozitīvi korelēja ($r=0.75$) ar iegūto eļļas daudzumu t ha⁻¹.

Atkarībā no pētījuma variantiem vidējais proteīna saturs vasaras rapša sēklu sausnā izmainījās robežas no 26-30%, tilpummasa - 66-68 kg hL⁻¹, 1000 sēklu masa -3.37-4.07grami.

Kopsavilkums

Pētījumu rezultāti apstiprināja mūsu iepriekšējo gadu pētījumu rezultātus, ka, izmantojot digestāta un koksnes pelnu maisījumus, var iegūt pietiekami augstas un kvalitatīvas ziemas kviešu un vasaras rapša ražas bez minerālmēslojuma pielietošanas.

Būtiski augstāka ($p<0.05$) ziemas kviešu graudu raža tika iegūta variantā D + P 3:1 + N, D + P 3:1 + NPK un D + P 4:1.

Īpatnējos 2023 gada agrometeoroloģiskajos apstākļos digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz vasaras rapša produktivitāti bija ļoti pārliecinoša.

Pētījumi LVMI “Silava” un ZS “Irbenes”

.

1. Mērķi un uzdevumi

Visi mērķi ir atbilstoši Lauku attīstības programmai:

- zināšanu pārnese un inovāciju veicināšana lauksaimniecībā, mežsaimniecībā un lauku apvidos;
- lauku saimniecību dzīvotspējas un visu lauksaimniecības veidu konkurētspējas uzlabošana visos reģionos un inovatīvas saimniecību tehnoloģijas un ilgtspējīgu meža apsaimniekošanu veicināšana, īpaši uzlabojot visu lauku saimniecību ekonomiskos rādītājus un veicinot lauku saimniecību pārstrukturēšanu un modernizēšanu, galvenokārt lai pastiprinātu dalību tirgū un virzību uz tirgu, kā arī lai veicinātu lauksaimnieciskās darbības dažādošanu;
- ar lauksaimniecību un mežsaimniecību saistītas ekosistēmas atjaunošana, saglabāšana un uzlabošana.

Pieteikums “Jaunas tehnoloģijas izstrāde augu mēslošanas līdzekļu ražošanai no biogāzes ražotnes fermentācijas atliekām – digestāta un šķeldas koģenerācijas atliekām – koksnes pelniem” iesniegts ar mērķi izstrādāt jaunas tehnoloģijas, lai ražotu augšņu auglību uzlabojošus produktus (mēslošanas līdzekļus) ar augstu pievienoto vērtību no ražošanas blakusproduktiem – digestātiem un koksnes pelniem.

Projekta izpildes laikā tiek veikti vairāki pētījumi, un tam kopumā izvirzīti seši darba uzdevumi. Katra partnera iesaiste darba uzdevumos noteikta B8. punktā:

- ZS “Irbenes” veica eksperimentus un mērījumus dažādām kokaugu sugām un noteica jaunā mēslojuma veida ekonomisko efektivitāti;
- LVMI “Silava” iegūta zinātniskā informācija par jaunā mēslojuma veida ietekmi uz koku augu augšanu un attīstību. Pētījumu rezultāti atspoguļoti zinātniskās un zinātniski populārās publikācijās.

Sadarbības partneri LVMI “Silava” un ZS “Irbenes” izpildīja:

- uzdevumu “Novērtēt dažādu digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekmi uz augu augšanu veģētācijas traukos” – pārbaudīta maisījuma efektivitāte priežu vai papeļu stādu audzēšanā. Stādus lauka apstākļos turpināja testēt ZS “Irbenes”;
- 4. uzdevumu “Novērtēt dažādu digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekmi uz augu augšanu un produktivitāti lauka un meža apstākļos” – ierīkoti ilgtermiņa izmēģinājumi MPS¹ Jelgavas mežu novada priežu jaunaudzēs, ziemas (uz sniega) un pavasara (veģētācijas sezonas sākumā) periodā ielabojot divgadīgus priežu stādījumus, kur mežaudzes ir atjaunotas ar barošanās elementiem maznodrošinātās minerālaugsnēs. MPS Kalsnavas mežu novadā testēta priežu sēja ar digestāta, koksnes pelnu un smilšu maisījumu ielabotās stādīvietās.

2. Projektā iekļauto pētījumu īstenošanas posmi

Pētījuma īstenošanu var iedalīt trijos posmos:

- priekšizpēte un piloteksperimenti (2019.–2020. gads);
- izmēģinājumu ierīkošana divās eksperimentālajās sērijās (2021.–2022. gads);
- iegūto rezultāta analīze, ilgtermiņa parauglaukumu monitorings (2023. gads).
- Par eksperimentu laikā sasniegto un tajos gūtajām atziņām sniegti ziņojumi konferencēs un rezultāti popularizēti zinātniskajos un pieredzes apraksta rakstos.

1 MPS - Meža pētīšanas stacija (https://www.agenturamps.lv/lv/par_mums/musu_darbibas_virzieni/)

3. Eksperimentālo sēriju, stādījumu ierīkošana un iegūto rezultātu analīzei izmantotās metodes, rezultāti

Augsnes ielabošanas līdzekli (dažādas izcelsmes un dažādās proporcijas sajaukti koksnes pelni un digestāts) testēja, audzējot ātraudzīgus apšu ģints (*Populus* spp.) papeļu klonus, kas pavairojami veģetatīvi, tādējādi izslēdzot katram īpatnim piemītošo individuālo ģenētisko īpašību ietekmi uz galarezultātu. Skuju koku suga parastā priede (*Pinus sylvestris* L.) tika izvēlēta, jo priedes spēj augt gan skābā, gan bāziskā augsnē. Priežu augšanas tempu un vainaga formas būtiski ietekmē augšanas apstākļi un barošanās elementu nodrošinājums. Ja vien tiek nodrošināts pietiekams apgaismojums un konkurējošās veģetācijas aizzēlums nav pārlieku blīvs, priedes izdzīvo un aug, arī ja augsnē ir zems vai nesabalansēts augu barošanās elementu nodrošinājums.

4. Pētījumos izmantotais reproduktīvais materiāls

Papeles

Pētījumos audzētie kloni ir reģistrēti audzēšanai gan īscirtmeta stādījumos, gan plantāciju mežos un mežaudzēs. Tika audzēti kloni ‘Auce’ un ‘OP42’. Klona ‘Auce’ selekcionāra tiesības pieder LVMI “Silava”², bet klona ‘OP42’ pavairošana nav aizsargāta ar selekcionāra tiesībām.

Par papeļu stādmateriālu tika izmantoti spraudēņi. Tos ieguva 2020. gada 1. aprīlī Jaunkalsnavas apkārtnē ierīkotā stādījumā. Spraudēņus grieza no iepriekšējā gada dzinuma aptuveni 15 cm garus tā, lai katram spraudenim būtu vismaz divi pumpuri. Pēc tam tos ievietoja uzglabāšanas konteinerī, kurā ūdens līmenis bija vismaz 2 cm (1. att.). Līdz stādīšanas brīdim uzglabāšanas konteineri ar spraudēņiem novietoja LVMI “Silava” aukstuma kamerā, +5 °C temperatūrā bez apgaismojuma. Nākamajos gados reproduktīvo materiālu sagatavoja ziemas mēnešos un uzglabāja stādu kartona kastēs uzglabāšanas telpā 0–5 °C temperatūrā.



1. att. Nepieciešamā papeļu stādmateriāla/spraudēņu ieguve.

² http://www.silava.lv/userfiles/file/ERAF%20Lazdina%20031%202014/Kloni%20-%20ERAF-101-118-031_LV.pdf

Priedes

Priežu audzēšanu veica, izmantojot LVMI “Silava” priežu selekcijas programmas ietvaros ievāktās priežu sēklas (uzglabātas MPS noslēgtā telpā ar optimālu mitrumu, vēsumā, -5 °C nemainīgā temperatūrā). Priedes sēklas izvēlējās, tādas, kas ievāktas no sēklu plantācijās, kurā aug uz kūdras augsnēm atlasīti priežu kloni.

Sēts, jo priedes jaunais koks jau sākotnēji attīstīsies ielabotajā stādvieta, tāpēc nebūs kokaudzētavā izmantotā substrātā vai augsnē pieejamo barošanās elementu un augā uzkrāto rezervju blakus ietekmes, kā tas būtu, stādus audzējot veģetācijas traukos/ietvaros.

Mēslojumu testēja, audzējot priedes sējeņus gan kasetēs, gan MPS Jelgavas mežu novadā, kur stādīti priedes ietvarstādi.

5. Pētījumu metodes

2020. gads

Pirmajā izpētes gadā LVMI “Silava” zinātnieki veica pilotpētījumus ar ātraudzīgu papeļu klonu spraudņiem (identisks ģenētiskais materiāls) un priedi, sējot ielabotā kūdras augsnē mežaudzē MPS Kalsnavas mežu novadā.

Izmēģinājumu ar ātraudzīgajiem papeļu kloniem ierīkoja LVMI “Silava” Klimata mājas kompleksa poligonā. Veģetācijas traukos iestādīja 15 cm garus spraudņus. Katrā kasetē iestādīja deviņus klona ‘Auce’ spraudņus un deviņus ‘OP42’ klona spraudņus. Eksperimentu ierīkoja mežaudzē ievāktā augsnē. Augsni, kas bija labi sadalījusies kūdra, ievāca šaurlapju kūdrenī, kur pirms rekonstruktīvās cirtes auga ļoti produktīva egļu audze. Augsne bija skāba (pH 4,3), ar zemu P un K saturu (Lazdiņa u.c., 2017). Mežaudzē ievāktu augsni ielaboja ar LBTU speciālistu sagatavotu mēslojumu, 14 dažādās proporcijās sajaucot koksnes pelnus ar cūku vai govju kūtsmēsliu digestātu (1. tab.). Augsnei pievienojamās maisījumu devas aprēķināja nolūkā paaugstināt augsnes pH – no 4,3 uz 5,5.

1. tabula

Augsnes ielabošanai sagatavotie maisījumi un to īpašības, LBTU agroķīmiku aprēķinātais augsnei pievienojamais maisījuma daudzums

Digestāta substrāts	Digestāta daļa	Pelnu daļa	pH	Neitralizēšanas spēja, %	Substrātam (1,3 L) pievienotais daudzums, g	Uz 1 L papildus ienestie barošanās elementi				
						Kopslāpekļis	Fosfors	Kālijs	Kalcijs	Magnijs
Cūku kūtsmēsli	1	0	12,93	25,28	25,45	0,067	0,161	0,466	2,478	0,407
	1	1	12,97	25,86	24,89	0,070	0,164	0,458	2,484	0,407
	1	2	12,90	32,5	19,8	0,082	0,170	0,421	2,077	0,362
	1	3	12,47	38,01	16,93	0,098	0,180	0,364	1,746	0,317
	1	4	12,52	39,49	16,29	0,104	0,188	0,350	1,531	0,290
	2	1	13,06	17,6	36,57	0,055	0,159	0,292	2,406	0,440
	2	2	13,12	11,99	53,67	0,027	0,155	0,517	2,825	0,456
	3	1	12,09	9,94	64,75	0,033	0,159	0,513	2,825	0,460
	1	1	12,76	23,14	27,81	0,078	0,135	0,462	2,283	0,372

Govju kūtsmēsli	1	2	12,55	22,79	28,24	0,074	0,123	0,433	2,046	0,343
	1	3	12,23	31,51	20,43	0,080	0,117	0,392	1,823	0,301
	1	4	11,85	37,65	17,09	0,086	0,110	0,366	1,486	0,262
	2	1	12,76	18,28	35,21	0,053	0,127	0,450	2,232	0,370
	3	1	12,84	14,5	44,37	0,043	0,139	0,487	2,559	0,417
	4	1	12,80	10,85	59,31	0,023	0,139	0,495	2,694	0,442

Zem katra veģetācijas trauka atradās paliktnis, kas aizkavēja augu barošanās elementu izskalošanos, kā arī kalpoja par ūdens rezervuāru/krātuvi karstajās vasaras dienās (2. att.). dzinumu augstumus ar vienu cm precizitāti.



Ātraudzīgo papēļu klonu piloteksperimenta
uzturēšana



Fotosintētisko procesu aktivitātes
noteikšana papēļu lapās

2. att. Ar papēļu spraudņiem ierīkoti eksperimenti.

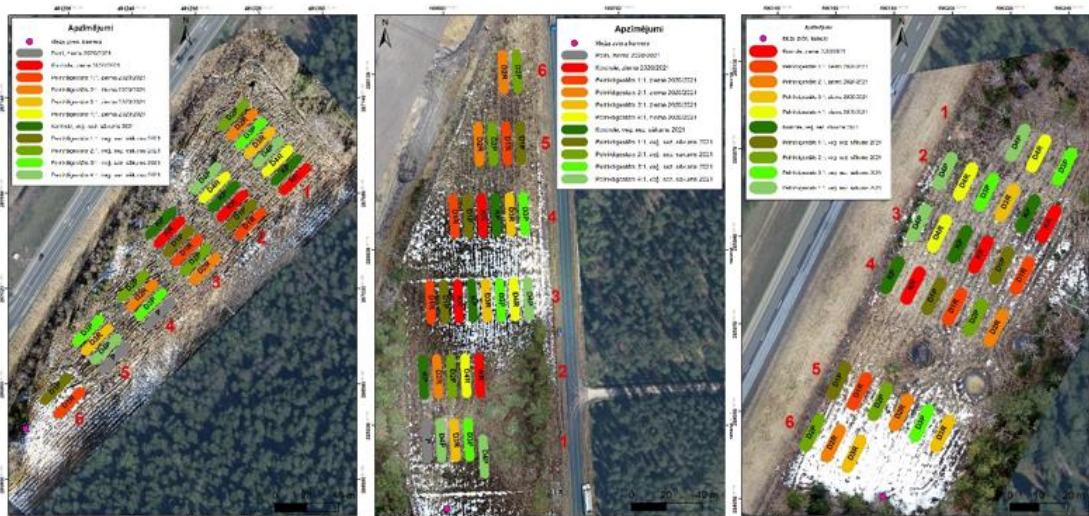
Veģetācijas sezonas laikā vērtēja augu fizioloģiskos procesus – nosacīja fotosintēzes aktivitāti mikromolos uz kvadrātmetru sekundē. Fotosintēzes intensitātes mērījumus jūnijā un augustā veica ar mobilo fotosintēzes aktivitātes mērītāju “LCpro-SD” (2. att.). Augusta beigās uzmērīja visu Kalsnavas mežu novada Medņu līnijas mežaudzē priedi sēja sējvietās, kas ielabotas ar LBTU pētnieku sagatavotajiem mēslojumu maisījumiem un smiltīm (3. att.). Priežu sēšanas eksperimentā izmantoja “kūdreņu izcelsmes” sēklas. Priedes sēja tajā pašā mežaudzē, no kuras ievāca augsni siltumnīcas eksperimenta veikšanai. Pirmo sējumu veica maija sākumā, otrreiz sēja maija beigās, ierīkojot priežu sējumus ar digestāta/koksnes pelnu maisījumiem un smiltīm ielabotās stādīvietās (deva atbilstoši 1. tabulas rādītājiem).



3. att. Priedes sējvieta sagatavošana.

2021. gads

MPS Jelgavas mežu novada šaurlapju ārenī (trīs nogabalos, 30 parauglaukumu katrā nogabalā, kopā ~10 000 stādu) 2020./2021. gada ziemas sezonā un 2021. gada pavasarī kokaudzēs ierīkoja izmēģinājumus. Iepriekšējā gadā atjaunotās priežu *Pinus sylvestris* jaunaudzēs augsni ielaboja ar dažādu koncentrāciju koksnes pelnu un digestāta maisījumu (digestāta un koksnes pelnu sausnas masas attiecībās 1:1, 1:2, 1:3 un 1:4) – manuāli izkliedēja mēslošanas līdzekļa prototipus: ziemā (uz sniega segas – Somijas prakse) un veģetācijas sezonas sākumā (atbilstoši MK noteikumiem) (4. att.).



4. att. Ar biogāzes ražošanas digestāta separātu un koģenerācijas staciju koksnes šķeldas pelnu maisījumu ielaboto MPS platību ortofoto.

Visos variantos izkliedēja 3 t ha^{-1} koksnes pelnu un attiecīgi digestātu. Ziemas sezonā stādi tika aizsargāti no briežu dzimtas dzīvnieku nodarītiem bojājumiem un to galotnes apstrādāja ar repelentiem. Paraleli lauka aktivitātēm ierīkoja eksperimentu daļēji kontrolētos apstākļos siltumnīcā, ietvaros ar meža augsni, kas bija ielabota ar jaunā mēslošanas līdzekļa prototipu. Meža augsne tika ielabota ar iepriekš minētajām digestāta un pelnu mēslojuma devām (pelni:digestāts – 1:1, 1:2, 1:3, 1:4), izveidojot arī kontroles variantu.

Pēc pirmā veģetācijas perioda daļai priežu sējeņu saknes tika atbrīvotas no substrāta – ievāca virszemes daļas un sakņu sistēmu, lai novērtētu, vai pirmās veģetācijas sezonas noslēgumā ir novērojamas atšķirības priedes augšanas parametros mēslootām un nemēslootām priedēm. Priežu sējeņiem noteica virszemes un pazemes daļu sauso masu, sakņu laukumu, stumbru augstumu un saglabāšanos. No substrāta atbrīvotajiem stādiem skenēja saknes, izmantojot datorprogrammu “WinRizo2019”, un noteica sakņu laukumu (5. att.).



5. att. Ar “WinRizo2019” skenētas priedes atkarībā no mēslojuma (mēslotais variants ar digestāta un pelnu proporciju 1:4 un kontrole).

2021. gada maijā tika uzsākts atkārtots eksperiments veģetācijas traukos ar minerālaugsnī, ko ņēma no mežaudzes, kurā bija ierīkots viengadīgo priežu mēslošanas eksperiments, stādot veģetatīvi pavairojamus papeļu klonus. Eksperimentam izmantoja iepriekš izvēlētos papeļu klonus. No abiem kloniem ieguva 25 cm garus stumbru spraudņus to tālākai pavairošanai. Papeļu spraudņu audzēšanu daļēji kontrolētos apstākļos veica otro sezonu pēc kārtas. Lai papildus iegūtu augšanas parametru datus, tajā gadā papeles tika stādītas 20 L veģetācijas maisos, kurus ievietoja plastmasas vannās, lai novērstu minerālo vielu izskalošanos laistīšanas laikā (6. att.). Laistīšana notika, pievadot katram maisam vienādu daudzumu ūdens.



6. att. Eksperiments daļēji kontrolētos apstākļos siltumnīcā.

Kā substrātu izmantoja meža minerālaugsnī ar zemu fosfora un kālija saturu (pH 4,3). Minerālaugsnī papildināja ar cūku un govju kūtsmēsli biogāzes digestāta un pelnu,

kas iegūti no diviem uzņēmumiem (“Dobeles Eko” un “Gren Latvia”), maisījumu dažādās koncentrācijās, kā arī izveidoja kontroles grupu, kuru nemēsloja (2. tab.).\

2. tabula

Digestāta un pelnu proporcijas mēslotajos variantos stādītajiem papeļu spraudņiem 2021. gadā

Digestāta izejviela	Digestāta un pelnu proporcija	Neitralizēšanas spēja, %	Substrātam pievienotais daudzums, g /L	Papildus ienestie barošanās elementi mg/L				
				N	P	K	Ca	Mg
Govju kūtsmēsli	1:1	23,14	27,81	0,070	0,164	0,458	2,484	0,407
	1:2	22,79	28,24	0,082	0,170	0,421	2,077	0,362
	1:3	31,51	20,43	0,098	0,180	0,364	1,746	0,317
	1:4	37,65	17,09	0,104	0,188	0,350	1,531	0,290
Cūku kūtsmēsli	1:1	25,86	24,89	0,078	0,135	0,462	2,283	0,372
	1:2	32,50	19,80	0,074	0,123	0,433	2,046	0,343
	1:3	38,01	16,93	0,080	0,117	0,392	1,823	0,301
	1:4	39,49	16,29	0,086	0,110	0,366	1,486	0,262

Papeļu atvasēm veica gan morfoloģisko, gan fizioloģisko parametru mērījumus. Noteica atvašu un sakņu garumu, lapu skaitu, lapu laukumu (izmantojot programmatūru “WinFolia 2019”), kā arī lapu, atvašu un sakņu svaigo un sauso masu. No fizioloģisko parametru mērījumiem trīs reizes sezonā veica hlorofila satura indeksa (CCI) mērījumus, izmantojot “CI-710S” lapu spektrofotometru, un divas reizes sezonā veica fotosintēzes intensitātes mērījumus, izmantojot pārvietojamo infrasarkanās gaismas gāzes analīzes sistēmu. CCI norāda uz relatīvo hlorofila daudzumu lapā, bet fotosintēzes intensitātes norāda uz lapas maksimālo spēju fiksēt oglekli fotosintēzes laikā.

2022. gads

Kontrolētos apstākļos 2021. gadā izaudzētos papeļu dzinumus, kas nebija vajadzīgi biomasas noteikšanai, iestādīja ZS “Irbenes” laukos, un stādījumā izvietoja informatīvo plāksni.

Tika apkopoti 2021. gadā izaudzēto papeļu spraudņu augšanas rezultāti un vērtēta spraudņu un priežu sējeņu augšana (garums, biomasa) atkarībā no jaunā mēslošanas līdzekļa veida, kāds bija pievienots mežā ievāktajai augsnei.

2022. gada augšanas sezonā novērtēja 2021. gada ziemas un pavasara periodā mēsloto priežu dendrometriskos parametrus un mēslošanas ietekmi uz zemsedzes veģetācijas attīstību, kā arī augsnes ķīmisko sastāvu. Pēc augsnes ielabošanas, veģetācijas perioda sākumā, veica augsnes analīzes, nosakot augsnes blīvumu, pH un kopējo C un N saturu augsnē. Augsnes paraugus ņēma saskaņā ar standarta Nr. LVS ISO 11464:2006 prasībām, izmantojot “Soil sampling ring kit-model C53” (Royal Eijkelkamp, Giesbeek,

Netherlands), un tos analizēja LVMI “Silava” Meža vides laboratorijā (akreditācijas Nr. LATAK-T-631-02-2020).

Stādītājām priedēm noteica dendrometriskos parametrus: augstumu un vainaga platumu četros rādiusos, izveidojot 3×10 m lielus parauglaukumus trijos atkārtojumos katram mēslošanas variantam katrā mēslošanas platībā. Papildus divās platībās novērtēja veģētāciju, nosakot visas sastopamās sugas un to procentuālo segumu. Veģētācijas novērtēšanai izveidoja trīs 1×1 m parauglaukumus katrā dendrometrisko parametru parauglaukumā, kopā izveidojot 60 parauglaukumus katrā platībā (120 parauglaukumi abās). Veģētācijas datus klasificēja atkarībā no ruderālajām un tipiskajām meža sugām, Ellenberga indikatora vērtībām un augu augšanas formas.

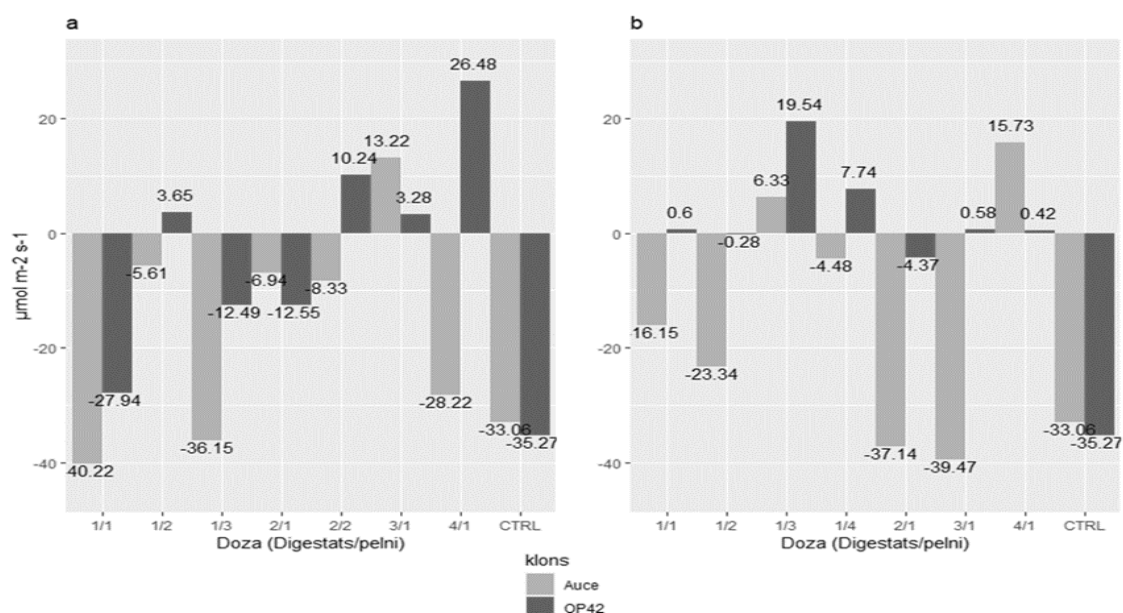
Datu matemātiskā apstrāde

Dati apstrādāti, izmantojot datorprogrammas “Microsoft Excel” un “RStudio”s. Izmantojot Šapiro-Vilka normalitātes testu, noteica, vai parametri atbilst vai neatbilst normālam sadalījumam. Lai novērtētu faktoru ietekmi, datiem, kuri atbilda normālam sadalījumam, izmantoja dispersijas analīzi jeb ANOVA, bet datiem, kas būtiski atšķīrās no normālā sadalījuma, izmantoja *Kruskal–Wallis* dispersijas analīzi. Lai faktoriem, kuri būtiski ietekmēja parametrus, noteiktu grupu ietekmi, tika izmantota vienfaktora dispersijas analīze *Tukey HSD* ar normālā sadalījuma nosacījumiem un Vilkoksona testu datiem, kas neatbilda normālajam sadalījumam. Lai noteiktu parametru savstarpējo saistību, tika izmantota korelācijas analīze ar Pīrsona korelācijas koeficientu. Iegūto rezultātu vizualizācijai izmantoja R iebūvēto paketi “ggplot” un “Microsoft Excel” grafiskās iespējas.

6. Pētījuma rezultāti

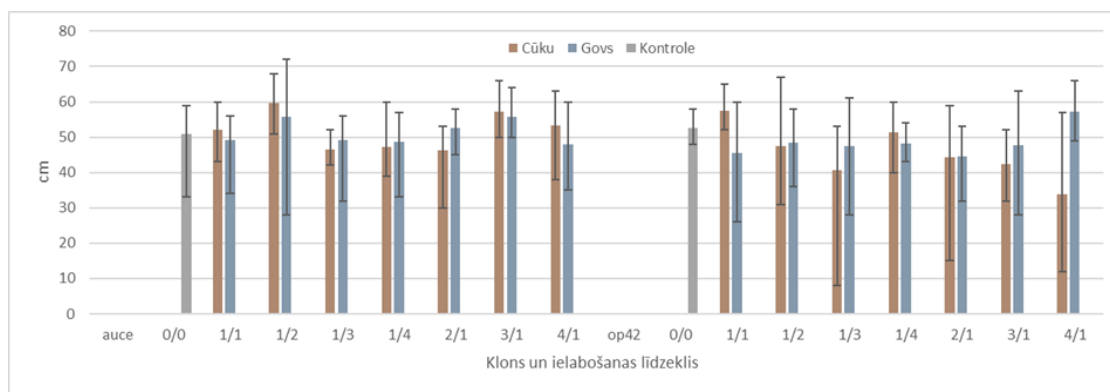
2020. gads

Kasetēs sētām papelēm veģētācijas perioda laikā noteica fizioloģiskos parametrus (fotosintēzes intensitāti), bet veģētācijas perioda beigās mērija spraudēnu augstumu pēc vienas augšanas sezonas. Jūnijā veiktajos fotosintēzes aktivitātes uzmērījumos novēroja, ka lapu fotosintēzes aktivitāte būtiski atšķīras gan starp dažādu klonu, gan arī starp mēslotiem un nemēslotiem kokiem. Klonam ‘Auce’ spraudēnu lapas lielākajā daļā mēslojumu variantu uzrādīja augstāku fotosintēzes aktivitāti nekā ‘OP42’ klonam. Netika novērots, ka papelēm, kas augušas augsnē ar vienādu digestāta:pelnu proporcijas piedevu, būtu līdzīgas fotosintēzes intensitātes mērījumu vērtības; starp atkārtotiem mērījumiem bija raksturīga izkliede/variācijas. Kopumā augustā fotosintēzes aktivitāte bija zemāka nekā jūnijā, īpaši lielu samazinājumu novēroja kontroles grupā ($p=0.001$) (7. att.). Augustā augu lapu fotosintēzes aktivitāte vairumā variantu bija augstāka ‘OP42’ klonam, kas norāda uz iespējamām veģētācijas perioda atšķirībām starp abiem kloniem.



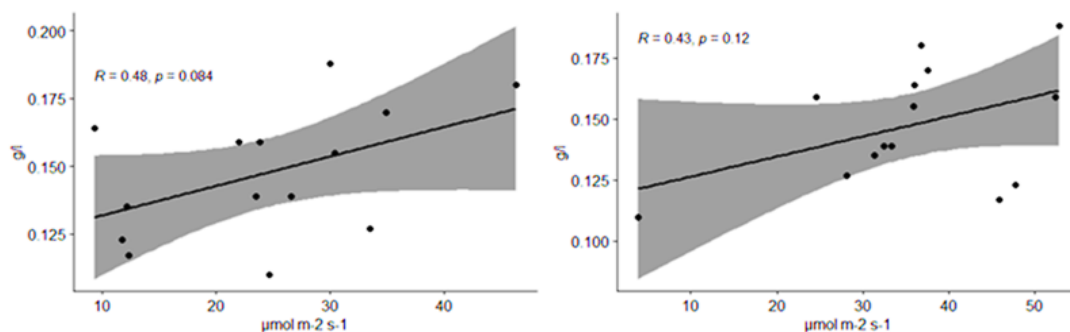
7. att. Papeļu lapu fotosintēzes aktivitātes starpība starp jūnija un augusta mērījumiem, augot augsnēs ar atšķirīgām cūku (a) un govju (b) kūtsmēsļu digestāta un koksnes pelnu maisījuma piedevu proporcijām.

Klons ‘Auce’, augot ielabotā augsnē, papildus ienestos barošanās elementus izmantoja efektīvāk un sasniedza lielāku augstumu nekā ‘OP42’ klons, bet neviens no mēsloto variantu spraudņu augstumiem būtiski neatšķīrās no kontroles varianta (8. att.). Mēslojuma efektivitāti, iespējams, nevarēja novērot, jo spraudņu augšanu kasetēs primāri ierobežoja nepietiekamā vieta sakņu attīstībai, tādēļ tika nolemts nākamajā sezonā spraudņus audzēt lielākos veģetācijas traukos.



8. att. Papeļu spraudņu dzinumu augstums.

Lai gan fotosintēzes rezultāti bija ļoti variabli, tika novērots, ka kopējam papildus pievienotajam fosfora daudzumam augsnē ir vidēja pozitīva korelācija ar lapu fotosintēzes intensitāti (9. att.). Fosfors ir viens no svarīgākajiem makroelementiem, kas iesaistīts fotosintēzes funkcijās. Šie rezultāti norāda uz iespējamu vitalitātes un produktivitātes palielināšanos, mēslojot papeles ar izveidoto ielabošanas līdzekli, tādēļ, lai iegūtu objektīvākus rezultātus, tika nolemts nākamajā gadā eksperimentu turpināt lielākos veģetācijas traukos ar iepriekš izmantotajām mēslojuma proporcijām.

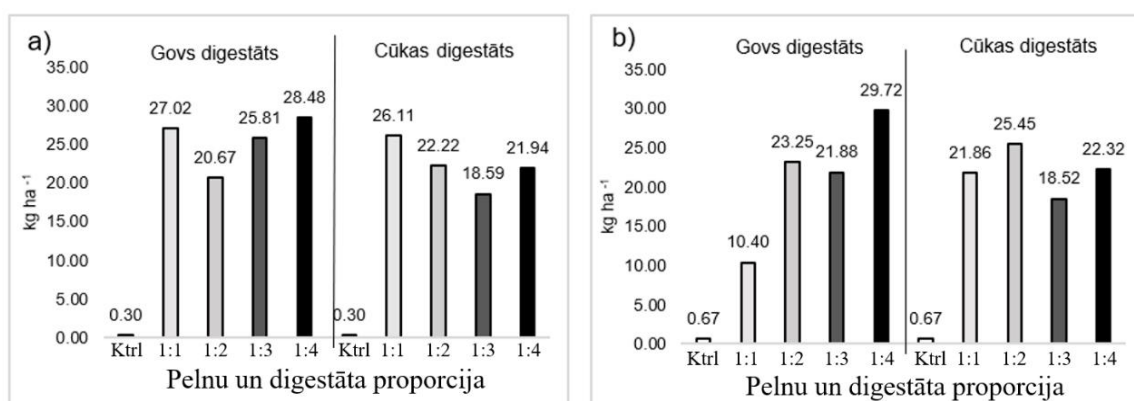


9. att. Augsnei papildus pievienotā fosfora (g l^{-1}) un klonā ‘Auce’ lapu fotosintēzes rādītāju korelācija jūnijā un augustā.

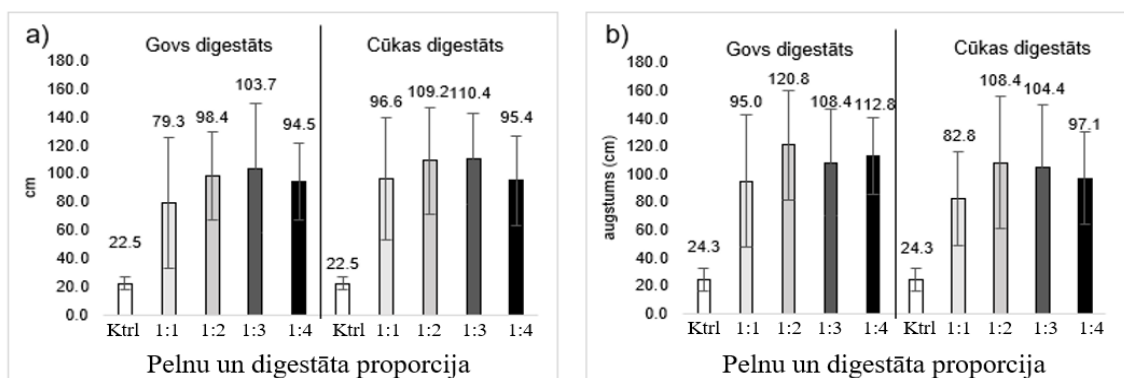
Priedes sējumu eksperiments 2020. gadā neizdevās sējeņu sliktās saglabāšanās dēļ. Mežaudzē ierīktais sējums ziemā izkalta, un veģetācijas traukos dīdība bija neapmierinoša. Eksperiments tiks atkārtots 2021. gadā ar citām sēklām.

2021. gads

Kontrolētos apstākļos audzētajam papeļu klonam ‘Auce’ gan dzinuma augstuma, gan sausnes masas rādītāji bija lielāki mēslotajos variantos, bet būtiski neatšķīrās starp mēslojuma devām (10. un 11. att.). Līdzīgus rezultātus ieguva arī ‘OP42’ klonam, bet atšķirībā no ‘Auce’ klonā govju kūtsmēslu digestāta variantā ar mazāko digestāta devu ieguva būtiski mazāku koksnes sausnes masu (10. att.). Lielākajā daļā mēslojuma variantu ‘Auce’ uzrādīja lielāku sausās masas daudzumu nekā ‘OP42’ klons, bet dzinuma augstuma rādītāji atšķīrās atkarībā no devas. Vislielākais sausās masas daudzums bija variantiem, kurus mēsloja ar 1:2 un 1:4 devām, bet 1:1 variantam dažos gadījumos bija mazāks biomasas pieaugums nekā pārējiem variantiem.

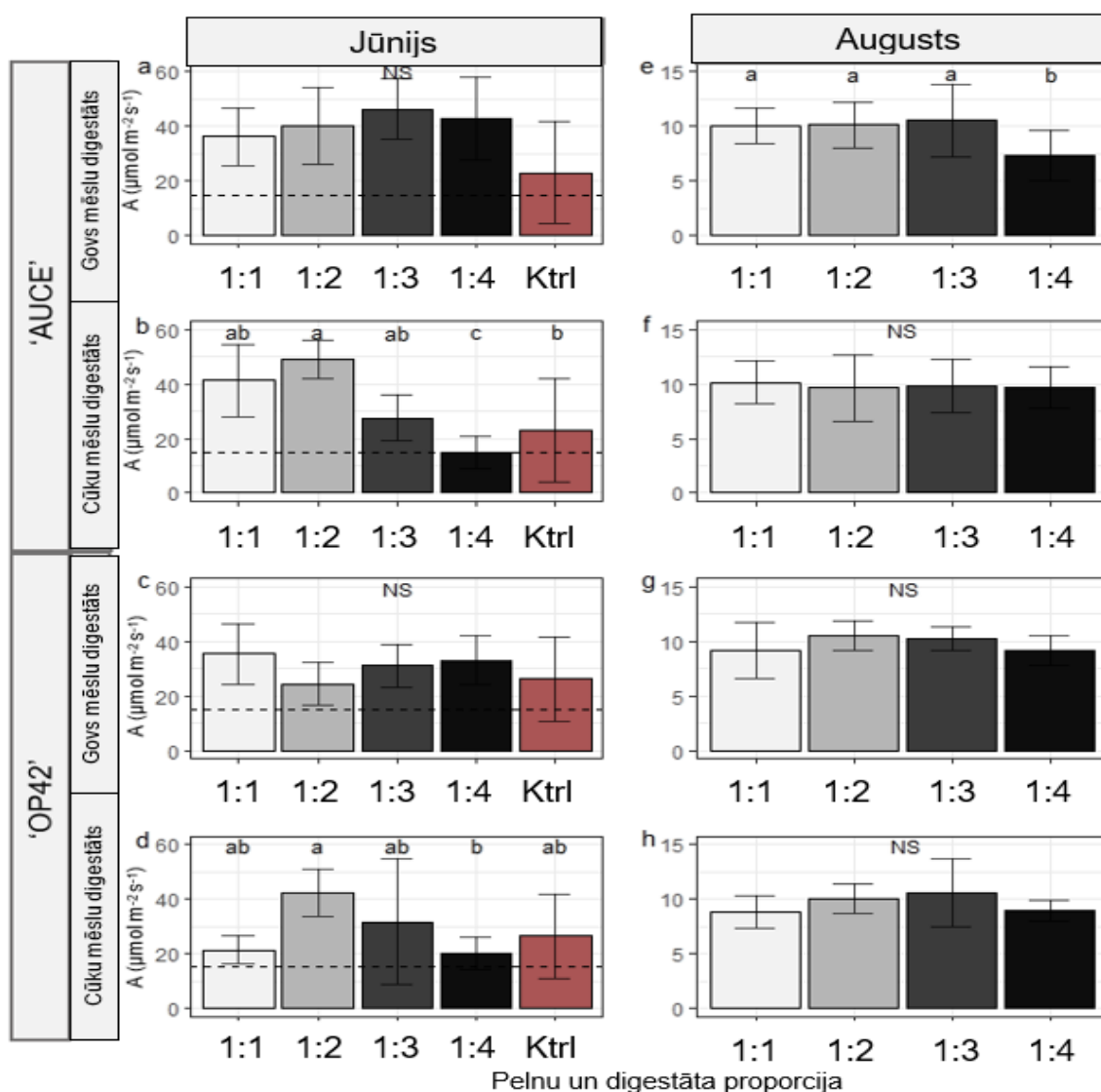


10. att. ‘Auces’ (a) un ‘OP42’ (b) klonu atvašu sausā masa atkarībā no digestāta veida un “digestāts:koksnes pelni” attiecības mēslojumā.



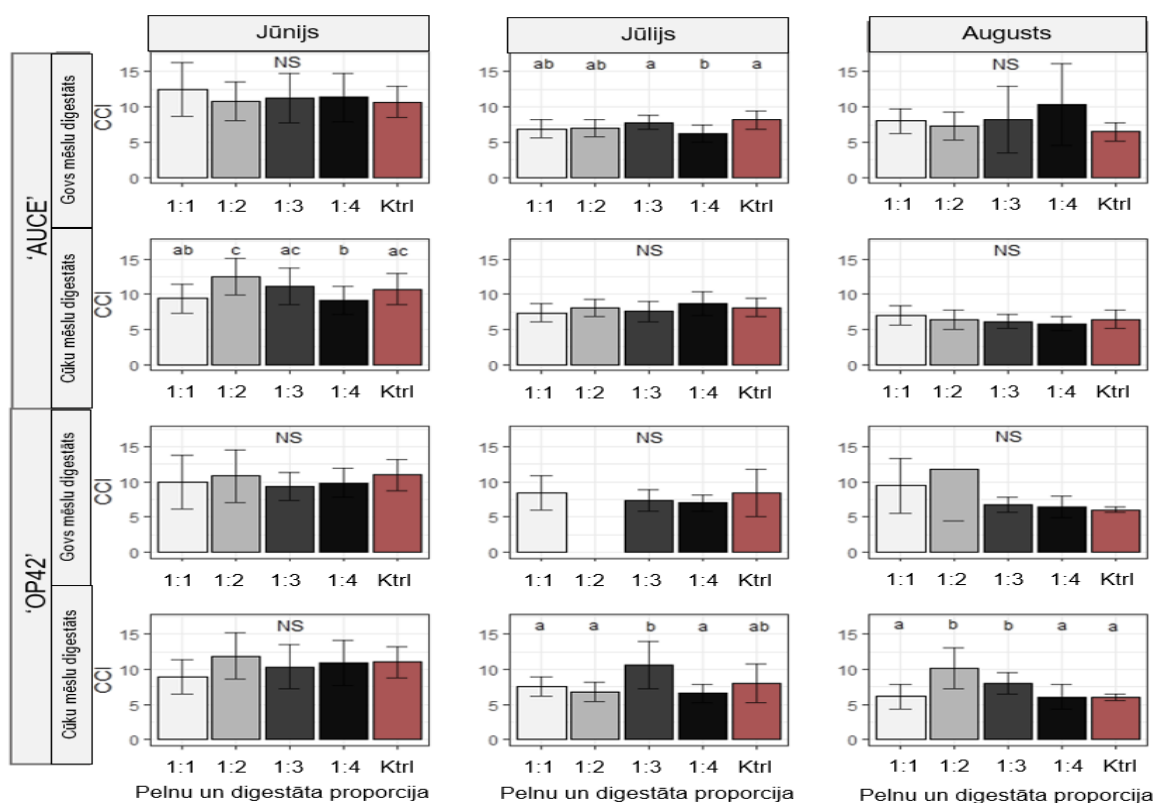
11. att. 'Auces' (a) un 'OP42' (b) klonu atvašu augstums atkarībā no digestāta veida un digestāta:koksnes pelnu attiecības mēslojumā.

Jūnijā fotosintēzes aktivitāte lielākoties bija augstāka mēslotajos variantos, salīdzinot ar kontroles variantu (12. att.). Izņēmums bija 1:4 proporcijas mēslojuma variants, kurā tika lietots cūkas kūtsmēslu digestātu saturošs maisījums. Mēslojuma devas ar mazāku pelnu un digestāta attiecību uzrādīja lielāku fotosintēzes aktivitāti, īpaši variants 1:2. Augustā fotosintēzes aktivitāte bija ievērojami zemāka, salīdzinot ar jūniju. Augustā fotosintēzes aktivitāte bija arī mazāk variabla atkarībā no mēslojuma proporcijas, bet vienā gadījumā, mēslojuma variantā 1:4, bija novērojama būtiski zemāka fotosintēzes aktivitāte. Augustā netika veikta fotosintēzes novērtēšana kontroles variantam, jo tajā bija sācies lapkritis, kā dēļ parametru nevarēja novērtēt. Šis process norāda, ka augšanas periods kontroles variantā bija īsāks, salīdzinot ar mēslotajiem variantiem.



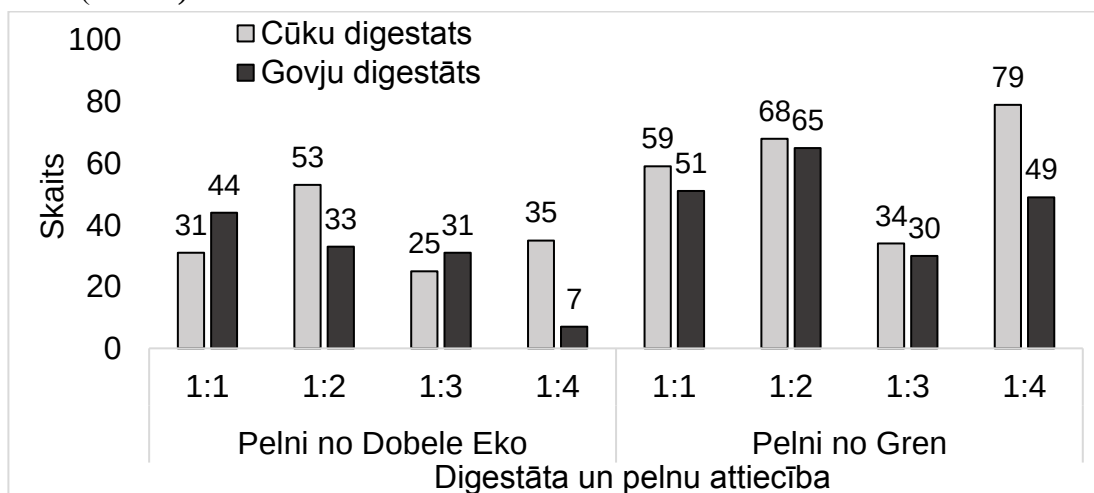
12. att. Lapu fotosintēzes intensitāte (A) jūnijā (a, b, c, d) un augustā (e, f, g, h) papēļu kloniem 'AUCE' (a, b, e, f) un 'OP42' (c, d, g, h), kas bija mēsloti ar govju (a, e, c, g) vai cūku (b, f, d, h) kūstmēslu digestātu un koksnes pelniem dažādās attiecībās (Ktrl – kontrole). Dažādie burti grafikos apzīmē statistiski būtiskas atšķirības grafika ietvaros ($p < 0.05$, Vilkoksona tests). Attēlos ar kļūdu stabiņiem ir norādīta standartnovirze.

Biogāzes ieguvei izmantotais kūstmēslu veids neietekmēja hlorofila daudzumu lapās mēslotajām papelēm ($p = 0.0045$), bet to, līdzīgi kā fotosintēzes intensitāti, būtiski ietekmēja laika apstākļi augšanas sezonā ($p < 0.0001$) (13. att.). Vislielākais hlorofila daudzums lapās bija jūnijā, bet tas samazinājās uz augšanas perioda beigām. Līdzīgi fotosintēzes intensitātei, augsto hlorofila daudzumu lapās jūnijā novēroja variantos ar mazāku pelnu un digestāta attiecību (1:2). Variantā ar lielāko pelnu un digestāta proporciju (1:4) hlorofila saturs lapās būtiski samazinājās (pret kontroles variantu, $p = 0.0256$) jūlijā. Augustā mazāku hlorofila daudzumu konstatēja lielāko un mazāko pelnu un digestāta attiecību variantos (1:1 un 1:4), kā arī kontroles variantā.



13. att. Hlorofila satura indekss (CCI) atkarībā no digestāta un pelnu attiecības jūnijā (a-d), jūlijā (e-h) un augustā (i-l) 'AUCE' (a, b, e, f, i, j) un 'OP42' (c, d, g, h, k, l) papēļu kloniem, kas bija mēsloti ar dažādas izcelsmes digestātu – govju (a, e, i, c, g, k) vai cūku (b, f, j, d, h, l) – kūstmēsliem. Dažādie burti grafikos apzīmē statistiski būtiskas atšķirības grafika ietvaros ($p < 0.05$, Vilksontona tests). Attēlos ar kļūdu stabiņiem ir norādīta standartnovirze.

Siltumnīcas eksperimentā vislabāko priežu dīdžību deva maisījuma proporcija 2:1, kad izdīga 219 priežu dīgstu jeb 77,5% pilnās šūnas kasetēs; zemākā dīdžība tika konstatēta, izmantojot maisījuma proporciju 3:1, kad izdīga 120 priežu dīgstu jeb 53,1% pilnās šūnas kasetēs (14. att.)..



14. att. Priežu dīgstu skaits atkarībā no izmantoto pelnu veidu un digestātu veidu maisījumu proporcijas.

Priežu dīgtspēju vairāk ietekmēja pelnu izcelsme, nevis digestāta veids, kas liecina, ka pelnu sastāva varietāte ir lielāka nekā digestāta sastāvam Maisījums, kura sastāvā bija pelni no SIA “Gren Latvija”, gandrīz visos variantos deva labākus dīgtspējas rezultātus. Digestāta veidam nebija statistiski būtiskas ietekmes. Labāka kopējā dīgtspēja bija priedēm, kas bija mēslotas ar cūku kūtsmēslu digestātu (salīdzinājumam – cūku kūtsmēslu digestāta izmantošana deva 384 dīgstus, govju kūtsmēslu digestāta izmantošana – 310 dīgstu).

2022. gads

Pirmajā sezonā papeļu kloni tika audzēti veģetācijas traukos, kuros bez papildu mēslojuma (kontrole) tie veidoja vien 20–30 cm garus dzinumus un sīkas saknes, un, izstādot lauka apstākļos, tie iznīka. Pirmajā sezonā, siltumnīcas apstākļos, visi spraudēni, kuri attīstījās substrātā ar digestāta un koksnes pelnu piedevu (mēslojuma deva atbilst 3 t koksnes pelnu iestrādei augsnē uz vienu ha), auga vienlīdz labi un sasniedza 1–1.6 m augstumu. Bet otrajā sezonā, jau lauka apstākļos, vislabākie rādītāji tika sasniegti, ja izmantoja maisījumu 1:1 proporcijā, – tad dzinumi sasniedza 2 m augstumu.

Veikta MPS Jelgavas novada meža platībās izvietoto kameru apkope. Visos trīs nogabalos sezonas garumā ievāktie dati no fenoloģijas un videokamerām būs pielietojami, lai noteiktu pavasara/rudens iestāšanos, ar sniega segu klāto dienu skaitu, kā arī – kādas briežu dzimtas dzīvnieku sugu, dzimumu un vecumu pārstāvji ganās šajās jaunaudzēs. Veikta platības apsekošana ar dronu. Uzskaitīti saglabājušies koki un bojājumu veidi (3. tab.).

3. tabula

Bojāto koku īpatsvars (%) un bojājumu veids dažādi ielabotās stādīvietās augošām priedēm (d p – digestāta proporcija, k – kontrole, p – pavasaris, r – rudens)

Digestāts/koksnes pelni/klīdēšanas gadalaiks>	d1p	d 1 r	d2p	d2r	d3p	d3r	d4p	d4r	kp	kr	p
Bojājuma veids											
Bojāti dzinumi	9	9	10	9	10	11	10	13	12	10	26
Bojāta galotne	24	25	27	25	26	30	26	36	33	26	69
Bojāta miza	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bojāti zari	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3
Grauzta galotne	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grauzti zari	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kaltis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kaltusi galotne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3
Kaltuši zari	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Smecernieks	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
Kociņš pilnībā nozāģēts	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	4
Zāģēta galotne	11	11	12	11	12	14	12	16	15	12	31
Zāģēti zari	9	9	10	9	10	11	10	13	12	10	26

Nav novērots, ka stādīto koku mēslošanas variants ietekmētu dzinumu apkodumu īpatsvaru. Tāpat nav novērots, ka 2021. gadā agrotehniskās kopšanas laikā bojāto koku īpatsvars korelētu ar koka galotnes vai sānzaru bojājumiem.



Eksperimentālie priežu stādījumi 2022. gada jūnijā.

15. att. Atjaunots marķējums eksperimentālajos stādījumos.

2022. gada veģetācijas perioda laikā novērtēja mēslošanas rezultātus MPS Jelgavas novada priežu jaunaudzēs. Pretrunīgie pH augsnes rādītāji (pH kontroles variantā, salīdzinot ar dažiem mēslojamajiem variantiem, nav palielinājies) liecina par vides heterogenitāti dabiskās ekosistēmās un var tikt skaidroti ar variablu augsnes pH jau pirms augsnes ielabošanas (4. un 5. tab.). Neskatoties uz to, ka pH izmaiņas bija mainīgas, C un N koncentrācija augsnēs ar mazāku digestāta un pelnu attiecību bija palielinājusies.

4. tabula

Augsnes blīvums, vides reakcija un organisko vielu saturs atkarībā no augsnes ielabošanas un maisījuma proporcijas, augsni ielabojot pavasarī

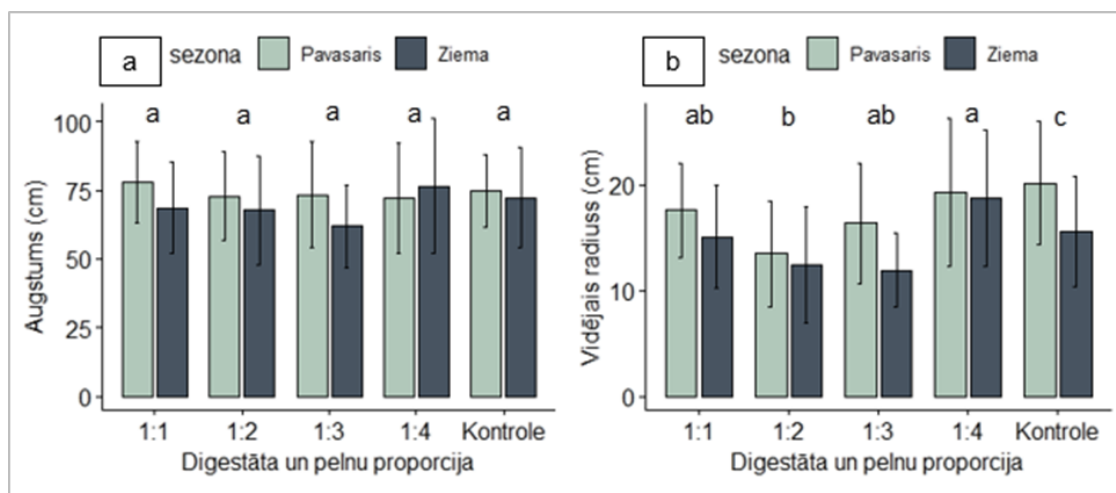
Digestāts:pelni	Augsnes blīvums, kg/m ³	C, g/kg	N, g/kg	pH (CaCl ₂)
Kontrole	3525,8	36,7	1,9	4,0
1:1	2925,8	59,1	2,5	3,8
1:2	3033,9	55,9	3,6	4,9
1:3	3349,8	37,5	2,3	4,8
1:4	3602,1	24,7	1,0	3,7

5. tabula

Augsnes blīvums, vides reakcija un organisko vielu saturs atkarībā no augsnes ielabošanas un maisījuma proporcijas, augsni ielabojojot ziemā

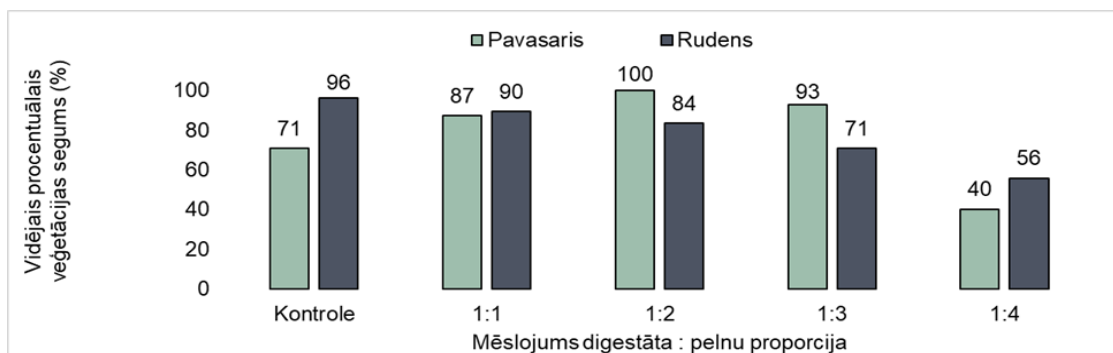
Digestāts:pelni	Augsnes blīvums, kg/m ³	C, g/kg	N, g/kg	pH (CaCl ₂)
Kontrole	3354,00	20,84	1,10	4,79
1:1	3184,17	42,79	2,58	4,99
1:2	2573,43	44,42	2,24	4,18
1:3	3483,17	17,64	1,08	4,36
1:4	3620,73	15,77	0,88	4,27

Koku augstumu būtiski neietekmēja augsnes ielabošana, tomēr priežu augstums bija lielāks pavasarī ielabotajos variantos (ANOVA, $p=0.025$) (16(a). att.). Priede ir lēnaudzīgs skujskoks, kas uzņem barības vielas lēnām un pakāpeniski, tādēļ arī pieauguma efekts, kas saistāms ar augsnes ielabošanu, parasti nav redzams pirmajās sezonās. Šajā eksperimentā koku mērīja divus gadus pēc augsnes ielabošanas. Literatūrā pieejama informācija, ka priedēm uzlabotu augšanas tempu pēc augsnes ielabošanas dažkārt var novērot tikai pēc pieciem gadiem.



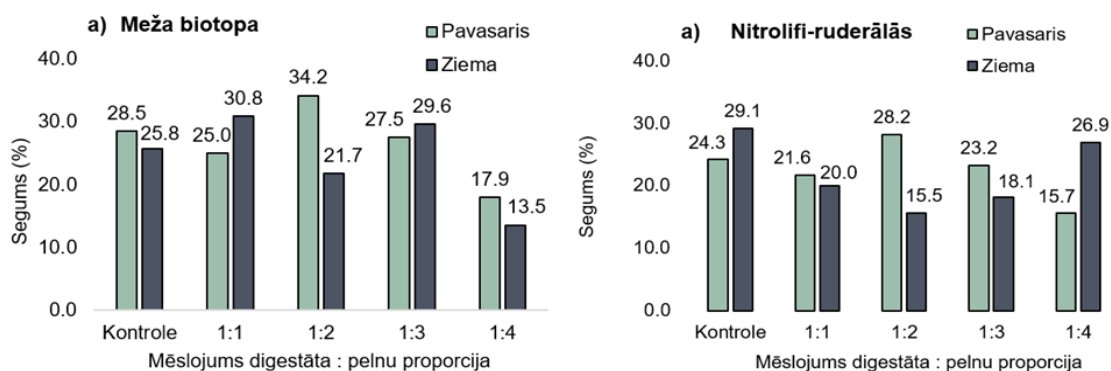
16. att. Augsnes ielabošanas ar pelnu un digestāta maisījumu dažādās proporcijās ietekme uz parastās priedes *Pinus sylvestris* augstumu (a) un vainaga rādiusu (b). Dažādie burti norāda uz statistiski būtiskām atšķirībām (Tukey's HSD tests, ticamības intervāls 0,05).

Kopumā visos parauglaukumos noteica 83 vaskulāro augu sugas. Vislielākais sugu skaits bija sastopams parauglaukumos ar mazāko pelnu un digestāta attiecību (17. un 18. att.). Šajos parauglaukumos sugu skaits bija palielinājies, salīdzinot ar kontroles variantu, bet 1:4 mēslojuma proporcijas variantā sugu skaits bija būtiski samazinājies. Sugu skaita samazināšanos pēc mēslošanas dabiskā ekosistēmā bieži var skaidrot ar nitrofilu un ruderālu sugu izplatību.



17. att. Augsnes ielabošanas ar pelnu un digestāta maisījumu dažādās proporcijās ietekme uz sastopamo vaskulāro augu sugu izmaiņām.

Lai pārbaudītu, vai mēslojums veicina nitrofilo sugu izplatību, iegūtos datus par sastopamajām augu sugām strukturēja tipiskajā meža veģetācijā (balstoties uz meža biotopiem raksturīgajām sugām, piemēram, *Pteridium aquilinum*, *Galium uliginosum*, *Maianthemum bifolium*) un nitrofilajās-ruderālajās sugās (piemēram, *Solidago canadensis*, *Calamagrostis epigeios*, *Cirsium arvense*). Iegūtie rezultāti liecina, ka, lai gan 1:4 mēslojuma variantā redzams samazināts meža biotopam raksturīgo sugu skaits, tas tomēr nav saistīts ar kādas monodominantas nitrofilas sugas aizaugumu (18(a, b). att.).



18. att. Augsnes ielabošanas ar pelnu un digestāta maisījumu dažādās proporcijās ietekme uz jaunaudzēs proporcionāli sastopamo tipisko meža un nitrofilu ruderālo veģetāciju.

7. Atziņas

2020. gada izmēģinājumi

Kasetēs stādītiem kloniem ‘Auce’ bija augstāki fotosintēzes rādītāji, salīdzinot ar ‘OP42’ klonu. Klons ‘Auce’ uzrāda labākus dzinum augstumu rezultātus. Lai ierīkotu produktīvas *Populus* sp. audzes un pilnvērtīgi izmantotu gan veģetācijas sezonu, gan papildus ienestās barības vielas, jāizvēlas kloni, kuriem augstāka fotosintēzes aktivitāte ir augustā.

Augsnes ielabošanai izmantojami maisījumi ar lielāku pelnu un digestāta attiecību un augstāku fosfora saturu. Variantā 1:4, kuram ir lielāka pelnu un digestāta proporcija,

cūku kūtsmēslu digestāta maisījumā augošajiem klonam 'OP42' dzinumiem konstatēja ievērojami lielāku lapu fotosintēzes aktivitāti, bet klonam 'Auce', ja bija izmantota govju kūtsmēslu digestāta 1:4 piedeva. Atbildes reakcija uz papildus ienesto P bija atšķirīga, tomēr ja augi aug augsnē, kur pievienots vairāk digestāta – tie fotosintēzē aktīvāk.

Izmantotā digestāta primārajam substrātam nebija ietekmes – izmantojot vienādas maisījuma "digestāts:koksnes pelni" proporcijas, tas uzrādīja līdzīgas tendences. Nākamajos pētījumos jāierīko eksperiments ar lielāku papeļu klonu skaitu, lai pārbaudītu 2020. gadā novērotās tendences.

2021. gada izmēģinājumi

Rūpniecības blakusproduktus kā biogāzes digestāta un koksnes pelnu maisījuma mēslojumu var veiksmīgi izmantot, lai sasniegtu labākus augšanas rādītājus papeļu audzēšanā no spraudņiem. Klonam 'Auce' ir izteikti garākas atvases un mazāka lapu masa, bet koksnes sausnes daudzums lielākoties būtiski neatšķīrās no 'OP42' klonam koksnes sausnes daudzuma. Arī digestāta veids būtiski neietekmē koksnes sauso masu. Viens no būtiskākajiem secinājumiem ir: mēslošana pagarināja koku augšanas periodu par vienu mēnesi. Pēc fizioloģisko un morfoloģisko parametru novērtējuma 1:2 proporcijas mēslojuma variants uzrādīja vislabākos rezultātus. Mēslojuma varianti ar lielāku digestāta un pelnu proporciju (1:4) dažos gadījumos uzrādīja samazinātus vitalitātes rādītājus, ko var skaidrot ar to, ka tiek veicināta organisko vielu mineralizācija, maisījumam pievienojot lielāku pelnu proporciju. Arī skujkoku dīdžība kontrolētos apstākļos visaugstākā bija variantā 1:2, bet variantos ar lielāku digestāta un pelnu proporciju (1:3) dīdžība samazinājās.

2022. gada izmēģinājumi

Lai gan kontrolētos apstākļos mēslojuma variants 1:2 uzrādīja vislabākos rezultātus gan morfoloģisko, gan fizioloģisko parametru ziņā, papeles pārstādot lauka apstākļos, vislabākie augšanas rādītāji bija 1:1 proporcijas mēslošanas variantam. Tas apstiprina arī iepriekš izdarītos secinājumus, ka kokaugu mēslošanai labāk izvēlēties mēslošanas variantu ar mazāku "pelni:digestāts" proporciju, vai, citiem vārdiem sakot, koksnes pelnu mēslojumu papildināt ar digestāta separātu.

Mēslotajās MPS Jelgavas skujkoku audzēs netika novērots, ka stādīto koku mēslošanas variants būtu ietekmējis dzinumu apkodumu īpatsvaru. Tāpat nav novērots, ka 2021. gadā agrotehniskās kopšanas laikā bojāto koku īpatsvars korelētu ar koku galotnes vai sānzaru bojājumiem.

Lielākas atšķirības bija vērojamas vidējā vainaga platumā, kas vismazākais bija pelnu un kūtsmēslu digestāta maisījuma variantā ar proporciju 2:1. Šim variantam bija arī lielākais sastopamo augu sugu skaits, kas varētu būt saistīts ar mazāku vainaga platumu un līdz ar to – mazāku zemsedzes noēnojumu.

Pašlaik var secināt, ka, salīdzinot ar kontroles grupu, negatīvs sugu skaita samazinājums, kas var būt skaidrojams ar vienas vai vairāku sugu dominēšanu augājā, pēc mēslojuma izmantošanas bija tikai variantā ar lielāko pelnu proporciju – 1:4. Pārējās grupās netika konstatētas būtiskas sugu skaita izmaiņas. Arī pašlaik nav vērojamas būtiskas izmaiņas koku augstuma parametrā, taču jāņem vērā, ka, mēslojot daudzgadīgas kultūras ar

biogēnu vielu saturošiem mēslojumiem, pozitīvu ietekmi uz augšanas parametriem nereti var novērot tikai ilgtermiņā. Koka vainaga platums variēja atkarībā no mēslojuma proporcijas, un no pašreizējās datu analīzes rezultātiem nevar izteikt secinājumus par mēslojuma ietekmi uz šo parametru.

8. Secinājumi un ieteikumi praksei

Lai ierīkotu produktīvas *Populus sp.* audzes, jāizvēlas kloni ar garāku veģetācijas periodu un augstāku fotosintēzes aktivitāti augustā, kad augi ilgāk spēj uzņemt papildus ienestās barības vielas un ir panākami lielāki pieaugumi.

Mēslošana pagarina papelu augšanas veģetācijas periodu. Gan priedes, gan papelu izmēģinājuma stādījumos veģetācijas traukos vislabākie rezultāti iegūti, sajaucot vienu daļu digestāta ar divām masas daļām koksnes pelnu.

Lauka apstākļos papelēm Z/S “Irbenes” vislabākie augšanas rādītāji bija, lietojot 1:1 proporcijas mēslojumu digestāta un koksnes pelnu variantā.

Priežu jaunaudzēs nebija vērojamas būtiskas apkodumu intensitātes atšķirības atkarībā no izkliedētā mēslojuma veida.

Ja mēslošanai izmantoja maisījumu ar vienu daļu digestāta un četrām masas daļām koksnes pelnu, tad augšanas rādītāji bija sliktāki un augu sugu skaits nedaudz samazinājās.

9. Ieguldījums nozarēs un sektoros

Lauksaimniecības produktu pārstrāde – digestātu ražo gan no lopu mēsliem, gan lauksaimnieciski audzētiem kultūraugiem. Fermās iegūtā digestāta izejviela ir ne tikai šķidrmēsli, bet arī pakaiši un lopbarības atkritumi, tātad tiek risināts arī lauksaimniecības produktu pārstrādes atlikumvielu ilgtspējīgas utilizācijas jautājums un nodrošināta augu barošanās elementu atgriešana ekosistēmā. Īsirtmeta atvasājus stāda, lai iegūtu koksni siltuma un enerģijas ieguvei. To sadedzinot, rodas koksnes pelni, un viengadīgo biomasu, arī ekstraktvielu ieguves pārpalikumus var lietot biogāzes ieguvei.

Mežsaimniecība – iegūtais produkts (digestāta un koksnes pelnu maisījums) ir lietojams gan stādu audzēšanai, ielabojot laukus kokaudzētavā vai pievienojot to ietvarstādu izaudzēšanas substrātam, gan stādvieta ielabošanai mežaudzēs. Šajā pētījumā mēslošanas līdzekli testēja jaunaudzēs. Granulētā veidā digestāta un koksnes pelnu maisījums var būt izmantojams arī briestaudzēs un jaunaudzēs pēc to retināšanas.

Meža produktu pārstrāde – koksnes šķeldas, granulas, žagari un mizas ir meža produktu pārstrādes tiešais vai blakusprodukts. Dedzinot šos produktus siltuma vai elektroenerģijas ieguvei, rodas pelni un/vai bioogles, kas ir mineralizētas augu atliekas un satur gandrīz visus elementus, ko uzņēmuši augi. Lietojot koksnes pelnus kā augsnes kaļķošanas materiālu vai kopā ar digestātu kā augsnes ielabošanas līdzekli, tiek izpildīti apritīgas bioekonomikas pamatprincipi.

Pētījumi AS “Ziedi JP”

I E V A D S

Anaerobās fermentācijas un biogāzes ražošanas iekārtas tiek uzskatītas par aprites ekonomikas centru, kur antropogēnās organiskās atliekas, kas iepriekš tika uzskatītas par atkritumiem, var pārvērst enerģijā, organiskajos mēslošanas līdzekļos un citos pievienotās vērtības komponentos un materiālos.

Pēcfermentācijas atliekas tiek sauktas par digestātu, un digestāta izkliedēšana uz lauka ir ierasta prakse lauksaimniecības uzņēmumos. Digestāta izkliedes normas nitrātjutīgajās teritorijās ir limitētas līdz 170 kg N ha^{-1} gadā (Commission of the European Communities, 1991). Fosfora izkliedes normas nav tieši iekļautas Nitrātu direktīvā, bet daudzās Eiropas valstīs ir dažādi fosfātu izkliedes limiti. Atkarībā no kultūraugu sugas, fosfora daudzuma augsnē un citiem mainīgiem faktoriem tā izkliedes daudzums ir robežās no 0 līdz $250 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ gadā. Ja barības vielas augsnē jau ir pietiekami, bet digestāta apjoms ir vairāk nekā nepieciešams, tad var rasties vajadzība transportēt digestātu uz tālākiem laukiem.

Lieli transportēšanas attālumi attaisno ekonomiskos ieguldījumus digestāta mehāniskajā separēšanā. Separējot digestāts tiek sadalīts cietajā un šķīdrajā frakcijā. Dažkārt šķīdrajā frakcija joprojām satur augstu cietvielu saturu (līdz 10% sausas) un cietā frakcija ir ar augstu (15–45% sausas) mitruma saturu. Digestāta sadalīšana frakcijās ļauj samazināt mitruma saturu cietajā frakcijā, tādējādi samazinot cietās frakcijas transportēšanas un uzglabāšanas izmaksas. Šķīdrajā frakcija ir viegli pārsūknējama un laukos viegli iestrādājama tieši augsnē, tā būtiski samazinot slāpekļa zudumus.

Mehāniskajā digestāta separēšanā parasti slāpekļlis vairāk paliek šķīdrajā frakcijā, bet fosfors un kālijs – cietajā frakcijā.

Koksnes biomasas sadedzināšana enerģijas ieguvei ir interesanta daudzām valstīm, jo tās vēlas samazināt fosilo kurināmā patēriņu un atkarību no tā. Koksnes koģenerācijas stacijās un citās ar biomasu kurināmās katlu mājās rodas arvien vairāk pelnu. Pelni koksnes koģenerācijas stacijās ir blakusprodukts. Koksnes pelni sastāv no neorganiskiem savienojumiem no sadedzinātās biomasas, smiltīm un ļoti nelielas, līdz galam nesadegušas organiskās daļas. Kā blakusprodukts, sadedzinot koksni, pelnos ir saglabāties fosfors (P) un kālijs (K). Savukārt lielākā daļa slāpekļa (N) tiek zaudēta sadegšanas laikā NO_x savienojumu veidā, bet atlikušais N ir stipri saistīts ar organiskajām, nesadegušajām atliekām un ir mikroorganismiem neuzņemamā veidā. Biomasas sadegšanas laikā veidojas dažādi oksīdi, un tai sekojošā aerācija noved pie karbonātu veidošanās koksnes pelnos, padarot pelnus ļoti sārmains, ar pH 8–10. Ja pelnus neapglabā atkritumu poligonos, bet pārstrādā augu mēslošanas līdzekļos, tad augsnē tiek atgrieztas visas pelnos esošās barības vielas, kā arī tiek paaugstināts augsnes pH.

Šī pētījuma mērķis bija radīt tehnoloģiju, kā pagatavot inovatīvu mēslošanas līdzekli, izmantojot divus ražošanas blakusproduktus: biogāzes pēcfermentācijas digestātu un biomasas koģenerācijas pelnus. Maisījuma izveidošanai tika izmantoti izmēģinājumu saimniecības rīcībā esošie lauksaimniecības agregāti.

Projekta mērķa sasniegšanai mums kā partnerim bija izvirzīti šādi uzdevumi:

- izstrādāt jauna augsnes auglības uzlabošanas līdzekļa sagatavošanu no separēta nežāvēta digestāta un koksnes pelniem;
- izvērtēt digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekmi uz kukurūzas, ziemas rapša un ziemas kviešu ražu un kvalitāti izmēģinājumos;
- nodrošināt sadarbības projekta partnerus ar pētījumiem nepieciešamo liellopu kūtsmēslu digestātu.

1. PĒTĪJUMU METODIKA UN APSTĀKĻI

1.1. Izmēģinājuma vietas raksturojums

Pētījumi tika veikti AS “Ziedi JP”, kas atrodas Dobeles novada Auru pagastā. AS “Ziedi JP” nodarbojas ar lopkopību, elektrības ražošanu, augkopību un zivsaimniecību, kā arī sniedz dažādus ar lauksaimniecību saistītus pakalpojumus.

	
1.1. att. Biogāzes koģenerācija stacija.	1.2. att. Biogāzes stacijas barošanas iekārta.

Saimniecībā sastopamas pārsvarā iekultivētas velēnu karbonātu augsnes. To granulometriskais sastāvs ir no smaga smilšmāla līdz vieglam mālam. Augsnes nodrošinājums ar fosforu ir 134 mg/kg un ar kāliju – 110 mg/kg; pH_{KCL} 6.7 (no AS “Ziedi JP” augšņu analīžu rezultātiem).

AS “Ziedi JP” biogāzes ražotnes jauda ir 1,998 MWe. Vidēji tajā ik gadu tiek saražots 4500 tonnu liellopu kūtsmēslu digestāta.

Projekta realizācijas vajadzībām AS “Ziedi JP” sadarbības partneriem projekta izpildes laikā saražoja 615 tonnu digestāta.

Lauka izmēģinājumi 2020., 2021. un 2022. gadā tika ierīkoti dažādos ražošanas laukos.

1.2. INOVATĪVA AUGSNES MĒSLOŠANAS UN KAĻĶOŠANAS LĪDZEKĻA RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJAS IZSTRĀDE

Materiāli un metodes

Eksperimentiem tika izmantots biogāzes pēcfermentācijas digestāts no liellopu mēsliem, kurus ieguva AS “Ziedi JP”. Digestāts pirms jaunā mēslojuma maisījumu

gatavošanas tika separēts cietajā un šķidrajā frakcijā. Koksnes pelnus eksperimentiem izmantoja no SIA “Gren Jelgava” un SIA “Dobeles Eko” koģenerācijas stacijām.



1.3. att. Izmēģinājumiem sagatavotās izejvielas – koksnes pelni un digestāts.

Separēta digestāta cieto frakciju un koksnes pelnu agroķīmisko analīžu rezultāti apkopoti 1. tabulā.

1.1. tabula

Pētījumos izmantotā digestāta un koksnes pelnu ķīmiskais sastāvs

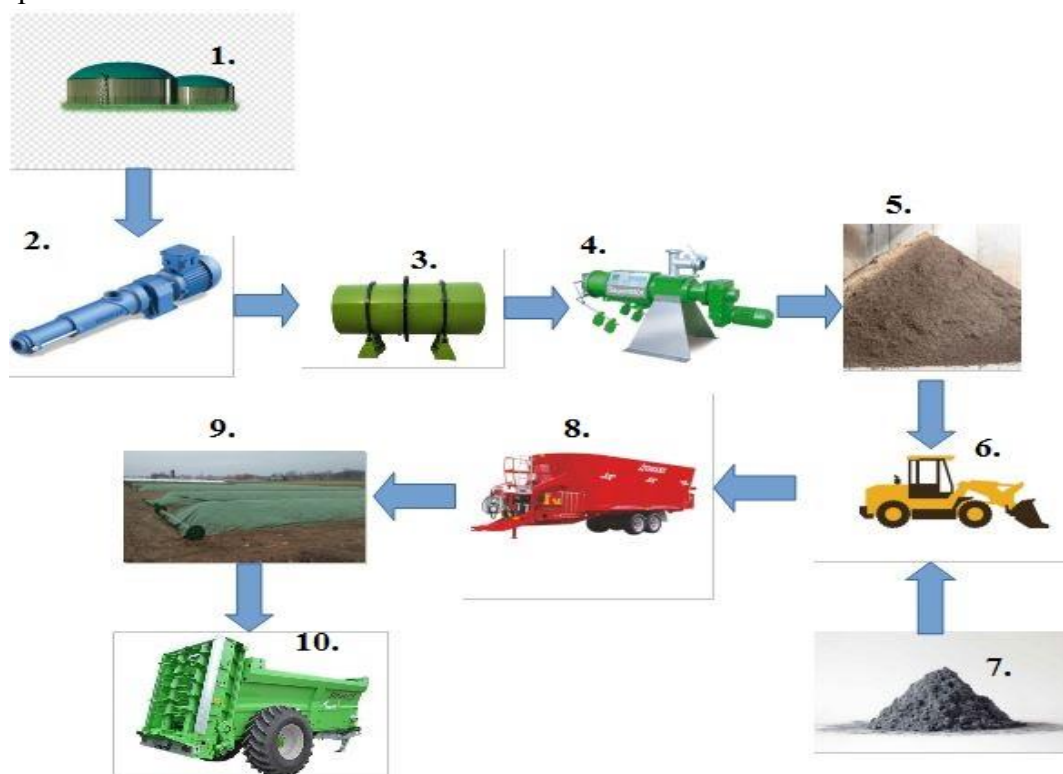
Rādītāji	Liellopu kūtsmēslu digestāts	Koksnes pelni	
	no SIA “Ziedi JP”	no SIA “Dobeles Eko”	no SIA “Gren Jelgava”
Sausna (DM), %	26.07	99.9	99.8
Kopslāpekļis (dabīgā produktā), %	0.70	-	-
Fosfors (P), %sausnā	0.62	6.1	1.8
Kālijs (K), sausnā	1.63	9.7	7.7
pH	10.5	13.4	12.1

Tika pārbaudīts arī makroelementu un smago metālu saturs augsnē. Analīzes veica pirms un pēc digestāta lietošanas LBTU Biotehnoloģiju zinātniskajā laboratorijā (LBTU BZL).

Maisījumu izveidošanai tika izmantoti izmēģinājumu saimniecības rīcībā esošie lauksaimniecības agregāti.

Rezultāti

Lai pagatavotu jauno mēslojumu no biogāzes digestāta un koksnes pelniem, tika izmantota saimniecības rīcībā esošā tehnika. Saskaņā ar tehnoloģijas shēmu digestāta izturēšana fermenteros ilgst, kamēr digestāts ir pilnībā izstrādājies un, izejot no pēcfermentācijas fāzes, biogāzi vairs neizdala vai gandrīz neizdala. Inovatīvā digestāta un koksnes pelnu maisījumu sagatavošanas tehnoloģiskā shēma ir parādītā 1.4. attēlā.



1.4. att. Jaunā mēslojuma sagatavošanas tehnoloģiskā shēma:

1. – biogāzes fermenteri; 2. – digestāta sūkņi; 3. – digestāta starpkrātuve;
4. – digestāta separēšana frakcijās; 5. – digestāta cietās frakcijas noliktava;
6. – digestāta un pelnu iekraušana; 7. – pelnu noliktava; 8. – maisīšanas iekārta “Trioliet” ar svāriem un traktoru; 9. – sajauktā mēslojuma izpilde stirpās un apsegšana; 10. – jaunā mēslojuma izkliešana uz lauka.

Pēcfermentācijas digestātu, kura sausnas saturs ir līdz 7.5%, pārsūknēja ar gliemežveida sūkni “VANGEN”. Lai būtu optimāla digestāta plūsma, to pārsūknēja pa 150 mm cauruļvadu. Digestātu aizsūknēja uz digestāta separatora 10 m³ starpkrātuvi. Starpkrātuve darbojas kā bufertilpne, lai nodrošinātu vienmērīgu un nepārtrauktu digestāta padevi uz separatoru, kā arī lai novērstu “sifona” efektu. Šķīdumslu separators “EYS SP600” darbojas nepārtrauktas darbības režīmā, jo bija salāgots ar šķidrā digestāta 10 m³ tilpuma starpkrātuvi,

Separatorā tika izmantots vienpakāpes siets ar caurumu izmēru 0.75 mm. Pēc separēšanas digestāta šķidrā frakcija, lai nepatērētu papildu enerģiju, pašplūsmā aiztecēja uz šķidrā digestāta krātuvi. Šķidrā frakcijā sausnas saturs saglabājās 2% robežās, jo sausnas daļiņu izmērs bija mazāks par 0,75 mm un separatora siets tās nespēja aizturēt. Digestāta cietā frakcija no separatora iekrita zem separatora telpas

izveidotā noliktavā, lai digestāts būtu pajumtē un ērti savācams. Tas ir nepieciešams, lai nokrišņu gadījumā digestāta cietās frakcijas sausnas saturs pēc separācijas paliktu nemainīgs, t.i., 25.7%.

Pēc separēšanas digestāta cietā frakcija ar frontālā iekrāvēja kausu tika iekrauta maisīšanas iekārtā Trioliet”. Maisīšanas iekārta ir aprīkota ar elektroniskiem svāriem, lai varētu ievērot maisījumu proporcijas. Izmantotā “Trioliet” maisīšanas iekārta ir aprīkota ar trīs mikseriem, kas novietoti metra attālumā cits no cita un nodrošina vienmērīgu sastāvdaļu sajaukšanu visā ierīces tilpumā. Katrā jaunā mēslošanas līdzekļa maisīšanas porcijā ir iespējams pagatavot 8 t maisījuma. Maisītājs tiek darbināts ar kardānpārvadu no traktora jūgvārpstas. Jūgvārpstas darbināšanai tiek izmantoti “John Deere 6430 130 PS”. Digestāts ar koksnes pelniem jāpievieno maisītājā pamīšus, lai paātrinātu maisījuma gatavošanos. Pēc visas pagatavotās mēslojuma devas sapildīšanas maisītājā pats maisīšanas process ilgst 15 minūtes. Operators uzmanīgi vēro procesu, lai sastāvdaļas būtu pilnībā sajauktas. Maisīšanas procesā operators lieto individuālos aizsardzības līdzekļus, lai pasargātu sevi no fizikāliem un ķīmiskiem bojājumiem.

Pēc sastāvdaļu sajaukšanas jaunais mēslošanas līdzeklis tiek izpildīts no maisītāja stirpās ar integrētu konveijera palīdzību. Stirpu augstums un platums tiek veidoti tā, lai būtu maksimāli lielākais šķautnes leņķis. Stirpas tiek ātri apsegtas ar gāzu necaurlaidīgu pārklāju, lai aizkavētu amonjaka emisijas. Jaunā mēslošanas līdzekļa pH ir 11.5, tādēļ slāpekļa izdalīšanās noritēja strauji. Iegūtais maisījums, pateicoties tā augstajam pH, neitralizē digestātā esošos mikroorganismus. Ilgi nekavējoties, sajauktais maisījums ar frontālo iekrāvēju tiek iekrauts kūtsmēsļu izkliešanas iekārtā “Joskin”. Izkliešanas iekārta ir aprīkota ar precīzu mēslojuma dozēšanu no traktora kabīnes, kā arī tam ir savi svāri. Izkliešanas platums ir 24 m. Lai mēslojums pēc transportēšanas uz izmēģinājumu laukiem nebūtu sablīvējies, izkliešanas iekārtā ir divi gliemežtransportieri un transportiera lenta.



Maisījumu izejvielu – digestāta un koksnes pelnu – sagatavošana, izmantojot frontālo iekrāvēju JCB 434S.



Maisījumu izejvielu iekraušana maisītājā.



Maisījumu izejvielu sajaukšana maisītājā.



Noteiktās attiecībās sajauktā digestāta un koksnes maisījuma izkraušana no maisītāja.



Sagatavotā mēslojuma iekraušana transporta līdzeklī.



Mēslojuma izkliešana uz lauka.

1.5. Augsnes kalķošanas un mēslošanas līdzekļa ražošanas tehnoloģijas izstrāde (daži tehnoloģijas elementi).

Digestāta+pelnu maisījumu sagatavošanas procesā tika izmantotas šādas tehnikas: frontālais iekrāvējs “JCB 434S”, “Siloking” maisītājs-barības dalītājs ar svariem, “John Deere” 6430 traktors miksera darbināšanai, “John Deere” 7400 digestāta+pelnu maisījuma izkliešanai, “Joskin” kalķojamā materiāla precīzais izkliešanas mašīna. Izmēģinājumu lauku sagatavošanai tika izmantoti: “Case” traktors “Magnum 2020”, “Lemken” rugaines kultivators “Karat 900/3”, “Massey Ferguson” DYN7200 – sējmašīnas vilkšanai, “Vederstadt” pneimatiskā sējmašīna, kombains “Claas dominator”. Ražas uzskaiti veica dubultīgi – gan no kombaina datora, gan uz autosvariem.

2. INOVATĪVĀ AUGSNES MĒSLOŠANAS UN KALĶOŠANAS LĪDZEKĻA IETEKME UZ LAUKAUGU PRODUKTIVITĀTI

2.1. Kukurūza

Ražošanas lauka izmēģinājumi ar kukurūzu tika ierīkoti velēnu karbonātu, vidēji smagā smilšmāla augsnē ar reakciju pH_{KCl} 7.0–7.2; fosfora (P_2O_5) saturs augsnē – 50–54 mg kg^{-1} ; kālija (K_2O) saturs augsnē – 182–206 mg kg^{-1} . Ražošanas lauka izmēģinājumiem ar kukurūzu 2020. un 2021. gadā iesēja šķirni ‘Hulk’, FAO 250, un 2022. gadā – šķirni ‘Vitaly’, FAO 220; izsējas norma – 80 000 dīgstošu sēklu uz ha; sējas dziļums – 5 cm; rindstarpu platums – 70 cm; sējas datums – attiecīgi 10. un 5. maijs; priekšaugi – ziemas kvieši. Sējumu veidošanai tika izmantota tiešas sējas tehnoloģija. Pētījumu platības katram variantam un atkārtojumam tika iemērītas pirms mēslojuma izkaisīšanas. Katra izmēģinājumu lauka platība bija 100×12 m jeb 0.12 ha katrā atkārtojumā. Visus pētījumu variantus ierīkoja trīs atkārtojumos. Nezāļu ierobežošanai lietoja herbicīdus Maister Power un Estets; deva – attiecīgi 1.0 L ha^{-1} un 0.4 L ha^{-1} . Herbicīdus smidzināja tikai vienu reizi sezonā, kad kukurūzai bija četras lapas.

Mēslošanas varianti redzami 2.1. tabulā. Vidēji trīs izmēģinājumu gados, izmantojot jauno mēslojumu, ieguva 36.93–38.33 t ha^{-1} kukurūzas zaļās masas (2.1. tabula, 2.1. att.). Pēc 2.1. tabulas redzams, ka mēslojuma normas palielināšana negatīvi ietekmēja kukurūzas ražu. Būtiski ($p < 0.05$) augstākas kukurūzas ražas 2022. gadā tika iegūtas, lietojot zemākas (15 t ha^{-1}) mēslojuma normas. Arī 2020. un 2021. gadā tika novērota tendence kukurūzas ražai palielināties, lietojot zemākas mēslojuma normas, taču ražas starpība nebija būtiska (2.1. tabula). Digestāta un pelnu attiecībai mēslojumā netika konstatēta būtiska ietekmes atšķirība uz kukurūzas ražu 2020. un 2021. gadā.

2.1. tabula

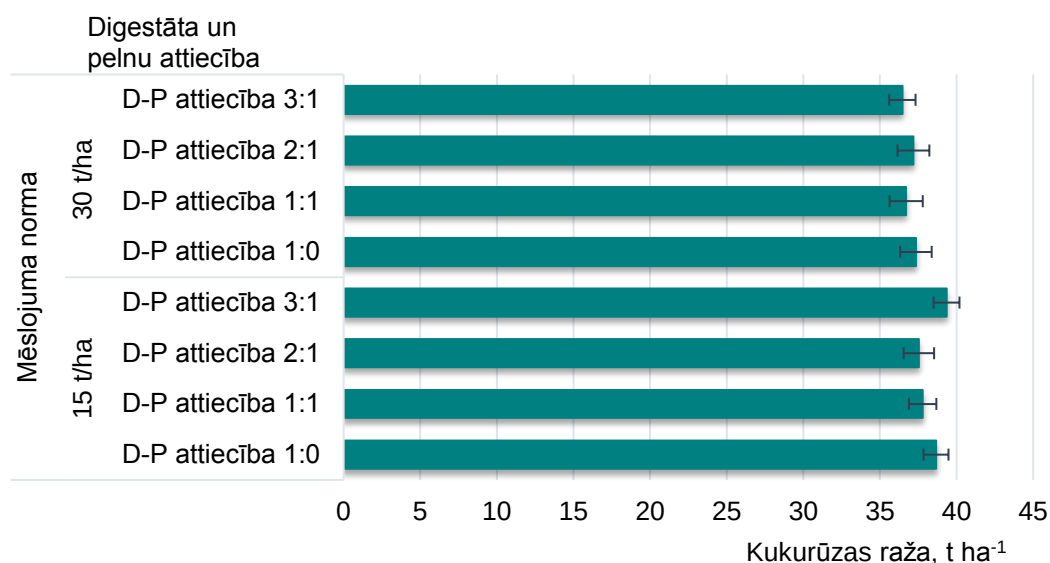
Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz kukurūzas ražu, t ha^{-1}

Mēslojuma norma, t ha^{-1} (F_A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F_B)	Izmēģinājuma gads			Vidēji trīs izmēģinājumu gados
		2020. g.	2021. g.	2022. g.	
15	1 : 0	36.08	39.38	40.52	38.66
	1 : 1	34.98	38.87	39.51	37.79
	2 : 1	34.74	37.11	40.77	37.54
	3 : 1	36.39	41.01	40.63	39.35
	Vidēji	35.55	39.09	40.36	38.33
30	1 : 0	33.74	38.24	40.06	37.35
	1 : 1	33.84	37.71	38.58	36.71
	2 : 1	34.53	37.01	40.02	37.18
	3 : 1	33.86	36.19	39.33	36.46
	Vidēji	33.99	37.29	39.50	36.93
RS _{0.05} A (norma)		1.63	2.17	0.60	1.13
RS _{0.05} B (attiecība)		2.31	3.07	0.84	1.59
RS _{0.05} AB		3.27	4.34	1.19	2.25

* Visās tabulās būtiskās starpības RS_{0.05} ir **trekninātas**.

Tikai 2022. gadā būtiski augstākas ražas ieguva variantos ar digestāta pārsvaru (digestāta:pelnu attiecība 1:0, 2:1 un 3:1) salīdzinājumā ar variantu, kurā digestāta un pelnu attiecība (1:1) mēslojumā bija vienlīdzīga.

Mēslojuma normas palielināšana no 15 t ha⁻¹ uz 30 t ha⁻¹ būtiski ($p<0.05$) samazināja kukurūzas trīs gadu vidējo ražu. Digestāta un pelnu attiecībai mēslojumā netika konstatēta būtiska ietekme uz vidējo kukurūzas ražu trijos izmēģinājumu gados. Lietojot zemākas mēslojuma (15 t ha⁻¹) normas, tika novērota tendence iegūt augstākas ražas variantos ar digestāta pārsvaru (digestāta:pelnu attiecība 1:0; 2:1 un 3:1) salīdzinājumā ar variantu, kurā digestāta un pelnu attiecība (1:1) mēslojumā bija vienlīdzīga (2.1. att.).



2.1. att. **Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz kukurūzas ražu, t ha⁻¹, vidēji 2020.–2022. gadā.**

Digestāta un pelnu attiecībai mēslojumā netika konstatēta būtiska ietekme uz kukurūzas kvalitātes rādītājiem 2020. gadā (1. tabula). Lietotai mēslojuma normai bija būtiska ($p<0.05$) ietekme tikai uz kalcija saturu kukurūzas sausas ražā. Augstāku kalcija saturu sausnā ieguva, lietojot 30 t ha⁻¹ mēslojuma normu.



2.2. att. Ražošanas lauka izmēģinājumi ar kukurūzu.

Inovatīvā augsnes auglības uzlabošanas līdzekļa pielietošana kukurūzas sējumos nodrošināja augstas kvalitātes zaļās masas un skābbarības ieguvu (2.2.–2.5. tabula).

2.2. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz kukurūzas zaļās masas kvalitāti vidēji 2020. gadā

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Sausnas saturs, %	Saturs sausnā, %				
			Kopproteīns	Kokšķiedra	Koppelni	Ca	P
15	1 : 0	31.24	9.90	16.30	3.39	0.18	0.26
	1 : 1	32.91	8.73	15.20	3.50	0.23	0.28
	2 : 1	29.42	8.80	24.55	4.65	0.26	0.26
	3 : 1	31.19	8.67	16.48	3.45	0.23	0.25
	Vidēji	31.19	9.03	18.13	3.75	0.23	0.26
30	1 : 0	33.98	9.92	16.69	4.57	0.26	0.28
	1 : 1	33.78	10.48	19.95	4.29	0.46	0.25
	2 : 1	33.61	9.70	17.45	3.89	0.33	0.24
	3 : 1	32.19	10.31	18.14	4.13	0.33	0.26
	Vidēji	33.39	10.10	18.06	4.22	0.35	0.26
RS _{0.05} A (norma)		2.51	1.27	2.96	1.35	0.12	0.04
RS _{0.05} B (attiecība)		3.55	1.80	4.18	1.91	0.17	0.05

* Visās tabulās būtiskās starpības RS_{0.05} ir **trekninātas**.

Lietotai mēslojuma normai, kā arī digestāta un pelnu attiecībai mēslojumā netika konstatēta būtiski atšķirīga ietekme uz kvalitātes rādītājiem kukurūzas sausnā 2020. gadā (2.3. tabula). Visos pētījumu variantos ieguva augstas kvalitātes kukurūzas ražu.

2.3. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz kukurūzas zaļās masas kvalitāti vidēji 2021. gadā

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Sausnas saturs, %	Saturs sausnā, %							
			Kopproteīns	Kokšķiedra	NDF	ADF	Ciete	Ca	P	K
15	1 : 0	33.63	8.12	21.42	45.08	23.54	29.93	0.31	0.20	0.76
	1 : 1	34.37	8.11	21.35	49.17	24.76	29.12	0.32	0.20	0.79
	2 : 1	33.38	8.22	20.97	48.17	24.75	27.69	0.32	0.21	0.80
	3 : 1	33.19	8.45	21.79	48.41	25.40	27.68	0.32	0.21	0.79
	Vidēji	33.64	8.23	21.38	47.71	24.61	28.61	0.32	0.21	0.79
30	1 : 0	33.25	7.94	20.51	46.78	24.03	28.65	0.32	0.21	0.79
	1 : 1	33.98	7.81	21.76	49.64	26.41	28.99	0.29	0.20	0.80
	2 : 1	32.95	8.31	20.09	48.18	23.82	27.69	0.34	0.22	0.80
	3 : 1	34.55	8.22	19.70	47.13	23.95	30.18	0.32	0.21	0.81

	Vidēji	33.68	8.07	20.52	47.93	24.55	28.88	0.32	0.21	0.80
RS _{0.05} A (norma)		1.40	0.27	1.62	1.96	2.23	2.53	0.03	0.01	0.02
RS _{0.05} B (attiecība)		1.98	0.38	2.30	2.77	3.16	3.58	0.05	0.01	0.03

Tabulā lietotie saīsinājumi: NDF – neitrāli skalotā kokšķiedra; ADF – skābi skalotā kokšķiedra; Ca – kalcijs; P – fosfors; K – kālijs.

Arī 2021. gadā lietotai mēslojuma normai, kā arī digestāta un pelnu attiecībai mēslojumā netika konstatēta būtiski atšķirīga ietekme uz kukurūzas lopbarības kvalitātes rādītājiem (2.4. tabula).

2.4. tabula

**Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz kukurūzas skābbarības kvalitāti
2021. gadā**

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	NEL, MJ kg ⁻¹	NEM, MJ kg ⁻¹	NEG, MJ kg ⁻¹	TDN/DDM, %	DMI, %	RFV	ME, MJ kg ⁻¹	pH
15	1 : 0	6.73	7.37	4.35	70.56	2.66	145.61	12.32	4.02
	1 : 1	6.63	7.25	4.23	69.61	2.44	131.70	12.16	4.16
	2 : 1	6.63	7.26	4.24	69.62	2.49	134.45	12.16	4.13
	3 : 1	6.58	7.19	4.17	69.11	2.48	132.81	12.06	4.10
	Vidēji	6.64	7.27	4.25	69.73	2.52	136.14	12.18	4.10
30	1 : 0	6.69	7.32	4.30	70.18	2.57	139.56	12.26	4.06
	1 : 1	6.50	7.10	4.08	68.33	2.42	128.04	11.94	4.15
	2 : 1	6.71	7.34	4.32	70.34	2.49	135.82	12.28	4.09
	3 : 1	6.70	7.33	4.31	70.24	2.55	138.64	12.27	4.18
	Vidēji	6.65	7.27	4.25	69.77	2.51	135.52	12.19	4.12
RS _{0.05} A (norma)		0.18	0.21	0.21	1.74	0.10	8.43	0.30	0.08
RS _{0.05} B (attiecība)		0.26	0.29	0.29	2.45	0.15	11.93	0.43	0.12

Tabulā lietotie saīsinājumi: NEL – neto enerģija laktācijai; NEM – neto enerģija uzturēšanai; NEG – neto enerģijas pieaugums; TDN/DDM – sausas sagremojamība (aprēķinu metode); DMI – sausas uzņemšana; RFV – relatīvā barības vērtība; ME – maiņas enerģija atgremotājiem; pH – vides reakcija.

Līdzīgi rezultāti iegūti arī 2022. gadā. Lietotai mēslojuma normai, kā arī digestāta un pelnu attiecībai mēslojumā bija nebūtiska ietekme uz kukurūzas sausas kvalitātes rādītājiem (2.5. tabula).

2.5. tabula

**Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz kukurūzas zaļās masas kvalitāti
2022. gadā**

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Sausnas saturs, %	Saturs sausnā, %						
			Kop-proteīns	Kok-šķiedra	NDF	ADF	Ciete	Ca	P
15	1 : 0	32.23	8.88	24.75	49.80	29.99	22.69	0.71	0.25
	1 : 1	28.64	8.46	23.79	50.49	27.70	22.30	0.73	0.25
	2 : 1	27.99	9.04	23.20	47.14	26.20	23.57	0.77	0.24

	3 : 1	29.64	8.68	21.66	48.96	27.08	24.51	0.64	0.24
	Vidēji	29.63	8.77	23.35	49.10	27.74	23.27	0.71	0.25
30	1 : 0	28.82	8.64	23.84	48.85	27.21	24.16	0.84	0.24
	1 : 1	28.65	8.58	20.44	45.89	25.36	27.23	0.53	0.24
	2 : 1	28.28	8.96	23.13	50.58	29.36	23.49	0.86	0.24
	3 : 1	28.66	8.91	21.62	46.92	25.52	26.91	0.66	0.25
	Vidēji	28.60	8.77	22.26	48.06	26.86	25.45	0.72	0.24
RS _{0.05} A (norma)		2.68	0.33	2.48	5.34	4.36	3.34	0.23	0.02
RS _{0.05} B (attiecība)		3.79	0.47	3.51	7.55	6.17	4.72	0.33	0.02

Tabulā lietotie saīsinājumi: NDF – neitrāli skalotā kokšķiedra; ADF – skābi skalotā kokšķiedra; Ca – kalcijs; P – fosfors.

Lietotai mēslojuma normai netika konstatēta būtiska ietekme uz kukurūzas lopbarības kvalitātes rādītājiem 2022. gadā. Digestāta un pelnu attiecībai mēslojumā būtiska ($p < 0.05$) ietekme bija tikai uz sagremojamību. Lietojot abas mēslojuma normas (15 un 30 t ha⁻¹), augstākus sagremojamības rādītājus ieguva variantos, kuros bija lietots digestāta un pelnu maisījums (digestāta:pelnu attiecība 1:1, 2:1 un 3:1), salīdzinājumā ar variantu, kurā pelni mēslošanas līdzeklī netika izmantoti (2.5. tabula).

2.5. tabula

**Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz kukurūzas skābbarības kvalitāti
2022. gadā**

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	NEL, MJ kg ⁻¹	NEM, MJ kg ⁻¹	NEG, MJ kg ⁻¹	TDN/DDM, %	DMI, %	RFV	ME, MJ kg ⁻¹	OMD, %
15	1: 0	6.22	6.76	3.74	65.54	2.41	122.42	11.43	63.79
	1: 1	6.40	6.98	3.96	67.32	2.38	124.03	11.75	65.85
	2: 1	6.52	7.12	4.10	68.49	2.55	135.15	11.94	64.42
	3: 1	6.45	7.03	4.01	67.80	2.45	128.83	11.83	66.14
	Vidēji	6.40	6.97	3.95	67.29	2.45	127.61	11.74	65.05
30	1: 0	6.44	7.02	4.00	67.70	2.46	128.93	11.81	63.87
	1: 1	6.59	7.20	4.18	69.14	2.61	140.16	12.06	65.30
	2: 1	6.27	6.82	3.80	66.03	2.37	121.44	11.51	65.37
	3: 1	6.57	7.18	4.16	69.02	2.56	136.84	12.03	66.36
	Vidēji	6.47	7.06	4.04	67.97	2.50	131.84	11.85	65.23
RS _{0.05} A (norma)		0.35	0.41	0.41	3.39	0.27	20.19	0.59	0.98
RS _{0.05} B (attiecība)		0.49	0.58	0.58	4.80	0.39	28.55	0.83	1.39

Tabulā lietotie saīsinājumi: NEL – neto enerģija laktācijai; NEM – neto enerģija uzturēšanai; NEG – neto enerģijas pieaugums; TDN/DDM – sausas sagremojamība (aprēķinu metode); DMI – sausas uzņemšana; RFV – relatīvā barības vērtība; ME – maiņas enerģija atgremotājiem; OMD – sagremojamība (celulāžu metode).

Pētījumu rezultāti pārliecinoši parāda, ka inovatīvā mēslošanas līdzekļa pielietošana kukurūzas sējumos ir efektīva.

2.2. Ziemas rapsis

Ražošanas lauka izmēģinājumus ar ziemas rapsi ierīkoja velēnu karbonātu, vidēji smagā smilšmāla augsnē ar augšnes reakciju pH_{KCl} 7.0, fosfora (P_2O_5) saturu augsnē 29 mg kg^{-1} un kālija (K_2O) saturu augsnē 68 mg kg^{-1} . Izmēģinājumiem ar ziemas rapsi 2020. gada ražai iesēja šķirni ‘Pioneer’; sējas datums – 2019. gada 29. jūlijs; priekšsāgs – lucerna. Savukārt 2021. gada ražai iesēja šķirni ‘KWS Cristiano’; sējas datums – 2020. gada 5. augusts; priekšsāgs – ziemas kvieši. 2022. gada ražai iesēja ziemas rapša šķirni ‘Avatar’; sējas datums – 2021. gada 7. augusts; priekšsāgs – ziemas kvieši; izsējas norma – 2.52 $\text{kg ha}^{-1}/45 \text{ augi m}^2$.

Sējumu veidošanai tika izmantota tiešās sējas tehnoloģija. Pētījumu platības katram variantam un atkārtojumam iemērīja pirms mēslojuma izkaisīšanas. Katra izmēģinājumu lauka platība bija $100 \times 12 \text{ m}$ jeb 0.12 ha katrā atkārtojumā. Visus pētījumu variantus ierīkoja trīs atkārtojumos.

Nezāļu ierobežošanai 2020. gada rudenī tika lietoti herbicīdi Belkar 0.25 L ha^{-1} un Metazamix 0.6 L ha^{-1} un augšanas regulators Orius 0.5 L ha^{-1} . Pētījumā iekļautie mēslošanas varianti redzami 2.6. tabulā.

Vidēji trīs izmēģinājumu gados, izmantojot jauno mēslojumu, iegūtā ziemas rapša sēklu raža veidoja vidēji 3.29–3.31 t ha^{-1} (2.6. tabula, 2.3. att.).

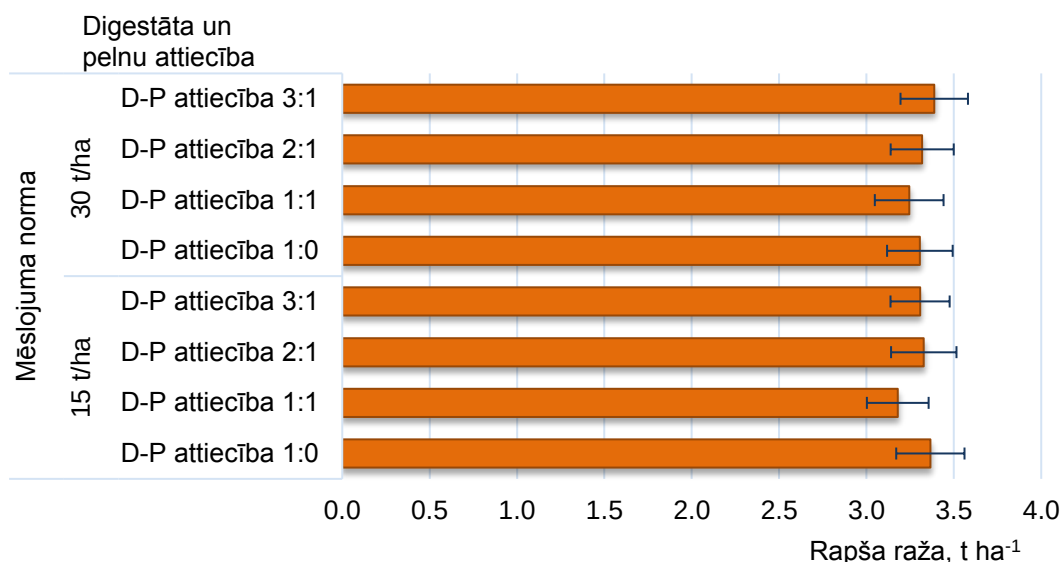
Lietotajām mēslojuma normām, kā arī digestāta un pelnu attiecībai mēslojumā netika konstatēta būtiska atšķirīga ietekme uz rapša ražu nevienā no izmēģinājumu gadiem (2.6. tabula).

2.6. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas rapša ražu, t ha^{-1}

Mēslojuma norma, t ha^{-1} (F_A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F_B)	Izmēģinājuma gads			Vidēji trīs izmēģinājuma gados
		2020.	2021.	2022.	
15	1 : 0	4.14	3.05	2.91	3.37
	1 : 1	3.84	2.96	2.73	3.18
	2 : 1	4.00	3.13	2.86	3.33
	3 : 1	3.96	3.09	2.87	3.31
	Vidēji	3.99	3.06	2.84	3.29
30	1 : 0	4.03	3.03	2.85	3.31
	1 : 1	3.88	3.09	2.76	3.24
	2 : 1	4.01	3.07	2.88	3.32
	3 : 1	4.06	3.18	2.93	3.39
	Vidēji	3.99	3.09	2.86	3.31
RS _{0.05} A (norma)		0.20	0.18	0.18	0.17
RS _{0.05} B (attiecība)		0.29	0.26	0.26	0.24
RS _{0.05} AB		0.40	0.36	0.37	0.34

Digestāta un pelnu attiecībai mēslojumā netika konstatēta būtiska ietekme uz rapša trīs gadu vidējo ražu. Pielietojot abas mēslojuma normas (15 un 30 t ha⁻¹), tika novērota tendence iegūt augstākas ražas variantos ar digestāta pārsvaru (digestāta:pelnu attiecība 1:0, 2:1 un 3:1) salīdzinājumā ar variantu, kurā digestāta un pelnu attiecība (1:1) mēslojumā bija vienlīdzīga (2.3. att.).



2.3. att. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas rapša ražu, t ha⁻¹, vidēji 2020.–2022. gadā.

Jaunais mēslošanas līdzeklis atšķirīgi ietekmēja ziemas rapša sēklu kvalitāti pa izmēģinājumu gadiem. Labākās kvalitātes sēklas ieguva 2021. gadā, ko var izskaidrot ar labvēlīgajiem agrometeoroloģiskajiem apstākļiem tajā gadā.

Lietotai mēslojuma normai, kā arī digestāta un pelnu attiecībai mēslojumā netika konstatēta būtiska ietekme uz rapša kvalitātes rādītājiem 2021. gadā (2.6. tabula).



2.4. att. Izmēģinājumi ar ziemas rapsi ražošanas laukā.

2.6. tabula

**Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas rapša sēklu kvalitāti
2021. gadā**

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Mitrums, %	Kopproteīns, %	Eļļas saturs, %
5	1 : 0	88.24	20.79	46.26
	1 : 1	88.98	19.96	46.45
	2 : 1	87.48	20.00	46.93
	3 : 1	88.88	19.64	49.10
	4 : 1	88.05	19.90	46.85
	Vidēji	88.33	20.06	47.12
10	1 : 0	88.91	19.94	47.83
	1 : 1	89.12	20.14	47.05
	2 : 1	88.91	20.13	47.27
	3 : 1	88.62	19.99	47.23
	4 : 1	87.75	19.83	39.57
	Vidēji	88.66	20.01	45.79
20	1 : 0	87.42	19.89	46.85
	1 : 1	88.60	20.16	40.74
	2 : 1	88.52	20.65	46.95
	3 : 1	87.87	19.35	47.53
	4 : 1	88.47	20.27	46.12
	Vidēji	88.18	20.06	45.64
RS _{0.05} A (norma)		0.82	0.54	3.76
RS _{0.05} B (attiecība)		1.06	0.69	4.85

Svarīgākais rapša kvalitātes rādītājs ir eļļas saturs sēklās. Pieaugot mēslojuma normai, bija novērojama tendence eļļas saturam sēklās samazināties vidēji par 1.33–1.45% 2021. gadā un par 2.91% 2022. gadā (2.6. un 2.7. tabula). Eļļas saturu rapša sēklās ievērojami ietekmēja laikapstākļi izmēģinājuma gadā. Augstākais vidējais eļļas saturs sēklās bija 2021. gadā – 46.18% (2022. gadā – 41.60%).

Lietotā mēslojuma norma un digestāta un pelnu attiecība mēslojumā līdzīgi ietekmēja arī pārējos sēklu kvalitātes rādītājus. Būtiskas atšķirības starp variantiem netika konstatētas.

2.7. tabula

**Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas rapša sēklu kvalitāti
2022. gadā**

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Sausnas saturs, %	Saturs sausnā, %				
			Kop- proteīns	Kok- šķiedra	Eļļa	Fosfors	Kālijs
15	1 : 0	91.68	21.78	12.94	42.55	0.63	0.75
	1 : 1	91.82	21.87	10.36	43.48	0.63	0.73

	2 : 1	91.70	21.97	10.19	43.80	0.63	0.73
	3 : 1	91.72	21.83	13.28	42.41	0.63	0.74
	Vidēji	91.73	21.86	11.69	43.06	0.63	0.74
30	1 : 0	91.75	21.85	9.59	44.66	0.64	0.75
	1 : 1	91.34	21.53	19.06	34.29	0.63	0.75
	2 : 1	91.55	21.52	11.88	39.50	0.63	0.74
	3 : 1	91.72	21.67	12.68	42.13	0.64	0.75
	Vidēji	91.59	21.64	13.30	40.15	0.64	0.75
RS _{0.05} A (norma)		0.39	0.36	3.31	7.88	0.01	0.01
RS _{0.05} B (attiecība)		0.55	0.51	4.68	11.14	0.01	0.02

2.3. Graudaugi

Ražošanas lauka izmēģinājumi ar graudaugiem – ziemas kviešiem un vasaras miežiem – tika ierīkoti velēnu karbonātu, vidēji smagā smilšmāla augsnē ar reakciju pHKCl 7.2, fosfora (P₂O₅) saturu augsnē 46 mg kg⁻¹ un kālija (K₂O) saturu augsnē 195 mg kg⁻¹. Izmēģinājumiem ar ziemas kviešiem 2020. gada ražai tika sēta šķirne ‘Skagen’; sējas datums – 2019. gada 15. septembris; priekšaugi – ziemas rapsis. Pētījumos ar graudaugiem 2021. gada 18. aprīlī tika sēta vasaras miežu šķirne ‘Annabella’; priekšaugi – ziemas rapsis. Ziemas kviešu 2022. gada ražai tika sēta šķirne ‘Skagen’ – 2021. gada 19. septembrī; priekšaugi – ziemas rapsis. Izsējas norma abām šķirnēm – 500 dīgstošu sēklu uz m².

Sējumu veidošanai izmantoja tiešo sējas tehnoloģiju. Pētījumu platību katram variantam un atkārtojumam iemērīja pirms mēslojuma izkaisīšanas. Katra izmēģinājumu lauka platība bija 100×12 m jeb 0.12 ha katrā atkārtojumā. Visi pētījumu varianti tika ierīkoti trīs atkārtojumos. Lietotie mēslošanas varianti redzami 2.8. tabulā.

Ziemas kvieši

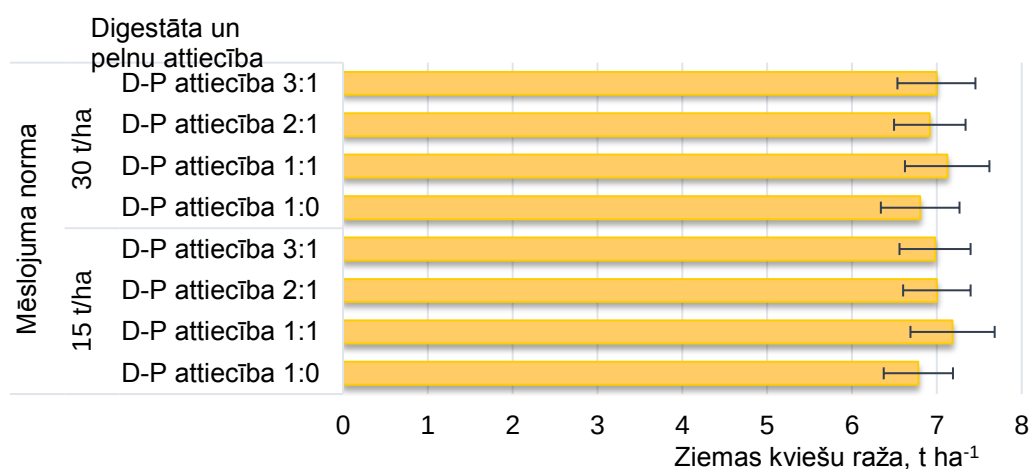
Jaunā mēslošanas līdzekļa izmantošana ziemas kviešu sējumos ļāva iegūt 7.0 t ha⁻¹ graudu ražu vidēji divos izmēģinājumu gados bez minerālmēsliem pielietošanas (2.8. tabula, 2.5. att.).

Mēslojuma normas palielināšana būtiski neietekmēja ziemas kviešu ražu nevienā no izmēģinājumu gadiem (2.8. tabula), un arī ražas pieaugums netika novērots. Analizējot digestāta un pelnu attiecības ietekmi uz ziemas kviešu ražu, tika novērota tendence augstākās kviešu ražas iegūt variantā, kurā bija izmantots digestāta un pelnu maisījums vienādā attiecībā (1:1) salīdzinājumā ar variantiem, kuros digestāts maisījumā bija pārsvarā (digestāta:pelnu attiecība 1:0, 2:1 un 3:1). Būtiskas ražas starpības konstatēja tikai 2022. gadā.

**Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas kviešu graudu ražu,
t ha⁻¹**

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Izmēģinājuma gads		Vidēji divos izmēģinājuma gados
		2020.	2022.	
15	1: 0	7.68	5.88	6.78
	1: 1	8.24	6.13	7.19
	2: 1	7.88	6.12	7.00
	3: 1	7.89	6.07	6.98
	Vidēji	7.92	6.05	6.99
30	1: 0	7.81	5.80	6.80
	1: 1	8.22	6.02	7.12
	2: 1	7.84	5.99	6.92
	3: 1	8.00	5.99	7.00
	Vidēji	7.97	5.95	6.96
RS _{0.05} A (norma)		0.31	0.10	0.18
RS _{0.05} B (attiecība)		0.44	0.15	0.26
RS _{0.05} AB		0.62	0.21	0.37

Lietotai mēslojuma normai, kā arī digestāta un pelnu attiecībai mēslojumā netika konstatēta būtiska ietekme uz ziemas kviešu divu gadu vidējo ražu (2.5. att.). Pielietojot abas mēslojuma normas (15 un 30 t ha⁻¹), bija redzama tendence augstākās kviešu ražas iegūt variantā, kurā bija izmantots digestāta un pelnu maisījums vienādā attiecībā 1:1, salīdzinājumā ar variantiem, kuros digestāts bija pārsvarā (digestāta:pelnu attiecība 1:0, 2:1 un 3:1), tomēr ražas starpības nebija būtiskas.



2.5. att. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas kviešu graudu ražu, t ha⁻¹, vidēji divos gados.

Lietotai mēslojuma normai, kā arī digestāta un pelnu attiecībai mēslojumā netika konstatēta būtiska ietekme uz ziemas kviešu kvalitātes rādītājiem 2022. gadā (2.9. tabula).

2.9. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas kviešu kvalitāti 2022. gadā

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Sausnas saturs, %	Saturs sausnā, %			
			Kop-proteīns	Kok-šķiedra	Koppelni	Ciete
15	1 : 0	87.99	13.07	2.68	1.57	67.57
	1 : 1	87.90	13.05	3.31	1.68	67.07
	2 : 1	87.86	13.02	2.48	1.58	67.57
	3 : 1	87.89	13.02	2.37	1.61	67.61
	Vidēji	87.91	13.04	2.71	1.61	67.46
30	1 : 0	87.84	12.88	2.62	1.50	68.75
	1 : 1	87.88	13.01	2.48	1.52	68.54
	2 : 1	87.91	13.03	2.71	1.61	67.16
	3 : 1	87.84	12.94	2.51	1.69	67.04
	Vidēji	87.87	12.97	2.58	1.58	67.87
RS _{0.05} A (norma)		0.13	0.14	0.77	0.17	1.68
RS _{0.05} B (attiecība)		0.19	0.19	1.08	0.24	2.38

Mieži

Jaunā mēslošanas līdzekļa izmantošana vasaras miežu sējumos nodrošināja vidēji 4.6 t ha⁻¹ graudu ražu bez minerālmēsliu pielietošanas (2.10. tabula). Mēslojuma normas palielināšanai nebija būtiskas ietekmes uz vasaras miežu graudu ražu (2.10. tabula).

2.10. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz vasaras miežu graudu ražu, t ha⁻¹

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	2021. gads
15	1 : 0	4.29
	1 : 1	5.17
	2 : 1	4.84
	3 : 1	4.28
	Vidēji	4.65
30	1 : 0	4.13
	1 : 1	5.22
	2 : 1	4.86
	3 : 1	4.25
	Vidēji	4.62

RS _{0.05} A (norma)	0.49
RS _{0.05} B (attiecība)	0.70
RS _{0.05} AB	0.99

Mēslojuma normas palielināšanai netika konstatēta būtiska ietekme uz miežu ražu (2.10 tabula). Turpretim digestāta un pelnu attiecībai mēslojuma maisījumā bija būtiska ($p < 0.05$) ietekme uz miežu ražu. Lietojot abas mēslojuma normas (15 un 30 t ha⁻¹), augstākās miežu ražas ieguva variantos, kuros bija izmantota vienāda digestāta un pelnu attiecība maisījumā (1:1), salīdzinājumā ar variantiem, kuros digestāts maisījumā bija pārsvarā (digestāta:pelnu attiecība 1:0, 2:1 un 3:1).

Papildus pētījumi 2023 gadā

AS “Ziedi JP” no 2023. gada aprīļa turpināja projekta praktiskas ievirzes pētījumus, veicot pelnu un digestāta maisījuma izmēģinājumu – pārbaudi kukurūzas sējumus. Bija pieņemts lēmums sākt jaunu ražošanas izmēģinājumu sēriju, izmantojot koksnes pelnus un digestāta maisījumu citādā kombinācijā. Tie ietvēra alternatīva mēslojuma paplašinātu variantu iestrādes tehnoloģiju. Izmēģinājumi tika ierīkoti 35 ha platībā. Kontroles laukā 5 ha platībā tika iestrādātā pēcfermentācijas digestāta šķidrā frakcija.



Att. Kukurūzas novākšana izmēģinājumos 2023. gadā.

Pārejos 30 ha tika nokaisīti koksnes pelni un secīgi pēc tam iestrādāta pēcfermentācijas digestāta šķidrā frakcija. Mēslojuma norma bijā 30 t ha⁻¹. Laboratorijā bija noteiktas barības vielu saturs gan digestātam, gan pelniem. Pēc tam sēja kukurūzu šķirni ‘Silverbull FAO 100’ ar tiešās sējas sējmašīnu izmēģinājuma lauku platībā. Kukurūzu izmēģinājumos novāca oktobra sākumā (att.).

AS “Ziedi JP” 2023. iegūta augsta kukurūzās zaļas masas raža. Izmēģinājumā kontroles laukā tā sastādīja vidēji 45,7 t ha⁻¹, bet ar koksnes pelniem un šķidro digestātu maisījumu mēsłotos variantos vidēji ieguva 53, t ha⁻¹, atseviškos izmēģinājuma vietas sasniedzot pat 60 t ha⁻¹.

Iegūtie dati tiks izmantoti turpmākā jaunā mēsłšanas līdzekļa pētniecībā.

Secinājumi

Ir izstrādāta un pārbaudīta ražošanā inovatīva augsnes auglības uzlabošanas līdzekļa sagatavošanas tehnoloģiskā shēma.

Ražošanas lauka izmēģinājumos pārbaudīta inovatīvā augsnes auglības uzlabošanas līdzekļa izmantošanas efektivitāte dažādu laukaugu sējumos. Konstatēts, ka tā izmantošana ļauj iegūt pietiekami augstas, labas kvalitātes laukaugu ražas bez minerālmēsłu pielietošanas.

Separēta digestāta un koksnes pelnu maisījumu sagatavošana var būt labs biogāzes staciju un katlu māju darbības atlieku pārstrādes veids jauna produkta iegūšanai ar paaugstinātu vērtību.

Pētījumi AS “Pampāļi”

I E V A D S

Ilgspējīgai lauksaimniecībai ir nepieciešams atrast un maksimāli izmantot alternatīvus barības vielu avotus augiem un tādai augsnei, kas spētu aizstāt neorganisko mēsłojumu. Viens no šādiem produktiem ir digestāts, kas tiek iegūts no biogāzes ražotnes. Digestātam ir augiem būtiskās barības vielas, kas ietekmē augu produktivitāti.

Otrs mēsłojuma produkts – koksnes pelni – arī ir bagāts ar dažādiem mikro- un makroelementiem, kas vajadzīgi augu attīstībai un augšanai, Tāpēc arī koksnes pelni var būt lielisks augsnes mēsłojums.

Projekta mērķa sasniegšanai mums kā projekta izpildes partnerim bija izvirzīti šādi uzdevumi:

- izstrādāt jauna augsnes auglības uzlabošanas līdzekļa sagatavošanas un iestrādes tehnoloģiju;

- izvērtēt digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekmi uz ziemas kviešu, ziemas rapša un kukurūzas ražu un kvalitāti izmēģinājumos;
- noteikt digestāta un koksnes pelnu ietekmi uz ziemas kviešu, ziemas rapša un kukurūzas ražas struktūrelementiem.

1. PĒTĪJUMU METODIKA UN APSTĀKĻI

1.1. Izmēģinājuma vietas raksturojums

Pētījumi tika veikti AS “Pampāļi”, kas atrodas Pampāļu pagastā un ir viena no Saldus novada administratīvajām teritorijām tā austrumos, Ventas labajā krastā.

Saimniecībā sastopamas pārsvarā iekultivētas, vāji vai vidēji podzolētas, velēnu podzolaugsnis ar izteiktām glejošanās pazīmēm ieplakās. To granulometriskais sastāvs ir no smaga smilšmāla līdz vieglam mālam. Augsnēs ir ļoti augsts magnija saturs un ļoti zems vai zems fosfora nodrošinājums. Kālija nodrošinājums ir optimāls līdz vidējs, atsevišķās vietās zems; pH_{KCL} vērtība ir vāji skāba (pH 5.6–6.0), vāji skāba līdz neitrāla (pH 6.1–6.5), atsevišķās vietās bāziska jeb sārmaina ($pH > 6.5$) augsne (no AS “Pampāļi” augšņu analīžu rezultātiem).

Izmēģinājumi 2020., 2021. un 2022. gadā tika ierīkoti dažādos ražošanas laukos.

1.2. Izmēģinājumu ierīkošana un agrotehnika

1.2.1. Kukurūza

Kukurūza kā monokultūra trīs gadus pēc kārtas tika sēta ražošanas laukā, kura platība ir 20.7 ha, un no tā izmēģinājumam atvēlētā platība aizņēma 3.21 ha (1.1. att.).



1.1. att. Ražošanas lauks (Lauku atbalsta dienesta karte).

Kā redzams 1.2. attēlā, izvēlētā platība tika sadalīta ar trīs atkārtojumiem katrai jauktā mēslojuma normai; katra lauciņa izmērs – 0.08 ha.

Jauktā mēslojuma norma 20 t ha ⁻¹															
50 m	D	D+P 1:1	D+P 2:1	D+P 3:1	D+P 4:1	D	D+P 1:1	D+P 2:1	D+P 3:1	D+P 4:1	D	D+P 1:1	D+P 2:1	D+P 3:1	D+P 4:1
Izolācija-5m															
Jauktā mēslojuma norma 10 t ha ⁻¹															
50 m	D	D+P 1:1	D+P 2:1	D+P 3:1	D+P 4:1	D	D+P 1:1	D+P 2:1	D+P 3:1	D+P 4:1	D	D+P 1:1	D+P 2:1	D+P 3:1	D+P 4:1
Izolācija -5m															
Jauktā mēslojuma norma 5 t ha ⁻¹															
50 m	D	D+P 1:1	D+P 2:1	D+P 3:1	D+P 4:1	D	D+P 1:1	D+P 2:1	D+P 3:1	D+P 4:1	D	D+P 1:1	D+P 2:1	D+P 3:1	D+P 4:1
I. Atkārtojums						II. Atkārtojums					III. Atkārtojums				

1.2. att. Izmēģinājuma lauciņu shēma.

Izmēģinājumiem izvēlētajā laukā 2019. gadā tika audzēta kukurūza. Pēc kukurūzas novākšanas tika veiktas augsnes agroķīmiskās analīzes. Kā redzams 1.1. tabulā, augsnes granulometriskais sastāvs bija viegls morēnu smilšmāls, augsnes reakcija pH_{KCL} bija 6.5, kas nozīmē, ka izvēlēta augsne pilnībā atbilda kukurūzas audzēšanai.

1.1. tabula

Augsnes agroķīmiskās izpētes rezultāti

Granulom. sastāvs	pH	P mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Cu mg/kg	B mg/kg	Na mg/kg	Zn mg/kg
sM ₃	6.5	57.0	148.0	180.0	49.0	1.0	0.41	9.0	1.1

Kukurūzas audzēšanas tehnoloģija izmēģinājuma ietvaros apkopota 1.2. tabulā. Pēc ražas novākšanas augsni apstrādāja ar kompānijas “Köckerling” dziļirdinātāju: 2019. gadā 42 cm dziļumā un 2020. un 2021. gadā 28 cm dziļumā (1.3. att.).



1.3. att. Kompānijas “Köckerling” dziļirdinātājs.

Pavasārī ar kompānijas “Väderstad” disku kultivatoru “Carrier 650” augsni 10 cm dziļumā sagatavoja sējai. Sēju veica ar HORSCH sējmašīnu “Focus 6 TD” (1.4. att.).



1.4. att. “HORSCH” sējmašīna “Focus 6 TD”.

1.2. tabula

Tehnoloģiskais plāns

Agrotehniskais pasākums	Apstrādes datums 2020. g.	Apstrādes datums 2021. g.	Apstrādes datums 2022. g.
Dziļirdināšana	09.10.2019.		
Kultivēšana	-	20.10.2020.	23.10.2021.
Digestāta+pelnu iestrāde	19.05.2020.	16.05.2021.	25.05.2022.
Kultivēšana	19.05.2020.	16.05.2021.	25.05.2022.
Sēja	19.05.2020.	16.05.2021.	25.05.2022.
Nezāļu ierobežošana	12.06.2020.	15.06.2021.	08.07.2022
Papildmēslošana	-	21.06.2021.	10.07.2022.
Kukurūzas novākšana	14.10.2020.	5.10.2021.	7.10.2022.

Kukurūzas šķirni ‘Eduardo’, FAO 200, sēja 2020. gadā ar izsējas normu 90 000 dīgstošu sēklu uz ha; 2021. gadā sēja kukurūzas šķirni ‘Anselmo’, FAO 200, ar izsējas normu 80 000 dīgstošu sēklu uz ha; 2022. gadā sēja kukurūzas šķirni ‘Prosperitic’, FAO 170, ar izsējas normu 80 000 dīgstošu sēklu uz ha. Trīs gadu izmēģinājuma laikā sējas dziļums bija nemainīgs – 5 cm; rindstarpu platums – 70 cm.

Nezāļu ierobežošanai lietoja herbicīdu Maister Power OD (foramsulfurons 30 g L⁻¹, nātrija metil-jodosulfurons 1 g L⁻¹, metil-tiēnkarbazons 10 g L⁻¹), kas ir plaša spektra sistēmas iedarbības herbicīds viendīgļlapju un divdīgļlapju nezāļu ierobežošanai tieši kukurūzas sējumos. Lietotā deva – 1.0 L ha⁻¹. Smidzināja tikai vienu reizi sezonā, kad kukurūzai bija četras lapas un sāka atritināties piektā (AE 14).

Katrā variantā iestrādātā pamatmēslojuma sastāvs un deva parādīti 1.3. tabulā. 2021. un 2022. gadā tika lietots papildmēslojums – amonija nitrāts $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ N 33,5; lietošanas laiki doti 1.2. tabulā. Pielietotā norma visā izmēģinājuma platībā bija 200 kg ha^{-1} .

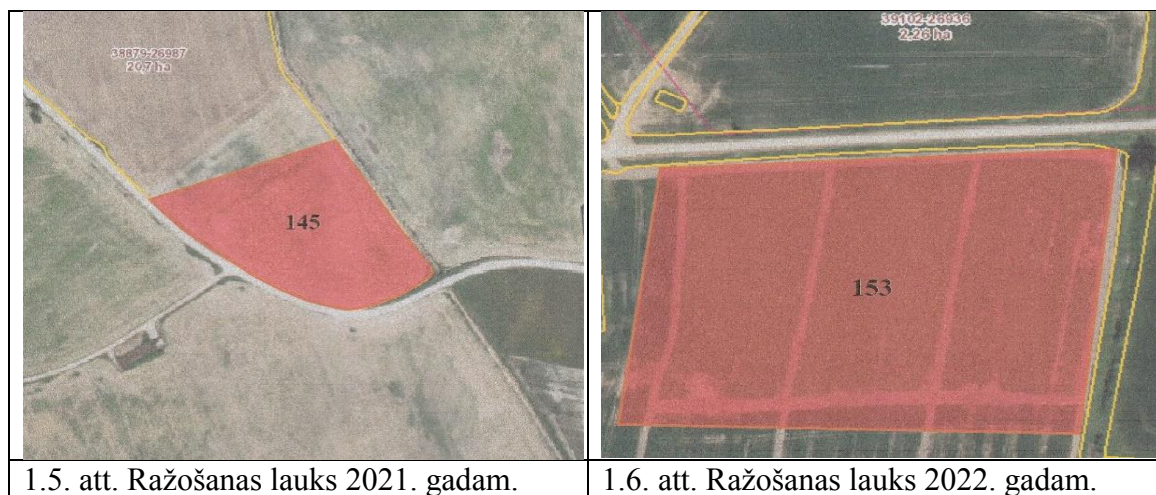
1.3. tabula

Izmēģinājuma variantos ieplānotais mēslojums

Varianti	Mēslojuma norma, t ha^{-1}	Govju kūtsmēslu digestāts, $\text{t uz } 0.08 \text{ ha}^{-1}$	Koksnes pelni, $\text{t uz } 0.08 \text{ ha}^{-1}$
1. variants Govju kūtsmēslu digestāts 1:0	15	1.2	0
	30	2.4	0
2. variants Govju kūtsmēslu digestāts+pelni, 1:1	15	0.6	0.6
	30	1.2	1.2
3. variants Govju kūtsmēslu digestāts+pelni, 2:1	15	0.8	0.4
	30	1.6	0.8
4. variants Govju kūtsmēslu digestāts+pelni, 3:1	15	0.9	0.3
	30	1.8	0.6

1.2.2. Ziemas rapsis

Ziemas rapša izmēģinājumi 2021. un 2022. gada ražai tika ierīkoti divos dažādos ražošanas laukos (1.5. un 1.6. att.).



1.5. att. Ražošanas lauks 2021. gadam.

1.6. att. Ražošanas lauks 2022. gadam.

(Lauku atbalsta dienesta kartes.)

Izmēģinājumam 2021. gadā izvēlēta platība bija 3.57 ha (1.5. att.); katra lauciņa izmērs – 0.06 ha . Šāda lauciņu platība saglabājās arī 2022. gadā, kaut arī izmēģinājums 3.57 ha platībā tika ierīkots citā ražošanas laukā (1.6. att.). Izveidoto lauciņu shēma redzama 1.7. attēlā.



1.7. att. Ziemas rapša un ziemas kviešu izmēģinājumu lauciņu shēma 2022. gadā.

Izmēģinājumu 2021. gadam ierīkoja lauka daļā pēc zālāja, tajā pašā ražošanas laukā, kur atradās kukurūzas izmēģinājums. 2019. gadā ar “Köckerling” dziļirdinātāju augsne tika sastrādāta 42 cm dziļumā. 2020. gada pavasarī tika veiktas augsnes analīzes, kuru rezultāti ir apkopoti 1.4. tabulā. Augsnes granulometriskais sastāvs bija vidējs morēnu smilšmāls ar augsnes reakciju pH_{KCL} 6.7. Fosfora nodrošinājums augsnē bija ļoti augsts, un arī kālija nodrošinājums bija augsts.

1.4. tabula

Augšnes agroķīmiskās izpētes rezultāti 2021. gadā

Granulom. sastāvs	pH	P mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Cu mg/kg	B mg/kg	Na mg/kg	Zn mg/kg
sM ₂	6.7	288.0	223.0	347.0	0.2	0.3	0.5	-	1.8

Ziemas rapsis 2022. gadam tika sēts ražošanas laukā ar kopējo platību 18.81 ha; izmēģinājumam atvēlētā platība – 3.27 ha (1.4. att.). Lauciņu shēma redzama 1.8. attēlā.

1.5. tabula

Augšnes agroķīmiskās izpētes rezultāti 2022. gadā

Granulometriskais sastāvs	pH	P, mg kg ⁻¹	K, mg kg ⁻¹	Mg, mg kg ⁻¹
sM ₂	6.5	50.0	173.0	178.0

Augsnes analīžu rezultāti 2022. gadā salīdzinājumā ar 2021. gadā ierīkoto izmēģinājumu bija zemāki. Granulometriskais sastāvs bija vidējs morēnu smilšmāls ar augsnes reakciju pH_{KCL} 6.5. Kā redzams 1.5. tabulā, augsnē bija zems fosfora un optimāls

kālija nodrošinājums. Pēc abu gadu augšņu analīžu rezultātiem redzams, ka augsnēs bija ļoti augsts magnija nodrošinājums. Šajā laukā 2021. gadā bija sēti ziemas kvieši.

1.6. tabula

Tehnoloģiskais plāns

Agrotehniskais pasākums	Apstrādes datums 2021. g.	Apstrādes datums 2022. g.
Dziļirdināšana	09.10.2019.	-
Kultivēšana	19.05.2020.	-
Digestāta+ pelnu iestrāde	27.08.2020.	30.08.2021.
Kultivēšana	28.08.2020.	-
Sēja	28.08.2020	02.09.2021.
Nezāļu ierobežošana	13.09.2020.	15.09.2021 27.04.2022.
Papildmēslošana	29.03.2021. 17.04.2021.	12.04.2022. 25.04.2022.
Ziemas rapša novākšana	01.08.2021.	16.08.2022.

Augsnes apstrādei 2020. gadā pirms ziemas rapša sējas tika izmantots kultivators ar diskkiem (1.8. att.).



1.8. att. Augsnes apstrāde ar diskkiem pēc mēslojuma izkliedēšanas 2020. gada rudenī.

Augsni sastrādāja 5 cm dziļumā; sēja ar firmas “Amazone” sējmašīnu “AD 403 Super” (1.9. att.).



1.9. att. Ziemas rapša sēja 2020. gada rudenī ar “Amazone” sējmašīnu “AD 403 Super”.



1.10. att. Ziemas rapša sēja 2021. gada rudenī ar HORSCH sējmašīnu “Focus 6 TD”.

2021. gada ražai sēja ziemas rapša šķirni ‘Atora’; 65 dīgstošas sēklas uz m²; sējas dziļums – 2–2.5 cm; rindstarpu platums – 25 cm. Reizē ar sēju augsni safrēzēja 7 cm dziļumā.

Ziemas rapsi 2021. gada rudenī sēja pēc ziemas kviešu novākšanas tiešajā sējā ar HORSCH sējmašīnu “Focus 6 TD” (1.10. att.). Tika sēts ziemas rapsis ‘Prince’; 60 dīgstošu sēklu uz m² 2–2.5 cm dziļumā; rindstarpu platums – 35 cm.

Nezāļu ierobežošanai 2020. gada rudenī tika lietots herbicīds Mtazamix TM, 0.6 L ha⁻¹ darbīgās vielas (Metazahlors 500 g/L, Aminopiralīds 5.3 g/L, Piklorams 13,3 g/L), kopā ar Belkar 0.3 L ha⁻¹ (Metil-halauksifēns 10 g/L, Piklorams 48 g/L). Savukārt 2021. gada rudenī vēlās sējas dēļ lietoja herbicīdu Targa Super 1.0 L ha⁻¹ (Etil-kvizalofops-P 50 g/L), bet 2022. gada pavasarī – herbicīdu Korvetto 1.0 L ha⁻¹ (Metil-halauksifēns 5 g/L, Klopīralīds 120 g/L). Papildmēslojumā tika dots amonija nitrāts NH₄ NO₃ N 30 : S 7, 300 kg ha⁻¹ fiziskajā svarā, un amonija sulfāts (NH₄)₂ SO₄ N 26 : S 15, 200 kg ha⁻¹. Lietošanas laiks dots 1.6. tabulā.

1.7. tabula

Izmēģinājuma variantos ieplānotais mēslojums

Varianti	Mēslojuma norma, t ha ⁻¹	Govju kūtsmēslu digestāts, t uz 0.06 ha ⁻¹	Koksnes pelni, t uz 0.06 ha ⁻¹
1. variants Govju kūtsmēslu digestāts 1:0	5	0.3	0
	10	0.6	0
	20	1.2	0
2. variants Govju kūtsmēslu digestāts+pelni, 1:1	5	0.15	0.15
	10	0.3	0.3
	20	0.6	0.6
3. variants	5	0.2	0.1

Govju kūtsmēslu digestāts+pelni, 2:1	10	0.4	0.2
	20	0.8	0.4
4. variants Govju kūtsmēslu digestāts+pelni, 3:1	5	0.22	0.08
	10	0.45	0.15
	20	0.9	0.3
5. variants Govju kūtsmēslu digestāts+pelni, 4:1	5	0.24	0.06
	10	0.48	0.12
	20	0.96	0.24

1.2.3. Ziemas kvieši

Ziemas kviešu izmēģinājumi 2021. un 2022. gada ražai tika ierīkoti ražošanas laukos (1.11. un 1.12. att.).

	
1.11. att. Ražošanas lauks 2021. gadam.	1.12. att. Ražošanas lauks 2022. gadam.

(Lauku atbalsta dienesta kartes.)

2021. gadam ierīkotajā izmēģinājumā izmantojamā platība bija 3.34 ha (1.11. att.). Šajā laukā 2020. gadā tika audzēti vasaras mieži. Tika sētas ziemas kviešu šķirnes ‘Ceylon’ 500 dīgstošas sēklas uz m² 3 cm dziļumā, ar 12.5 cm rindstarpām. Sēts tika ar kompānijas ‘Väderstad’ sējmašīnu ‘Rapid 400C’ (1.13. att.).



1.13. att. Ziemas kviešu sēja 2020. gada rudnī ar
“Väderstad” sējmašīnu “Rapid 400C”.

Ierīkotajā izmēģinājumā augsnes granulometriskais sastāvs bija smags smilšmāls; augsnes reakcija pH_{KCL} 6.6, un, kā redzams 1.9. tabulā, fosfora un kālija nodrošinājums augsnē bija optimāls, magnija nodrošinājums – ļoti augsts.

Izmēģinājumu 2022. gadam ierīkoja vienā ražošanas laukā ar rapša izmēģinājumu (1.6. att.) – laukā, kur 2021. gadā tika audzēti ziemas kvieši. Tika sēta ziemas kviešu šķirne ‘Ceylon’; 500 dīgstošu sēklu uz m^2 2 cm dziļumā, ar 17 cm rindstarpām. Augsnes agroķīmiskās izpētes rezultāti apkopoti 1.5. tabulā.

Augsnes apstrādei tika izmantota tāda pati lauksaimniecības tehnika kā ziemas rapsim. Lauciņu lielums un shēma bija identiski ziemas rapša lauciņu lielumam un shēmai (1.5. att. un 1.8. tabula).

1.9. tabula

Augsnes agroķīmiskās izpētes rezultāti 2021. gadā

Granulometriskais sastāvs	pH	P, mg kg^{-1}	K, mg kg^{-1}	Mg, mg kg^{-1}
M ₂	6.6	57	143	179

Nezāļu ierobežošanai 2021. un 2022. gada kviešu ražai rudenī pēc sējas tika lietots pieskares un augsnes iedarbības herbicīds Legacy 500 SC 0.2 L ha^{-1} (Diflufenikans 500 g/L). Atkārtota nezāļu ierobežošana notika pavasarī: 2021. gadā ar herbicīdu MCPA 750 L ha^{-1} (MCPA 750 g/L) un 2022. gadā ar Herbistar 200 EC 0.6 L ha^{-1} (Fluroksipirs 200 g/L); lietošanas laiks dots 1.10. tabulā, un iestrādātā pamatmēslojuma sastāvs un devas – 1.7. tabulā.

Tehnoloģiskais plāns

Agrotehniskais pasākums	Apstrādes datums 2021. g.	Apstrādes datums 2022. g.
Dziļirdināšana	-	-
Kultivēšana	29.08.2020.	-
Digestāta+pelnu iestrāde	01.10.2020.	30.08.2021.
Kultivēšana	01.10.2020.	-
Sēja	02.10.2020.	20.09.2021.
Nezāļu ierobežošana	03.10.2020. 19.05.2021.	20.09.2021. 04.05.2022.
Papildmēslošana	12.04.2021. 10.05.2021. 21.06.2021.	10.04.2022. 06.05.2022. 30.05.2022.
Ziemas kviešu novākšana	15.08.2021.	21.08.2022.

Augu veģetācijas periodā tika izmantots papildmēslojums: 2021. gadā amonija nitrāts $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ N 33.5, 280 kg ha⁻¹, amonija nitrāts $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ N 30 S 7, 150 kg ha⁻¹, un amonija nitrāts $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ N 24 S 6, 100 kg ha⁻¹; 2022. gadā amonija sulfāts $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ N 26 : S 15, 150 kg ha⁻¹, amonija nitrāts $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ N 30 S 7, 250 kg ha⁻¹, un amonija nitrāts $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ N 27 S 4, 100 kg/ha⁻¹; lietošanas laiks dots 1.10. tabulā.

Ziemas rapša un ziemas kviešu raža tika novākta ar CLAAS graudu kombainiem "Lexion 870".

1.3. Jauktā mēslojuma sagatavošanas tehnoloģija

Mēslojums tika iegūts, sajaucot attiecīgās devās govju kūtsmēslu digestātu un koksnes pelnus, kas paredzēti izmēģinājumā iekļautajiem kultūraugiem kukurūzai, ziemas rapsim un ziemas kviešiem, pēc aprēķiniem, kurus veica projekta partneri no LBTU.

Digestāts ar 5–8% sausas saturu tika iegūts AS "Pampāļi" biogāzes ražotnē. Tas tika izmantots tādu kultūraugu kā ziemas rapša, ziemas kviešu, kukurūzas un atjaunojamo zālāju pamatmēslošanai. Daļu digestāta separēja un žāvēja.



1.14. att. Žāvēts digestāts.

Mēslojuma maisījumu sagatavošanai izmantoja žāvēto digestātu.

Koksnes pelnus piegādāja SIA “Fortum (Gren) Latvia”. Piegādi veica projekta īstenošanas ietvaros trīs gadu garumā. Pēc izmēģinājuma lauciņu ierīkošanas tika gatavots mēslojums. Abas sastāvdaļas ar frontālo iekrāvēju CAT TH 62 (1.15. att.) iekrāva kompānijas “JF Stoll” maisītājā-dalītājā, kas aprīkots ar svariņiem (1.16. att.).



1.15. att. Frontālais iekrāvējs
“CAT TH 62”.



1.16. att. “JF STOLL” maisītājs-
dalītājs “Feeder” ar aprīkoti
svariņiem.

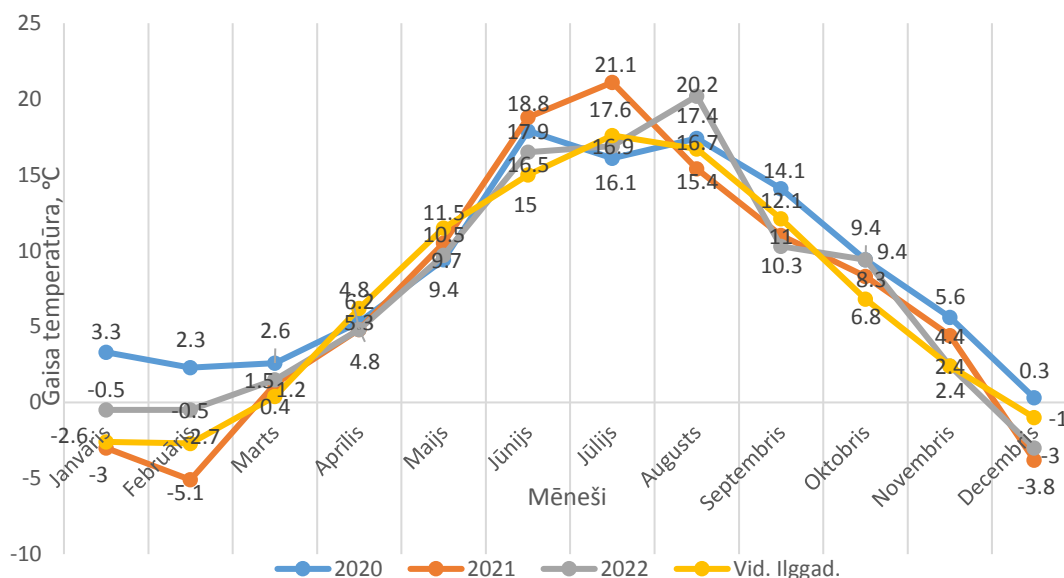
	
1.17. att. Mēslojuma sajaukšana.	1.18. att. Sajauktais mēslojums.
	
1.19. att. Mēslojuma iekraušana.	1.20. att. Mēslojuma kaisīšana.

Mēslojumu jauca katram variantam atsevišķi trijiem atkārtojumiem (1.17. un 1.18. att.). Tā kā digestāts un koksnes pelni ir ar augstu sausnas saturu, tad digestātam, lai to varētu labi sajaukt un tas neputētu, bija japievieno nedaudz ūdens. Iegūtajam maisījumam bija zemāks sausnas saturs. Pētījuma rezultāti ļāva secināt, ka vislabāko komponentu sajaukšanos un birstamību nodrošina digestāts ar 24–26% sausnas saturu. Katram pētījuma variantam sajauktais mēslojums tika izbērts atsevišķās kaudzēs tranšejā (1.18. att.). Kad mēslojums bija sagatavots, to ar frontālo iekrāvēju iekrāva kompānijas “Joskin” kaļķojamā materiāla izklieģētājā (1.19. att.). Mēslojuma kaisīšana uz lauka redzama 1.20. attēlā.

1.4. Meteoroloģiskie apstākļi izmēģinājuma laikā

Trīs gadu izmēģinājumu laikā meteoroloģiskie laika apstākļi bija atšķirīgi. Salīdzinot gaisa temperatūru ziemas periodā pa gadiem, redzams, ka vissiltākais ir bijis 2020. gads, kad vidējā janvāra un februāra temperatūra bija augstāka par 0 °C. Vēsākā ziema bija 2021. gadā, kad vidējā mēneša temperatūra februārī sasniedza -5.1 °C, kas ir par -2.4 °C zemāk nekā vidējā ilggadējā gaisa temperatūra. Aprīlī un maijā visos trijos izmēģinājuma gados gaisa temperatūra bija zemāka nekā ilggadējā vidējā vērtība. 2020. gada maija otrajā

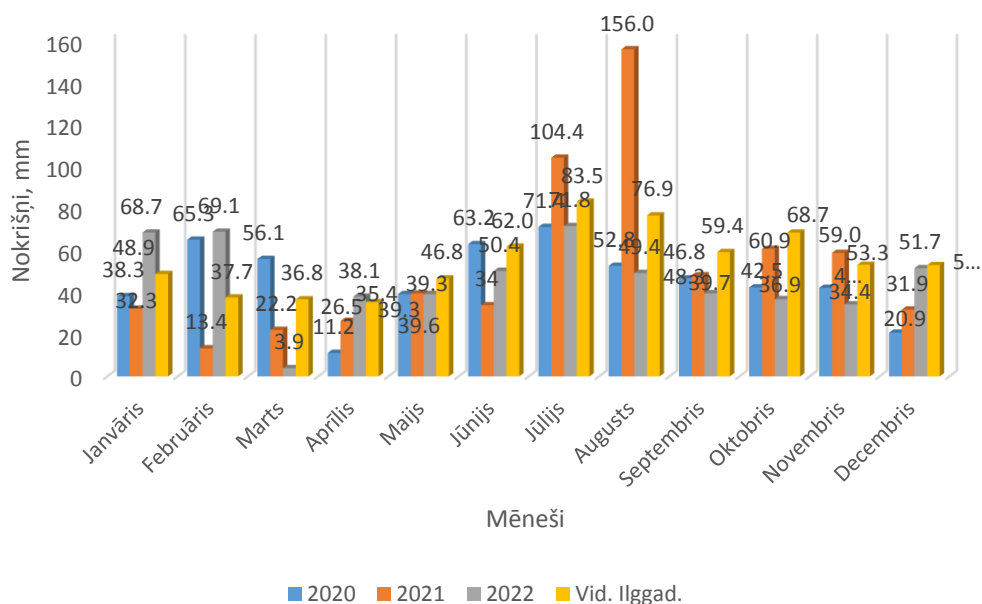
dekādē gaisa temperatūra bija 6.5 °C, kas ir 5.0 °C zem mēneša vidējās ilggadējās normas (1.21. att.).



1.21. att. Vidējā diennakts gaisa temperatūra, °C.

2022. gadā maija vidējā mēneša gaisa temperatūra bija tikai par 0.3 °C augstāka nekā 2020. gadā, savukārt 2021. gadā – 2.2 °C virs vidējās ilggadējās normas, dienā sasniedzot līdz 15.6 °C.

2020. gads augu attīstībai bija vislabvēlīgākais, kaut arī jūnija otrās un trešās dekādes beigās gaisa temperatūra dienas stundās sasniedza 26.0–29.0 °C. Augstā gaisa temperatūra neradīja ilgstošu stresu augiem, kā tas bija vērojams 2021. gadā, kad dienas stundās gaisa temperatūra sasniedza pat 31.7 °C, kas saglabājās arī jūlija pirmajā un otrajā dekādē. 2022. gadā tikai jūnija trešajā dekādē bija četras dienas, kad gaisa temperatūra pēcpusdienā paaugstinājās līdz 26.9–30.9 °C. Augusts siltāks bija 2022. gadā – 3.5 °C virs vidējās ilggadējās normas. 2020. un 2021. gadā gaisa temperatūra augustā bija tuvu vidējai ilggadējai mēneša normai (1.21. att.).



1.22. att. Nokrišņu daudzums, mm.

Nokrišņu daudzuma ziņā visbagātākais bija 2021. gads, kad jūlijā nokrišņu daudzums pārsniedza 20.9 mm un augustā – 79.1 mm no ilggadējās standarta normas. Tomēr nokrišņi bija ļoti nevienmērīgi sadalīti, piemēram, 13. jūlijā nolijušais nokrišņu daudzums sasniedza rekordu – 58.7 mm, kas ir 56.2% no mēneša normas. Vislietainākais bija augusts, kad mēneša pirmajā dekādē nolija 57.1 mm, otrajā dekādē – 50.6 mm, un trešajā dekādē – 48.3 mm, mēnesī sasniedzot 156.0 mm. 2020. gada jūlijā nokrišņu daudzums sasniedza tikai 68.6% no normas. Visnabadzīgākais nokrišņu ziņā bija 2022. gads, kad nokrišņu daudzums visos augu attīstības mēnešos bija zemāks par vidējo ilggadējo mēneša normu (1.22. att.).

1. 5. Izmēģinājumā pielietotās analīžu metodes

Lai noteiktu mēslojuma ietekmi uz kukurūzas, ziemas rapša un ziemas kviešu struktūrelementu, ražas un kvalitātes rādītāju iznākumiem, tika veiktas dažādas analīzes. Kukurūzai mērīja augus, skaitīja augus uz m², svēra vālītes un novērtēja gatavības pakāpi. Ziemas rapsim un ziemas kviešiem skaitīja augus uz m², rapsim – pākstis, kviešiem – vārpas un graudus vārpā.

LLU Biotehnoloģiju zinātniskās laboratorijas Agronomisko analīžu nodaļā tika veiktas analīzes kukurūzas kvalitātes noteikšanai un ziemas rapša un ziemas kviešu graudu kvalitātes noteikšanai, kā arī tika veiktas jauktā mēslojuma analīzes kukurūzas un ziemas rapša sējai 2020. gadā: attiecīgi 22. maijā un 8. oktobrī.

Augsnes analīzes izmēģinājuma laukiem veica SIA “AgTech”, kompānija “Agricon” un Valsts augu aizsardzības dienesta Agroķīmijas departamenta Agroķīmijas laboratorija. Datu būtiskuma novērtēšanai izmantoja vienfaktoru dispersijas analīzi (ANOVA).

2. PĒTĪJUMU REZULTĀTI

2.1. Kukurūza

Trīs gadu pētījumu laikā tika analizēti kukurūzas struktūrelementi, ražība un kukurūzas kvalitāte. 2020. un 2021. gads deva labus rezultātus, bet 2022. gada izmēģinājums diemžēl neizdevās, jo to ietekmēja, pirmkārt, vēlāis sējas laiks un, otrkārt, lietusgāze tūlīt pēc sējas, kas izraisīja stipru augsnes sablīvēšanos. Kukurūza sāka dīgt tikai jūnija pēdējās dienās, tādēļ rādītāju salīdzināšanai 2022. gads nav iekļauts.

2.1.1. Kukurūzas struktūrelementi atkarībā no iestrādātā pamatmēslojuma

Kukurūzas augu garums un masa 2020. gadā visos variantos bija lielāka nekā 2021. gadā, savukārt vienas vālītes masa lielāka bija 2021. gadā salīdzinājumā ar 2020. gadu. Ļoti maza atšķirība bija variantā, kurā lietoja 15 t ha⁻¹ govju kūtsmēsļu digestāta: vālītes masa 2020. gadā bija par 5 gramiem lielāka salīdzinājumā ar 2021. gadu (2.1. tabula). Arī matemātiskie aprēķini liecina, ka starp mēslojuma variantiem starpības, kaut arī acīm redzamas, nav būtiskas. Salīdzinot 2020. un 2021. gada vidējo augu garumu, vidējo augu masu un vālīšu masu, lietojot 15 t ha⁻¹ un 30 t ha⁻¹ jauktā mēslojuma, redzams, ka $F_{\text{fac}}(0.125) < F_{\text{crit}}(6.591)$ un $p(0.939) > 0.05$, lietojot 15 t ha⁻¹ mēslojuma, un $F_{\text{fac}}(1.056) < F_{\text{crit}}(6.591)$ un $p(0.459) > 0.05$, lietojot 30 t ha⁻¹ mēslojuma, kas norāda uz nebūtisku starpību starp izmēģinājumā lietotajām mēslojuma normām.

2.1. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz kukurūzas ražas komponentu vērtībām, vidēji divos gados

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Augu garums, cm	Vālītes garums, cm	Auga masa, kg	Vālītes masa, g
15	1 : 0	249	13,22	0,63	179
	1 : 1	233	12,12	0,61	171
	2 : 1	243	10,62	0,61	191
	3 : 1	238	13,29	0,62	191
	Vidēji	240,8	12,31	0,62	183,0
30	1 : 0	258	16,50	0,66	195
	1 : 1	240	14,31	0,68	187
	2 : 1	260	14,57	0,74	204
	3 : 1	264,0	13,98	0,68	201
	Vidēji	255,5	14,84	0,69	196,8
RS _{0.05} A (norma)		13,77	2,27	0,07	4,57
RS _{0.05} B (attiecība)		19,48	3,20	0,10	6,46

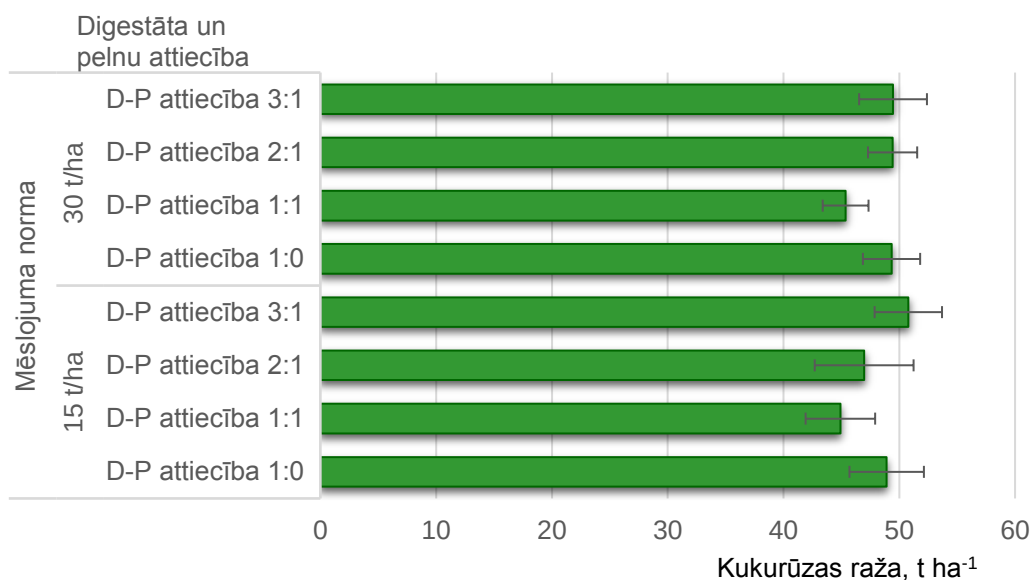
2.1.2. Lietotā mēslošanas līdzekļa ietekme uz kukurūzas ražu

Salīdzinot vidējos zaļmasas ražas rādītājus, kas iegūti divu gadu izmēģinājumā, var secināt, ka labākos rezultātus ir devis jauktais mēslojums, kurā tika lietotas 30 t ha⁻¹ mēslojuma variantā “govju kūtsmēsli digestāts+pelni” attiecībā 3:1 (2.2. tabula).

2.2. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz kukurūzas zaļmasas ražu, t ha⁻¹

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Izmēģinājuma gads		Vidēji divos gados
		2020. g.	2021. g.	
15	1 : 0	55,96	41,86	48,91
	1 : 1	51,54	38,29	44,91
	2 : 1	56,35	37,59	46,97
	3 : 1	56,80	44,76	50,78
	Vidēji	55,16	40,62	47,89
30	1 : 0	54,67	43,99	49,33
	1 : 1	49,22	41,52	45,37
	2 : 1	53,95	44,89	49,42
	3 : 1	55,49	43,43	49,46
	Vidēji	53,33	43,46	48,40
RS _{0.05} A (norma)		1,52	2,34	1,29
RS _{0.05} B (attiecība)		2,16	3,31	1,82
RS _{0.05} AB		3,05	4,68	2,57



2.1. att. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz kukurūzas ražu, t ha⁻¹, vidēji divos gados.

Jaunā mēslošanas līdzekļa izmantošana kukurūzas sējumos nenodrošināja pietiekami augstu zaļmasas ražas ieguvu. Govju digestāta un pelnu maisījums attiecībā 3:1, lietojot 15 un 30 t ha⁻¹ mēslojuma normas, deva lielākas vidējās zaļmasas ražas – attiecīgi 50.78 un 49.46 t ha⁻¹ (2.2. tabula un 2.1. att.).

2.1.3. Mēslojuma ietekme uz kukurūzas kvalitāti

Salīdzinot kukurūzas kvalitātes rādītājus starp lietotajām normām (2.3. tabula), redzams, ka 15 t ha⁻¹ mēslojuma lietošana deva augstāku kopproteīna saturu sausnā variantā, kurā bija iekļauts tikai govju digestāts. Savukārt 30 t ha⁻¹ mēslojuma lietošana deva augstākos proteīna rādītājus, lietojot jauktos maisījumus attiecībā 1:0 un 3:1. Līdzīgus rezultātus konstatēja arī pārējiem kvalitātes rādītājiem.

2.3. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz kukurūzas zaļmasas ražas kvalitāti

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Sausnas saturs, %	Saturs sausnā, %				
			Kopproteīns	Koksšķiedra	Koppeļnī	Kalcij	Fosfors
15	1 : 0	29,99	8,25	17,22	3,89	0,27	0,22
	1 : 1	28,98	7,43	17,36	4,02	0,27	0,22
	2 : 1	28,80	7,89	16,62	4,26	0,27	0,21
	3 : 1	30,24	7,26	14,89	4,22	0,27	0,22
	Vidēji	29,50	7,71	16,52	4,10	0,27	0,22
30	1 : 0	28,55	8,84	18,48	3,71	0,24	0,20
	1 : 1	27,90	7,80	16,25	4,27	0,24	0,28
	2 : 1	30,88	7,45	15,65	3,36	0,20	0,22
	3 : 1	28,09	8,33	17,17	4,32	0,27	0,20
	Vidēji	28,86	8,11	16,89	3,92	0,24	0,23
RS _{0,05} A (norma)		2,98	1,00	2,67	0,81	0,05	0,06
RS _{0,05} B (attiecība)		4,21	1,42	3,77	1,15	0,06	0,08

2.2. Ziemas rapsis

2.2.1. Ziemas rapša ražas komponentu vērtības atkarībā noiestrādātā mēslojuma

Ziemas rapša ražas komponenti divu gadu izmēģinājuma laikā tika analizēti tikai 2022. gadā (2.4. tabula). 1000 sēklu masas analīze rāda, ka labākie rezultāti bija 2. variantā, lietojot 20 t ha⁻¹ govju digestāta un pelnu maisījumu attiecībā 1:1. Šajā variantā lielāka bija arī vienas pāksts masa.

2.4. tabula

**Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas rapša ražas
komponentu vērtībam (2022. gada vidējie rādītāji)**

Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā	Mēslojuma norma, t ha ⁻¹	Augu skaits, m ²	Pākšu skaits vienam augam, gb.	Pāksts vidējā masa, g	1000 sēklu masa, g
1. variants 1:0	5	11	420	0.43	3.89
	10	19	400	0.46	5.30
	20	12	536	0.41	5.51
2. variants 1:1	5	9	275	0.32	3.47
	10	15	380	0.32	4.17
	20	11	348	0.49	5.65
3. variants 2:1	5	26	706	3.21	3.21
	10	12	368	4.21	4.21
	20	21	504	3.07	3.07
4. variants 3:1	5	18	607	3.43	3.43
	10	23	777	3.60	3.60
	20	16	377	3.23	3.23

2.2.2. Lietotā mēslošanas līdzekļa ietekme uz ziemas rapša ražu

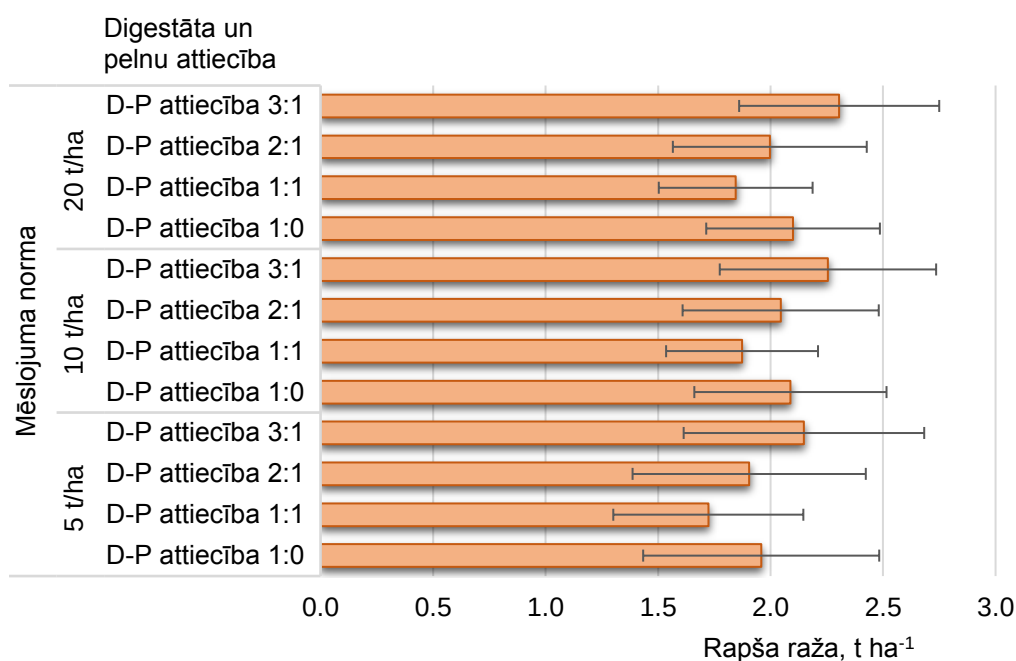
Apskatot ziemas rapša divu gadu vidējos rādītājus (2.5. tabula), redzams, ka vislabākās ražas sasniegtas, lietojot 20 t ha⁻¹ mēslojuma normu variantā “govju digestāts+pelni” attiecībā 3:1. Abos izmēģinājuma gados šis mēslojuma sastāvs deva lielāku ražu salīdzinājumā ar pārējiem variantiem neatkarīgi no iestrādātā daudzuma. 2021. gadā laika apstākļi labvēlīgi ietekmēja rapša ražas veidošanos – starp variantiem tā svārstījās no 3.32 līdz 2.58 t ha⁻¹. 2022. gadā sakarā ar vēlu sēju un nepastāvīgajiem laika apstākļiem pārziemošanas periodā rapša raža atkarībā no pielietotās mēslojuma normas bija 0.77–1.37 t ha⁻¹ (2.5. tabula).

2.5. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas rapša ražu, t ha⁻¹

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Izmēģinājuma gads		Vidēji divos izmēģinājuma gados
		2021. g.	2022. g.	
5	1 : 0	3,12	0,80	1,96
	1 : 1	2,62	0,83	1,72
	2 : 1	3,04	0,77	1,91
	3 : 1	3,32	0,97	2,15

	Vidēji	3,02	0,84	1,93
10	1 : 0	3,03	1,15	2,09
	1 : 1	2,60	1,15	1,87
	2 : 1	2,98	1,11	2,05
	3 : 1	3,28	1,23	2,26
	Vidēji	2,97	1,16	2,07
20	1 : 0	2,94	1,26	2,10
	1 : 1	2,58	1,11	1,85
	2 : 1	2,93	1,06	2,00
	3 : 1	3,24	1,37	2,31
	Vidēji	2,92	1,20	2,06
RS _{0.05} A (norma)		0,30	0,20	0,20
RS _{0.05} B (attiecība)		0,35	0,23	0,23
RS _{0.05} AB		0,60	0,40	0,40



2.2. att. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas rapša ražu, t ha⁻¹, vidēji divos gados.

2.2.3. Lietotā mēslošanas līdzekļa ietekme uz ziemas rapša ražas kvalitāti

Ziemas rapša graudu kvalitātes analīzes tika veiktas tikai 2022. gada ražai (2.6. tabula). Redzams, ka divu rādītāju – eļļas satura 8% mitros graudos un tīlpummasas – augstākās vērtības sasniegtas variantā ar 10 t ha⁻¹ govju kūtsmēsļu digestāta un pelnu maisījuma pielietojumu attiecībā 1:1.

Digestāta un pelnu attiecībai mēslojumā netika konstatēta būtiska ietekme uz rapša kvalitātes rādītājiem 2022. gadā (2.6. tabula). Savukārt lietotai mēslojuma normai būtisku ($p < 0.05$) ietekmi konstatēja uz šādiem rapša kvalitātes rādītājiem – sausas saturu, kopproteīna saturu saussnā un slāpekļa, fosfora un kālija saturu saussnā.

2.6. tabula

**Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas rapša ražas kvalitāti
2022. gadā**

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Sausnas saturs, %	Saturs sausnā, %					
			Kopproteīns	Slāpekļis	Koksšķiedra	Tauki	Fosfors	Kālijs
5	1 : 0	85.65	20.75	3.32	17.08	39.73	0.62	0.77
	1 : 1	85.63	20.42	3.27	16.64	39.23	0.60	0.80
	2 : 1	83.22	20.19	3.23	15.42	40.98	0.64	0.84
	3 : 1	84.20	21.39	3.42	14.64	37.12	0.66	0.83
	4 : 1	86.72	20.64	3.30	12.32	35.43	0.60	0.82
	Vidēji	85.08	20.68	3.31	15.22	38.50	0.62	0.81
10	1 : 0	86.14	20.37	3.26	13.46	37.06	0.58	0.76
	1 : 1	89.71	19.98	3.20	19.36	36.90	0.61	0.71
	2 : 1	88.30	20.19	3.23	17.65	37.83	0.57	0.73
	3 : 1	84.03	21.76	3.48	15.21	39.15	0.59	0.76
	4 : 1	85.51	21.20	3.39	14.82	39.49	0.64	0.74
	Vidēji	86.74	20.70	3.31	16.10	38.09	0.60	0.74
20	1 : 0	75.13	22.76	3.64	14.61	28.18	0.71	1.08
	1 : 1	77.33	23.35	3.74	13.46	33.50	0.74	0.86
	2 : 1	81.69	21.28	3.41	15.12	39.34	0.74	0.91
	3 : 1	78.76	22.48	3.60	14.77	35.77	0.74	0.92
	4 : 1	85.17	21.00	3.36	13.97	39.51	0.70	0.76
	Vidēji	79.62	22.17	3.55	14.39	35.26	0.73	0.91
RS _{0.05} A (norma)		4.07	1.06	0.17	2.53	4.63	0.04	0.10
RS _{0.05} B (attiecība)		5.26	1.37	0.22	3.27	5.97	0.05	0.13

**Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas rapša ražas kvalitāti
(2022. gadā 2.6. tabulas turpinājums)**

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Mitrums, %	Eļļa, %			Tilpummasa, kg hL ⁻¹	1000 sēklu masa, g
			Sausnā	Prod.	Pie 8% mitruma.		
5	1 : 0	13,45	43,38	37,55	39,91	64,90	3,89
	1 : 1	13,93	43,58	37,51	40,09	62,87	3,47
	2 : 1	13,98	43,51	37,43	40,03	61,55	3,21
	3 : 1	14,73	41,97	35,79	38,61	62,54	3,43
	Vidēji	14,02	43,11	37,07	39,66	62,97	3,50
10	1 : 0	12,92	43,88	38,21	40,37	63,35	5,30
	1 : 1	9,42	45,72	41,41	42,06	67,25	4,17
	2 : 1	11,74	43,97	38,81	40,45	66,04	4,21
	3 : 1	14,88	42,89	36,50	39,46	62,61	3,60
	Vidēji	12,24	44,12	38,73	40,59	64,81	4,32
20	1 : 0	25,51	41,87	31,18	38,52	57,39	5,51
	1 : 1	21,98	42,41	33,09	39,02	61,17	5,65

	2 : 1	18,72	43,20	35,11	39,74	60,77	3,07
	3 : 1	21,69	42,77	33,49	39,34	61,19	3,23
	Vidēji	21,98	42,56	33,22	39,16	60,13	4,37
RS _{0.05} A (norma)		3,49	1,35	2,52	1,24	3,47	1,22
RS _{0.05} B (attiecība)		4,03	1,56	2,91	1,43	4,00	1,41

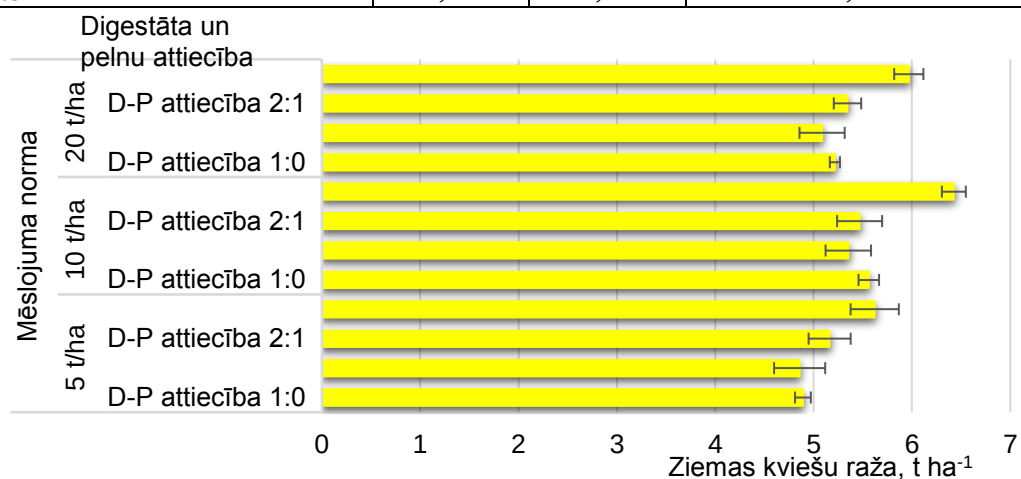
2. 3. Ziemas kvieši

2.3.1. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas kviešu ražu

Jaunā mēslošanas līdzekļa izmantošana ziemas kviešu sējumos nodrošināja vidēji 5.13–5.70 t ha⁻¹ graudu ražu. Visas pētāmās mēslojuma normas deva būtiski augstākas ziemas kviešu ražas variantos, kur tika lietots govju kūtsmēslu digestāta un pelnu maisījums attiecībā 3:1 abos pētījuma gados (2.7. tabula).

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas kviešu ražu, t ha⁻¹

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Izmēģinājuma gads		Vidēji divos izmēģinājuma gados
		2021. g.	2022. g.	
5	1 : 0	4,87	4,91	4,89
	1 : 1	4,30	5,42	4,86
	2 : 1	4,77	5,55	5,16
	3 : 1	5,13	6,11	5,62
	Vidēji	4,77	5,50	5,13
10	1 : 0	5,74	5,38	5,56
	1 : 1	4,86	5,84	5,35
	2 : 1	5,13	5,81	5,47
	3 : 1	6,34	6,52	6,43
	Vidēji	5,52	5,89	5,70
20	1 : 0	5,31	5,13	5,22
	1 : 1	4,58	5,60	5,09
	2 : 1	5,11	5,58	5,35
	3 : 1	5,73	6,20	5,97
	Vidēji	5,18	5,63	5,40
RS _{0.05} A (norma)		0,28	0,15	0,17
RS _{0.05} B (attiecība)		0,32	0,17	0,20
RS _{0.05} AB		0,56	0,30	0,35



2.3. att. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas kviešu ražu, t ha⁻¹.

2.3.2. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas kviešu graudu kvalitāti

Iegūtie rezultāti liecina, ka digestāta un pelnu attiecībai mēslojumā nebija būtiskas ietekmes uz ziemas kviešu kvalitātes rādītājiem 2022. gadā (2.8. tab.), izņemot tauku saturu graudu sausnā. Šo rādītāju būtiski ($p < 0.05$) ietekmēja lietotā mēslojuma norma. Augstāku tauku saturu sausnā ieguva, lietojot mazāko (5 t ha⁻¹) mēslojuma normu.

2.8. tabula

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas kviešu graudu kvalitāti 2022. gadā

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Sausnas saturs, %	Saturs sausnā, %					
			Kopproteīns	Slāpekļis	Koksšķiedra	Tauki	Koppelni	Ciete
5	1 : 0	86.02	13.86	2.43	2.87	2.28	1.89	62.69
	1 : 1	86.39	13.21	2.32	3.01	2.18	1.80	64.34
	2 : 1	86.61	13.63	2.39	2.71	2.19	1.68	64.56
	3 : 1	86.60	13.62	2.39	2.84	2.03	1.75	64.15
	4 : 1	86.36	13.24	2.32	4.08	1.96	1.88	63.82
	Vidēji	86.40	13.51	2.37	3.10	2.13	1.80	63.91
10	1 : 0	86.41	13.92	2.44	3.01	1.90	1.88	63.49
	1 : 1	86.73	13.46	2.36	3.12	1.92	1.83	63.49
	2 : 1	87.02	12.76	2.24	4.23	1.91	1.93	63.46
	3 : 1	87.15	13.47	2.36	2.90	1.77	1.85	64.87
	4 : 1	85.10	14.48	2.54	3.34	1.97	2.04	62.26
	Vidēji	86.48	13.62	2.39	3.32	1.89	1.91	63.51
20	1 : 0	87.07	13.38	2.35	3.23	1.61	1.80	65.10
	1 : 1	87.10	13.18	2.31	3.00	1.88	1.86	63.53
	2 : 1	85.91	13.80	2.42	3.45	1.81	1.86	63.54
	3 : 1	84.72	13.98	2.45	4.24	1.91	2.10	61.32
	4 : 1	86.93	13.86	2.43	3.17	1.78	1.80	63.14
	Vidēji	86.35	13.64	2.39	3.42	1.80	1.88	63.33
RS _{0.05} A (norma)		1.30	0.67	0.12	0.85	0.18	0.17	1.76
RS _{0.05} B (attiecība)		1.68	0.87	0.15	1.09	0.24	0.21	2.27

* Visās tabulās būtiskās starpības RS_{0.05} ir **trekninātas**.

Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas kviešu graudu kvalitāti
(2022. gadā 2.8. tabulas turpinājums)

Mēslojuma norma, t ha ⁻¹ (F _A)	Digestāta un pelnu attiecība mēslojumā (F _B)	Mitrums, %	Lipekļa saturs, %	Cietes saturs, %	Zeleny indekss, mL	Tilpummasa kg hL ⁻¹	1000 sēklu masa, g
5	1 : 0	15,93	31,09	61,62	52,44	67,73	34,61
	1 : 1	15,04	31,19	62,53	52,46	69,84	36,66
	2 : 1	14,75	31,56	63,83	53,70	72,92	37,47
	3 : 1	14,94	32,02	62,02	54,54	70,80	37,91
	Vidēji	15,17	31,47	62,50	53,29	70,32	36,66
10	1 : 0	15,82	31,71	60,60	56,42	66,85	38,07
	1 : 1	15,15	32,00	62,61	55,17	73,68	38,08
	2 : 1	14,44	29,74	64,18	51,27	73,05	35,83
	3 : 1	14,41	31,68	62,81	52,45	72,29	38,11
	Vidēji	14,96	31,28	62,55	53,83	71,47	37,52
20	1 : 0	14,33	30,82	64,20	52,43	73,37	39,39
	1 : 1	14,11	30,46	63,95	52,41	73,40	33,90
	2 : 1	15,62	31,20	63,36	54,39	71,27	37,46
	3 : 1	17,15	32,72	61,87	59,90	68,47	36,81
	Vidēji	15,30	31,30	63,35	54,78	71,63	36,89
RS _{0,05} A (norma)		1,87	1,40	1,90	4,78	4,44	3,34
RS _{0,05} B (attiecība)		2,15	1,62	2,19	5,52	5,13	3,86

SECINĀJUMI

Projekta īstenošanas laikā AS “Pampāļi” tika izstrādāta un pilnveidota jauna mēslošanas līdzekļa ražošanas shēma, izmantojot žāvētu liellopu kūtsmēslu digestātu.

Pētījuma laikā tika konstatēts, ka žāvētā liellopu kūtsmēslu digestāta un pelnu sajaukšana un izkaisīšana ir sarežģītāka nekā nežāvēta digestāta pielietošana, jo maisījuma jaukšanas laikā tam jāpievieno ūdens, kas ļauj mēslojumu labāk sajaukt un izkaisīt.

Trīs gadu izmēģinājuma ietvaros tika pētīta digestāta un pelnu jaukšanas un izkaisīšanas tehnoloģija, kā arī mēslojuma sastāva un devas ietekme uz ražu un tas kvalitāti. Jaunā mēslošanas līdzekļa efektivitāte bija augstāka, ja to iestrādāja augsnē pirms kultūraugu sējas, salīdzinot ar tā virspusēju izkaisīšanu uz augsnes pirms kultūraugu sējas.

Jaunā mēslošanas līdzekļa izmantošana kukurūzas, ziemas rapša un ziemas kviešu sējumos nodrošina salīdzinoši augstas un kvalitatīvas ražas ieguvu bez minerālmēslu izmantošanas.

Sadarbība ar projekta partneriem bija veiksmīga un nodrošināja izvirzīto uzdevumu izpildi.

Projekta partneri – izejvielu piegādātāji pētījumiem

SIA “Gren Latvija” (“Fortum”)

SIA “Fortum” Latvijā bija pārstāvēta no 2007. gada līdz 2021. gadam, kad tā aktīvus Latvijā pārdeva Šveices investīciju uzņēmumam “Partners Group”. Tagad “Fortum” bijušie uzņēmumi Latvijā darbojas ar “Gren” zīmolu. SIA “Gren Latvija” atrodas Jelgavā, Rūpniecības ielā 73A.



Biomases koģenerācijas stacija Jelgavā ir pirmā un vienīgā lielas jaudas moderna biomasas koģenerācijas stacija Latvijā, kas ekspluatācijā ir kopš 2013. gada. Siltuma jauda – 45 MW; elektriskā jauda – 23 MWel; katla tehnoloģija – verdošā slāņa katls; kurināmais – biomasas (šķelda, koksnes un graudaugu atlikumi), kūdra; darbības uzsākšanai – dabasgāze. CO₂ izmešu daudzums no enerģijas ražošanas ir samazinājies par 90% salīdzinājumā ar 2010. gadu.

Pelnu specifika

Biomases kurināmā (šķelda, lauksaimniecības augu atlikumi) sadedzināšanas procesā rodas divu veidu atlikumprodukti:

- **pelni (vieglie jeb lidojošie pelni)** – tiek savākti aiz kurtuves un dūmgāzu attīrīšanas sistēmas auduma filtros, no kuriem tie tālāk tiek pneimatiski transportēti uz pelnu bunkuriem. Lidojošo pelnu bunkurs ir aprīkots ar slapjās izkraušanas (pelnus mitrinošas skrūves) sistēmu un sausās izkraušanas sistēmu. Mitrinātu pelnu ūdens saturs ~20%;
- **izdedži jeb smagie pelni (rupjgraudainais materiāls kopā ar smiltis piejaukumu)** – veidojas kurtuvē un tiek aizvākti no kurtuves pa pelnu konveijeru. Materiālā var būt neliels sīku metāla daļiņu piemaisījums. Izdedži tiek īstermiņā uzglabāti metāla konteineros, kas piemēroti transportēšanai.

“Gren” dati par pelniem

2022. gadā Jelgavā saražots 5860 tonnu pelnu (vieglie pelni – 4650 t; izdedži – 1210 t), Rīgā saražots 1250 t pelnu, Daugavpilī – 220 t pelnu.

- Šķeldas kvalitātes – mitruma, pelnu, siltumspējas – pārbaudes tiek veiktas katrai kravai.
- Pelniem katra 1000 tonnu partija tiek pārbaudīta akreditētā laboratorijā, nosakot mikroelementu Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Cl, As, Sb, Mo, Se, Ba un Hg izskalošanos.
- Pēc nepieciešamības tiek veiktas analīzes – neitralizēšanas spējai, mitrumam un Ca, Mg, Hg, Cd, As, Ni, Pb koncentrācijai sausnā.
- Objekta – Jelgavas biomasas koģenerācijas stacija – piesārņojošās darbības atļaujā pelniem ir noņemts atkritumu statuss, ievērojot noteiktu kvalitātes kontroles procedūru:
 - pelniem ir veikta Eiropas ķīmisko vielu reģistrācija saskaņā ar REACH regulu,
 - pelniem ir izstrādāta ķīmisko vielu drošība datu lapa.
- Objekta – Rīgas biomasas koģenerācijas stacija – pelniem ir saņemta VAAD izdota mēslošanas līdzekļa atļauja – kaļķošanas materiāls.

Kā sadarbības projekta partneris SIA “Gren Jelgava” pētījumu veikšanai un lauku eksperimentiem nodrošināja ar koksnes pelniem LBTU, AS “Ziedi JP, AS “Pampāļi” un LVMI “Silava”.

Uzskatām, ka sadarbība ar projekta partneriem bija veiksmīga un veicināja jauna augsnes auglības uzlabošanas līdzekļa izstrādi un tā efektivitātes izpēti kultūraugu sējumos un koku audzēs.

ZS “Līgo”

ZS “Līgo” ir dibināta 1992. gadā un atrodas Jelgavas novada Lielplatones pagastā, izdevīgā ģeogrāfiskā stāvoklī – 27 km no Jelgavas un 6 km no Elejas.

Saimniecība specializējas graudaugu, pākšaugu un eļļas augu sēklu audzēšanā. Uzņēmumā tiek audzēti ziemas un vasaras kvieši pārtikai un sēklai, ziemas rapši, zirņi, kukurūza biogāzes ražošanai, F1 hibrīdā gurķu sēkla. Apsaimniekojamā zemes platība 2022. gadā bija 1256.22 ha. Saimniecības zemes platības ir izvietotas Lielplatones, Vilces un Elejas pagastos.

Saimniecībā 2010. gadā tika atklāta trešā biogāzes ražotne Latvijā ar jaudu 0.5 MW. Biogāzes stacija galvenokārt darbojas ar kukurūzas skābbarību, kurai ir atvēlēti 250 ha no aramzemes. Pavisam tiek izmantotas 8300 t kukurūzas skābbarības un aptuveni 500 t gurķu audzēšanas atlikumu, kas sastāv no lapām, kātiem un gurķu apvalkiem pēc sēklu izņemšanas.



1. att. Stikla siltumnīca un biogāzes ražotne ZS “Līgo”.

Saimniecībā 2011. gadā tika uzcelta apkurināma stikla siltumnīca 1 ha platībā un uzsākta gurķu sēklu audzēšana. 2016. gadā tika uzcelta otra siltumnīca 1 ha platībā.

1. tabula

Saražotā digestāta daudzums ZS “Līgo”

	2018. g.	2019. g.	2020. g.	2021. g.	2022. g.
Digestāts, m ³	8550	8600	8450	8100	7267

Izstrādātā digestāta ķīmiskās analīzes, saturs %: sausna – 7.44; kopslāpeklis (dabīgā paraugā) – 0.52; fosfors (P) sausnā – 0.90; kālijs (K) sausnā – 5.43; pH 7.86.

Kā sadarbības projekta partneris ZS “Līgo” pētījumu veikšanai un lauku eksperimentiem nodrošināja LBTU struktūrvienības ar augu atlieku digestātu. Sadarbība bija veiksmīga.

SIA “Latvi Dan Agro”

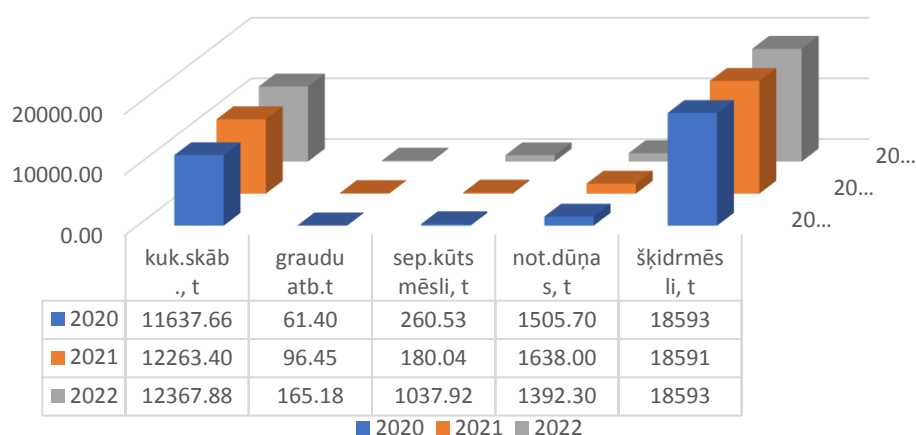
SIA “Latvi Dan Agro” ir Zemgales cūkkopības uzņēmums, dibināts 2001. gadā, viens no lielākajiem Latvijas cūkaudzētājiem.



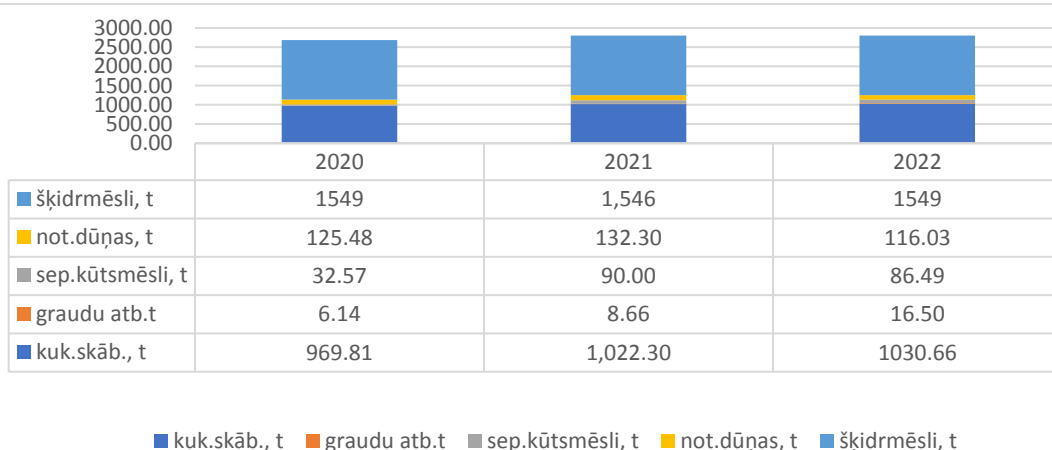
1. att. SIA “Latvi Dan Agro” ir Zemgales cūkkopības komplekss un biogāzes stacija “Ošlejas”.

Uzņēmums vēl nodarbojas ar graudkopību un elektroenerģijas ražošanu, kā arī ir lielākais zirņu audzētājs.

SIA "Latvi Dan Agro" biogāzes ražotnē vidēji 60% no biogāzes stacijā izmantotajām izejvielām ir organiskās izcelsmes atkritumi (šķidrie cūku kūtsmēsli ar vidējo sausnas saturu 4%, cietie (izseparētie) cūku kūtsmēsli ar vidējo sausnas saturu 29%, notekūdens dūņas ar vidējo sausnas saturu 14%, graudu atbīras (atsijas) ar vidējo sausnas saturu 50%, kukurūzas skābbarība ar vidējo sausnas saturu 39%), no kā iegūst biogāzi un apstrādātā substrāta šķidro un cieto frakciju (2. att.). Kopējā koģenerācijas iekārtas jauda ir 2.04 MW, siltuma jauda – 1.056 MW, elektriskā jauda – 0.99 MW.

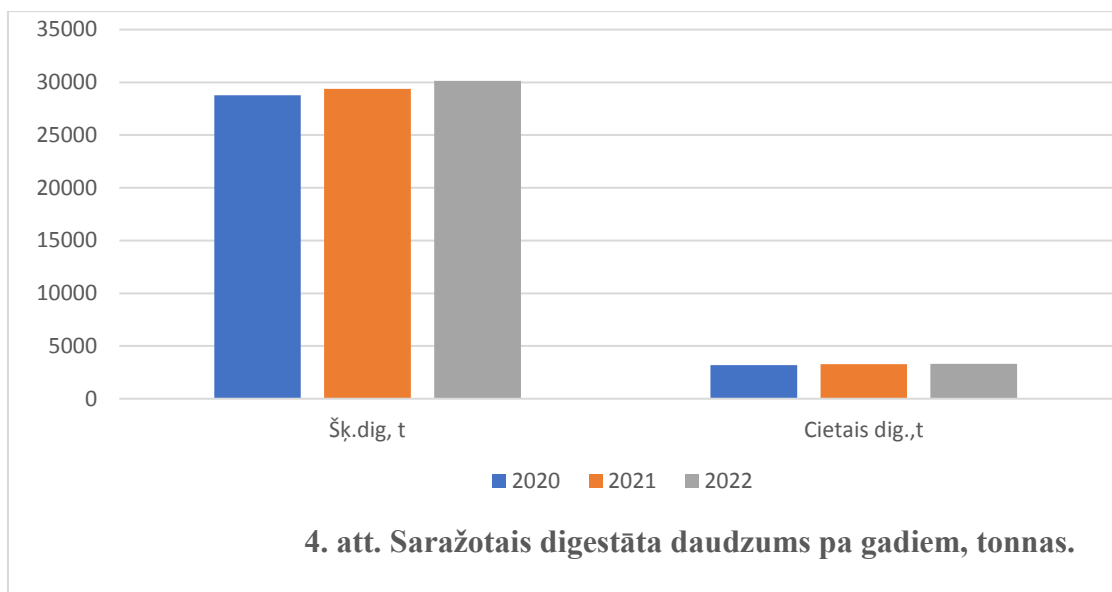


2. att. Izmantotās izejvielas biogāzes stacijā "Ošlejas" kopā pa gadiem, tonnas.



3. att. Izmantotās izejvielas biogāzes stacijā "Ošlejas" vidēji mēnesī un pa gadiem, tonnas.

Uzņēmumā saražotais digestāta daudzums parādīts 4. attēlā.



Kā sadarbības projekta partneris SIA “Latvi Dan Agro” pētījumu veikšanai ar dažādiem laukaugiem nodrošināja LBTU struktūrvienībās ar cūku kūtsmēslu digestātu un kokaugiem LVMI “Silava”.

Uzskatām, ka sadarbība ar projekta partneriem bija veiksmīga, iegūtās atziņas ir vērtīgas un realizējamas ražošanas praksē.

SIA “Dobeles EKO”

SIA “Dobeles Eko” pamatdarbības veids ir elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošana koģenerācijas stacijā. Koģenerācijas stacija “Kurbadi”, Dobeles novada Bērzes pagastā, darbību uzsāka 2017. gada jūnijā.



Kā pamatkurināmais tiek izmantoti vietējie atjaunojamie energoresursi – šķelda –, taču uzstādītais verdošā slāņa tvaika katls ļauj papildus izmantot arī citu kurināmo materiālu piemaisījumus – kūdru un graudu atbīras.

Iepirktajai šķeldai ir jāatbilst šādiem kvalitātes parametriem: daļiņu izmērs: min 70%<80 mm (garums+platums+augstums), pārējais <120 mm, ne vairāk kā 3%<300 mm.

1. tabula

Šķeldas ir kvalitātes parametri

Radītāji	Mērvienības	Rādītājs	Pieļaujamās robežas
Mitrums	wt-%	50	30–57
Zemākais sadegšanas siltums (piegādes brīdī)	MJ/kg	8.1	11–6.5
Pelni sausā masā	wt-%	1.1	0.5–4
Na+K sausā masā	wt-%	0.2	0.05–0.4
Blīvums	kg/m ³	300	250–400

Sadedzināšanas iekārtu darbības rezultātā veidojas kurtuvju pelni (klase 100101). Pelnu daudzums ir atkarīgs no siltumenerģijas un elektroenerģijas ražošanas apjomiem, kā arī izmantotā kurināmā veida un daudzuma. Kurināmā raksturojums saskaņā ar koģenerācijas stacijas stacionāru piesārņojuma avotu emisijas limitu projektu:

<u>Šķelda</u>	
siltumspēja (Q^d_z)	- 8,10 MJ/kg (1935 kcal/kg),
mitruma saturs (W^d)	- 50,0 %,
slāpekļa saturs (N^d)	- 0,4 %,
pelnu saturs (A^d)	- 0,6 %.
<u>Graudu atsijas</u>	
siltumspēja (Q^d_z)	- 14.65 MJ/kg (3500 kcal/kg),
pelnu saturs (A^d)	- 8,73 %,
mitrums (W^d)	- 10,0 %.
<u>Kūdra</u>	
siltumspēja (Q^d_z)	- 10,05 MJ/kg (2400 kcal/kg),
sēra saturs (S^d)	- 0,1 %,
pelnu saturs (A^d)	- 4,5 %,
mitrums (W^d)	- 40,0 %.

Pelni tiek savākti speciālā slēgtā konteinerā un nodoti izmantošanai lauksaimniecībā.

2. tabula

Pēdējo četru gadu laikā stacijā izveidojies pelnu daudzums

Gads	Radušos pelnu daudzums, tonnas
2019.	334.31
2020.	344.36
2021.	436.65
2022.	515.65

Sabiedrība ir veikusi arī pelnu kvalitātes testus Latvijas sertifikācijas centra laboratorijā un rezultātus nodevusi projekta vadošajam partnerim.

3. tabula

**Pelnu kvalitāte, ja galvenokārt tiek kurināta zaru šķelda
(paraugs ņemts 27.05.2022.)**

Testētais rādītājs	Zaru šķelda (paraugs ņemts 27.05.2022.)	Zaru un celmu šķelda (paraugs ņemts 30.05.2022.)
Kopējais magnijs dabīgi mitrā paraugā	1.7%	3.5%
Kopējais kalcijs dabīgi mitrā paraugā	13.5%	12.4%
Mitrumš	0.16%	0.16%
Granulometriskais sastāvs:		
par 1 mm mazāko daļiņu daudzums	99.9%	99.9%
Neitralizēšanas spēja, izteikta kā CaCO_3 ekvivalents no sausas masas	47.1%	57.9%
Kadmijs sausnā	5.8 mg/kg	3.1 mg/kg
Niķelis sausnā	11 mg/kg	9 mg/kg
Arsēns sausnā	7.1 mg/kg	4.9 mg/kg
Svins sausnā	54 mg/kg	24 mg/kg
Dzīvsudrabs sausnā	1 mg/kg	< 1 mg/kg
Kopējais fosfors, izteikts kā P_2O_5	2.8 %	13.9%
Kopējais kālijs, izteikts kā K_2O	5.7%	11.6%

SIA “Dobeles Eko” uzdevums projektā bija nodrošināt daļēju pētījumiem nepieciešamo pelnu apjomu LBTU un citiem partneriem. Projekta ietvaros sabiedrība jaunā mēslošanas līdzekļa izstrādei nodeva 257 tonnas pelnu projekta partnerim SIA “Ziedi JP”.

Uzskatām, ka sadarbība ar projekta partneriem bija veiksmīga. No savas puses atbalstām pelnu kā jaunā mēslošanas līdzekļa sastāvdaļas izmantošanu, jo tas nodrošinās Latvijā radīto kurtuvju pelnu atgriešanu aprītē un atkritumu poligonos noglabāto pelnu apjoma samazināšanu.

4. Projekta publicitāte

Ziņojumi semināros un konferencēs

Ziņojumi par projektā iegūtajiem rezultātiem ir sniegti semināros un konferencēs Latvijā, Igaunijā, Lietuvā, Francijā, Itālijā, Spānijā, Ukrainā, Bosnijā un Hercegovinā un citur.



2019. gads

1. **A. Adamovičs** Inovatīva augsnes kaļķošanas un mēslošanas līdzekļa ražošanas tehnoloģijas izstrādes procesa pirmie soli. <https://www.llu.lv/lv/raksts/2021-05-19/veikti-pirmie-soli-inovativa-augsnes-kalkosanas-un-meslosanas-lidzekla-razosanas>
2. **A. Adamovičs** Ar digestātu un koksnes pelnu maisījumiem risinās augsnes auglības problēmas. <https://www.llu.lv/lv/raksts/2019-11-26/ar-digestatu-un-koksnes-pelnu-maisijumiem-risinās-augsnes-auglības-problemas>

2020. gads

1. V. Dubrovskis, **A. Adamovics**, I. Plume, M. Valko. (2020) Anaerobic co-digestion of cows manure, maize silage, grass silage and flour, theoretical, laboratory scale and biogas plant yields / "Bioeconomy's role in the post-pandemic economic recovery": proceedings, [elektroniskais resurss] CELEBio project: Central European Leaders of Bioeconomy Network - Florence, 2020. - 488.-493.lpp. - ISBN 9788889407202 - ISSN 2282-5819.
2. I. Sivicka, **A. Adamovics** (2020) The use of biogas digestate and wood ash as bio-fertiliser and liming material: a review 11th International conference Biosystems Engineering: 6 May 2020. Tartu, Estonia, / Estonian University of Life Sciences.

2021. gads

1. V. Dubrovskis, I. Plume, **A. Adamovics** (2021) Digestate from co-fermentation of maize silage, energy beets and cucumber leaves and stalks / V. Dubrovskis, I. Plume, A. Adamovics // 29th European Biomass Conference and Exhibition, EUBCE 2021 : Marseille, France, 26-29 April, 2021

2. Vilis Dubrovskis, Imants Plume, **Aleksandrs Adamovics** (2021) Extraction of digestate from various raw materials and its mixtures with ash / // 20th International scientific conference "Engineering for rural development" : proceedings, Jelgava, Latvia, May 26 - 28, 2021 / Latvia University of Life Sciences and Technologies. Faculty of Engineering. Jelgava,

3. Dagnija Lazdiņa, Aleksandrs Adamovičs, Jānis Millers, Mārtiņš Voiko (2021) Development of a new technology for the production of plant fertilizers from the fermentation residues of a biogas plant – digestate and wood chip cogeneration residues - wood ash/Online workshop ‘Strength in numbers -network to innovate’ 26 August, 2021. <https://maainfo.ee/index.php?id=7414&page=3333&> NordGen Forest Conference 2021’, Norvēģija (attālināti), 2021. gada 23. septembrī, mutiskais referāts, “Development of a new technology for the production of plant fertilizers from the fermentation residues of a biogas plant - digestate and wood chip cogeneration residues – wood-ash” Zuševica, A, Vendiņa, V, Lazdiņa, D, Adamovičs, A.;

4. Dabas resursu ilgtspējīga apsaimniekošana - veiksmīgas sociālekonomiskās attīstības pamatnosacījums ES jaunās vides politikas ieviešanas periodā’, Jelgava, Latvija (attālināti), 2021. gada 25. novembris, plakāta referāts, “Jaunas tehnoloģijas izstrāde augu mēslošanas līdzekļu ražošanai no biogāzes ražotnes fermentācijas atliekām – digestāta un šķeldas koģenerācijas atliekām – koksnes pelniem” Zuševica, A, Celma, S, Vendiņa, V, Dūmiņš, K, Štāls, TA, Žigure, S, Lazdiņa, D.;

1. NordGen Forest Conference 2021’, Norvēģija (attālināti), 2021. gada 23. septembrī, mutiskais referāts, “Development of a new technology for the production of plant fertilizers from the fermentation residues of a biogas plant - digestate and wood chip cogeneration residues – wood-ash” Zuševica, A, Vendiņa, V, Lazdiņa, D, Adamovičs, A.;

Video:

Koku augšanas apstākļu uzlabošana ar digestāta separāta un koksnes pelnu maisījumiem (2020./21).

<https://youtu.be/c2093UvXclw>

Dalība Latvijas mežzinātnes dienā: "Ogleklis, mežs un koki mainīgā pasaulē" ar tēmu “Biogāzes digestāta un koksnes pelnu potenciālā izmantošana kokaugu mēslošanā”

2022. gads

2. Zinātniski praktiskā konference ‘Līdzsvarota lauksaimniecība 2022’, Jelgava, Latvija (attālināti), 2022. gada 24.–25. februāris, , plakāta referāts “Biogāzes digestāta un koksnes pelnu potenciālā izmantošana kokaugu mēslošanā” Zuševica, A, Dūmiņš, K, Vendiņa, V, Celma, S, Štāls, TA, Žigure, S, Lazdiņa, D, Adamovičs, A.;

3. '2022 European Biomass Conference and Exhibition (EUBCE)', Brisele, Beļģija (attālināti), 2022. gada 9.-12. maijs, video plakāta referāts "Biogas and energy production residues for healthy agroforestry systems and short rotation forest stands – soil amendment from digestate separate, less demanded peat fractions and wood ash mix" Lazdiņa, D., Zuševica, A., Makovskis, K.;
4. 13th International Agriculture Symposium "AGROSYM 2022", Jahorina, Bosnija un Hercegovina, 6.-9. Oktobris, mutiskais referāts, "Use of by-products in forestry and agroforestry systems as alternative to mineral fertilisers" Zuševica A., Dūmiņš K., Adamovičs A., Lazdiņa D.;
5. Zinātniski praktiskā konference 'Līdzsvarota lauksaimniecība, Jelgava, Latvija, 2023. gada 23.-24. februāris, mutiskais referāts "Bioloģiskas izcelsmes līdzekļu izmantošana kokaugu produktivitātes palielināšanai" Zuševica A., Adamovičs A., Dūmiņš K., Vendiņa V., Avota S.L., Lazdiņa D.
6. Janis Millers, Irina Pilvere, Aleksandrs Adamovics, Martins Valko (LBTU, Latvia Scientific basis for the development of an innovative soil liming and fertilizer production technology / International conference "Biosystems Engineering", Tartu, 2023 May 10-12.

Publikācijas

1. Berķis, Rihards. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas rapša ražu un ražas kvalitāti = The effect of digestate and wood ash mixtures on the productivity and yield quality of winter oilseed rape / Rihards Berķis, Aleksandrs Adamovičs // Līdzsvarota lauksaimniecība: zinātniski praktiskās konferences raksti, Jelgava, Latvija, 24.-25.febr., 2022 / Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Lauksaimniecības fakultāte. Latvijas Lauksaimniecības un meža zinātņu akadēmija. Ziemeļvalstu Lauksaimniecības zinātnieku asociācija Jelgava, 2022. 37.-42.lpp. , URL: https://lufb.llu.lv/conference/lidzsva_lauksaim/2022/Latvia-lidzsvarota-lauksaimniec_rakstu_krajums_2022.pdf ISBN 9789984484075. ISSN 2500-9451.

2. Adamovičs, Aleksandrs, Inovatīva digestāta un koksnes pelnu maisījuma mēslojuma ietekme uz kartupeļu produktivitāti = The effects of innovative digestate and wood ash mixtures fertilizer on potato productivity / Aleksandrs Adamovičs, Laura Balandina, Kristīne Afoņina // Līdzsvarota lauksaimniecība: zinātniski praktiskās konferences raksti, Jelgava, Latvija, 24.-25.febr., 2022 / Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Lauksaimniecības fakultāte. Latvijas Lauksaimniecības un meža zinātņu akadēmija. Ziemeļvalstu Lauksaimniecības zinātnieku asociācija Jelgava, 2022. 49.-53.lpp., URL: https://lufb.llu.lv/conference/lidzsva_lauksaim/2022/Latvia-lidzsvarota-lauksaimniec_rakstu_krajums_2022-49-53.pdf ISBN 9789984484075. ISSN 2500-9451.

3. Zuševica, Austra. Biogāzes digestāta un koksnes pelnu potenciālā izmantošana kokaugu mēslošanai = Potential use of digestate and wood ash as tree fertiliser / Austra Zuševica, Kārlis Dūmiņš, Viktorija Vendiņa, Sindija Žīgure, Dagnija Lazdiņa, Aleksandrs Adamovičs // Līdzsvarota lauksaimniecība: zinātniski praktiskās konferences raksti, Jelgava, Latvija, 24.-25.febr., 2022 / Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Lauksaimniecības fakultāte. Latvijas Lauksaimniecības un meža zinātņu akadēmija. Ziemeļvalstu Lauksaimniecības zinātnieku asociācija Jelgava, 2022. 87.-91.lpp., URL: https://lufb.llu.lv/conference/lidzsva_lauksaim/2022/Latvia-lidzsvarota-lauksaimniec_rakstu_krajums_2022.pdf ISBN 9789984484075. ISSN 2500-9451.

4. Balandiņa, Laura. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu mēslojuma normu ietekme uz kartupeļu šķirnes 'Jogla' ražību un ražas kvalitāti / Laura Balandiņa, zin. vad. Aleksandrs

Adamovičs // Daudzveidīga lauksaimniecība : studentu un maģistrantu zinātniskās konferences tēzes, Jelgava, Latvija, 13.aprīlis, 2022 / Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Lauksaimniecības fakultāte Jelgava, 2022. 34.lpp, URL: https://lufb.llu.lv/conference/student/LF/LLU_LF_Studentu_konf_tezes_2022.pdf

5. Adamovičs, Aleksandrs, Influence of biogas digestate, wood ash and their mixtures on the yield and quality of winter wheat / Aleksandrs Adamovics, Rihards Berkis, Lydiia Antypova // Матеріали доповідей V міжнародної науково-практичної конференції "Розвиток аграрної галузі та впровадження наукових розробок у виробництво", м. Миколаїв, Україна, 19-21 жовтня 2022 р. / Міністерство освіти і науки України; Миколаївський національний аграрний університет Миколаїв, 2022. 9.-11.lpp.

6. Berķis, Rihards. Mixtures of digestate and wood ash – an effective fertilizer in winter oilseed rape crops / Rihards Berkis, **Aleksandrs Adamovics**, Lydiia Antypova // Матеріали доповідей V міжнародної науково-практичної конференції "Розвиток аграрної галузі та впровадження наукових розробок у виробництво", м. Миколаїв, Україна, 19-21 жовтня 2022 р. / Міністерство освіти і науки України; Миколаївський національний аграрний університет Миколаїв, 2022. 14.-16.lpp.

7. Adamovičs, Aleksandrs, The influence of nitrogen fertilization and legume species on the forage quality of multicomponent sown meadows / A. Adamovics, I. Gutmane // Proceedings of the 29th General Meeting "Grassland at the heart of circular and sustainable food systems", Caen, France, 26-30 June 2022 / European Grassland Federation (Grassland Science in Europe; vol. 27). Paris, 2022. 95.-97.lpp. , URL: https://www.europeangrassland.org/fileadmin/documents/Infos/Printed_Matter/Proceedings/EGF2022.pdf

8. Adamovičs, Aleksandrs, Influence of biogas digestate, wood ash and their mixtures on the yield and quality of cucumbers / Aleksandrs Adamovics, Irina Sivicka // International scientific-practical conference of applicants for higher education and young scientists "Modern approaches to the cultivation, processing and storage of fruits and vegetables" : materials of reports, Mykolaiv, Ukraine, November 17, 2022 / Ministry of Education and Science of Ukraine; Mykolayiv National Agrarian University Mykolayiv, 2022. 11.lpp.

9. Dubrovskis, Vilis. Granulation of digestate and wood ash mixtures / V. Dubrovskis, A. Adamovičs, I. Plume // 30th European Biomass Conference & Exhibition : book of abstracts. Summaries, Florence, Italy, 09-12 May, 2022 : [online] Florence Renewable Energies Florence, 2022. 31.lpp. , URL: <https://doi.org/10.5071/30thEUBCE2022-1BV.3.13> ISBN 9788889407226

10. Zuševica, Austra. Biogāzes digestāta un koksnes pelnu potenciālā izmantošana kokaugu mēslošanai = Potential use of digestate and wood ash as tree fertiliser / Austra Zuševica, Kārlis Dūmiņš, Viktorija Vendiņa, Sindija Žīgure, Dagnija Lazdiņa, Aleksandrs Adamovičs // Līdzsvarota lauksaimniecība: zinātniski praktiskās konferences tēzes, Jelgava, Latvija, 24.-25. febr., 2022 / Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Lauksaimniecības fakultāte. Latvijas Lauksaimniecības un meža zinātņu akadēmija. Ziemeļvalstu Lauksaimniecības zinātnieku asociācija. Jelgava, 2022. 34.lpp., URL: https://lufb.llu.lv/conference/lidzsvar_lauksaim/2022/Tezes_2022_Lidzsvarota-lauksaimnieciba_LLU_LF.pdf ISBN 9789984483917. ISSN 2501-0255.

11. Berķis, Rihards. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas rapša ražu un ražas kvalitāti = The effect of digestate and wood ash mixtures on the productivity and yield quality of winter oilseed rape / Rihards Berķis, **Aleksandrs Adamovičs** // Līdzsvarota lauksaimniecība: zinātniski praktiskās konferences raksti, Jelgava, Latvija, 24.-25. febr., 2022 / Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Lauksaimniecības fakultāte. Latvijas Lauksaimniecības un meža zinātņu akadēmija. Ziemeļvalstu Lauksaimniecības zinātnieku asociācija Jelgava, 2022. 37.-42.lpp. , URL: https://lufb.llu.lv/conference/lidzsvar_lauksaim/2022/Latvia-lidzsvarota-lauksaimniec_rakstu_krajums_2022.pdf ISBN 9789984484075. ISSN 2500-9451.

12. Adamovičs, Aleksandrs, Inovatīva digestāta un koksnes pelnu maisījuma mēslojuma ietekme uz kartupeļu produktivitāti = The effects of innovative digestate and wood ash mixtures fertilizer on potato productivity / Aleksandrs Adamovičs, Laura Balandina, Kristīne Afoņina // Līdzsvarota lauksaimniecība: zinātniski praktiskās konferences raksti, Jelgava, Latvija, 24.-25. febr., 2022 / Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Lauksaimniecības fakultāte. Latvijas Lauksaimniecības un meža zinātņu akadēmija. Ziemeļvalstu Lauksaimniecības zinātnieku asociācija Jelgava, 2022. 49.-53.lpp., URL: https://lufb.llu.lv/conference/lidzsvar_lauksaim/2022/Latvia-lidzsvarota-lauksaimniec_rakstu_krajums_2022-49-53.pdf ISBN 9789984484075. ISSN 2500-9451.

13. Zuševica, Austra. Biogāzes digestāta un koksnes pelnu potenciālā izmantošana kokaugu mēslošanai = Potential use of digestate and wood ash as tree fertiliser / Austra Zuševica, Kārlis Dūmiņš, Viktorija Vendiņa, Sindija Žīgure, Dagnija Lazdiņa, Aleksandrs Adamovičs // Līdzsvarota lauksaimniecība: zinātniski praktiskās konferences raksti, Jelgava, Latvija, 24.-25.febr., 2022 / Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Lauksaimniecības fakultāte. Latvijas Lauksaimniecības un meža zinātņu akadēmija. Ziemeļvalstu Lauksaimniecības zinātnieku asociācija Jelgava, 2022. 87.-91.lpp., URL: https://lufb.llu.lv/conference/lidzsvar_lauksaim/2022/Latvia-lidzsvarota-lauksaimniec_rakstu_krajums_2022.pdf ISBN 9789984484075. ISSN 2500-9451.

14. Balandiņa, Laura. Digestāta un koksnes pelnu maisījumu mēslojuma normu ietekme uz kartupeļu šķirnes 'Jogla' ražību un ražas kvalitāti / Laura Balandiņa, zin. vad. Aleksandrs Adamovičs // Daudzveidīga lauksaimniecība : studentu un maģistrantu zinātniskās konferences tēzes, Jelgava, Latvija, 13.aprīlis, 2022 / Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Lauksaimniecības fakultāte Jelgava, 2022. 34.lpp., URL: <https://lufb.llu.lv/conference/student/LF/ LLU LF Studentu konf tezes 2022.pdf>

15. Adamovičs, Aleksandrs, Influence of biogas digestate, wood ash and their mixtures on the yield and quality of winter wheat / Aleksandrs Adamovics, Rihards Berkis, Lydiia Antypova // Матеріали доповідей V міжнародної науково-практичної конференції "Розвиток аграрної галузі та впровадження наукових розробок у виробництво", м. Миколаїв, Україна, 19-21 жовтня 2022 р. / Міністерство освіти і науки України; Миколаївський національний аграрний університет Миколаїв, 2022. 9.-11.lpp.

16. Berkis, Rihards. Mixtures of digestate and wood ash – an effective fertilizer in winter oilseed rape crops / Rihards Berkis, **Aleksandrs Adamovics**, Lydiia Antypova // Матеріали доповідей V міжнародної науково-практичної конференції "Розвиток аграрної галузі та впровадження наукових розробок у виробництво", м. Миколаїв, Україна, 19-21 жовтня 2022 р. / Міністерство освіти і науки України; Миколаївський національний аграрний університет Миколаїв, 2022. 14.-16.lpp.

17. Adamovičs, Aleksandrs, The influence of nitrogen fertilization and legume species on the forage quality of multicomponent sown meadows / A. Adamovics, I. Gutmane // Proceedings of the 29th General Meeting "Grassland at the heart of circular and sustainable food systems", Caen, France, 26-30 June 2022 / European Grassland Federation (Grassland Science in Europe; vol. 27). Paris, 2022. 95.-97.lpp., URL: https://www.europeangrassland.org/fileadmin/documents/Infos/Printed_Matter/Proceedings/EGF2022.pdf

18. Adamovičs, Aleksandrs, Influence of biogas digestate, wood ash and their mixtures on the yield and quality of cucumbers / Aleksandrs Adamovics, Irina Sivicka // International scientific-practical conference of applicants for higher education and young scientists "Modern approaches to the cultivation, processing and storage of fruits and vegetables" : materials of reports, Mykolaiv, Ukraine, November 17, 2022 / Ministry of Education and Science of Ukraine; Mykolayiv National Agrarian University Mykolayiv, 2022. 11.lpp.

19. Dubrovskis, Vilis. Granulation of digestate and wood ash mixtures / V. Dubrovskis, A. Adamovičs, I. Plume // 30th European Biomass Conference & Exhibition : book of abstracts.

Summaries, Florence, Italy, 09-12 May, 2022 : [online] Florence Renewable Energies Florence, 2022. 31.lpp., URL: <https://doi.org/10.5071/30thEUBCE2022-1BV.3.13> ISBN 9788889407226

20. Adamovics A., Antipova L. (2022) The effects of an innovative digestate and wood ash mixture fertilizer on potato yield quality/Proceedings of the XIII International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2022", pp.250 -255.

21. V. Dubrovskis, A. Adamovičs, I. Plume (2022). Granulation of digestate and wood ash mixtures // 30th European Biomass Conference & Exhibition : proceedings, Florence, Italy, 09-12 May, 2022 : [online] Florence Renewable Energies Florence, 2022. 193-199. lpp., URL: <http://www.etaflorence.it/proceedings/?detail=19092&mode=topic&categories=0&items=%2D%2D&searchstring=dubrovskis&limit=0> ISSN 2282-5819

22. V. Dubrovskis, A. Adamovičs, I. Plume (2022). Granulation of digestate and wood ash mixtures // 30th European Biomass Conference & Exhibition : book of abstracts. Summaries, Florence, Italy, 09-12 May, 2022: [online] Florence Renewable Energies Florence, 31.lpp., URL: <https://doi.org/10.5071/30thEUBCE2022-1BV.3.13> ISBN 9788889407226

23. Vilis Dubrovskis, Aleksandrs Adamovics, Imants Plume (2022). GRANULATION OF DIGESTATE AND WOOD ASH MIXTURES e-EUBCE 2022: 30th European Biomass Conference and Exhibition "Bioeconomy's role in the post-pandemic economic recovery": online conferences proceedings, Marseille, France, 25-29 April, 2022. [elektroniskais resurss].

24. V. Dubrovskis, A. Adamovičs, I. Plume, A. Kakitis (2022). STUDIES OF GRANULES OF VARIOUS DIGESTATE AND WOOD ASH MIXTURES/ 21th International scientific conference "Engineering for rural development": proceedings, Jelgava, Latvia, May 25 - 27, 2022 [elektroniskais resurss] / Latvia University of Life Sciences and Technologies. Faculty of Engineering. Jelgava, 2022. Vol. 21, 338.-343.lpp.

25. Berkis R., Adamovics A., Antypova L. (2022) Mixtures of digestate and wood ash – an effective fertilizer in winter oilseed rape crops / МАТЕРІАЛИ ДОПОВІДЕЙ V МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «Розвиток аграрної галузі та впровадження наукових розробок у виробництво»(19-21 жовтня 2022 р.), р. 14.

26. Adamovics A., Berkis R., Antypova L. (2022) Influence of biogas digestate, wood ash and their mixtures on the yield and quality of winter wheat // МАТЕРІАЛИ ДОПОВІДЕЙ V МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «Розвиток аграрної галузі та впровадження наукових розробок у виробництво»(19-21 жовтня 2022 р.), р. 9.

27. Berķis R., Adamovičs A. (2022) Digestāta un koksnes pelnu maisījumu ietekme uz ziemas rapša ražu n.n ražas kvalitāti /Zinātniski praktiskā konference "LĪDZSVAROTA LAUKSAIMNIECĪBA 2022", 24.-25.02.2022., LLU, Jelgava, Latvija, 37-42 lpp.

28. Adamovičs A., Balandiņa L., Afoņina K. (2022) Inovatīva digestāta un koksnes pelnu maisījumamēslojuma ietekme uz kartupeļu produktivitāti /Zinātniski praktiskā konference "LĪDZSVAROTA LAUKSAIMNIECĪBA 2022", 24.-25.02.2022., LLU, Jelgava, Latvija, 49-53 lpp.

29. Zuševica A., Dūmiņš K., Vendiņa V., Žīgure S., Lazdiņa D., Adamovičs A. (2022) Biogāzes digestāta un koksnes pelnu potenciālā izmantošana kokaugu mēslošanai /Zinātniski praktiskā konference "LĪDZSVAROTA LAUKSAIMNIECĪBA 2022", 24.-25.02.2022., LLU, Jelgava, Latvija, 87-91lpp.

30. Lazdiņa D., Zuševica A., Makovskis K., Adamovičs A. Biogas and energy production residues for healthy agroforestry systems and short rotation forest stands-soil amendment from digestate separate, less demanded peat fractions and wood ash mix (2022) European Biomass Conference and Exhibition Proceedings, pp. 137 – 140.

31. Austrā Zuševica, Kārlis Dūmiņš, Viktorija Vendiņa, Sindija Žīgure, Dagnija Lazdiņa, Aleksandrs Adamovičs (2022) Biogāzes digestāta un koksnes pelnu potenciālā izmantošana kokaugu mēslošanai, Zinātniski praktiskās konferences "Līdzsvarota lauksaimniecība " rakstu krājums; <https://www.lf.llu.lv/lv/lidzsvarota-lauksaimnieciba>.

32. Zuševica, A., Adamovičs, A., Dūmiņš, K., Vendiņa, V., Žīgure S., Lazdiņa D. 2023. Soil Fertility Improvement with Mixtures of Wood Ash and Biogas Digestates Enhances Leaf Photosynthesis and Extends the Growth Period for Deciduous Trees. Plants, 12(5). <https://doi.org/10.3390/plants12051152>

33. Zuševica, A., Adamovičs, A., Dūmiņš, K., Vendiņa, V., Avota, S.L., Lazdiņa, D. 2023. Augsnes ielabošana skujkoku jaunaudzē ar biogāzes fermentācijas un koksnes koģenerācijas ražošanas atlieku – digestāta un koksnes pelnu – maisījumu. Zinātniski praktiskās konferences "Līdzsvarota lauksaimniecība 2022" rakstu krājums [drukā].

Kopsavilkums

Partneru sadarbība projekta ietvaros bija veiksmīga un veicināja jauna augsnes auglības uzlabošanas produkta izstrādi. Projekta partneru sadarbības un pētnieciskā darba rezultātā ir paveikts sekojošais:

- LBTU Tehniskās fakultātes Bioenerģētikas institūtā ir pārbaudīts un analizēts projekta sadarbības partneru, kā arī citu Latvijas uzņēmumu ražotā biogāzes digestāta un koksnes pelnu sastāvs;
- eksperimentāli noteikti digestāta un koksnes pelnu parametri to maisījumu sagatavošanai;
- noteiktas digestāta un koksnes pelnu maisījumu spējas neitralizēt skābas minerāl-augsnes un kūdras augsnes;
- LBTU LF siltumnīcas veģetācijas traukos novērtēta dažādu digestāta un koksnes pelnu maisījumu mēslošanas normu, kā arī digestāta un koksnes pelnu proporciju maiņas ietekme uz gurķu, piparmētru, salātu, bazilika attīstību un produktivitāti;
- noteikta koksnes pelnu un biogāzes digestātu maisījumu veidu un mēslošanas normu, kā arī digestāta un koksnes pelnu proporciju maiņas ietekme uz dažādu kultūraugu – kukurūzas, ziemas kviešu, ziemas rapša, vasaras miežu, kartupeļu, ziemas ķiploku – ražu un ražas kvalitāti dažādās augsnēs un agrometeoroloģiskajos apstākļos, kā arī to efektivitāte kokaudzēs;
- izstrādāts tehnoloģiskais cikls jauna inovatīva augsnes auglības uzlabošanas produkta ražošanai. Izmantojot koģenerācijas staciju un katlumāju darbības blakusproduktu (pelnu) maisījumus ar biogāzes staciju darbības blakusproduktiem (separēto nežāvēto un žāvēto digestātu), var iegūt inovatīvu augsnes auglības uzlabošanas līdzekli ar augstu pievienoto vērtību. Jaunā mēslojuma ražošana, izmantojot biogāzes un koksnes koģenerāciju staciju darbības blakusproduktus, var nodrošināt bezatlikuma ražošanas tehnoloģiju ieviešanu pilnam ražošanas ciklam;
- koksnes pelnu un biogāzes digestāta maisījumu izmantošana kultūraugu, kā arī kokaugu mēslošanai un augsnes auglības uzlabošanai var būt efektīvs abu produktu pārstrādes veids;
- lielākā daļa pētījumu rezultātu atspoguļota zinātniskās un populārzinātniskās publikācijās Latvijā un citās valstīs. Par pētījumu rezultātiem sniegti ziņojumi dažādās starptautiskās un vietējās konferencēs, dažādos semināros un Lauku dienās. Par partneru sadarbību projektā un projekta izpildes gaitu ir izveidota videofilma. Projekta rezultātu atspoguļošana dažādos izdevumos un konferencēs turpinās.